



PROGRAMME DE SÉCURISATION DES OUVRAGES DE PROTECTION

CONTRE LES CRUES
DU RHÔNE DU BARRAGE
DE VALLABRÈGUES
À LA MER



Syndicat Mixte Interrégional
d'Aménagement
SYMADREM
des Dîgues du Delta
du Rhône et de la Mer

2007-2013
RHÔNE
Donnons un avenir à notre fleuve



PROGRAMME DE SÉCURISATION DES OUVRAGES DE PROTECTION

CONTRE LES CRUES
DU RHÔNE DU BARRAGE
DE VALLABRÈGUES
À LA MER

Crédits photos :

©SYMADREM
©photo-aerienne-France.fr
©Ville d'Aimargues
©Ville d'Arles
©Ville de Tarascon
©Naturalia
Scan100©v2005
©IGN/CRIGE PACA
image SPOT
IGN
©JL MASSON

Rédaction :

Thibaut MALLET,
DGA-Directeur technique du SYMADREM

Conception et réalisation:

Contrepoint (Montpellier)

ÉDITORIAL

La crue des 3 et 4 décembre 2003, la plus importante depuis celle du 31 mai 1856 a révélé la nécessité d'une politique de prévention des crues cohérente et solidaire sur l'ensemble du bassin rhodanien.

Elle s'est traduite par la nomination d'un préfet coordonnateur de bassin en janvier 2004 et l'appel du Grand Delta en mars 2004 de Georges Frêche, Jean-Jack Queyranne et Michel Vauzelle, affirmant ainsi leur volonté commune de considérer la gestion du Rhône comme un projet interrégional.

La mobilisation sans précédent de l'État et des Régions a abouti à :

- la validation, en juillet 2005, par le Comité Interministériel à l'Aménagement et au Développement du Territoire (CIADT) de la stratégie de prévention contre les inondations du Rhône, fondatrice du Plan Rhône et plus particulièrement de son volet inondations ;
- la signature, en mars 2007, du Contrat de projets Interrégional Plan Rhône 2007/2013, qui prévoit, en aval de Beaucaire, 182 millions d'euros d'investissements sur les ouvrages de protection contre les crues et sur les ouvrages de ressuyage des terres après inondation ;
- l'établissement par les services de l'État du schéma de gestion des inondations du Rhône aval qui a fixé les objectifs de protection et le principe des aménagements à réaliser dans le Grand Delta du Rhône.

C'est dans ce cadre que le SYMADREM a accepté par délibération du 17 novembre 2006 d'être un des maîtres d'ouvrages des actions du Plan Rhône. Il a ainsi établi le présent programme de sécurisation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône depuis le barrage de Vallabrègues jusqu'à la Mer. Le principal objectif du programme est d'éviter les brèches lors des grandes crues en construisant des ouvrages capables de résister à la rupture jusqu'à la crue millénaire du Rhône.

Étant donné l'ampleur du programme de sécurisation, dont le montant est estimé à 400 millions d'euros, il a été découpé en 14 opérations, dont 12 contractualisées dans le cadre du CPIER Plan Rhône 2007/2013.

À l'heure de la parution du document : la majeure partie des études est terminée, dont l'étude de calage réalisée par la CNR^{ingénierie}, qui a permis le calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles. 4 opérations sont achevées : les tranches 1 à 4 des travaux de réparation des quais d'Arles, les travaux de carrossabilité sur 80 km de digues, la construction d'une digue au nord d'Arles et le confortement des digues du centre-ville de Beaucaire.

Dès 2013, ce sont 4 opérations majeures qui seront engagées : les 5^{ème} et 6^{ème} tranches de réparation des quais d'Arles, les travaux de renforcement des quais de Tarascon et de la digue de la Montagnette, le renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques et le confortement de la digue au sud d'Arles.

Elles seront suivies de 2014 à 2016 par les opérations de renforcement des digues de Salin de Giraud et Port-Saint-Louis-du-Rhône, la création d'une digue à l'Ouest de la voie ferrée entre Tarascon et Arles menée en partenariat avec Réseau Ferré de France, le renforcement des digues du Petit Rhône – 1^{ère} priorité et le rehaussement des sites-industriels-portuaires de Beaucaire et Tarascon mené en partenariat avec la Compagnie Nationale du Rhône.

La sécurisation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône voulue par l'Etat et les Collectivités territoriales permettra tout en maintenant une culture du risque forte, d'améliorer sensiblement la sécurité des 110 000 personnes résidant dans le Delta et d'envisager à moyen terme l'aménagement de notre territoire avec sérénité.

LE PRÉSIDENT DU SYMADREM
HERVÉ SCHIAVETTI

LES VICE-PRÉSIDENTS DU SYMADREM
KARINE MARGUTTI, CÉCILE HELLE, GILLES DUMAS,
JEAN LUC MASSON, JUAN MARTINEZ

LE PRÉSIDENT DE LA RÉGION PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

MICHEL VAUZELLE

Solidaire des riverains du fleuve, la Région s'est depuis toujours mobilisée en faveur de la prévention des inondations. Personne ne peut oublier, en effet, que les crues majeures du Rhône de 2002 et 2003 ont provoqué des dégâts considérables, de l'ordre du milliard d'euros, et profondément affecté les populations. Au-delà de la solidarité manifestée dans l'urgence lors de ces dramatiques événements, la Région a donc activement contribué à la mise en place du Plan Rhône et de la stratégie de prévention contre les inondations aux côtés de l'État et des autres Régions bordant le fleuve.

Dans ce contexte, la Région œuvre aux côtés des acteurs publics pour la protection des biens comme des personnes. Outre les actions menées par le Syndicat Mixte Interrégional d'Aménagement du Delta du Rhône et de la Mer (SYMADREM), syndicat dont elle est membre, la Région soutient les autres acteurs du territoire rhodanien à mettre en œuvre des actions de protection. Cela passe par des études hydrauliques, des confortements de digues, la remobilisation de zone d'expansion des crues ou de bras morts du fleuve...

La Région est également fortement mobilisée dans des actions relatives à l'information préventive, la gestion de crise, la réduction de la vulnérabilité des territoires, la gestion des sédiments, autant d'actions indispensables et complémentaires aux mesures de protection. Tous ces dispositifs sont effectifs du haut Vaucluse à l'estuaire dans les Bouches-du-Rhône.

Sécurité et solidarité sont bien les deux maîtres-mots qui guident et continueront de guider la mobilisation de la Région aux côtés des élus, des acteurs socio-économiques et des riverains du Rhône.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉGION LANGUEDOC-ROUSSILLON

CHRISTIAN BOURQUIN

Nous avons, en Languedoc-Roussillon, le triste privilège d'être la région de France la plus exposée au risque d'inondations : les trois quarts des communes sont inondables, au moins en partie. Près de 600 000 habitants permanents sont concernées. Les événements dramatiques jalonnent notre histoire récente : 1988, 1999, 2003, 2005...

Aussi, dès 2004, la Région Languedoc Roussillon s'est investie dans la prévention des inondations en mobilisant une enveloppe de 100 millions d'euros sur la période 2007-2013 et en intervenant sur tous les bassins versants, depuis le Tech dans les Pyrénées Orientales jusqu'au Rhône.

Dans ce grand chantier, le Rhône a évidemment une importance cruciale.

Il s'agit aujourd'hui pour les populations riveraines du Rhône d'envisager sereinement la vie au bord du fleuve grâce à ce programme de sécurisation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône de Vallabrègues à la Mer.

Consistant à conforter les digues et créer des déversoirs, il va permettre d'éviter le risque d'une rupture si dangereuse.

Les opérations programmées s'inscrivent dans le schéma de gestion du Rhône aval, schéma impulsé par la signature du Contrat de Projet Inter Régional Plan Rhône entre les 5 Régions concernées, Languedoc-Roussillon, PACA, Rhône-Alpes, Bourgogne, Franche-Comté et l'État en 2007.

Cela répond à notre engagement d'éviter à l'avenir les drames vécus par les populations de la basse vallée du Rhône lors des inondations catastrophiques de 2002 et 2003, ou tout du moins en limiter les impacts.

Nous nous félicitons alors d'avoir impulsé l'extension des compétences du Syndicat Interrégional d'Aménagement des Dignes du Delta du Rhône et de la Mer (SYMADREM) aux deux rives du Rhône. Ainsi, depuis 2004, il est en capacité de mettre en œuvre le programme de sécurisation des ouvrages de manière solidaire et concertée sur tout le delta du Rhône.

Déjà, les premières réalisations ont vu le jour : confortement des digues du Petit Rhône et de Beaucaire ainsi que des quais d'Arles en particulier ; en 2013, ce sont les travaux de sécurisation de la digue entre Beaucaire et Fourques qui seront engagés pour 43 millions euros parallèlement à la construction de la digue entre Tarascon et Arles.

Ces travaux témoignent de l'efficacité de la concertation et de la solidarité entre les collectivités riveraines : les Régions Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte-d'Azur, les départements du Gard et des Bouches-du-Rhône ainsi que les 14 communes concernées, qui, au-delà de leur diversité, ont compris que ces travaux sont indispensables au développement économique et à la sécurité de nos populations.

LE PRÉSIDENT DU CONSEIL GÉNÉRAL DES BOUCHES-DU-RHÔNE JEAN NOËL GUÉRINI

Notre département, les Bouches-du-Rhône, porte dans son nom le lien étroit qui unit notre collectivité au fleuve. Grâce à lui, notre département est connu dans le monde entier pour la beauté unique de son delta de Camargue. Mais il a aussi été victime à plusieurs reprises des colères meurtrières de ce même fleuve.

Membre du Symadrem, le Conseil Général a choisi d'agir pour que des drames comme celui d'Arles après la crue de 2003, ne se reproduisent plus. Certes, la lutte contre les inondations et l'aménagement du territoire ne relèvent pas des compétences obligatoires de notre département. Mais en choisissant d'adhérer dès 1997 au SYMADREM, et en votant chaque année plus de 640.000 € pour le fonctionnement de cette structure, le département des Bouches-du-Rhône a voulu organiser une politique de prévention des inondations, pérenne et efficace.

Notre participation au Plan Rhône, et plus particulièrement au présent programme de sécurisation, centrée sur la protection des populations des communes d'Arles, de Port-Saint-Louis du Rhône, des Saintes-Maries-de-la-Mer et de Tarascon, se traduit par un investissement cumulé, en 7 ans, de **16,7 M€** destiné à la construction et au renforcement d'ouvrages de protection contre les crues.

Bien sûr, le Rhône ne sera jamais un long fleuve tranquille ; mais nos collectivités, régions, départements et communes, unis dans un même effort, arriveront à maîtriser le risque pour que les inondations ne soient plus une fatalité.

LE PRÉSIDENT DU CONSEIL GÉNÉRAL DU GARD

DAMIEN ALARY

L'inondation est le premier risque naturel dans le Gard. Ces « événements climatiques exceptionnels », fréquents au cours de la dernière décennie, plongent chaque année les Gardois dans l'inquiétude d'une prochaine crue d'automne, avec son cortège de conséquences désastreuses, humaines et matérielles.

Conscient de cette situation, et fort de l'expérience gardoise, le Conseil général, avec ses partenaires, s'est fermement et fortement engagé dans une politique de prévention et de réduction des risques afin de protéger les personnes et les biens. Le schéma départemental de prévention des inondations, adopté par l'assemblée départementale fin 2003, a ainsi pour enjeux essentiels d'anticiper les risques de futurs projets d'aménagement et d'urbanisme, d'améliorer dans ce domaine les situations difficiles héritées du passé, de renforcer les ouvrages de protection (bassins de rétention et digues).

Notre engagement au sein du Syndicat Mixte Interrégional d'Aménagement des Dignes du Delta du Rhône et de la Mer (SYMADREM) participe à cette volonté politique.



SOMMAIRE

1. OBJET DU PROGRAMME ET RÉSUMÉ NON TECHNIQUE	16
---	----

01 CONTEXTE GÉNÉRAL

2. Définitions	37
3. Les ouvrages de protection et les zones protégées	43
4. Historique des aménagements	61
5. Les crues du Rhône et la crue des 3 et 4 décembre 2003	74
6. Estimation sommaire de la côte de sureté des digues	100

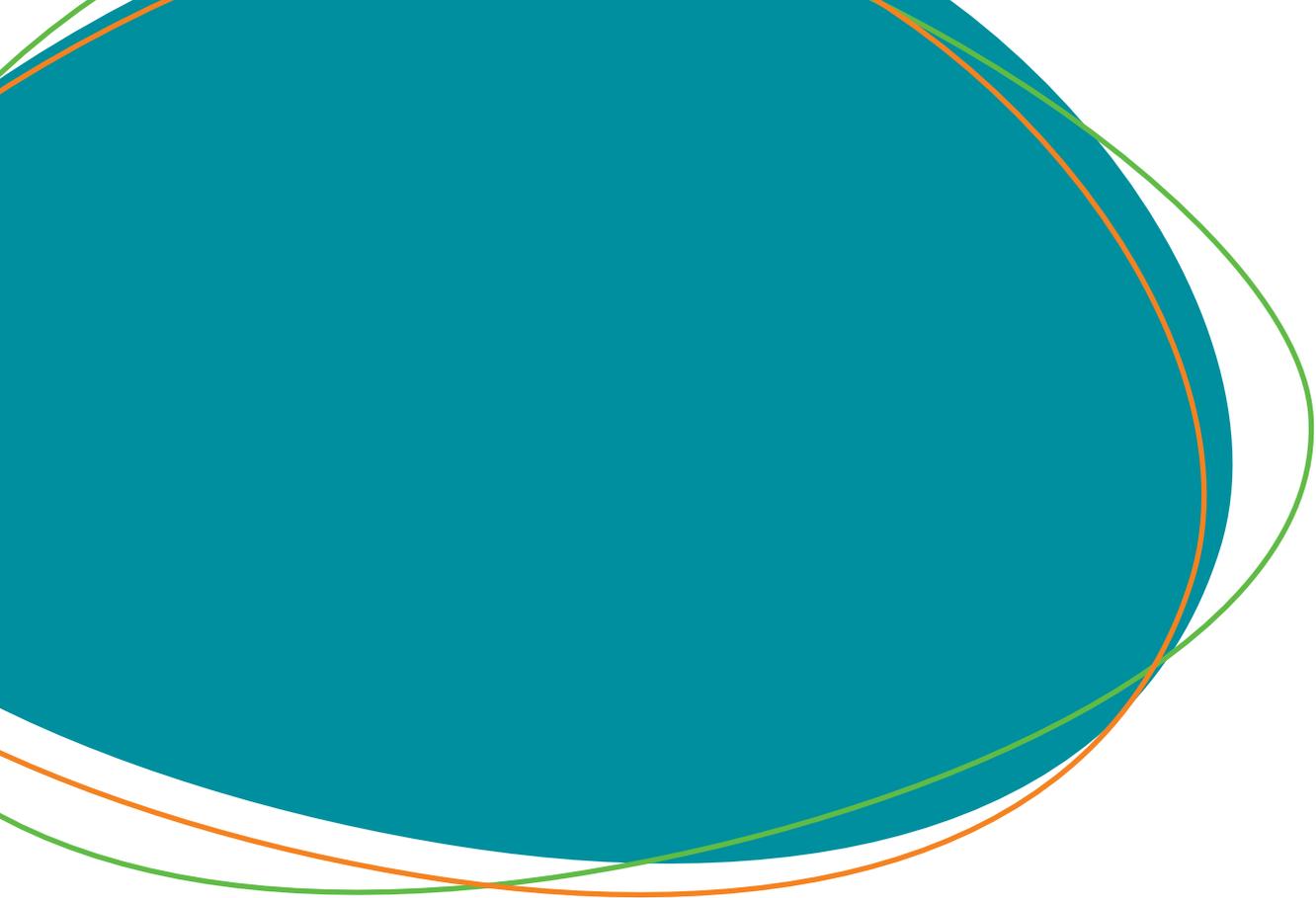
02 OBJECTIFS, DESCRIPTION, IMPACTS ET JUSTIFICATION DU PROGRAMME DE SÉCURISATION

7. Objectifs et description du programme de sécurisation	116
8. Études de diagnostic et de conception des ouvrages	146
9. Études hydrauliques : découpage des modèles	176
10. Impacts et mesures du programme de sécurisation	194
11. Phasage et planning opérationnel	300
12. Concertation et information du public	316
13. Maîtrise d'ouvrage des travaux et exploitation des ouvrages après travaux	326
14. Financement des opérations	339
15. Justification du calage des ouvrages de protection	344

03 DESCRIPTION DES OPÉRATIONS

16. Description des opérations/impacts intermédiaires	371
---	-----

17. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	479
---------------------------------	-----



Le Syndicat Mixte Interrégional d'Aménagement des Dignes du Delta du Rhône et de la Mer (SYMADREM), est un syndicat mixte qui regroupe depuis 2005 :

- La Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur,
- La Région Languedoc-Roussillon,
- Le Département du Gard,
- Le Département des Bouches-du-Rhône,
- Les communes : Aimargues, Arles, Beaucaire, Beauvoisin, Bellegarde, Le Cailar, Fourques, Port-Saint-Louis-du-Rhône, Saint Gilles, Saintes-Maries-de-la-Mer, Tarascon et Vauvert,
- La communauté de communes Terre de Camargue (Aigues-Mortes, Grau du Roi et Saint-Laurent-d'Aigouze).

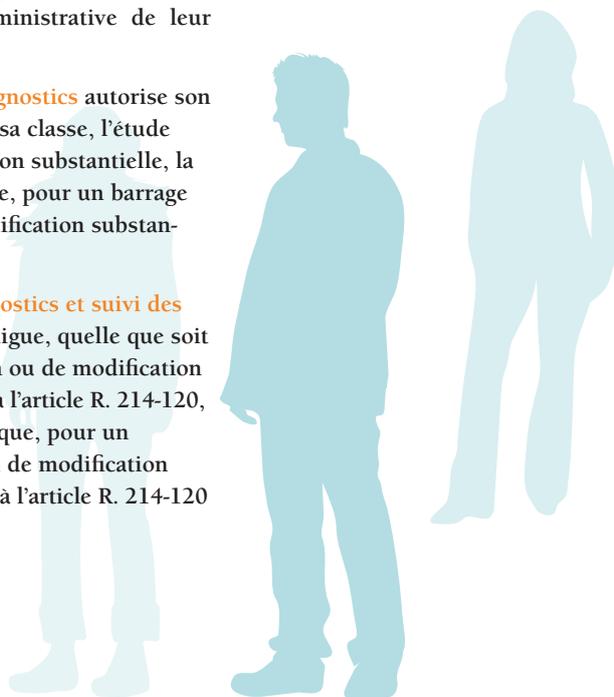
Ses missions consistent en :

- L'exploitation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône et contre les incursions marines situés dans son périmètre de compétences,
- La maîtrise d'ouvrage des études et des travaux de renforcement des ouvrages situés dans son périmètre de compétences.

Le SYMADREM dispose, par arrêté du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement du 15 novembre 2011 portant agrément d'organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques de l'agrément n°62-d "Dignes et petits barrages - Études et diagnostics" et de l'agrément n°62-e "Dignes et petits barrages - Études, diagnostics et suivi des travaux" pour une durée de 5 ans.

Conformément à l'arrêté du 18 février 2010 précisant les catégories et critères des agréments des organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques ainsi que l'organisation administrative de leur délivrance :

- **L'agrément Dignes et petits barrages - Études et diagnostics** autorise son titulaire à effectuer pour une digue, quelle que soit sa classe, l'étude de dangers, le projet de réalisation ou de modification substantielle, la revue de sûreté et les diagnostics de sûreté ainsi que, pour un barrage de classe C ou D, le projet de réalisation ou de modification substantielle et les diagnostics de sûreté ;
- **L'agrément Dignes et petits barrages - Études, diagnostics et suivi des travaux** autorise son titulaire à effectuer pour une digue, quelle que soit sa classe, l'étude de dangers, le projet de réalisation ou de modification substantielle, la mission de maîtrise d'œuvre décrite à l'article R. 214-120, la revue de sûreté et les diagnostics de sûreté ainsi que, pour un barrage de classe C ou D, le projet de réalisation ou de modification substantielle, la mission de maîtrise d'œuvre décrite à l'article R. 214-120 et les diagnostics de sûreté.





1 OBJET DU PROGRAMME ET RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

Le présent programme de sécurisation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône du Barrage de Vallabrègues à la Mer a été établi par les services du SYMADREM et approuvé, le 14 décembre 2010, par le comité syndical du SYMADREM dans sa version initiale et le 14 juin 2012 dans sa version actuelle.

Ce programme de sécurisation entre dans le cadre général du Plan Rhône et plus particulièrement du schéma de gestion des inondations sur le Rhône aval établi par les services de l'État.

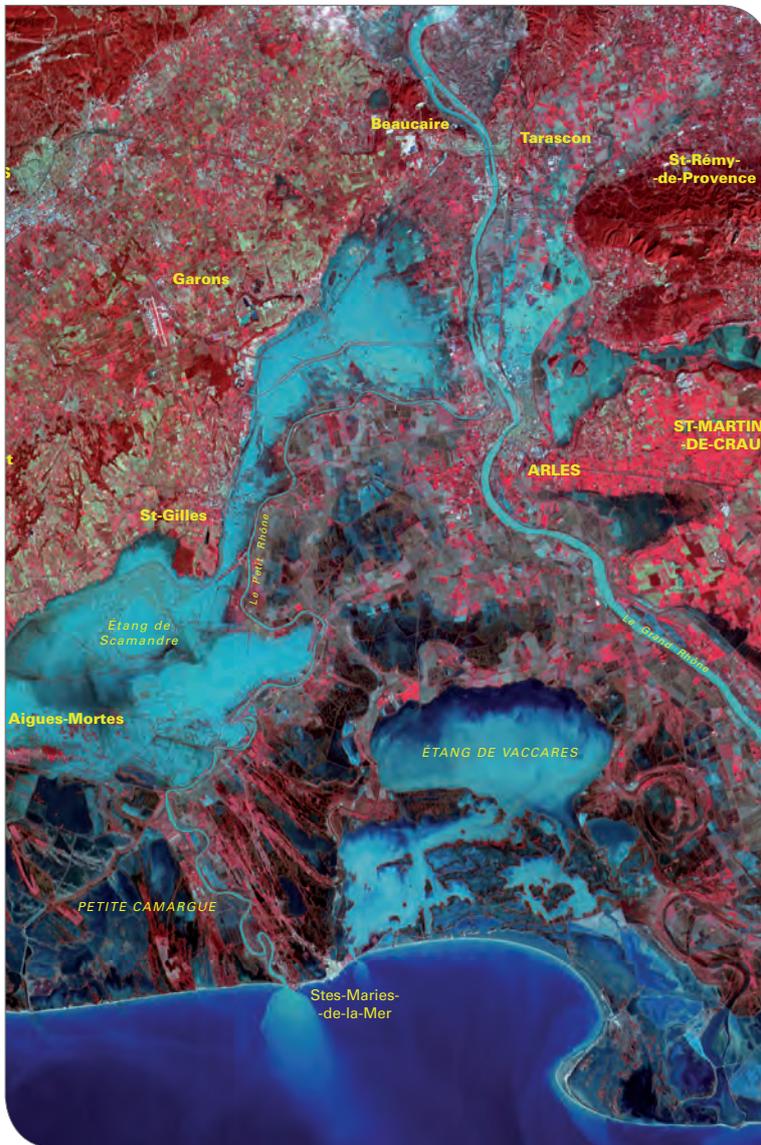
Il a pour objectif de présenter l'ensemble des opérations nécessaires à la sécurisation complète des digues fluviales du Grand Delta du Rhône, l'impact de ces travaux, l'interaction entre les différents aménagements et le phasage opérationnel retenu pour la réalisation des travaux.

Il sera joint aux demandes d'autorisation des opérations, constituant le présent programme.

Compte tenu de sa durée de réalisation, il sera amené à faire l'objet d'adaptations ultérieures en fonction des nouveaux éléments d'études.

LE PLAN RHÔNE ET LE SCHÉMA DE GESTION DES INONDATIONS DU RHÔNE AVAL

Suite aux inondations, causées par la crue du Rhône des 3 et 4 décembre 2003, qui ont touché plus de 12 000 personnes sur l'ensemble du delta et occasionné plus de 700 millions d'euros de dommages (source DREAL Rhône-Alpes), les pouvoirs publics ont engagé un vaste plan de lutte contre les inondations, intitulé Plan Rhône.



Une stratégie globale de prévention des inondations a été confiée au préfet coordonnateur de bassin par arrêté du Premier ministre du 21 janvier 2004. Cette stratégie relayée par Georges FRECHE, Jean-Jack QUEYRANNE et Michel VAUZELLE, lors de l'appel du Grand Delta en mars 2004 a été validée en juillet 2005 par le Comité Interministériel à l'Aménagement et au Développement du Territoire (CIADT), elle est fondatrice du Plan Rhône et en constitue son volet inondations.



Tarascon



Bellegarde



Fourques



Arles

Sur le Rhône en aval de Viviers, la stratégie générale du volet inondation du Plan Rhône a été déclinée ainsi :

- Éviter les ruptures de digues,
- Assurer une protection élevée pour les secteurs les plus sensibles,
- Ajuster le niveau de protection entre Beaucaire et Arles en fonction du débit capable dans la traversée d'Arles,
- Sur le petit et grand Rhône, ajuster le niveau de protection pour limiter au maximum les risques de rupture et tendre vers une protection centennale au droit des agglomérations et si possible pour la majorité des secteurs d'habitat diffus,
- Optimiser la gestion des zones d'expansion des crues entre Montélimar et Beaucaire pour chercher à réduire les débits de pointe pour les crues dommageables pour les secteurs les plus sensibles,
- Gérer le comportement du système pour les crues entre le débit de protection et la crue millénale : c'est-à-dire organiser le devenir des débits excédentaires sans risque de rupture de digue et en assurant le ressuyage rapide des terres inondées.



Schéma de gestion des inondations du Rhône Aval.

Cette stratégie a été déclinée dans un 1^{er} temps dans le pré-schéma sud [R 30], validée par le comité de pilotage du Plan Rhône du 7 juillet 2006.

En 2009, le pré-schéma Sud a été intégré au Schéma de Gestion des inondations du Rhône Aval [R 33], qui reprend l'ensemble des actions rattachées au Volet Inondations du Plan Rhône sur le Rhône aval.

Par la suite, il sera fait uniquement référence au schéma de gestion des inondations du Rhône Aval et plus particulièrement aux opérations prévues en aval du Barrage de Vallabrègues.

Une liste de travaux intéressant l'aval de Beaucaire jusqu'à la mer, dont le montant a été estimé à environ 310 millions d'euros HT, a été identifiée et a fait l'objet d'une hiérarchisation en 4 tranches de travaux.

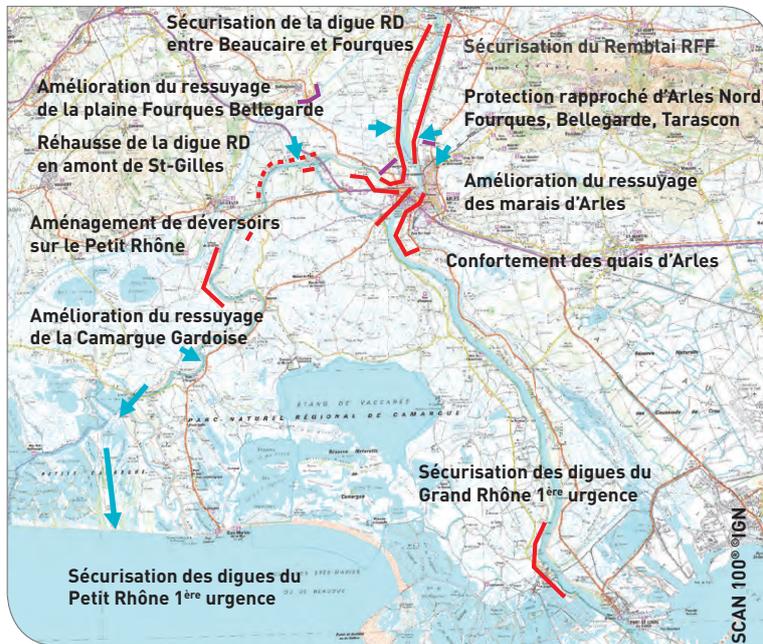
Faisant suite à la sollicitation du préfet coordonnateur de bassin, le comité syndical du SYMADREM, dans sa séance du 17 novembre 2006, a délibéré pour se porter maître d'ouvrage de l'ensemble des actions du Plan Rhône, identifiées sur son périmètre de compétences (soit environ 220 millions d'euros HT).

Suite à la négociation entre les différents partenaires du Plan Rhône, et plus particulièrement l'État et les Régions, un contrat de projet interrégional Plan Rhône (appelé plus loin CPIER) a été signé le 21 mars 2007 [R 32]. Il prévoit sur la période 2007/2013 la réalisation de 182 millions d'euros HT d'investissements sur les ouvrages de protection contre les inondations et de ressuyage des terres de Beaucaire/Tarascon à la Mer. Un montant de 40 millions d'euros HT a également été contractualisé pour les digues "intéressant la sécurité publique" ; terme issu de [R 507], rendu administrativement caduque depuis la parution du décret de 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques [R 511].

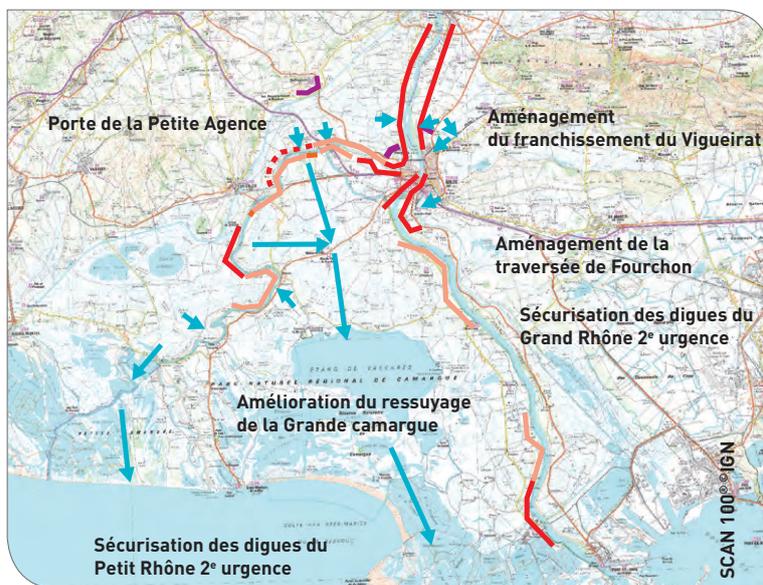
Ce montant correspond approximativement aux estimations sommaires des deux premières tranches du schéma de gestion des inondations du Rhône Aval [R 33]. 90 % des opérations seront assurées sous maîtrise d'ouvrage du SYMADREM.

Aucun montant n'a été affecté par opération. Les demandes de financement des opérations sont instruites et présentées lors de Comités Techniques et Thématiques Inondations (CTTI) et Comités de Programmation Inondation (CPI) pour obtenir la labellisation et le financement des partenaires financiers du Plan Rhône.

Cette contractualisation des montants d'investissement donne l'assurance au SYMADREM de pouvoir réaliser les travaux à concurrence des montants contractualisés.



1^{re} tranche de travaux identifiés dans le schéma de gestion des inondations sur le Rhône Aval (DREAL Rhône-Alpes [33])



2^e tranche de travaux identifiés dans le schéma de gestion des inondations sur le Rhône Aval (DREAL Rhône-Alpes [33])

LES SUITES JURIDIQUES DE LA CRUE DE DÉCEMBRE 2003

Depuis la crue des 3 et 4 décembre 2003, pendant laquelle se sont produites 4 brèches, dont 2 brèches dans les digues du Petit Rhône côté Gard, le SYMADREM fait l'objet de plusieurs requêtes, dont trois où il est directement visé :

- Une 1^{ère} requête concernant la brèche de Claire Farine (requête du GFA Barbier). Le SYMADREM a été condamné en 1^{ère} instance pour défaut d'entretien. Il a fait appel de la condamnation,
- Une 2^{ème} requête concernant la brèche de Petite Argence (requête des Autoroutes du Sud de la France réclamant les pertes d'exploitation occasionnées par l'inondation. La requête contre le SYMADREM porte essentiellement sur le défaut d'entretien normal),
- Une 3^{ème} requête concernant la brèche de Petite Argence (requête des Assurances ayant indemnisé les sinistrés dans un contexte de catastrophe naturelle. La requête contre le SYMADREM porte essentiellement sur le défaut d'entretien normal).

UNE EXPOSITION AU RISQUE DE BRÈCHES INACCEPTABLE

Le système actuel de protection contre les crues du Rhône a été réalisé après les grandes crues de 1840 et 1856. Il est ancien et présente une exposition très forte au risque de brèches. Dans l'état actuel, on estime que le risque de formation de brèche(s), confirmé par les crues de 1993, 1994, 2002 et 2003, est quasi-certain (1 chance sur 2) à certain (1 chance pour 1), respectivement :

- Dans les digues du Petit Rhône ou dans les digues du Grand Rhône, pour les crues de période de retour, supérieures ou égales à 50 ans,
- Et dans les digues du Rhône pour les crues de période de retour, supérieures ou égales à 100 ans.

La probabilité d'avoir dans les 20 prochaines années, durée prévisionnelle de réalisation du Plan Rhône, une crue de période de retour 50 ans est de 1 chance sur 3, ce qui permet de qualifier le risque d'inacceptable vis-à-vis des 110 000 personnes résidant dans le grand delta du Rhône.

L'OBJECTIF DU PROGRAMME DE SÉCURISATION EST D'ÉVITER LES BRÈCHES JUSQU'À LA CRUE EXCEPTIONNELLE DU RHÔNE

Une rénovation complète du système de protection est nécessaire et urgente. Le principal objectif du programme de sécurisation est de construire des ouvrages de protection contre les crues du Rhône capables de résister à la rupture pour une crue exceptionnelle du Rhône, dont le débit de pointe est estimé à 14 160 m³/s à la station de Beaucaire/Tarascon et la période de retour à 1000 ans,

suivant l'analyse statistique définie dans l'Etude Globale Rhône (EGR).

Trois types de digues sont prévus dans le programme de sécurisation :

- Des digues résistantes à la surverse calées à une cote, dite cote de protection, dont le linéaire est estimé toutes rives confondues à environ 25 km,
- Des digues dites "millénales" calées 50 cm au-dessus du niveau d'eau atteint par la crue exceptionnelle, dite crue de sûreté, et dont le linéaire est estimé toutes rives confondues à environ 195 km,
- Des digues de protection rapprochée, appelées également digues de 2^{ème} rang au droit des zones à enjeux sensibles.

LA COTE DE PROTECTION

Elle correspond à la cote des premiers déversements une fois tous les travaux du programme réalisés. L'occurrence de ces derniers peut varier suivant les bras du Rhône. Cette cote de protection correspond approximativement aux points bas du système de protection actuel.

- Sur le Rhône entre Beaucaire et Arles, elle correspond au niveau d'eau atteint pour une crue type décembre 2003 sans brèche, dont le débit de pointe est estimé à $11\,500\text{ m}^3/\text{s} \pm 5\%$ à la station de Beaucaire/Tarascon et dont la période de retour est de l'ordre de 100 ans.
- Sur le Petit Rhône en amont du pont de Sylvéréal, elle correspond au niveau d'eau atteint pour une crue, dont le débit de pointe est estimé à $10\,500\text{ m}^3/\text{s}$ à la station de Beaucaire/Tarascon et dont la période de retour est de l'ordre de 50 ans. En aval de Sylvéréal en rive droite du Petit Rhône, la cote de protection correspond à l'altimétrie des digues actuelles jusqu'au bac du sauvage et l'altimétrie des berges du Rhône en aval du bac du sauvage.
- Sur le Grand Rhône, elle correspond en rive droite au niveau d'eau atteint pour une crue, dont le débit de pointe est estimé à $11\,500\text{ m}^3/\text{s}$ à la station de Tarascon diminuée de 35 cm (période de retour légèrement inférieure à 50 ans) et en rive gauche, au niveau d'eau atteint pour une crue, dont le débit de pointe est estimé à $12\,500\text{ m}^3/\text{s}$ à la station de Beaucaire/Tarascon, ce qui correspond à une période de retour de l'ordre de 250 ans.

Ces cotes de protection ont été fixées sur le Rhône et Petit Rhône par le schéma de gestion des inondations du Rhône aval. Les longueurs des tronçons de digues résistantes à la surverse ont été dimensionnées de façon à n'avoir aucun impact hydraulique notable en amont, en aval et sur la rive opposée par rapport à l'état initial défini par les services de police de l'eau. Des mesures d'annulation et réduction d'impact hydraulique ont néanmoins été nécessaires sur le Rhône pour atteindre les objectifs de protection définis dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval.

LA COTE DE SÛRETÉ OU SÉCURITÉ.

À cette cote, les ouvrages disposent d'une marge de sécurité suffisante pour que la probabilité de formation de brèche soit très faible. L'ouvrage doit répondre à tous les standards de sécurité et de fonctionnalité, que ce soit sur le plan structural (résistance au cisaillement ou au glissement, résistance en fondation, résistance à l'érosion interne ou externe) ou sur le plan hydraulique (pas de débordement des coursiers, ouvrages de dissipation correctement dimensionnés). Cette cote

correspond dans le cadre du programme de sécurisation au niveau atteint par la crue exceptionnelle du Rhône après réalisation des aménagements du Plan Rhône. La période de retour de cette crue est estimée à 1000 ans.

LA COTE DE DANGER

C'est la cote au-delà de laquelle l'ouvrage risque de subir des dégâts majeurs pouvant conduire rapidement à la rupture. Elle correspond à la cote des digues dites "millénales" sécurisées calées par rapport au niveau atteint par la crue exceptionnelle du Rhône après réalisation des aménagements du Plan Rhône (cote de sûreté), assortie d'une revanche de 50 cm.

Cette revanche a été fixée dans le cadre de l'étude de calage [R16] en fonction du niveau maximum acceptable en traversée d'Arles et des objectifs de protection entre Beaucaire et Arles définis dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval [R33]. Elle permet de faire face à des incertitudes de trois types :

- **Incertitudes liées à la modélisation, dont la précision absolue est estimée à 20 cm.**

En traversée d'Arles, la ligne d'eau est fortement "chahutée", du fait :

- De la présence d'un coude prononcé,
- D'un changement de section notable avec un approfondissement important des fonds,
- De la présence de deux ponts (avec chacun deux piles dans le lit du fleuve).

Les lignes d'eau calculées témoignent d'ailleurs de la difficulté de convergence numérique, malgré un maillage particulièrement raffiné en traversée d'Arles (maille de 15 m dans le sens longitudinal – 5 m dans le sens transversal).

- **Incertitudes liées aux caractéristiques hydrologiques et hydrauliques du système, dans une fourchette de 30 cm restants :**

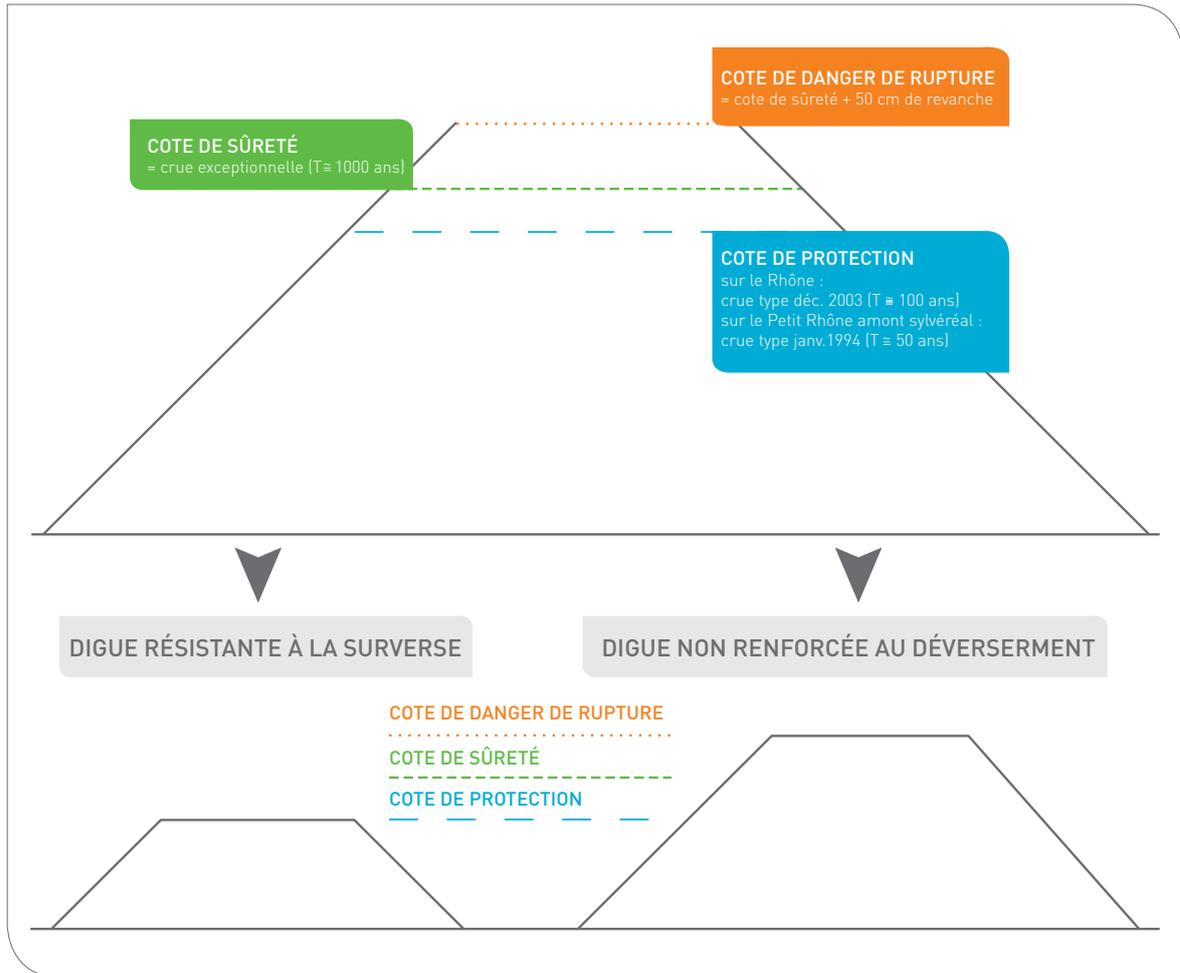
- Rapidité des événements futurs (crue plus ou moins rapide), évaluée à 10 cm environ,
- Évolution incertaine et inconnue des conditions d'écoulement et de la rugosité qui permet de faire face à une augmentation de la rugosité (diminution du coefficient de Strickler de 4 points environ),
- Évolution incertaine et inconnue de la bathymétrie du Rhône, qui permet de faire face à un engravement notable du Rhône, supérieur en valeur absolue à l'incision mesurée entre les campagnes bathymétriques réalisées en 2002 et 2007.

- **Incertitudes liées à l'effet des vagues pouvant être estimées à 35 cm.**

Si l'on considère que ces trois incertitudes sont indépendantes (suivant la formule de propagation des incertitudes, l'incertitude générale correspondant à n incertitudes est la somme quadratique des n incertitudes).

Cette revanche de 50 cm initialement déterminée pour la traversée d'Arles a été étendue à l'ensemble du périmètre par soucis de cohérence.

La figure ci-dessous illustre les choix de conception résultant des objectifs définis dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval.



Différentes cotes retenues dans la conception des ouvrages à réaliser dans le cadre du Plan Rhône

Les ouvrages de protection du présent programme de sécurisation sont donc réalisés avec un double objectif :

- L'absence de déversement sur les ouvrages jusqu'à la cote de protection,
- L'absence de rupture des ouvrages jusqu'à la cote de sûreté.

Pour les crues débordantes (au-delà de la cote de protection), le principe de répartition équitable (50/50) des volumes déversés entre la rive droite et la rive gauche du Rhône et Petit Rhône (amont de Sylvéreal) a été arrêté par l'ensemble des pouvoirs publics et repris dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval. Sur le Grand Rhône, compte tenu de la forte influence du niveau marin au droit des zones à enjeux (Port-Saint-Louis-du-Rhône et Salin-de-Giraud) et compte tenu de ce qu'aucun objectif ne figurait dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval, les cotes de protection ont été déterminées de façon à ce que les espaces habités et les enjeux économiques vulnérables aux inondations du Rhône soient hors d'eau pour une crue de type mai 1856.

Si l'on considère que la durée de vie des ouvrages est de 100 ans, la probabilité d'avoir une crue supérieure à la crue de sûreté sur cette période est de 10 %.

La localisation des ouvrages figure ci-dessous :



PRINCIPES ET AVANTAGES DES DIGUES RÉSISTANTES À LA SURVERSE

Actuellement, dès que l'eau déborde sur les digues ou que la pression est trop élevée, des brèches se forment et laissent pénétrer des volumes d'eau très importants. Lorsque s'amorce la décrue, les entrées d'eau continuent d'envahir la zone protégée (la digue étant ouverte sur toute sa hauteur) et ont pour conséquences de générer des volumes de déversements considérables (227 millions de m³ en décembre 2003) générant des dommages économiques insupportables pour les personnes et les entreprises qu'elles soient agricoles ou industrielles (700 millions d'euros de dommages en décembre 2003).

À ces dommages s'ajoutent le risque sur la sécurité publique. En effet, ces brèches peuvent actuellement se former à n'importe quel endroit, ce qui, sur un linéaire de 210 km de digues fluviales, pose de nombreux problèmes pour la gestion de crise et l'organisation des secours.

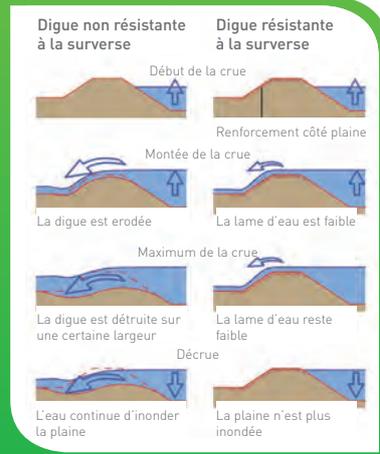
Le rehaussement général des digues, en supprimant les déversements actuels lors des grandes crues, reporte le risque de brèches en amont ou en aval, et n'est pas acceptable sur le plan humain et juridique. Il n'est pas réalisable techniquement. L'inondation est inévitable lors des grandes crues, il y a lieu de sécuriser les digues et notamment de les renforcer pour résister à des déversements sans rupture.

LES DIGUES RÉSISTANTES À LA SURVERSE

Comme leur nom l'indique, sont capables de résister à des débordements, sans se casser et permettent d'éviter la formation de brèches.

Cette résistance à la surverse fait qu'en cas de crue extrême, seule la petite lame d'eau correspondant au pic de crue, surverse sur les digues. Dès que la décrue s'amorce et que le niveau d'eau redescend en-dessous de la crête de la digue, les déversements sur la digue cessent et l'inondation est restreinte.

De multiples modélisations hydrauliques ont été réalisées pour estimer quantitativement le gain apporté par ces ouvrages. Pour une crue équivalente à celle de mai 1856, qui demeure la crue de référence sur le Rhône, on estime qu'une fois toutes les digues sécurisées, les volumes de déversements seraient environ 30 fois moins importants que dans l'état actuel.



GAINS APPORTÉS PAR LE PROGRAMME DE SÉCURISATION

Après sécurisation complète des ouvrages de protection, pour des crues équivalentes à celles de 1993, 1994 et 2002, les seuls déversements (sans brèches) subsistant dans le système seraient en rive droite du Petit Rhône en aval de Sylvéréal. La digue de 1^{er} rang en aval de l'estacade de l'Esquineau sur le Grand Rhône rive droite serait en début de déversement pour une crue type 1994.

Pour une crue équivalente à celle de décembre 2003, des déversements sans brèche seraient occasionnés sur les digues du Petit Rhône à égale répartition entre la Camargue gardoise et la Camargue insulaire. Les volumes de déversements seraient si faibles qu'aucun mas ne serait impacté. Les plaines de Beaucaire et du Trébon seraient hors d'eau. Le village de Salin-de-Giraud, les espaces stratégiques de la Compagnie des Salins du Midi (protégés par la digue de 2^{ème} rang) et le centre-ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône seraient également hors d'eau.

Pour la crue de référence équivalente à celle de mai 1856 dans les conditions d'écoulements actuels, des déversements sans brèche seraient occasionnés sur le Petit Rhône et sur le Rhône entre Beaucaire et Arles ; les centres urbains des communes situées dans les plaines de Beaucaire, du Trébon, de la Camargue gardoise et de la Camargue insulaire seraient hors d'eau. Le village de Salin-de-Giraud, les espaces stratégiques de la Compagnie des Salins du Midi (protégés par la digue de 2^{ème} rang) et le centre-ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône seraient également hors d'eau. Quelques zones urbanisées et quelques mas seraient sous un aléa modéré.

OBJECTIFS ENVIRONNEMENTAUX ET OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

En sus des objectifs de sécurité et de protection, des objectifs environnementaux ont été définis et intégrés dès la conception des ouvrages. Ces objectifs peuvent être résumés en trois principes :

- L'éloignement du fleuve des ouvrages de protection,
- La conservation des enjeux écologiques et en particulier de la ripisylve,
- La réutilisation en remblai des matériaux du site et des matériaux des digues actuelles.

L'éloignement du fleuve des ouvrages de protection :

Les digues sont des ouvrages de génie civil assurant la protection contre les crues. Ils sont soumis à une réglementation stricte depuis 2007 et sont soumis à des règles de conception et d'exploitation difficilement compatibles avec la gestion écologique des berges du Rhône. Si ces dernières ont été largement anthropisées avec la création des épis Girardon au début du XX^e siècle et la création de panneaux de fonds notamment sur le Petit Rhône dans les années 1970, leur intérêt écologique, qu'il convient de préserver, demeure indéniable.

Sur certains tronçons de digue très proches du fleuve, compte tenu de l'impossibilité de sécuriser les ouvrages suivant les objectifs de sécurité projetés sans impact lourd sur la ripisylve des berges (suppression de la ripisylve, mise en place de palplanches ou d'enrochements), le SYMADREM a fait le choix de démonter les ouvrages actuels et de les reconstruire en retrait des berges de façon à ce que des gestions adaptées et respectueuses de l'environnement puissent être mise en place respectivement pour les digues et les berges.

Conservation de la ripisylve :

Quand les digues sont éloignées du fleuve, elles sont très souvent encadrées par la ripisylve et par des caisses d'emprunt. La sécurisation des digues en place impose leur élargissement et la suppression de ces milieux. Le choix retenu par le SYMADREM est d'adapter le tracé des digues à conforter en fonction des enjeux environnementaux tout en limitant la contrainte sur l'agriculture. Ces choix sont détaillés dans le chapitre "impacts et mesures du programme".

Réutilisation en remblai des matériaux du site et des matériaux des digues actuelles :

La sécurisation des digues nécessite l'apport de volumes de matériaux très importants. Le SYMADREM demande à ses maîtres d'œuvre d'intégrer dans la conception des ouvrages la réutilisation des matériaux provenant des digues

actuelles et l'exploitation de matériaux d'emprunts locaux, de façon à réduire l'acheminement de matériaux de carrière, optimiser le coût des ouvrages. En favorisant l'utilisation d'emprunts locaux et en recyclant les matériaux des digues actuelles, le SYMADREM s'inscrit dans une démarche de développement durable alliant économie et environnement.

ADAPTABILITÉ DES OUVRAGES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Compte tenu de la durée de vie des ouvrages à construire, qui est de 100 ans et du changement climatique, une modification des cas de charges retenus dans le dimensionnement des ouvrages, ne peut être écartée sur la durée de vie des ouvrages. Les changements possibles concernent :

- L'hydrologie du Rhône (conditions aux limites amont),
- Le niveau marin (conditions aux limites aval).

En ce qui concerne le niveau marin, des études locales ont été faites par le CEREGE. La construction du scénario de crue exceptionnelle, ayant servi de base à la détermination de la cote de sûreté, a tenu compte d'une montée des eaux de 40 cm (tendance extrême), d'ici à 2050.

Pour appréhender l'impact sur les ouvrages, qu'aurait une modification de l'hydrologie du Rhône, il convient de bien comprendre le fonctionnement du système projeté. Deux types d'ouvrages composent le système de protection (de 1^{er} rang) :

- Des digues résistantes à la surverse calées à la cote de protection,
- Des digues dites millénales calées à la cote de danger correspondant à la cote de sûreté assortie d'une revanche de 50 cm.

La cote de protection et les longueurs des tronçons de digues résistantes à la surverse ont été dimensionnés au regard de l'état initial défini par les services de police de l'eau et de la nécessité d'avoir aucun impact hydraulique notable en amont ou en aval. Ce dimensionnement est donc indépendant de l'hydrologie du Rhône et a été défini en fonction de contraintes réglementaires. Une modification éventuelle de l'hydrologie du Rhône n'aurait, en conséquence, aucun impact sur les objectifs de protection, si ce n'est l'occurrence des crues atteignant les cotes de protection.

La cote de sûreté a été calée en fonction de la crue exceptionnelle du Rhône, dont la période de retour est estimée à 1000 ans. Elle est donc directement dépendante de l'hydrologie du Rhône. Toute évolution hydrologique amènerait soit, à constater que les objectifs de sécurité du programme ont baissé, soit à décider de recalculer les digues millénales.

Le SYMADREM a quantifié très sommairement et de façon très théorique, le recalage altimétrique des digues millénales, qui serait à effectuer en cas de réévaluation du débit de la crue millénale à la station de Beaucaire/Tarascon. Une sur-largeur en crête de digue de 1,0 mètre a été retenue, de façon à permettre, en cas d'une réévaluation sensible de l'hydrologie du Rhône (+2000 m³/s sur la crue millénale, soit 15 %), une mise à la cote des ouvrages sans incidence importante sur les ouvrages et leur fonctionnalité. Pour les digues du Petit Rhône en aval des digues résistantes à la surverse, cet élargissement de la largeur en crête n'est pas considéré comme nécessaire.

MESURES D'ANNULATION ET RÉDUCTION D'IMPACTS LIÉES AU PROGRAMME DE SÉCURISATION

Le programme de sécurisation a quelques impacts hydrauliques négatifs en amont de Beaucaire/Tarascon et notamment dans les plaines de Boulbon et d'Aramon qui sont corrigés par des mesures dites de réduction et d'annulation d'impact. Elles comprennent des rehaussements d'ouvrages de protection, notamment le déversoir de Boulbon, le déversoir de Comps et les digues des Marguilliers et d'Aramon ainsi que des mesures de décaissement dans lit mineur sur des sites largement anthropisés en aval du Barrage de Vallabrègues et juste en aval de la station de Beaucaire/Tarascon. Il est également prévu de créer, en bordure de site NATURA 2000 une île dans le lit moyen du fleuve en rive gauche.

DÉCOUPAGE OPÉRATIONNEL

Étant donné l'ampleur du programme de sécurisation, il a été découpé en 14 opérations, dont 12 sont contractualisées dans le cadre du CPIER Plan Rhône 2007/2013. Leurs localisations figurent sur la carte en page suivante.

MAÎTRISE D'OUVRAGE DES TRAVAUX SUR LES OUVRAGES DE PROTECTION ET OUVRAGES DE RESSUYAGE

Divers accords ou conventions ont été passés entre le SYMADREM et respectivement la CNR, RFF, VNF, BRL et le Parc de Camargue pour la réalisation et l'exploitation des ouvrages.

Le SYMADREM assure la maîtrise d'ouvrage :

- Des opérations de renforcement des digues de 1^{er} rang sur son périmètre de compétence,
- De création de digue de 2^{ème} rang sur son périmètre de compétence (digue nord d'Arles et digue au sud de Salin-de-Giraud),
- Des opérations de gestion et ressuyage des eaux déversées entre Tarascon et Arles,
- Rehaussement des Sites-Industrialo-Portuaires (SIP) de la CNR,
- Confortement et rehaussement des digues d'embouquement des écluses de Beaucaire et d'Arles,
- Création de la digue de 1^{er} rang à l'ouest du remblai ferroviaire Tarascon/Arles.

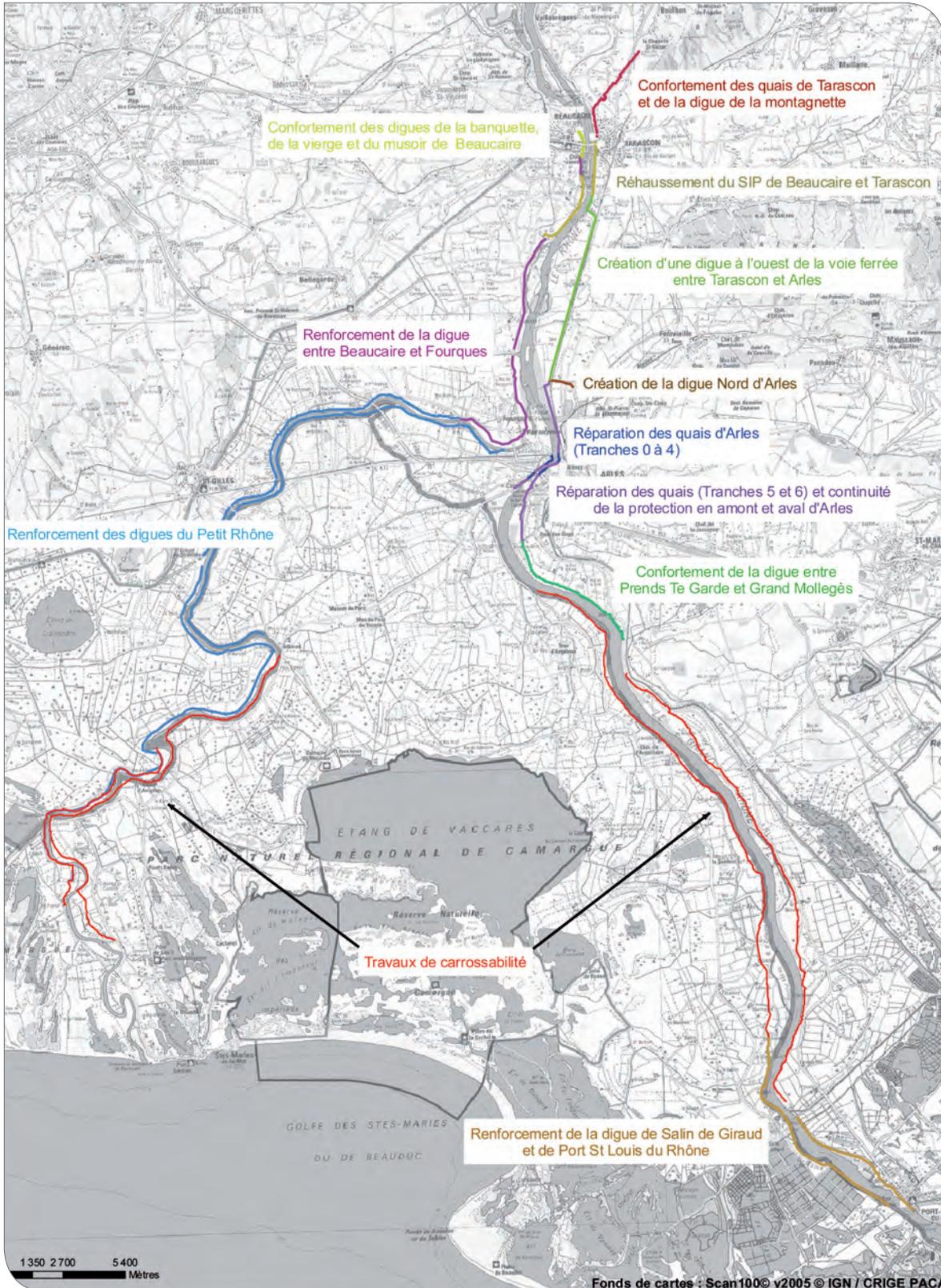
Le Syndicat Intercommunal d'Assainissement Agricole de la Région du Canal de la Navigation assure la maîtrise d'ouvrage de l'opération de gestion et ressuyage des eaux déversées entre Beaucaire et Fourques.

Le Syndicat Mixte de la Camargue Gardoise assure la maîtrise d'ouvrages de l'opération de gestion et ressuyage des eaux déversées entre Beaucaire et Fourques et en aval de l'écluse de Saint-Gilles.

Le Parc Naturel Régional de Camargue assure la maîtrise d'ouvrage de l'opération de gestion et ressuyage des eaux déversées entre en rive gauche du Petit Rhône. Réseau Ferré de France assure la maîtrise d'ouvrage des ouvrages de transparence hydraulique du remblai ferroviaire.

Voies Navigables de France assure la maîtrise d'ouvrage du rehaussement des murs de tête des écluses de Beaucaire, Arles et Saint-Gilles.

BRL assure la maîtrise d'ouvrage du rehaussement des murs de tête de la prise d'eau du Canal Philippe Lamour.



Découpage opérationnel du programme

MONTANT DU PROGRAMME DE SÉCURISATION

Le montant total du programme de sécurisation est estimé à environ 400 millions d'euros. 182 millions d'euros sont d'ores et déjà acquis dans le cadre du CPIER Plan Rhône 2007/2013. Des démarches pour obtenir le complément du financement sont en cours pour envisager dès aujourd'hui l'après 2013.

CONCERTATION ET INFORMATION DU PUBLIC

Dans le cadre de la mise en œuvre du Plan Rhône une gouvernance a été mise en place. Parmi les différentes instances, le Comité Territorial de Concertation (CTC) organisé par la DREAL de bassin et co-présidé par un représentant de l'État et par un élu du Comité de bassin Rhône Méditerranée, est l'instance dédiée à la concertation. De 2005, date d'élaboration du Plan Rhône à 2012, une dizaine de CTC ont été organisées sur le Rhône Aval.

De son côté le SYMADREM organise depuis 2007 des réunions publiques d'information sur les opérations qu'il étudie et réalise. Ce sont plus de 16 réunions publiques qui ont ainsi été organisées en 5 ans, soit une moyenne de 3 réunions par an.

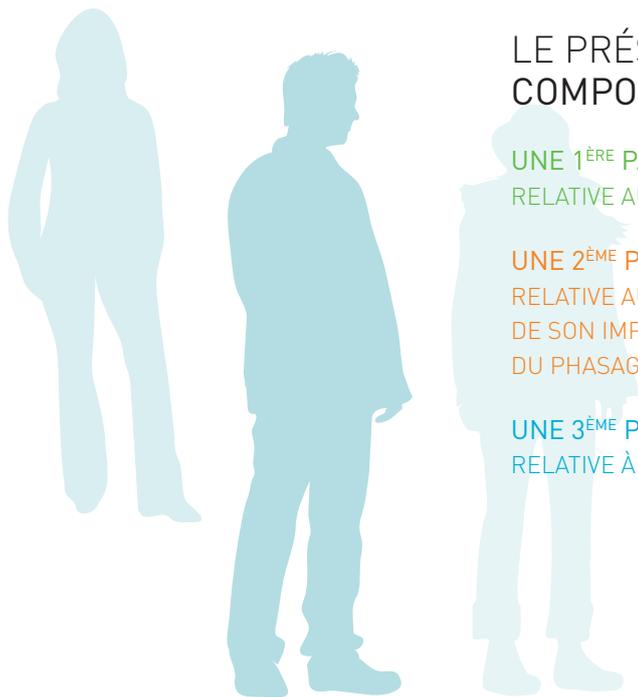
ORGANISATION DU DOCUMENT

LE PRÉSENT DOCUMENT
COMPORTE TROIS PARTIES :

UNE 1^{ÈRE} PARTIE
RELATIVE AU CONTEXTE GÉNÉRAL

UNE 2^{ÈME} PARTIE
RELATIVE AUX OBJECTIFS ET À LA DESCRIPTION DU PROGRAMME,
DE SON IMPACT HYDRAULIQUE ET ENVIRONNEMENTAL ET
DU PHASAGE OPÉRATIONNEL.

UNE 3^{ÈME} PARTIE
RELATIVE À LA DESCRIPTION DES OPÉRATIONS DU PROGRAMME



01

CONTEXTE GÉNÉRAL

LA PREMIÈRE PARTIE COMPORTE 5 CHAPITRES

Le 1^{er} chapitre donne la définition des termes fréquemment utilisés dans le document.

Le 2^{ème} chapitre présente les ouvrages de protection et illustre la multiplicité des gestionnaires d'ouvrages sur certains tronçons, notamment entre Beaucaire et Arles. Il présente également les ouvrages situés en amont du Grand Delta directement impactés par le programme et intégrés par la suite dans le programme de sécurisation.

Le 3^{ème} chapitre dresse un historique de la construction des aménagements, après les grandes crues de 1840 et 1856, à aujourd'hui.

Le 4^{ème} chapitre est dédié aux différents types de crues, à l'hydrologie du Rhône, à la crue des 3 et 4 décembre 2003 et aux crues importantes depuis 1840. Il explique également le fonctionnement hydraulique dans le grand delta du Rhône.

Le 5^{ème} chapitre s'essaie, dans l'attente de l'établissement des revues de sûreté, à une estimation de la cote de sûreté des ouvrages sur la base de l'analyse historique, des conditions d'écoulement actuel et des travaux de confortement réalisés depuis 1993.

LA SECONDE PARTIE COMPORTE 9 CHAPITRES :

Le 1^{er} chapitre rappelle les limites du système actuel, les objectifs de protection et de sécurité retenus, ainsi que les objectifs environnementaux qui ont été intégrés dès la conception des ouvrages. Il expose la méthodologie d'intervention et décrit les aménagements envisagés par tronçons hydrauliques, ainsi que le calage des ouvrages.

Le 2^{ème} chapitre détaille la méthodologie utilisée pour l'établissement des diagnostics de sûreté. Il expose les objectifs de conception et les méthodes utilisées pour déterminer l'impact des ouvrages sur la zone protégée.

Le 3^{ème} chapitre justifie les hypothèses retenues pour l'établissement des modèles hydrauliques et détaille les états d'aménagements modélisés par tronçons du fleuve et zones protégées.

Le 4^{ème} chapitre décrit les impacts du programme au regard notamment du gain sur la sécurité des personnes et gain économique. Il décrit l'impact hydraulique des aménagements dans le lit endigué, ainsi que l'impact et le gain environnemental du programme. Il décrit et justifie également les mesures d'annulation et réduction d'impacts hydraulique et environnemental.

Le 5^{ème} chapitre présente et justifie le découpage en opérations du programme et le phasage retenu pour la réalisation des travaux.

Le 6^{ème} chapitre expose la concertation et l'information du public, mises en place par l'État à partir de 2005 et complétées par le SYMADREM pour ses opérations depuis 2007.

Le 7^{ème} chapitre présente l'organisation de la maîtrise d'ouvrage des travaux et l'exploitation des ouvrages après réalisation des travaux. Il détaille notamment les accords passés entre le SYMADREM et respectivement, la CNR, RFF, l'État, VNE, BRL et la Parc Naturel Régional de Camargue.

Le 8^{ème} chapitre est relatif au financement du programme et identifie les compléments financiers nécessaires à la sécurisation complète des ouvrages.

Le 9^{ème} chapitre rappelle les différentes étapes et réflexions pour la construction du présent programme. Il rappelle les autres solutions étudiées et justifie les choix retenus.

LA TROISIÈME PARTIE COMPORTE 1 CHAPITRE :

Le chapitre décrit succinctement les opérations composant le présent programme, en exposant pour chaque opération : le périmètre, la problématique du tronçon, la description des travaux, l'impact hydraulique propre à l'opération et les mesures éventuelles d'annulation et réduction d'impacts, les dossiers réglementaires proposés au service de police de l'eau et le planning prévisionnel.

02

**OBJECTIFS,
DESCRIPTION,
IMPACTS ET
JUSTIFICATION
DU PROGRAMME
DE SÉCURISATION**

03

**DESCRIPTION
DES OPÉRATIONS**

**LES RÉFÉRENCES AYANT SERVI DE BASE À L'ÉTABLISSEMENT
DU PRÉSENT DOCUMENT SONT CITÉES EN FIN DE RAPPORT**



01

CONTEXTE GÉNÉRAL

PAGE 37

| 2. Définitions

PAGE 43

3. Les ouvrages de protection et les zones protégées

- 3.1 Les zones protégées du Grand Delta du Rhône et les gestionnaires d'ouvrages 43
- 3.2 Présentation du système de protection de Beaucaire/Tarascon à la Mer 46
- 3.3 Classe des digues exploitées par le SYMADREM 57
- 3.4 Présentation des principaux ouvrages hydrauliques en amont de Beaucaire/Tarascon 58

PAGE 61

4. Historique des aménagements

- 4.1 Historique de l'organisation administrative 61
- 4.2 Historique des aménagements en rive droite : rapport d'Alexandre Surell (1844) sur les objectifs de protection et dimensionnement des ouvrages de protection 65
- 4.3 Historique des aménagements en rive gauche 67
- 4.4 Calage historique des digues en 1993 72
- 4.5 Principaux travaux de confortement depuis 1993 72
- 4.6 Conclusion de cette analyse historique 73

PAGE 74

5. Les crues du Rhône et la crue des 3 et 4 décembre 2003

- 5.1 Type de crues 74
- 5.2 Stations limnimétriques et hydrométriques dans le Grand Delta du Rhône 74
- 5.3 Hydrologie du Rhône 76
- 5.4 La crue des 3 et 4 décembre 2003 77
- 5.5 Les grandes crues depuis 1840 83
- 5.6 Les crues post aménagements CNR supérieures à la crue décennale 90
- 5.7 Facteurs ou paramètres impactant la ligne d'eau 93

PAGE 100

6. Estimation sommaire de la cote de sureté des digues

- 6.1 Cotes de protection, de sureté et de danger de rupture 100
- 6.2 Méthode de détermination 102
- 6.3 Données utilisées 103
- 6.4 Estimation sommaire de la cote de sureté au 1^{er} janvier 2011 104

2 DÉFINITIONS

POUR LA BONNE COMPRÉHENSION DU RAPPORT NOUS RETIENDRONS LES DÉFINITIONS SUIVANTES :

PK

Points kilométriques le long du Rhône.

RHÔNE

Bras du Rhône en amont du défluent (PK281). Au XIX^e siècle, ce bras était également appelé Grand Rhône.

GRAND RHÔNE

Bras principal du Rhône en aval du défluent (bras où transite en crue environ 88 % du Rhône) depuis le PK 281 jusqu'au PK 330.

PETIT RHÔNE

Bras du Rhône en aval du défluent (bras où transite en crue environ 12 % du Rhône) depuis le PK 281 jusqu'au PK 337.

GRAND DELTA DU RHÔNE

Extension du delta camarguais aux villes de Beaucaire et Tarascon. Le Grand Delta du Rhône couvre les plaines de Beaucaire, du Trébon, les anciens marais d'Arles, les marais de la vallée des Baux, la Camargue insulaire, la Camargue gardoise et le Plan du Bourg.

RIVE DROITE

Partie du Grand Delta située dans le département du Gard.

RIVE GAUCHE

Partie du Grand Delta située dans le département des Bouches-du-Rhône.

LIT PROTÉGÉ OU ZONE PROTÉGÉE

Zone inondable située derrière les digues (lit majeur inactif). Conformément à la circulaire du 8 juillet 2008 relative au contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques au titre des dispositions mises en place par le décret 2007-1735 du 11 décembre 2007, elle est définie comme la zone soustraite à l'inondation qui serait causée par la crue de projet de protection de l'ouvrage. Ce n'est pas la zone, plus restreinte, où suite à une rupture de la digue la population serait en

danger du fait des hauteurs ou des vitesses d'eau. Ce n'est pas non plus la zone inondée pour la crue de référence du PPRI, par les plus hautes eaux connues, la crue centennale ou l'emprise maximale inondable.

Les contours de cette zone ont été établis à partir des données topographiques fournis dans la Base de Données Topographiques du Plan Rhône établi par l'IGN. On notera que très localement certaines limites de la zone protégée n'ont pas été pris en compte dans la Base de Données Topographiques du Plan Rhône (ex : limite Est des marais de la vallée des Baux).

LIT ENDIGUÉ

Secteur situé à l'intérieur des digues, donc non protégé par les digues. Il comprend le fleuve (lit mineur et lit moyen) et le ségonal (lit majeur actif).

LÔNE

Une lône (du franco-provençal lona, issu du germanique lûnho) est un bras mort d'un fleuve qui reste en retrait du lit de celui-ci et se trouve alimenté en eau par infiltration ou en période de crue, au cours desquelles son tracé peut alors être modifié. Le terme lône était utilisé à l'origine pour le Rhône, mais il est aussi étendu à d'autres cours d'eau notamment l'Isère (source Wikipédia).

ENTRETIEN

Action de maintenir un ouvrage en bon état de façon à ce qu'il conserve sa fonction.

RÉPARATION

Action de réparer quelque chose qui a été endommagée et d'en restaurer l'état antérieur à l'endommagement.

CONFORTER

Renforcer, rendre plus solide.

RENFORCER

Conforter, rendre plus fort, rendre plus solide.

POUR CE QUI CONCERNE LE DOMAINE DES DIGUES :

LES TRAVAUX D'ENTRETIEN ET DE RÉPARATION

Ils peuvent être considérés comme faisant partie de la même mission et consistent en : **le maintien de la digue dans son état initial.**

LES TRAVAUX DE CONFORTEMENT OU DE RENFORCEMENT

Ils peuvent être considérés comme synonymes et consistent à **augmenter le niveau de sûreté ou de protection** de l'ouvrage par rapport à son état initial.

Cette différenciation entre types de travaux figure à l'article R122-2 du code de l'environnement, qui dispose que :

*“Ne sont pas soumis à la procédure d'étude d'impact **les travaux d'entretien et de grosses réparations**, quels que soient les ouvrages ou aménagements auxquels ils se rapportent. **Les travaux de modernisation et de renforcement** mentionnés à l'article R. 122-5 ne font l'objet d'une étude d'impact que lorsqu'ils dépassent les seuils fixés à l'article R. 122-8.”*

DIGUE

Ouvrage destiné à contenir les eaux, à protéger contre leurs effets ou à guider leur cours.

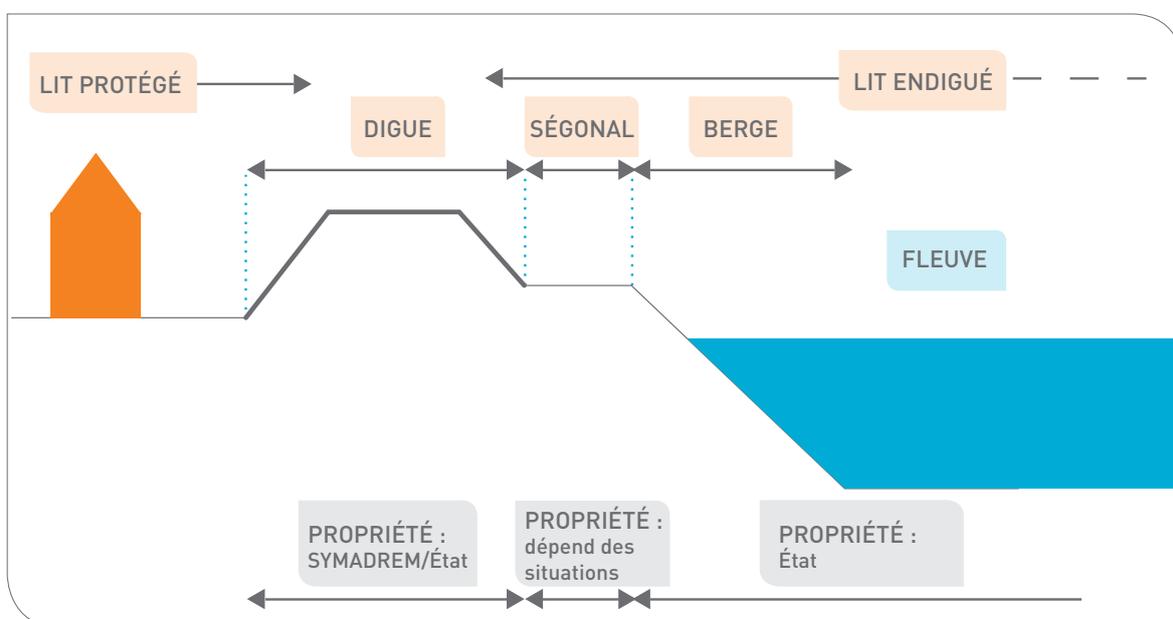
BERGE

Bord du lit mineur d'un cours d'eau.

La figure ci-dessous illustre la différence entre la berge et la digue et les limites de propriétés et de compétences entre les différents acteurs. Le ségonnal est l'espace compris entre la berge et la digue.

BRÈCHE

Ouverture dans le corps de digue d'un talus à l'autre. La digue ne remplit plus son rôle.



Propriétaire et exploitant des digues et berges dans le Grand Delta du Rhône

BRÈCHE PARTIELLE

Brèche sur une partie supérieure de la hauteur de digue.

BRÈCHE TOTALE

Brèche sur toute la hauteur de digue.

MÉCANISME OU PROCESSUS DE BRÈCHE

Série de processus physiques, mécaniques et hydrauliques, qui aboutit à la formation d'une brèche dans un ouvrage.

RUPTURE

Synonyme de brèche dans le présent document.

MODE DE RUPTURE

Mécanisme dont le processus principal est induit par un mode d'action bien défini : surverse, érosion interne, affouillement ou glissement.

DÉGRADATION

Détérioration d'une propriété physique ou fonctionnelle de la digue.

DÉSORDRE

Signe observable ou quantifiable d'une dégradation de l'état initial de la digue.

EGR

Étude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône réalisée de 1998 à 2002.

PLAN RHÔNE

Document d'objectifs qui s'organise autour de six volets thématiques : Patrimoine et culture ; inondations ; qualité des eaux ; ressources et biodiversité ; énergie ; transport fluvial ; tourisme, et mis en œuvre à travers le contrat de projet inter-régional du Plan Rhône, qui a été signé le 21 mars 2007 entre l'État, les Régions Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte-D'azur, Rhône-Alpes, Bourgogne, Franche-Comté, la Compagnie Nationale du Rhône, l'Agence de l'eau, l'ADEME et Voies Navigables de France.

PRÉ-SCHÉMA SUD

Le Pré-Schéma Sud correspond à la stratégie globale de prévention des inondations du plan Rhône de Viviers à la Mer avec une priorité pour l'aval de Beaucaire. Il a été établi par la DREAL de bassin et est téléchargeable sur le lien suivant :

http://www.rhone-alpes.ecologie.gouv.fr/include/rhone/pdf/Rapport_preschema_juin2006V7_1.pdf

Le Pré-schéma sud a été validé le 7 juillet 2006 par le comité de pilotage du Plan Rhône et constitue la feuille de route du SYMADREM pour les 20 prochaines années, qui a accepté par délibération du comité syndical en date du 17 novembre 2006, d'être maître d'ouvrage des actions du Plan Rhône, identifiées sur son périmètre de compétences. En 2009, le Pré-schéma sud a été intégré au **Schéma de Gestion des Inondations du Rhône Aval**, qui reprend l'ensemble des actions rattachées au Volet Inondations du Plan Rhône sur le Rhône aval.

DIGUE NON RENFORCÉE AU DÉVERSEMENT

Digue, dont le parement aval n'est pas conçu pour supporter un déversement sans rupture.

“DIGUE MILLÉNALE”

Appellation retenue par le SYMADREM pour qualifier les digues non renforcées au déversement calées au niveau d'eau atteint par une crue exceptionnelle du Rhône, assorti d'une revanche de sécurité.

DIGUE RÉSISTANTE À LA SURVERSE

Digue renforcée pour permettre un déversement sans rupture pour toutes les gammes de crues inférieures ou égales à la crue de sûreté.

CRUE TYPE JANVIER 1994

C'est la crue de janvier 1994 sans brèche dans le système. Le débit de pointe de cette crue a été estimé par la CNR à 11 000 m³/s et à 10500 m³/s par l'EGR. La courbe de tarage de la station de Beaucaire/Tarascon modifiée suite à la conférence de consensus, donnerait dans l'état actuel, un débit de pointe de 10 000 m³/s.

CRUE TYPE 10 500

C'est la crue de janvier 1994, dont l'hydrogramme de crue a été translaté pour avoir un débit de pointe à la station de Beaucaire/Tarascon de 10 500 m³/s. La période de retour de cet événement est légèrement supérieure à 50 ans.

CRUE TYPE DÉCEMBRE 2003

C'est la crue des 3 et 4 décembre 2003 sans brèche dans le système. Le débit de pointe de cette crue a été estimé par la conférence de consensus, à 11 500 m³/s \pm 5 % à la station de Beaucaire/Tarascon. La période de retour de cet événement, est légèrement supérieure à 100 ans, suivant l'analyse statistique définie dans l'Étude Globale Rhône (EGR).

CRUE DE RÉFÉRENCE

C'est la crue retenue par les services de l'État pour l'élaboration des Plans de Préventions des Risques Inondations (PPRI). Elle correspond à la crue du 31 mai 1856 dans les conditions d'écoulement actuel et sans brèche dans le système. Le débit de pointe de cette crue a été estimé, par Pardé, à 12 500 m³/s à la station de Beaucaire/Tarascon. La période de retour attribuée à cet événement est d'environ 250 ans, suivant l'analyse statistique définie dans l'Étude Globale Rhône (EGR).

CRUE EXCEPTIONNELLE

Dans l'EGR, elle est appelée crue très forte du Rhône. Le débit de pointe de cette crue est de 14 160 m³/s à la station de Beaucaire/Tarascon. La période de retour attribuée à cet événement est de 1000 ans, suivant l'analyse statistique définie dans l'Étude Globale Rhône (EGR).

CRUE CINQUANTENNALE

C'est la crue de période de retour 50 ans ; soit qui a 1 chance sur 50, d'être dépassée, chaque année. Le débit de la crue cinquantennale est estimé, dans l'EGR, à 10 400 m³/s à la station de Beaucaire/Tarascon.

CRUE CENTENNALE

C'est la crue de période de retour 100 ans ; soit qui a 1 chance sur 100, d'être dépassée, chaque année. Le débit de la crue centennale est estimé, dans l'EGR, à 11 300 m³/s à la station de Beaucaire/Tarascon.

CRUE MILLÉNALE

C'est la crue de période de retour 1000 ans ; soit qui a 1 chance sur 1000, d'être dépassée, chaque année. Le débit de la crue millénaire est estimé, dans l'EGR, à 14 160 m³/s à la station de Beaucaire/Tarascon. C'est la crue exceptionnelle ou très forte du Rhône.

Les trois définitions ci-après sont issues d'une publication faite par le CEMAGREF et HYDROCOOP lors du colloque du Comité Français des Barrages et Réservoirs – Société Hydrotechnique de France en janvier 2009 sur

“le fonctionnement et dimensionnement des évacuateurs de crues” [R202]. Cette publication a, entre autres, pour objectif de dresser un parallèle entre les digues et les barrages.

Ces définitions sont essentielles pour la bonne compréhension du rapport, car elles ont une application différente qu'on soit dans un système endigué comportant des déversoirs de sécurité (ce que le Plan Rhône prévoit) ou dans un système endigué sans déversoir de sécurité (ce qui est le cas actuel).

COTE DE PROTECTION

Cote du déversoir de sécurité d'une digue ou cote de la crête de digue aménagée pour résister à la surverse (cote variable le cas échéant de l'amont vers l'aval).

COTE DE SÛRETÉ (PLUS HAUTES EAUX) OU COTE DE SÉCURITÉ

Cote de la retenue (cas des barrages) ou de la rivière (cas des digues) lors des crues, laissant encore une revanche pour se protéger de l'effet des vagues. À cette cote, l'ouvrage doit répondre à tous les standards de sécurité et de fonctionnalité, que ce soit sur le plan structural (résistance au cisaillement ou au glissement, résistance en fondation, résistance à l'érosion interne ou externe) ou sur le plan hydraulique (pas de débordement des coursiers, ouvrages de dissipation correctement dimensionnés). Cote où l'on dispose encore de marges de sécurité avant d'atteindre des états-limite de rupture.

COTE DE DANGER DE RUPTURE

Cote au-delà de laquelle l'ouvrage risque de subir des dégâts majeurs pouvant conduire rapidement à la rupture. L'atteinte de cette cote constitue un état-limite ultime pour l'ouvrage.

COTE DE SUBMERSION

Cote de la crête d'une digue. Dans un système sécurisé, elle correspond à la cote de protection pour les digues résistantes à la surverse et à la cote de danger pour les digues non renforcées au déversement. Dans un système non sécurisé, comme c'est le cas actuellement, elle correspond à la cote de protection apparente mais en aucun à la cote de protection réelle qui est calée en dessous de cette cote ou à la cote de danger qui peut être également située en dessous de cette cote.

STATION DE BEAUCAIRE/TARASCON

Cette station de mesure est située en aval de la confluence du Vieux Rhône (transitant par le barrage de Vallabrègues) et du Rhône dérivé (transitant par l'usine hydro-électrique de Beaucaire) au Point Kilométrique 269,6. Elle est dotée d'une courbe de tarage et permet de mesurer les débits du Rhône en tête du Grand Delta. Elle est parfois appelée station de Tarascon, qui est l'ancienne dénomination utilisée par le service de prévision des crues du Grand Delta ou station de Beaucaire, qui est l'ancienne dénomination utilisée par la CNR.

3 LES OUVRAGES DE PROTECTION ET LES ZONES PROTÉGÉES

→ 3.1. LES ZONES PROTÉGÉES DU GRAND DELTA DU RHÔNE ET LES GESTIONNAIRES D'OUVRAGES

Le “Grand Delta du Rhône” est constitué de quatre zones protégées, considérées comme hydrauliquement liées :

- **La rive gauche du Rhône en amont du canal du Rhône à Fos** comprenant notamment les centres urbains de Tarascon et d'Arles, la plaine de Boulbon, la plaine de Trébon, les anciens marais d'Arles et marais de la Vallée des Baux, le Plan du Bourg et le village de Mas Thibert. La population protégée (hors période estivale) est estimée à 52 000 personnes. Cette zone protégée englobe 16 communes, dont 13 protégées par les ouvrages du SYMADREM.
- **La rive gauche du Grand Rhône en aval du canal du Rhône à Fos** comprenant notamment le centre urbain de Port-Saint-Louis-du-Rhône. La population protégée (hors période estivale) est estimée à 9 000 personnes.
- **La rive droite du Rhône et Petit Rhône** correspondant à la zone inondée en novembre 1840 et couvrant 11 communes du Gard. Les trois unités de cette zone sont la plaine de Beaucaire, la Camargue Gardoise et la Camargue Saintoise. La population protégée (hors période estivale) est estimée à 45 000 personnes.
- **La Camargue insulaire** comprenant notamment les centres urbains des Saintes-Maries-de-la-Mer, et des villages de la commune d'Arles (Saliers, Sambuc, Salin-de-Giraud, Albaron...). La population protégée (hors période estivale) est estimée à 7 000 personnes.

Ce territoire soumis au risque inondation du Rhône et de la Mer est **protégé par environ 225 km de digues fluviales et 50 km de digues maritimes.**

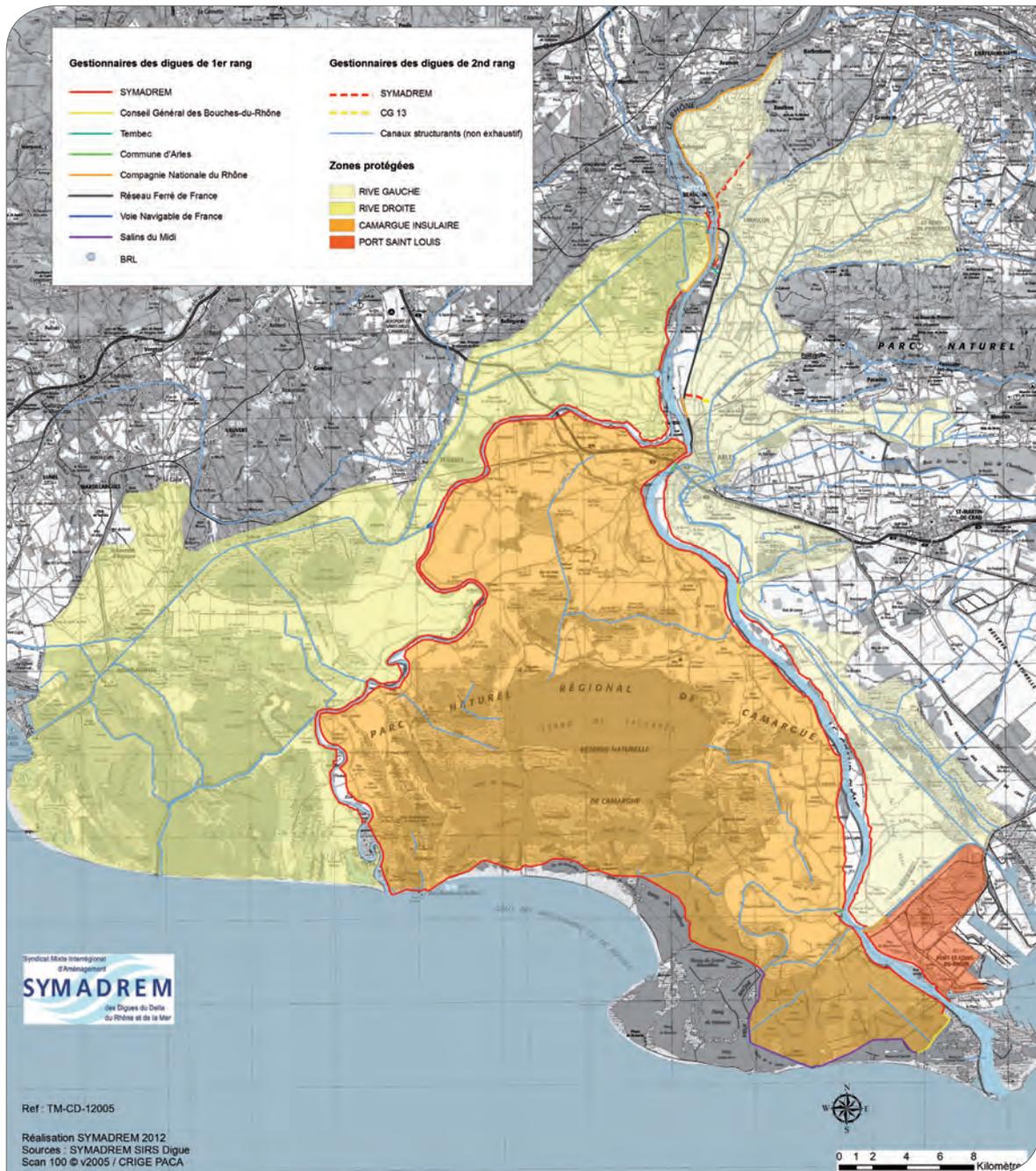
Le SYMADREM assure conformément à ces statuts, depuis 2005, l'exploitation de la majeure partie de ces ouvrages, à savoir : environ 207 km de digues fluviales (dont 5,5 km d'ouvrages maçonnés) et 25 km de digue à la mer. Les autres gestionnaires d'ouvrages, sont :

- **Réseau Ferré de France (RFF)**, qui gère le remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles sur un linéaire d'environ 10 km.
- **La Compagnie Nationale du Rhône (CNR)**, qui gère les Sites-Industrialoportuaires de Beaucaire, Tarascon et Arles (linéaire total d'environ 7 km), aménagés en 1970.

- **Voies Navigables de France** (VNF) qui gère les écluses de Beaucaire, d'Arles et de Saint-Gilles et les digues d'embouquement des écluses (environ 200 mètres), **ainsi que la partie basse des quais du Rhône dans traversée d'Arles** et le quai du 8 mai 1945 en totalité (environ 3 km).
- **La Compagnie des Salins du Midi et le Conservatoire du Littoral**, qui gère la digue à mer depuis le Rhône vif jusqu'à son raccordement à l'est avec la digue du Grand Rhône rive droite, sur une longueur d'environ 25 km.
- **Le Conseil Général des Bouches-du-Rhône**, qui gère 3 tronçons routiers : la RD35 en rive gauche du Grand Rhône, le RD36d sur le Grand Rhône rive droite, le RD85 en rive droite du Petit Rhône.

En amont du Grand Delta et en aval du barrage de Vallabrègues sont comprises deux plaines : La plaine de Boulbon et la plaine d'Aramon où sont situées 7 communes concernées par le projet : Aramon, Comps, Théziers, Montfrin, Boulbon, Vallabrègues, Saint-Pierre-de-Mézoargues. La population établie en zone inondable est estimée à **8 000 personnes** (hors période estivale).

Le plan de situation ci-après localise l'emprise présumée des différentes zones protégées dans le Grand Delta du Rhône et la localisation de l'ensemble des ouvrages de protection contre les crues du Rhône. Il illustre notamment la multiplicité des propriétaires et gestionnaires d'ouvrages entre Beaucaire et Arles.



Les ouvrages de protection dans le Grand Delta du Rhône, les gestionnaires et les différentes zones protégées



Digue de la Banquette à Beaucaire confortée en 2009 (SYMADREM)

→ 3.2. PRÉSENTATION DU SYSTÈME DE PROTECTION DE BEUCAIRE/TARASCON À LA MER

3.2.1. OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DU RHÔNE EN RIVE DROITE DU RHÔNE ET DU PETIT RHÔNE

En rive droite du Rhône et du Petit Rhône, le système de protection du Delta du Rhône s'étend du rocher du château de Beaucaire au bac du sauvage. La protection est assurée successivement, de l'amont vers l'aval, par les ouvrages suivants (le gestionnaire de l'ouvrage figure entre parenthèses) :



Digue de la Banquette confortée et portes coulissantes rehaussées en 2009 (SYMADREM)



Digue du musoir – secteur compris entre le pont ferroviaire et l'écluse de Beaucaire, confortée en 2011 (SYMADREM)



Digue de la Vierge – secteur compris entre le pont de Beaucaire et le Viaduc Ferroviaire confortée en 2011 (SYMADREM)



Écluse de Beaucaire (VNF)



Digue d'embouquement Ouest de l'écluse de Beaucaire (VNF)



Digue dite "des Italiens" (CNR)



Prise d'eau du canal des Italiens englobée dans la digue des Italiens (ASA Nourriguier)



SIP de Beaucaire (CNR)



Amont du Site-Industrialo-Portuaire (SIP) de Beaucaire (CNR)



Digue dite du fer à cheval raccordement SIP aux digues du SYMADREM (CNR)



Digue du Rhône du fer à cheval à la station BRL (SYMADREM)



Digue du Rhône du fer à cheval à la station BRL (SYMADREM)



Prise d'eau sur le Rhône (BRL)



Digue du Rhône au droit de Fourques (SYMADREM)



Digue du Petit Rhône de Grand Cabane à l'Écluse de Saint-Gilles confortée en 2007 (SYMADREM)



Écluse de Saint-Gilles (VNF)



Digue du Petit Rhône en aval de l'Écluse de Saint-Gilles (SYMADREM)



Digue du Petit Rhône de l'aval du Pont de Sylvérial au Mas du Juge rendue carrossable en 2010 (SYMADREM)



Digue du Petit Rhône en aval de Capette rendue carrossable en 2010 (SYMADREM)

3.2.2. OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DU RHÔNE EN RIVE GAUCHE DU RHÔNE ET DU GRAND RHÔNE

En rive gauche du Rhône et du Grand Rhône, le système de protection s'étend de l'amont de la plaine de Boulbon au canal du Rhône à Fos. La protection est assurée successivement de l'amont vers l'aval, par les ouvrages suivants (le gestionnaire figure entre parenthèses) :



Digues de la CNR (CNR)



Déversoir de Boulbon (SIHTB/CNR)



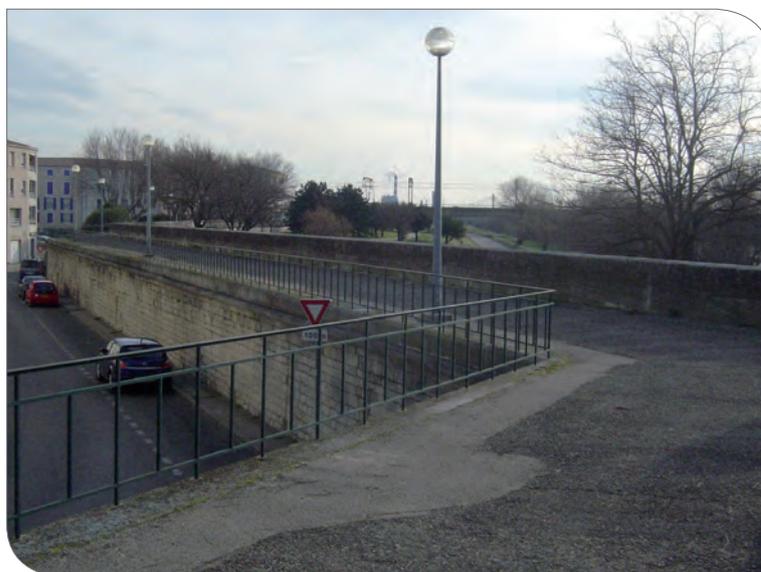
Mur du Château Royal de Provence (SYMADREM)



Digue de la montagnette adossée au remblai routier le long du RD81 (SYMADREM)



Raccordement digue de la montagnette/ Mur du Château Royal de Provence (SYMADREM)



Quais de Tarascon (SYMADREM)



SIP de Tarascon – aval viaduc ferroviaire à RD99 (CNR)



Rideau Tembec (SYMADREM)



Digues de protection des trémies du remblai ferroviaire relayant la protection au droit des passages sous voie – Elles sont au nombre de trois entre Tarascon et Arles (SNCF)



Remblai ferroviaire Tarascon/Arles (RFF)



Remblai du Mas Molin (à gauche) reliant le SIP d'Arles au remblai ferroviaire (CNR)



SIP d'Arles à gauche (CNR)



Chemin des ségonnaux (ville d'Arles) et remblai ferroviaire en aval du SIP d'Arles (RFF)



Digue de Barriol confortée en 2007 (SYMADREM)



Quai du 8 mai 1945 (VNF)



Quai de la roquette conforté en 2009 (partie basse : VNF – partie haute côté Rhône SYMADREM et partie haute côté ville – ville d'Arles)



Quai Marx Dormoy (SYMADREM)



Remblai IRPA (ville Arles/VNF/CG13)



Écluse d'Arles (VNF)



Digue Est d'emboisement de l'écluse d'Arles (VNF)



Digue de Prends-té-Garde à Grand Mollèges (SYMADREM)



RD35 (CG13)



Digue en aval du RD35 rendue carrossable en 2010 (SYMADREM)

La zone protégée de la rive gauche du Rhône et du Grand Rhône compte deux digues de protection rapprochée contre les crues du Rhône :

- La digue de Montagnette.
- La digue Nord d'Arles.

La digue dite de la Montagnette est, depuis les aménagements de Vallabrègues réalisés au début des années 1970, une digue de 2^{ème} rang. Elle vient se raccorder au système de protection de 1^{er} rang juste en aval du déversoir de Boulbon.



Digue de la Montagnette – talus amont (SYMADREM)



Digue de la Montagnette – talus aval (SYMADREM)

La digue nord d'Arles est située 100 mètres en amont du remblai du Mas Molin. Elle s'étend du canal du Vigueirat au remblai de la voie ferrée Paris / Lyon / Marseille. Elle est composée de deux ouvrages, à savoir :

- Le prolongement de la rocade de contournement d'Arles de la RD 570n, sous maîtrise d'ouvrage du Conseil Général des Bouches du Rhône.
- Une digue reliant ce remblai routier au remblai de la voie ferrée, dénommé "barreau de fermeture", sous maîtrise d'ouvrage SYMADREM.



Digue nord d'Arles – Barreau de fermeture (SYMADREM)



Prolongement de la rocade de contournement d'Arles (CG13)

3.2.3. OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DU RHÔNE EN AVAL DU CANAL DU RHÔNE À FOS

Les digues du canal du Rhône à Fos exploitées par la CNR constituent la limite sud de la zone protégée. En aval de ces digues, la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône est protégée par des digues confortée de 1998 à 2006.



Prise d'eau du canal du Rhône à Fos (CNR)



Digue de Port-Saint-Louis confortée en 2006 (SYMADREM)



Digue du défluent confortée en 2000 (SYMADREM)



Digue de raccordement du défluent aux quais confortée en 2009 (SYMADREM)



Quai de la gare maritime (VNF/RF)F)

3.2.4. OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DU RHÔNE DE LA CAMARGUE INSULAIRE

La Camargue insulaire est protégée par :

- La digue dite du défluent qui s'étend du pont des Lions en rive droite du Grand Rhône au Pont suspendu en rive gauche du Petit Rhône,
- La digue du Petit Rhône rive gauche du Pont suspendu à l'embouchure, où elle se raccorde à la digue à la Mer,
- La digue du Grand Rhône rive droite du Pont des Lions au Grau du Piémanson, où elle se raccorde à la digue à la Mer.

En rive droite du Grand Rhône : le système de protection s'étend du Pont des Lions au grau du Piémanson. La protection est assurée successivement de l'amont vers l'aval par les ouvrages suivants :



Quai Saint Pierre conforté en 2009 (partie basse VNF / partie haute SYMADREM / côté ville commune d'Arles)



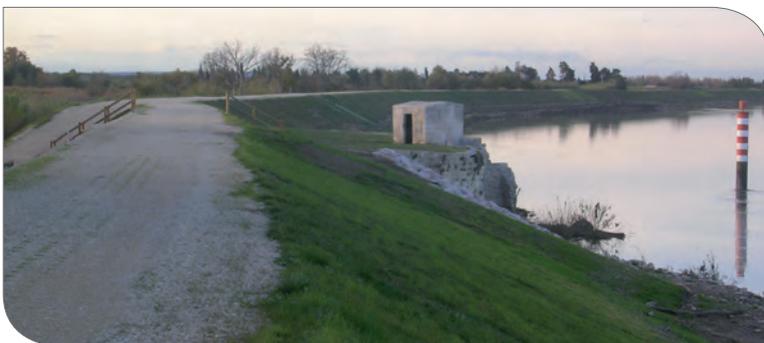
Quai trinquetaille conforté en 2010 (partie basse VNF / partie haute SYMADREM / côté ville commune d'Arles)



Quai de la gabelle (SYMADREM) conforté en 2010



Digue des Papeteries Etienne (SYMADREM)



Digue d'Emmaüs à Petite Montlong confortée de 1998 à 2006 (SYMADREM)



Digue de Petite Montlong à la Louisiane rendue carrossable en 2010 (SYMADREM)



Digue de Salin-de-Giraud traversée du village – travaux de 2^e urgence suite à la crue de déc. 2003 (SYMADREM)



Route communale au droit de Chamone (ville d'Arles)



Digue de Salin-de-Giraud traversée du village – travaux de 2^e urgence suite à la crue de déc. 2003 (SYMADREM)



Digue de Salin-de-Giraud en aval du village (SYMADREM)



Digue de trinquetaille confortée en 1997 (SYMADREM)

En rive gauche du Petit Rhône :
le système de protection s'étend du Pont suspendu à l'embouchure. La protection est assurée successivement de l'amont vers l'aval par les ouvrages suivants :



Digue de Cazeneuve confortée en 1997 (SYMADREM)



Digue de Cazeneuve à Albaron rendue carrossable en 1993 (SYMADREM)



Digue d'Albaron confortée en 2005 (SYMADREM)



Digue d'Albaron au Mas d'Icard rendue carrossable en 2010 (SYMADREM)



Digue aval Mas d'Icard (SYMADREM)

→ 3.3. CLASSE DES DIGUES EXPLOITÉES PAR LE SYMADREM

La réglementation liée aux digues s'est fortement accélérée depuis 1994. Un recueil des textes a été établi par IRSTEA (ex Cemagref), il figure dans le chapitre relatif aux références. Les principales phases sont résumées ci-dessus :

- **1994** : premiers textes suite aux inondations de Vaison-la-Romaine en 1992 et de Camargue d'octobre 1993 et janvier 1994,
- **De 1994 à 2002** : parutions de circulaires notamment la circulaire du 30 avril 2002 qui préconise la réalisation de déversoirs de sécurité sur les digues,
- **En 2002** : décret et arrêté donnant une existence réglementaire aux digues,
- **En 2003** : circulaire sur les digues intéressant la sécurité publique,
- **En 2007** : décret relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques,
- **De 2007 à 2010** : arrêtés pris en application du décret du 11 décembre 2007.

Le décret du 11 décembre 2007 marque une évolution majeure dans cette évolution. Il fixe des obligations aux gestionnaires d'ouvrages hydrauliques en termes d'entretien, gestion et surveillance et introduit notamment la notion de niveau de sûreté.

Une déclaration d'existence des ouvrages du SYMADREM en application de l'article L.214-6 du code de l'environnement a été adressée respectivement au préfet du Gard le 19 mars 2009 et des Bouches-du-Rhône le 26 mars 2009.

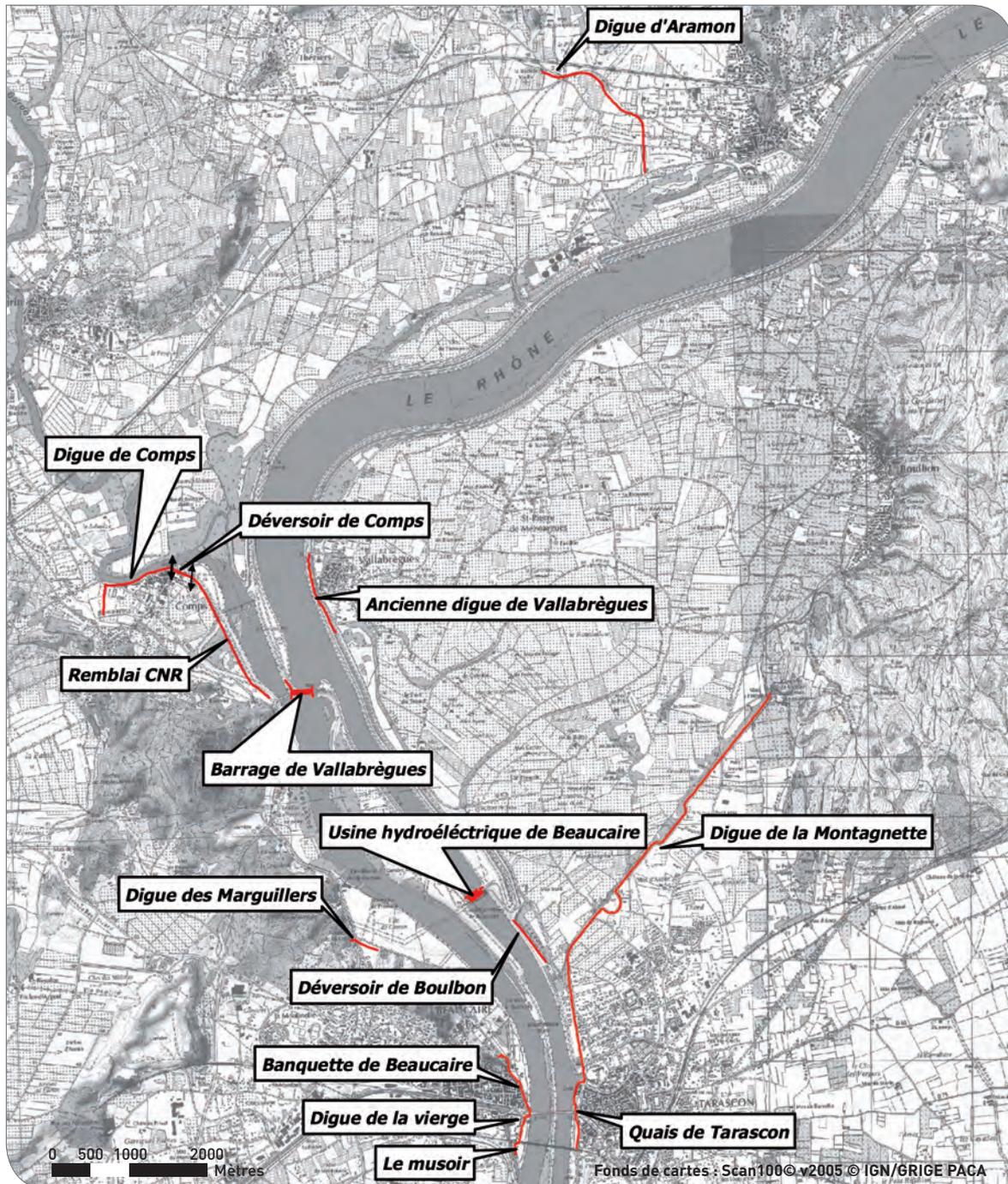
Par ailleurs, 3 arrêtés de classement ont été pris au regard du décret précité :

- **L'arrêté préfectoral n°2009-243-3 du 31 août 2010** de prescriptions spécifiques relatives à la déclaration reconnue au titre de l'article L.214-6 du code de l'environnement, à l'exploitation et à la surveillance de la digue de Beaucaire à la Mer – Préfecture du Gard. Cet arrêté fixe en **classe A** les digues du Rhône et du Petit Rhône côté Gard,
- **L'arrêté préfectoral n°16-2010 PC du 22 mars 2010** de prescriptions complémentaires relatives à l'exploitation et à la surveillance des digues protégeant la Camargue insulaire, rive droite du Rhône et rive gauche du Petit Rhône – Préfecture des Bouches-du-Rhône. Cet arrêté fixe en **classe B** les digues du Petit Rhône rive gauche et du Grand Rhône rive droite,
- **L'arrêté préfectoral du 20 octobre 2011** de prescriptions complémentaires relatives à l'exploitation et à la surveillance des digues protégeant la rive gauche du Rhône de Tarascon à Arles – Préfecture des Bouches-du-Rhône. Cet arrêté fixe en **classe A** la digue de la Montagnette, les quais de Tarascon et les quais d'Arles en rive gauche du Rhône.

À la date du 31 mars 2012, les digues du Grand Rhône rive gauche en aval de l'écluse d'Arles et les digues du Petit Rhône rive droite en aval de Sylvéréal n'ont pas fait l'objet d'arrêté de classement.

→ 3.4. PRÉSENTATION DES PRINCIPAUX OUVRAGES HYDRAULIQUES EN AMONT DE BEUCAIRE/TARASCON

Les ouvrages de protection contre les crues et les principaux ouvrages hydrauliques structurants situés en amont de Beaucaire/Tarascon figurent ci-dessous et sont illustrés par les photos en pages suivantes (les gestionnaires figurent entre parenthèses) :



Principaux ouvrages hydrauliques en amont de Beaucaire/Tarascon

Dans la plaine d'Aramon/Montfrin et sur le Vieux Rhône :



Digue résistante à la surverse d'Aramon
(commune d'ARAMON et gestion
SMAGE des Gardons)



Digue de Comps (commune de COMPS et gestion SMAGE des Gardons)



Déversoir de Comps (CNR)



Digue des Marguilliers (commune de Beaucaire)

Les aménagements CNR de Vallabrègues :



Barrage de Vallabrègues (CNR)



Usine hydro-électrique de Beaucaire (CNR)



Déversoir de Barthelasse répartissant les eaux du Vieux Rhône vers le Rhône dérivé (CNR)

4 HISTORIQUE DES AMÉNAGEMENTS

→ 4.1. HISTORIQUE DE L'ORGANISATION ADMINISTRATIVE

La lutte contre les crues du Rhône et de l'organisation administrative y afférant remonte dans le delta du Rhône au XII^e siècle, date à laquelle les premiers endiguements sont construits. L'histoire de ces aménagements est largement commentée dans [R 41]. Nous ne retiendrons ci-après que les grandes phases suivantes :

Suite à la crue de 1810, les digues de la Grande Camargue ont fait l'objet d'un exhaussement généralisé de 35 cm.

Les inondations de 1840, 1841 et 1843 constituent le véritable point de départ d'une politique de l'État en matière de protection contre les crues du Rhône. Cette politique se traduit par : **la création en 1840 d'un service spécial du Rhône administré par les ingénieurs des Ponts et Chaussées.**

Les ingénieurs vont établir dès cette époque des plans et construire les premières digues dites "insubmersibles".

La crue de mai 1856 accélère et amplifie la réalisation des travaux d'endiguement à l'ensemble du Grand Delta.

L'État intervient alors dans la conception, la réalisation et le financement des travaux d'investissement, à hauteur de 25 % des dépenses jusqu'en 1856 et 33 % des dépenses après la crue de 1856. Cette participation de l'État passe à 40 % après les crues de 1993 et 1994.

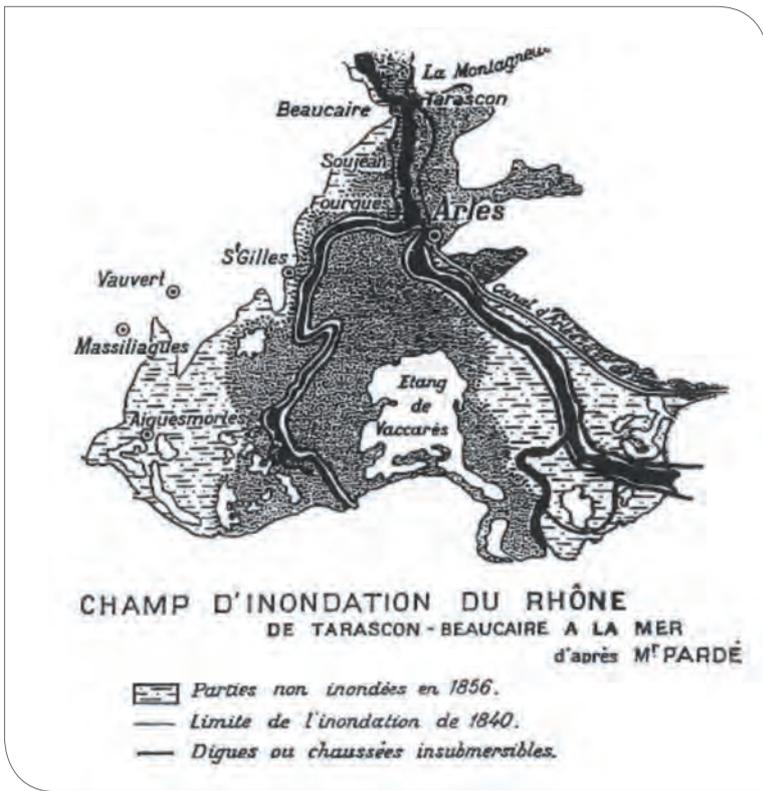
Une fois les travaux réalisés, la charge des travaux d'entretien est confiée à des Associations Syndicales Forcées (ASF) composées de telle façon "*que tous les intéressés doivent contribuer à la dépense, chacun dans la proportion de son intérêt*" [R 45]. "*La recherche de l'intérêt des terrains aux travaux des digues, intérêt dépendant de leur valeur, de la chance d'inondation et du dommage*" [R 47].

Le Service Spécial du Rhône se limitant à un contrôle des ouvrages [R 53].

Cette organisation administrative perdure jusqu'en :

- **1987** : Côté Gard
- **1996** : Côté Bouches du Rhône.

Côté Gard, en 1985, l'ASF créée par ordonnance royale en 1845 dénommée Syndicat des Dignes de Beaucaire à la Mer se trouve en cessation de paiements. Elle est dissoute par le préfet et remplacée par une structure publique.



Zones inondées en 1840 et 1856 (d'Après Pardé, 1925)



Vue des arènes d'Arles sur la Camargue inondée après la crue de mai 1856 (©Ville d'Arles)

Le Syndicat Intercommunal des Dignes du Rhône de Beaucaire à la Mer (SIDR) est créé par arrêté préfectoral du 17 août 1987. Ce Syndicat Intercommunal qui regroupe les Communes inondées en 1840 a pour mission d'entretenir la digue rive droite du Rhône et du Petit Rhône de Beaucaire à Sylvéréal.

Côté Bouches-du-Rhône, les crues d'octobre 1993 et janvier 1994 et les nombreuses brèches qui se sont produites ont mis en évidence le manque de moyens des Associations Syndicales gestionnaires des ouvrages.

Faisant suite aux préconisations du rapport DAMBRE, est créé par arrêté préfectoral du 06 décembre 1996, un maître d'ouvrage public pour la gestion des digues de Camargue qui prend la dénomination de SIDRHEMER Syndicat Intercommunal de Gestion des Dignes du Rhône et de la Mer qui regroupe les Communes d'Arles, de Port-Saint-Louis-du-Rhône et des Saintes-Maries-de-la-Mer.

En 1999, le SIDRHEMER est transformé par arrêté préfectoral du 27 juillet 1999 en Syndicat Mixte permettant ainsi l'adhésion de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et du Département des Bouches-du-Rhône. Il prend la dénomination de SYMADREM (Syndicat Mixte d'Aménagement des Dignes du Rhône Et de la Mer).

La crue de décembre 2003 met en exergue la nécessité d'avoir une gestion globale des digues dans le Grand Delta du Rhône. Le Préfet autorise le 27 décembre 2004, l'extension du périmètre et les modifications des statuts du SYMADREM qui devient SYNDICAT INTERRÉGIONAL avec l'adhésion de la Région Languedoc-Roussillon et du Département du Gard ainsi que des membres du SIDR, suite à la dissolution de ce dernier. Le périmètre est étendu en rive gauche du Rhône avec l'adhésion de la Commune de Tarascon et la dissolution de l'Association des Chaussées de Tarascon qui gère la digue de la Montagnette.

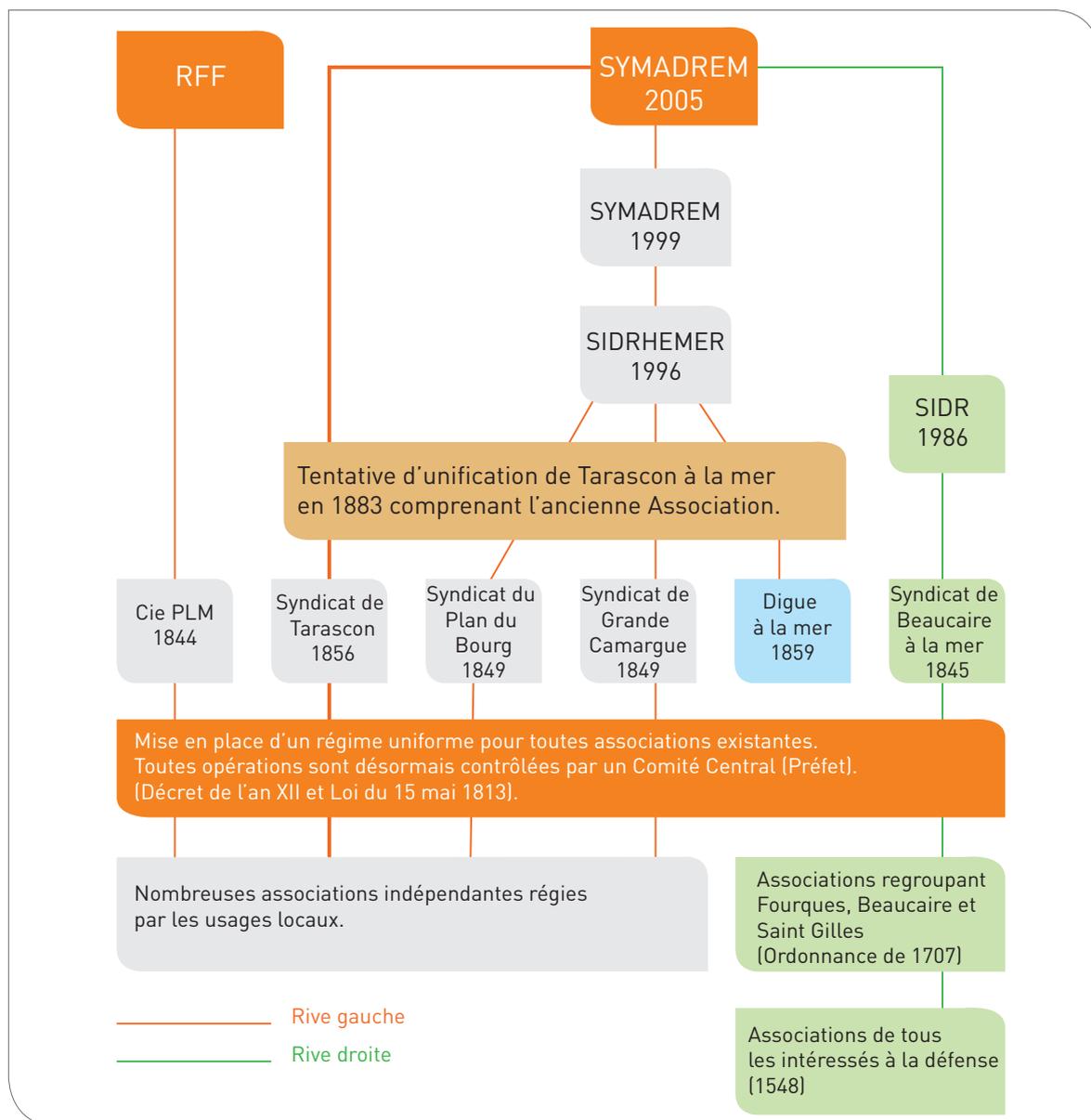
Désormais, le SYMADREM regroupe :

- 2 Régions,
- 2 Départements,
- 12 Communes,
- 1 Communauté de communes, composée de 3 communes.

Ses missions consistent en :

- L'exploitation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône et contre les incursions marines situés dans son périmètre de compétences,
- La maîtrise d'ouvrage des études et des travaux de renforcement des ouvrages situés dans son périmètre de compétences.

La figure, ci-dessous, illustre l'évolution de l'organisation administrative de lutte contre les crues dans le Grand Delta du Rhône.



Évolution de l'organisation administrative de lutte contre les crues dans le Grand Delta du Rhône (source A. MEJEAN [41])

→ 4.2. HISTORIQUE DES AMÉNAGEMENTS EN RIVE DROITE : RAPPORT D'ALEXANDRE SURELL (1844) SUR LES OBJECTIFS DE PROTECTION ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE PROTECTION

Dans son mémoire sur l'organisation d'un syndicat général de Beaucaire à la Mer rédigé le 15 juillet 1844 [R 45], Alexandre SURELL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, propose de “perfectionner et relever les chaussées”. Son constat et les objectifs de protection sont clairement établis :

“Nous avons déjà dit que les chaussées sont loin de présenter une sécurité suffisante. Par conséquent, il ne s'agit pas seulement de les entretenir dans l'état où elles sont ; il faut, au contraire, les tirer de cet état, car il est alarmant. Il faut les perfectionner et les mettre en force de résister à une crue, qui aurait la hauteur de l'inondation de 1843, en même temps que la persistance de celle de 1840”.

Pour cela “les chaussées devront être relevées jusqu'à 1 mètre 50 au-dessus de la limite des inondations – de plus, en les portant à cette hauteur, il convient de les renforcer en proportion, en donnant à leur couronnement une largeur de 2 mètres au moins et en réglant leur talus suivant une inclinaison de 2 de base sur 1 de hauteur”.

- **Les objectifs de protection en rive droite** sont clairement déterminés :

La hauteur de l'inondation de 1843 avec la durée de la crue de 1840.

- **Le dimensionnement des ouvrages** est également fixé :

- Une hauteur de 1,50 mètre au-dessus de la crue observée de 1843,
- Une largeur en crête de 2 mètres,
- Des talus de pente 1V/2H.

- **Le rapport d'Alexandre SURELL** introduit deux notions :

- La résistance de la digue à une crue, qu'on qualifierait aujourd'hui de cote de sûreté, mais que SURELL qualifie plutôt de cote de protection,
- Le calage altimétrique de la digue qui est supérieur à cette cote de “résistance”, qu'on qualifierait aujourd'hui de cote de danger de rupture ou cote de submersion.

Ce rapport montre qu'en l'absence de déversoirs de sécurité, les notions de cote de protection et cote de sûreté étaient au milieu du XIX^e siècle confondues mais que la notion de cote de danger de rupture ou cote de submersion existait déjà avec le souci de la choisir nettement supérieure à la cote de sûreté.

On constate que la revanche de sécurité, qui est la différence entre la cote de danger de rupture et la cote de sûreté, est différente. Elle est de 50 cm pour les ouvrages à construire dans le cadre du Plan Rhône. Elle était de 1,50 m en 1844.

Cette différence peut s'expliquer par l'absence de déversoir de sécurité, par l'effet des brèches et par le mode de réalisation des ouvrages qui ne présentait pas du tout la même technicité qu'actuellement. L'examen des cahiers des charges [R 52]/[R 54] ayant servi de base à la réalisation des digues actuelles permet de connaître le mode de réalisation des ouvrages actuels :

“Les terrassements seront faits par couches horizontales de 0,1 à 0,2 m d'épaisseur chaque couche sera damée sur toute sa superficie avec des dames du poids de 12 à 15 kilogrammes avant de faire la couche supérieure”.

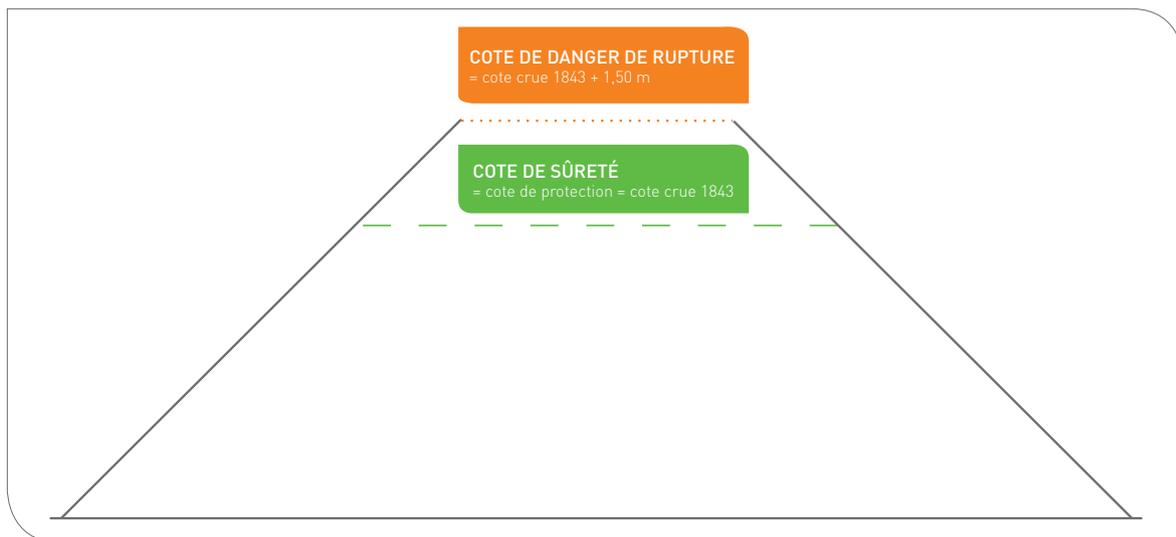
Si la notion de compactage par couches minces était bien connue, les moyens associés étaient manuels (À titre de comparaison avec une dame de 15 kg, tombant d'une hauteur de 1 mètre, 10 fois sur une couche de 15 cm, l'énergie de compactage atteint est de 1 t.m/m^3 soit au moins 60 fois moins qu'avec les moyens actuels).

On notera qu'aucune prescription quant à la teneur en eau, garante d'obtenir des densités satisfaisantes, ne figurait dans ces documents ; ce qui est normal puisque les notions de compactage à l'optimum Proctor n'étaient pas connues à l'époque. En effet, ce n'est qu'au début des années 1930, que ces notions ont été connues grâce aux travaux de l'ingénieur Ralph R. PROCTOR (1933).

La figure ci-dessous illustre le principe de conception des ouvrages de protection en rive droite défini par Alexandre SURREL.

La suite donnée à ce mémoire est la création en 1845 par ordonnance royale du Syndicat des digues du Rhône de Beaucaire à la Mer [R46].

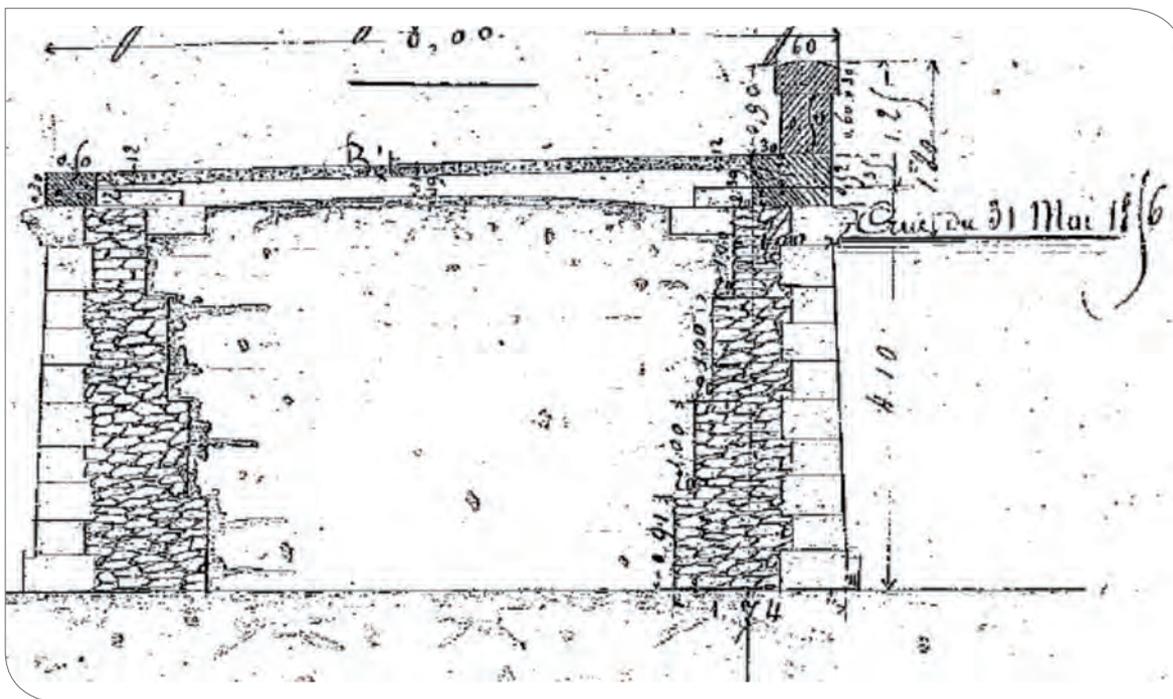
Les travaux de confortement et rehaussement des chaussées vont s'étaler sur 20 ans depuis le 1^{er} janvier 1846 jusqu'au 31 décembre 1865. Le rapport de A. Valtz, directeur du syndicat, rédigé en 1867 permet de dresser le bilan de ces vingt ans de travaux au préfet du Gard et à l'Ingénieur en Chef du Rhône [R47].



Dimensionnement des ouvrages par Alexandre SURREL

Ce rapport expose les faits suivants : le calage de la digue en rive droite n'a pas pu être réalisé comme prévu : “Les Ingénieurs se bornèrent à réclamer un exhaussement de 1 mètre 50 à 2 mètres. Effrayé par la dépense, le syndicat le réduisit à 1 mètre 20, et c'est effectivement, pareille hauteur moyenne, au-dessus des plus fortes crues connues, jusque-là, qu'ont aujourd'hui les digues de Beaucaire à Sylvéréal”.

Au droit du centre-ville de Beaucaire, les travaux de construction des digues respectivement de la Banquette, de la Vierge et du Musoir débutent suite à la crue de 1840. Ils sont achevés lorsque survient la crue de mai 1856. Les ouvrages sont en limite de surverse, ce qui amène les autorités à proposer en 1861 la réalisation d'un parapet calé en altimétrie de l'amont vers l'aval respectivement de 2,00 à 1,80 mètre au-dessus du niveau observé en mai 1856.



Digue de la banquette et projet de création du parapet 1861 (Archives départementales du Vaucluse)

→ 4.3. HISTORIQUE DES AMÉNAGEMENTS EN RIVE GAUCHE

Suite à la crue de 1810, les digues de la Grande Camargue font l'objet d'un exhaussement généralisé de 35 cm.

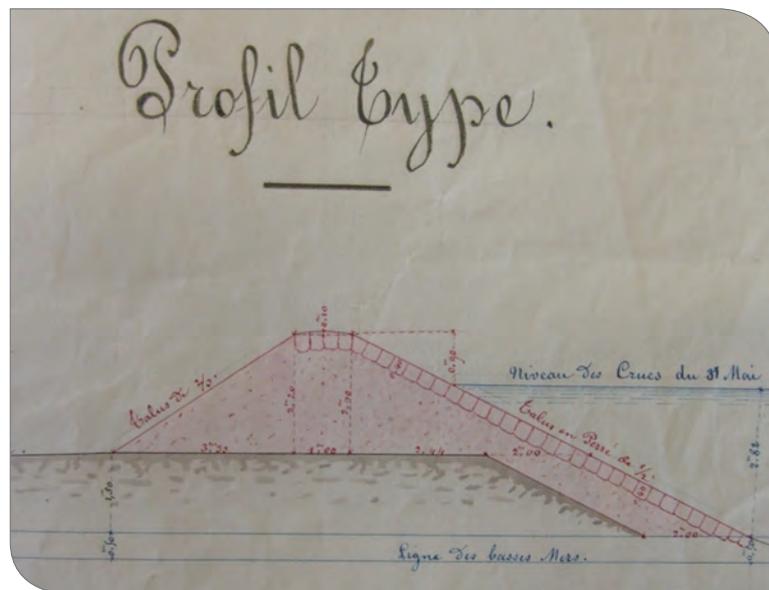
Le 28 mars 1849, un décret organique dissout les six associations existantes en Grande Camargue et les trois dans le Plan de Bourg, pour les fusionner en deux associations. Se forment alors les syndicats de Grande Camargue et du Plan de Bourg, où chacun participe dans la proportion de son intérêt aux dépenses que peuvent nécessiter les travaux (Art.1).

À la suite du décret organique de 1849 constituant le Syndicat de la Grande Camargue, l'ingénieur Surrel lance un premier programme de rehaussement des digues. Le projet concerne l'intégralité des digues syndicales, soit de la pointe de la Camargue jusqu'au Grau de Piémanson, sur une longueur de 44 kilomètres le long du Grand Rhône et d'une longueur de 56 kilomètres sur le Petit Rhône.

À l'instar de la rive droite, l'exhaussement basé sur la crue de 1843, doit donner aux digues du Grand Rhône une revanche de 1,50 mètre en amont en déclinant progressivement en aval d'Arles à 0,70 mètre sur le Grand Rhône et 0,20 mètre sur le Petit Rhône.

Le projet non réalisé, il faut attendre la crue de 1856 pour qu'il soit relancé. La ligne d'eau ayant été plus haute qu'en 1843, l'ingénieur Bernard propose, en 1857, de passer à un exhaussement de 1,80 mètres, au-dessus du niveau atteint en 1856 sur le tronçon compris entre Tarascon et Arles et de diminuer progressivement vers l'aval à 0,90 mètre sur le Grand Rhône et 0,20 mètre sur le Petit Rhône.

Les travaux sont approuvés par décision ministérielle le 5 juillet 1858. En 1869, l'intégralité des digues du Syndicat de la Grande Camargue est rehaussée.



Coupe type des digues en rive gauche (Archives départementales du Vaucluse)

C'est ce qui explique que les digues sont aujourd'hui plus hautes en rive gauche qu'en rive droite, bien que des travaux de mise à la cote aient été réalisés depuis 1994 du lieu-dit "le fer à cheval" jusqu'à l'écluse de Saint-Gilles.

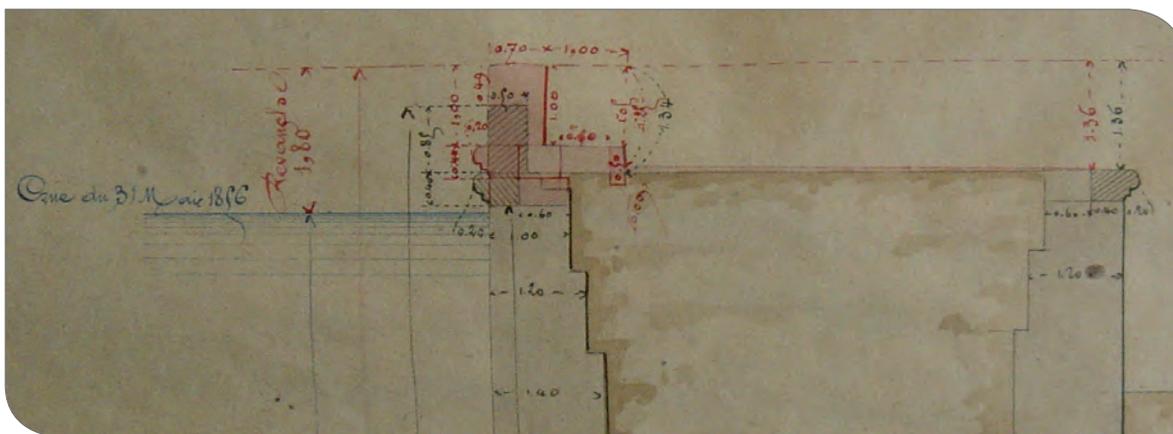
La photo ci-après prise en rive gauche du Petit Rhône suite à la crue de novembre 1996 permet de distinguer les différentes étapes de construction :

- Le bourrelet alluvial,
- Le rehaussement de 35 cm de 1810,
- Le rehaussement opéré après la crue de 1856,
- Les travaux de carrossabilité à cote identique réalisés après les crues de 1993 et 1994.



Ouverture de la digue suite à la crue de novembre 1996

À l'instar de la digue de la banquette en rive droite, la construction du quai de Tarascon débute suite à la crue de novembre 1840 et fait l'objet d'une rehausse du parapet suite à la crue de mai 1856 calé 2,00 mètre au-dessus du niveau atteint en mai 1856.



Rehaussement du quai de Tarascon suite à la crue de 1856, réalisé après 1861 (Archives départementales du Vaucluse)

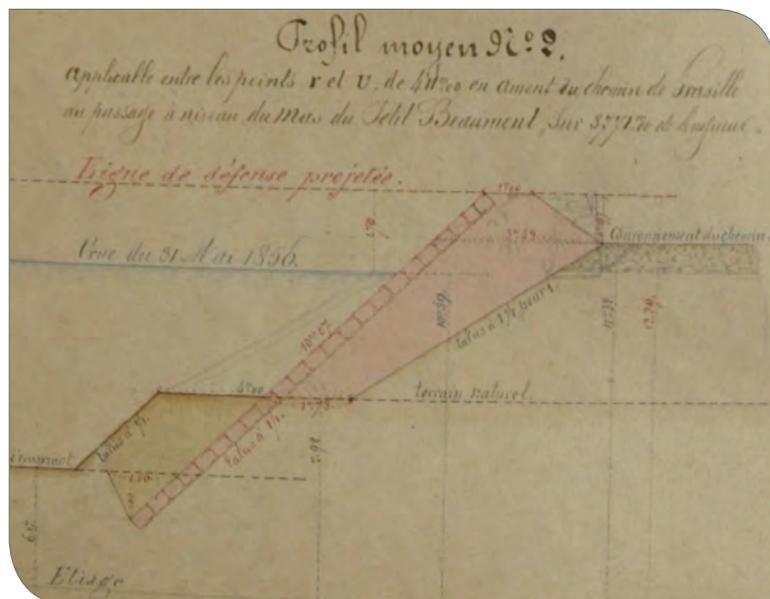
La digue de la Montagnette, digue de 1^{er} rang jusqu'à la réalisation des aménagements de la CNR est très ancienne. En 1840, 1843 et 1856, elle subit de nombreuses brèches et fait l'objet d'un programme de rehaussement. A l'instar de la digue en rive droite du Rhône et du remblai ferroviaire Tarascon/Arles, elle est calée 1,50 m au-dessus du niveau atteint en novembre 1843. En 1856, elle est en limite de surverse. Elle fait l'objet de nombreux projets de rehaussement qui se concrétisent entre 1872 et 1883 par le confortement du parement amont et la réalisation d'un parapet d'une hauteur de 60 cm.

Entre Tarascon et Arles, on apprend dans le rapport d'Alexandre SURREL [45] que les travaux du chemin de fer entre Tarascon et Arles sont en voie d'achèvement en 1844. Les ouvrages ont été calés comme suit : Hauteur du remblai : crue de 1843 + 1,50 mètres auquel il faut ajouter 0,60 m de ballast et rails. Ce remblai supporte la crue de 1856 sans connaître de brèche. D'après Maurice CHAMPION, l'empereur Napoléon III a en effet pris le train entre Avignon et Arles pour se rendre sur les zones sinistrées (cf. figure ci-dessous).



Napoléon III en visite à Tarascon après la crue de mai 1856 (©ville de Tarascon)

Un projet de rehaussement du remblai ferroviaire est réalisé suite à la crue de 1856. Il ne fera pas l'objet de travaux, faute de financement.



Projet de rehaussement du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles classé sans suite (Archives départementales du Vaucluse)

De leur côté, sur les deux rives du Grand Rhône, les quais d'Arles sont confortés et rehaussés suite à la crue de 1856.



Projet de rehaussement des quais d'Arles réalisé entre 1863 et 1866 (Archives départementales du Vaucluse)

Les travaux sont effectués entre 1863 et 1866, avec un linéaire de 1310 mètres en rive gauche et 1129 en rive droite. Les ouvrages sont calés à partir des niveaux atteints lors de la crue de mai 1856 avec des revanches déclinant de l'amont vers l'aval comme indiqué ci-dessous :

En rive gauche :

- 107 mètres d'ouvrages avec parapet calé 2 mètres au-dessus de la crue de 1856.
- 520 mètres d'ouvrages avec parapet calé 1.50 mètre au-dessus de la crue de 1856.
- 683 mètres d'ouvrages avec parapet calé 1.20 mètre au-dessus de la crue de 1856.

En rive droite :

- 203 mètres d'ouvrages avec parapet calé 1.50 mètre au-dessus de la crue de 1856.
- 573 mètres d'ouvrages avec parapet calé 1.20 mètre au-dessus de la crue de 1856.
- 350 mètres d'ouvrages avec parapet calé 1.40 mètre au-dessus de la crue de 1856.

→ 4.4. CALAGE HISTORIQUE DES DIGUES EN 1993

Cette synthèse historique permet de voir que la cote des digues, telle qu'elle se présentait en octobre 1993, à la veille du "réveil hydrologique du Rhône", avait été calée sur la base de deux références hydrologiques : La crue de novembre 1843 et la crue de mai 1856. Ce calage historique est résumé dans le tableau ci-après :

OUVRAGES	CALAGE ALTIMÉTRIE
Digue de la Montagnette	Crue 1843 + 1,50 m + 0,60 m
Quais de Tarascon	Crue 1856 + 2,00 m
Digue de la banquette et de la Vierge	Crue 1856 + 2,00 à 1,80 m
Digue rive droite du Rhône et Petit Rhône	Crue 1843 + 1,20 m
Remblai ferroviaire Tarascon/Arles	Crue 1843 + 1,50 m + 0,60 m (ballast)
Quais d'Arles	Crue 1856 + 2,00 à 1,20 m
Digue rive gauche Grand Rhône	Crue 1856 + 1,80 à 0,90 m
Digue rive gauche Petit Rhône	Crue 1856 + 1,80 à 0,20 m

Calage historique des ouvrages

→ 4.5. PRINCIPAUX TRAVAUX DE CONFORTEMENT DEPUIS 1993

Suite aux crues d'octobre 1993 et janvier 1994 et la reprise en main des ouvrages par des structures publiques, de nombreux travaux de confortement et de mise à la cote sont réalisés. Les deux tableaux ci-après reprennent les principales opérations de travaux de confortement (certains travaux de confortement sont, sur certains tronçons, venus se substituer, à des interventions antérieures. Seules les dernières interventions ont été retenues).

BRAS DU RHÔNE/RIVE	LIBELLÉ OPÉRATION	ANNÉE	PK RHÔNE	MAÎTRE D'OUVRAGE
Rhône rive droite	Digue de la banquette	2009	266,9 à 267,7	SYMADREM
	Renforcement des digues du Rhône avec mise à niveau	1996	272,5 à 276,0	SIDR
		2005	276,0 à 277,0	
		1997	277,0 à 279,0	
		2005	279,0 à 281,0	
Petit Rhône rive droite	Renforcement des digues du Petit Rhône avec mise à niveau	2005	281,0 à 291,0	SYMADREM
		2007	291,0 à 299,5	
	Brèche claire farine 2002	2002	309,0	SIDR
	Brèche claire farine 2003	2003	309,5	

Principaux travaux de confortement en rive droite depuis 1993

BRAS DU RHÔNE/RIVE	LIBELLÉ OPÉRATION	ANNÉE	PK RHÔNE	MAÎTRE D'OUVRAGE
Petit Rhône rive gauche	Digue de trinquetaille	1997	281,0 à 283,0	ARLES
	Travaux 2 ^{ème} urgence mas médaille et augéry	2006	286,0 et 287,0	SYMADREM
	Brèche Beaumont Mazel	1998	288,0 à 289,0	SIDRHEMER
	Travaux 2 ^{ème} urgence mas médaille et augéry	2006	294,0 et 295,5	SYMADREM
	Digue d'Albaron	2005	306,5 à 307,5	
	Digue de Senebier	1998	321,0 à 322,0	SIDRHEMER
	Travaux 2 ^{ème} urgence	2006	333,5	SYMADREM

Principaux travaux de confortement en rive gauche du Petit Rhône depuis 1993

BRAS DU RHÔNE/RIVE	LIBELLÉ OPÉRATION	ANNÉE	PK RHÔNE	MAÎTRE D'OUVRAGE
Défluent	Digue du défluent	2000	281	SYMADREM
Grand Rhône rive droite	Quais d'Arles - St Pierre	2009	281,8	
	Quai Trinquetaille	2010		
	Quai de la gabelle	2010		
	Emmaüs	1998	284 à 285	SIDRHEMER
	Triquette	2003	285 à 288	SYMADREM
	Petite Montlong	2005	288 à 289	
	Travaux 2 ^{ème} urgence	2006	298 et 316	
Grand Rhône rive gauche	Quai de la roquette	2009		SYMADREM
	Travaux 2 ^{ème} urgence écluse d'Arles	2006	283	
	Digue de Barriol	2007	283,8 à 286,5	
	Travaux 2 ^{ème} urgence	2006	304	
	Digue de Port-Saint-Louis		2006	
			1998	319 à 321
		2004	321 à 322,5	SYMADREM

Principaux travaux de confortement sur le Grand Rhône depuis 1993

→ 4.6. CONCLUSION DE CETTE ANALYSE HISTORIQUE

Il ressort de cette analyse historique que la crue de sûreté historique ayant servi de base au dimensionnement et calage altimétrique des ouvrages est différente suivant les ouvrages (1843 ou 1856).

Depuis 1993, des travaux de confortement ont permis d'augmenter la cote de sûreté de certains tronçons d'ouvrages

Cette disparité de cote de sûreté se retrouve dans les ouvrages actuels comme nous pourrons le voir dans le chapitre intitulé "estimation sommaire de la cote de sûreté des ouvrages".

5 LES CRUES DU RHÔNE ET LA CRUE DES 3 ET 4 DÉCEMBRE 2003

→ 5.1. TYPE DE CRUES

Le Rhône présente un régime hydrologique singulier, le bassin versant étant soumis aux deux influences des climats océaniques et méditerranéens. Les travaux de M. Pardé ainsi que l'analyse hydrométéorologique réalisée pour l'étude globale du Rhône (EGR) mettent en évidence quatre types de crues :

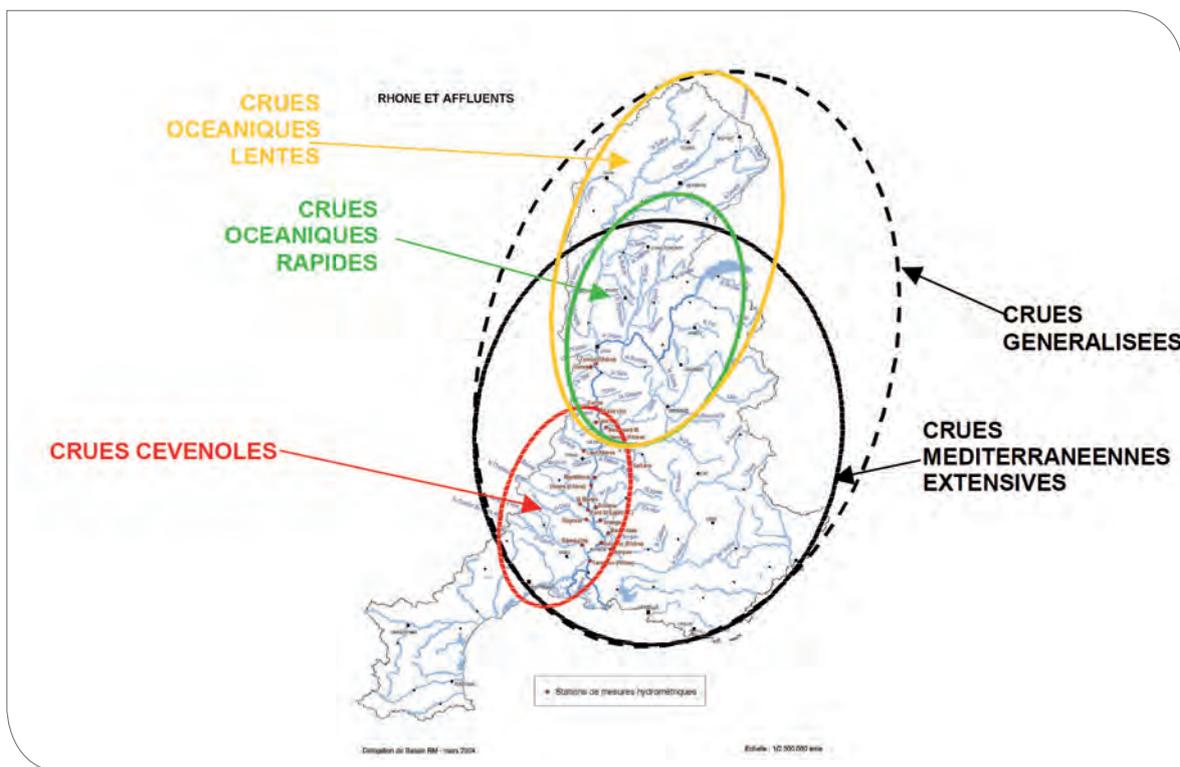
- **Les crues océaniques**
Elles sont dues aux précipitations abondantes sur la partie du bassin versant située au nord de Montélimar. Elles concernent le Rhône alpestre, le Rhône supérieur et la Saône. Les perturbations en provenance de l'Atlantique sont essentiellement actives d'octobre à mars.
- **Les crues cévenoles**
Elles résultent d'épisodes pluvieux accompagnés d'orages violents qui se produisent sur le pourtour du massif central (Ardèche, Eyrieux, Cèze, Gardon). Ce sont des crues violentes et rapides et concernent une période s'échelonnant de septembre à octobre.
- **Les crues méditerranéennes**
Elles sont plus tardives que les crues cévenoles, caractérisées par des orages violents localisés sur les Alpes du sud et le couloir rhodanien (Ouvèze, Aygues, Durance).
- **Les crues généralisées**
Elles sont issues de la combinaison de plusieurs épisodes pluvieux de type océanique et méditerranéen. Elles affectent l'ensemble du bassin versant.

La figure en page de droite illustre l'origine des différentes crues.

→ 5.2. STATIONS LIMNIMÉTRIQUES ET HYDROMÉTRIQUES DANS LE GRAND DELTA DU RHÔNE

La station de Beaucaire/Tarascon est dotée d'une courbe de tarage et permet de mesurer les débits du Rhône en tête du Grand Delta.

Il existe également 6 stations limnimétriques dans le Grand Delta qui relèvent les niveaux respectifs du Rhône, Grand Rhône et Petit Rhône. Elles sont exploitées par la CNR. Les niveaux d'eau sont relevés en cote NGF orthométrique (zéro Lallemand). Des corrections pour obtenir les niveaux en NGF IGN 69 sont nécessaires. Elles figurent ci-dessous.



Type de crues du Rhône (source D. DUBAND [R 7])

STATION	COURS D'EAU	PK RHÔNE	IGN69 - ORTHO
Beucaire / Tarascon	Rhône	269,600	+ 3 cm
Prise d'eau canal BRL	Rhône	277,300	+ 2 cm
Arles	Grand Rhône	282,600	+ 2 cm
Fourques	Petit Rhône	281,000	+ 2 cm
Saint-Gilles	Petit Rhône	297,300	+ 2 cm
Petite Abbaye	Petit Rhône	323,900	+ 2 cm
Grand Boisviel	Grand Rhône	306,500	+ 3 cm

Principales stations limnimétriques dans le Grand Delta du Rhône

→ 5.3. HYDROLOGIE DU RHÔNE

Les périodes de retour des débits du Rhône à la station de Beaucaire / Tarascon, réévaluées en 2000, dans le cadre de l'Etude Globale Rhône sont [R 1].

PÉRIODE DE RETOUR	DÉBIT DE POINTE	INTERVALLE DE CONFIANCE À 80 %	
		BORNE INFÉRIEURE	BORNE SUPÉRIEURE
2 ans	6 060 m ³ /s	5 860 m ³ /s	6 290 m ³ /s
5 ans	7 460 m ³ /s	7 150 m ³ /s	7 870 m ³ /s
10 ans	8 390 m ³ /s	7 970 m ³ /s	8 950 m ³ /s
50 ans	10 440 m ³ /s	9 760 m ³ /s	11 350 m ³ /s
100 ans	11 300 m ³ /s	10 510 m ³ /s	12 370 m ³ /s
500 ans	13 300 m ³ /s	12 250 m ³ /s	14 720 m ³ /s
1000 ans	14 160 m ³ /s	13 000 m ³ /s	15 730 m ³ /s

Débits de pointe à Tarascon et périodes de retour associées
(source SAFEGE CETIIS [R 1])

Elles ont été calculées sur la base des crues enregistrées à la station de Tarascon de 1920 à 1998. Par interpolation, sur la base d'une loi de Gumbel, on peut estimer les crues de période de retour respectivement de 20, 30 et 40 ans à :

PÉRIODE DE RETOUR	DÉBIT DE POINTE
10 ans	8 390 m ³ /s
20 ans	9 300 m ³ /s
30 ans	9 800 m ³ /s
40 ans	10 200 m ³ /s
50 ans	10 440 m ³ /s

Débits de pointe à la station de Tarascon et périodes de retour associées des crues de période de retour comprise entre 10 et 50 ans

De la même façon, on peut par extrapolation sur la base d'une loi de Gumbel, estimer les crues de période de retour respectivement de 2 000, 5 000 et 10 000 ans à :

PÉRIODE DE RETOUR	DÉBIT DE POINTE
2 000 ans	15 000 m ³ /s
5 000 ans	16 150 m ³ /s
10 000 ans	17 000 m ³ /s

Débits de pointe à la station de Tarascon et périodes de retour associées des crues de période de retour comprise entre 2 000 et 10 000 ans

On considère que :

- La durée de vie des ouvrages réalisés dans le cadre du Plan Rhône est estimée à 100 ans.
- La durée de réalisation du Plan Rhône dans sa globalité est estimée à 20 ans.
- La durée de réalisation du CPIER Plan Rhône 2007/2013 est estimée à 10 ans.

Si chaque année est considérée comme indépendante au sens des probabilités de l'année précédente, la probabilité de dépassement sur les n prochaines années d'une crue de période de retour T_0 est (toutes choses étant supposées égales par ailleurs et notamment aucune modification du lit ou des processus hydrologiques) est :

$$P = 1 - (1 - 1/T_0)^n$$

ÉVÈNEMENT TYPE	PÉRIODE DE RETOUR T_0 (ANS)	PROBABILITÉ DE DÉPASSEMENT (EN %) SUR LES n PROCHAINES ANNÉES				
		100 ANS	20 ANS	10 ANS	5 ANS	1 AN
Crue 10 500	50	87	33	18	10	2
Décembre 2003	100	63	18	10	5	1
Mai 1856	250	33	8	4	2	0,4
Exceptionnelle	100	10	2	1	0,5	0,1

Probabilité de dépassement des crues caractéristiques étudiées dans le Plan Rhône sur les n prochaines années

Ainsi la crue exceptionnelle a 10 % de chances d'être dépassée dans les 100 prochaines années et 1 % de chance d'être dépassée sur les 10 prochaines années.

Une crue de type mai 1856 a 33 % de chances d'être dépassée dans les 100 prochaines années et 4 % de chance d'être dépassée sur les 10 prochaines années.

Une crue de type décembre 2003 a 63 % de chances d'être dépassée dans les 100 prochaines années et 10 % de chance d'être dépassée sur les 10 prochaines années.

Une crue de type 10500 a 87 % de chances d'être dépassée dans les 100 prochaines années et 18 % de chance d'être dépassée sur les 10 prochaines années.

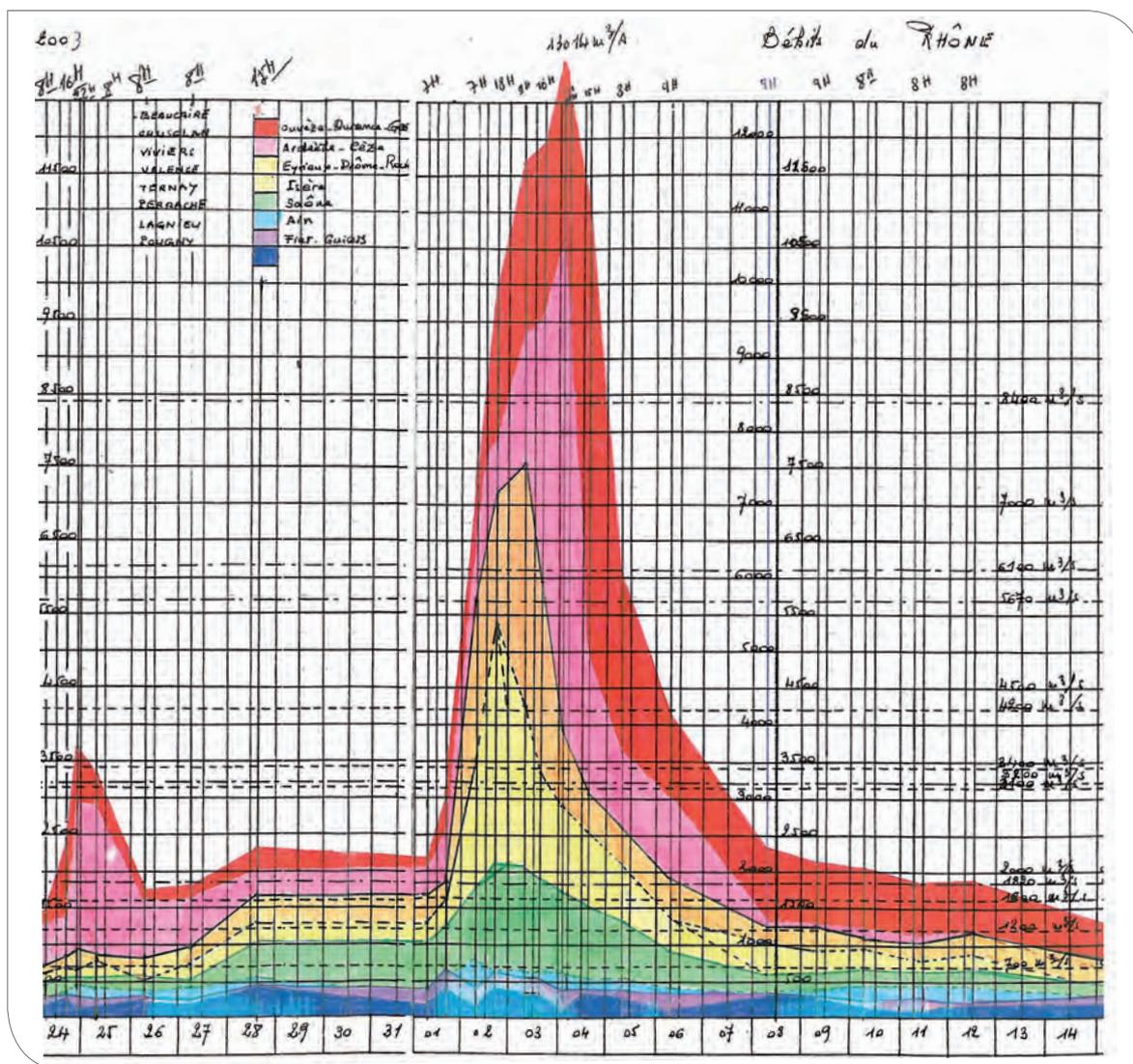
→ 5.4. LA CRUE DES 3 ET 4 DÉCEMBRE 2003

5.4.1. DÉROULEMENT DE LA CRUE

Le déroulement des événements est bien connu. Une monographie reprenant le déroulement des événements a été réalisée par la DREAL Rhône-Alpes [R 22] avec un volet météorologique réalisé par Météo France.

La pointe de crue est intervenue à la station de Beaucaire/Tarascon le 3 décembre 2003 à 21 heures. Le débit de pointe à Tarascon/Beaucaire, annoncé sur le site Inforhône de la CNR était supérieur à 13 000 m³/s [R 21].

Le graphique figurant ci-après, a été fait en temps réel par le directeur du SYMADREM, à partir des données de débits annoncées sur le site Inforhône de la CNR.



Données recueillies par le SYMADREM à partir du site Inforhône [R 21]

5.4.2 CONFÉRENCE DE CONSENSUS SUR LA CRUE DE DÉCEMBRE 2003

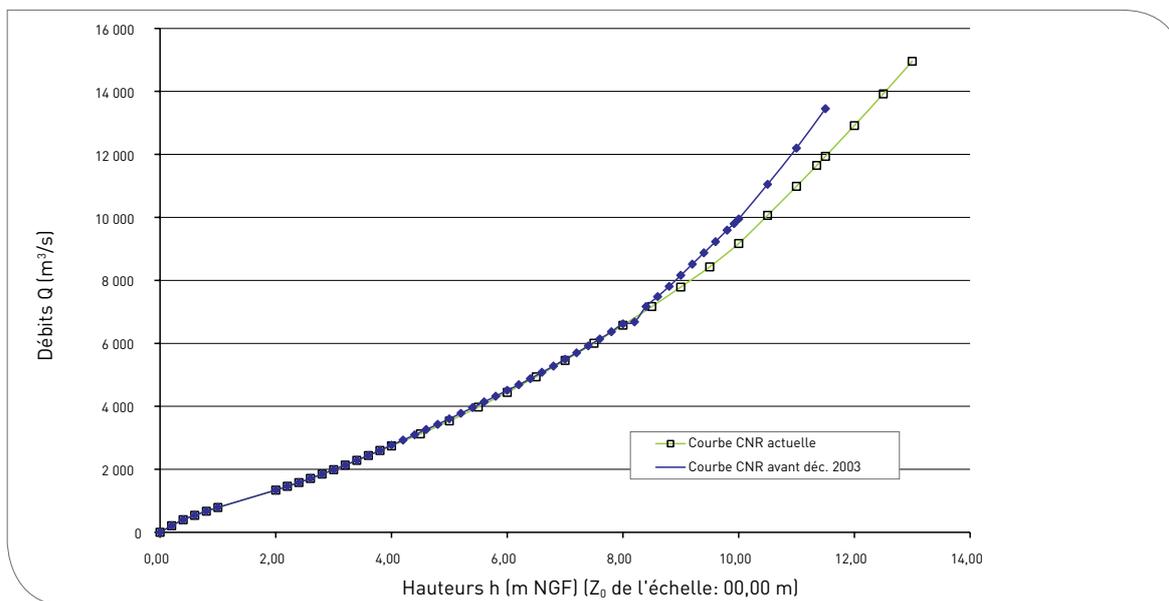
Suite à la crue de décembre 2003, une conférence de consensus composée d'experts internationaux a été organisée pour analyser cette crue. Sept experts composant le comité scientifique de cette conférence ont été sélectionnés en fonction de critères d'excellence en publication académique en recherchant des compétences en hydraulique, hydrologie et hydrométrie (deux américains, un suisse, un néerlandais, un italien, un norvégien et un français).

À l'issue de cette conférence, le débit de la crue de 2003 a été estimé à 11 500 m³/s +/- 5% soit une incertitude de l'ordre de 600 m³/s [R 10].

Le comité d'experts a aussi déduit que les valeurs de fréquence pour les débits

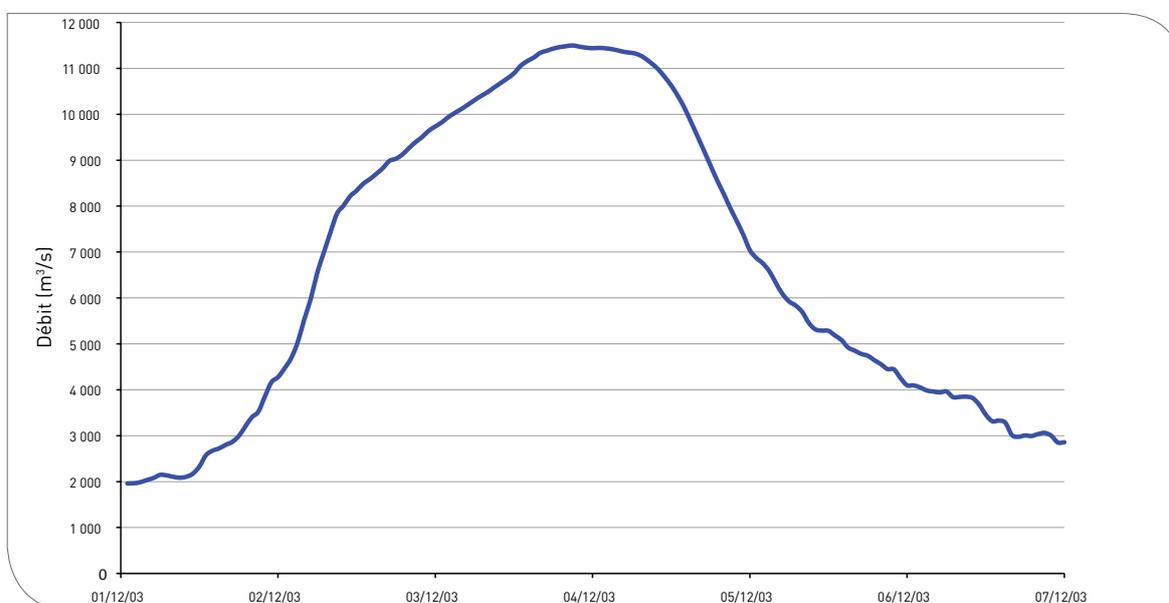
maximaux annuels à Beaucaire, utilisées dans l'Étude Globale pour une Stratégie de Réduction des Risques dus aux crues du Rhône (EGR) étaient cohérentes avec les séries historiques et confirmaient la valeur de 11300 m³/s pour la crue centennale. Le comité d'experts a également émis une liste de recommandations.

Suite à la conférence de consensus, la courbe de tarage à la station de Tarascon a été réactualisée [R 13].

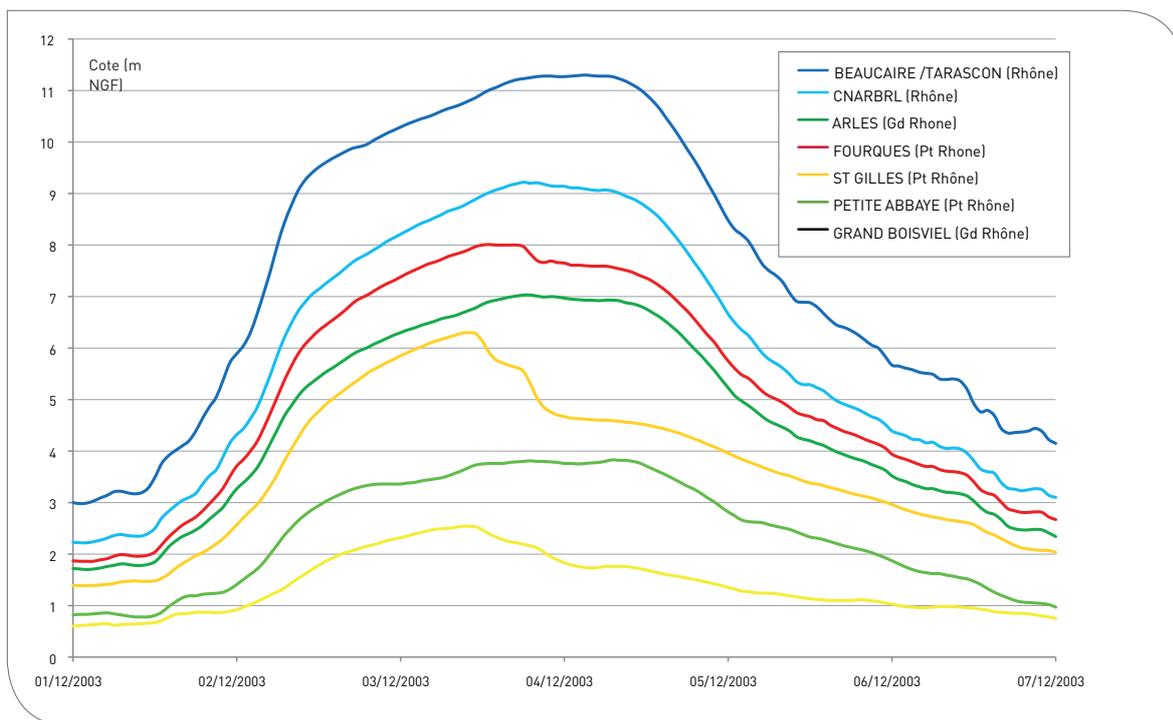


Courbe de tarage actuelle et en vigueur depuis décembre 2003 (source SPC Grand Delta [R 13])

L'hydrogramme reconstitué de la crue après la conférence de consensus, ainsi que les limnigrammes des stations de mesure localisées dans le Grand Delta figurent ci-après :



Hydrogramme reconstitué de la crue de décembre 2003 à la station de Beaucaire/Tarascon (source SPC [R 15])



Crue décembre 2003 - limnigrammes CNR dans le Grand Delta (source CNR [R 14])

La conférence de consensus n'a pas remis en cause l'analyse fréquentielle des débits sur le Rhône. En conséquence, le débit atteint en décembre 2003 correspond à un débit de pointe légèrement supérieur à la crue centennale. Le Service Prévision des Crues du Grand Delta a procédé à une "réévaluation" des débits des principales crues depuis 1993 à partir de la nouvelle courbe de tarage [R 24]. Ces derniers figurent dans le tableau ci-après :

POINTE DE CRUE	HAUTEUR (m NGF IGN 69 PK 269,6)	DÉBIT DE POINTE (EN M ³ /S)		PÉRIODE DE RETOUR (ESTIMÉE EN ANNÉE)
		ANCIENNE COURBE	ÉVALUATION SPC	
4 décembre 2003 à 3h	11,33	13 000 m ³ /s	11 600 m ³ /s	≈ 100 ans
26 novembre 2002	10,15	10 300 m ³ /s	9 420 m ³ /s	≈ 25 ans
17 novembre 2002	9,60	9 200 m ³ /s	8 500 m ³ /s	≈ 10 ans
10 septembre 2001 à 2h	10,30	10 600 m ³ /s	9 620 m ³ /s	≈ 25 ans
13 novembre 1996 à 22h	9,48	9 000 m ³ /s	8 430 m ³ /s	≈ 10 ans
6 novembre 1994 à 16h	9,92	9 800 m ³ /s	8 890 m ³ /s	≈ 15 ans
8 janvier 1994 à 7h	10,50	11 000 m ³ /s	10 250 m ³ /s	≈ 40 ans
10 octobre 1993 à 7 h	9,93	9 800 m ³ /s	8 950 m ³ /s	≈ 15 ans
mai 1856	10,78	débit estimé par Pardé : 12 500 m ³ /s		≈ 250 ans
novembre 1840	9,83	débit estimé par Pardé : 13 000 m ³ /s		≈ 400 ans

Hauteur d'eau atteinte à la station de Beaucaire/Tarascon et débits estimés en fonction de l'ancienne courbe de tarage et courbe de tarage actualisée suite à la conférence de consensus

Si la crue de décembre 2003 est la 3^{ème} crue en termes de débit depuis le XIX^e après celles de mai 1856 et novembre 1840, elle est la 1^{ère} crue en termes de niveau sur cette même période.

5.4.3. BRÈCHES OCCASIONNÉES DANS LE GRAND DELTA LORS DE LA CRUE DE DÉCEMBRE 2003

La crue de décembre 2003 a provoqué 4 brèches (cf. photos ci-dessous) dans le Grand Delta :

- La brèche de Claire Farine en rive droite du Petit Rhône (PK 309,5), qui est intervenue le 3 décembre 2003, vers 8 heures. La longueur maximale de la brèche a été estimée à 120 m,
- La brèche de Petit Argence en rive droite du Petit Rhône (PK 288), qui est intervenue le 3 décembre 2003, vers 10 heures. La longueur maximale de la brèche a été estimée à 130 m,
- Les deux brèches des digues de protection des trémies du remblai ferroviaire Tarascon/Arles, qui sont intervenues le 3 décembre 2003 vers 21h30.



Brèche de Petit Argence et Brèche de Claire Farine [R 48] (© photo-aerienne-france.fr)



Trémies du remblai ferroviaire Tarascon/Arles (© ville Tarascon)



Brèche dans les digues de protection des trémies ferroviaires (© ville Tarascon)

Ces brèches ont occasionné des volumes de débordements très importants, estimés par la CNR_{ingénierie} [R 16] pour :

- La brèche de Claire Farine à 73 millions de m³,
- La brèche de Petit Argence à 137 millions de m³,
- Les brèches des digues de protection des 2 trémies du remblai ferroviaire Tarascon/Arles à 17 millions de m³.



Image SPOT de la crue de décembre 2003 prise le 7 décembre 2003

→ 5.5. LES GRANDES CRUES DEPUIS 1840

À partir des références [R 1] à [R 12] et [R 24], on recense 22 crues supérieures à la crue décennale depuis 1840. Les différents débits et leur source figurent en page suivante.

5.5.1. CLASSEMENT DES CRUES PAR DÉBITS – SOURCES ET HYPOTHÈSES RETENUES

Nous avons retenu comme valeur la plus vraisemblable :

- Pour les crues de 1840 et 1856, les valeurs les plus communément utilisées dans les différentes études du Plan Rhône et citées dans [R 11],
- Pour la crue de décembre 2003, la valeur retenue par la conférence de consensus [R 10],
- Pour les crues d'octobre 1993, janvier 1994, novembre 1994, novembre 1996 septembre 2002 et novembre 2002, les débits estimés par le SPC Grand Delta [R 24] à partir de la courbe de tarage de la station de Tarascon réactualisée suite à la conférence de consensus (les valeurs retenues pour ces crues avant la conférence de consensus figurent dans la colonne "CNR"),
- Pour les crues de novembre 1935 et 1951, nous avons retenu les valeurs figurant dans l'Étude Globale Rhône (EGR) [R 1], considérant qu'elles remplaçaient les valeurs de débit déterminées par Pardé et la CNR,
- Pour toutes les autres crues (avant 1920), qui n'ont pas été utilisées dans l'EGR pour l'analyse hydrologique, nous avons conservé les valeurs définies par Pardé.

5.5.2. CLASSEMENT DES CRUES PAR NIVEAUX – SOURCES ET HYPOTHÈSES RETENUES

Les grandes crues du XIX^e et XX^e siècle jusqu'aux aménagements de la CNR ont été caractérisées principalement par l'échelle de Beaucaire, située à l'ancienne prise d'eau du Canal du Rhône à Sète (PK 267,7) juste en aval du Pont routier reliant les centres villes de Beaucaire et Tarascon. Depuis les aménagements de la CNR réalisés en 1970, ces crues sont caractérisées à la station hydrométrique localisée au PK 269,6. Le lit mineur de fleuve entre Beaucaire et Arles a considérablement été modifié depuis 1840.

Parmi les grands changements de configuration, on notera :

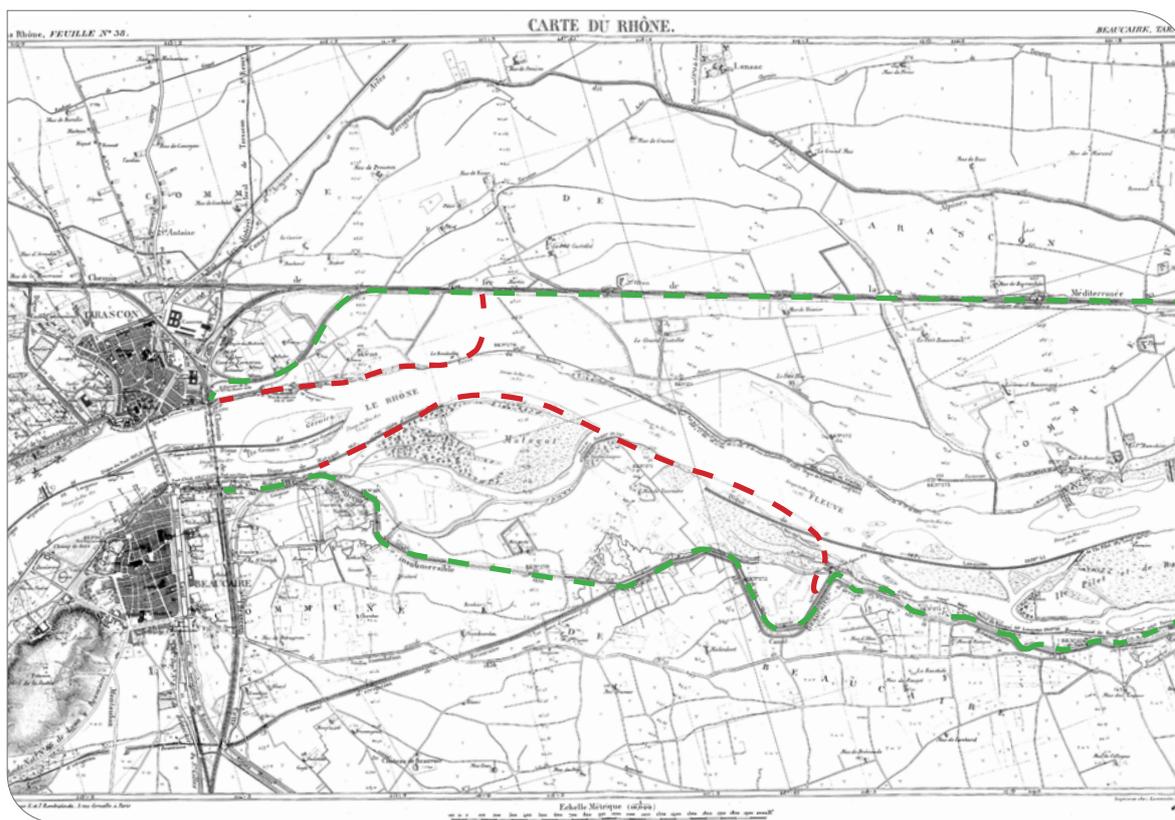
- Le rehaussement des digues entre Beaucaire et Fourques après la crue de 1840 et la création du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles en lieu et place de l'ancienne chaussée du Trébon,
- Les aménagements liés à la navigation dans la 1^{ère} moitié du XX^e siècle,
- La réalisation des Sites Industriale-Portuaires de Beaucaire, Tarascon et Arles, au début des années 1970, qui ont consisté en le remblaiement d'une partie du lit mineur et du lit moyen.

Si le lit du fleuve a également été modifié dans la traversée de Beaucaire/Tarascon. Les modifications au droit du Pont de Beaucaire (PK 267,7) ont été mineures par rapport aux modifications au droit de la station actuelle de Beaucaire/Tarascon (PK 269,6), comme en témoigne la carte des Ponts et Chaussées de 1876 [R 51] figurant dans les pages suivantes.

En conséquence, pour le classement des crues en fonction du niveau maximum atteint, nous retiendrons le pont de Beaucaire.

CRUE	DÉBIT DE POINTE À BEAUCAIRE	SOURCE	PARDÉ (R 2) À (R 6)	CNR (R 8)	DUBAND (R 7)	EGR (R 1)	DREAL (R 11)	BANQUE HYDRO (R 12)	SPC GRAND DELTA (R 24)	TYPE DE CRUE
2 nov. 1840	13 000	DREAL	12 000 à 14 000				13 000			Généralisée
31 mai 1856	12 500	DREAL	12 000 à 14 000	11 640			12 500			Généralisée
4 déc. 2003	11 500 ± 5 %	Conférence Consensus		12 500	10 890				11 600	Méditerranéenne
8 janv. 1994	10 250	SPC GD		11 000	9 900	10 572 [AC] 10 981	10 000 à 10 500		10 250	Généralisée
10 sept. 2002	9 620	SPC GD		10 500	9 540		9 500		9 620	Méditerranéenne
12 nov. 1886	9 700	Pardé	9 700	10 200						Généralisée
28 oct. 1886	9 500	Pardé	9 500							Méditerranéenne
26 nov. 2002	9 420	SPC GD		10 200			9 600		9 420	Généralisée
14 nov 1935	9 240	EGR	9 500	9 600		9 240		10 200		Méditerranéenne
22 nov. 1951	9 180	EGR	8 500	9 170		9 180		10 100		Méditerranéenne
10 oct. 1993	8 950	SPC GD		9 800	9 070	9 450 [AC] 9773	9 300		8 950	Généralisée
3 nov. 1843	9 000	Pardé	9 000							Méditerranéenne
6 nov. 1994	8 890	SPC GD		9700	9 060	8865 [AC] 9744			8 890	Méditerranéenne
30 sept. 1900	8 700	Pardé	8 700	8 940						Cévenole
2 nov. 1896	8 600	Pardé	8 600	9 060						Généralisée
8 déc. 1910	8 600	Pardé	8 600	8 660						Cévenole
17 nov. 2002	8 500	SPC GD		9 200					8 500	Généralisée
27 oct. 1841	8 500	Pardé	8 500							Généralisée
21 oct. 1872	8 400	Pardé	8 400	9 080						Méditerranéenne
10 nov. 1907	8 400	Pardé	8 400	8 500						Méditerranéenne
13 nov. 1996	8 430	SPC GD		8 980		6977 [AC] 8971			8 430	Cévenole
12 nov. 1951	8 380	EGR				8 380				Méditerranéenne

Estimation des débits de pointe des crues supérieures à la crue décennale depuis 1840 suivant les sources bibliographiques



Le Rhône, en aval de Beaucaire/Tarascon et ses ouvrages de protection en 1876 (vert) / ligne de défense actuelle (en rouge) - carte des Ponts et Chaussées [R 51]

Pour les crues antérieures aux aménagements CNR, G. RACCASI [R 40] cite G. PICHARD (1999) et rappelle que l'altitude du zéro de cette échelle a varié trois fois entre 1857 et 1860 :

- Avant 1857, le zéro était situé à 3,62 m NGF,
- Entre 1857 et 1860, le zéro était situé à 3,86 m NGF,
- Après 1860, il a été définitivement calé à 3,53 m NGF.

Actuellement une échelle de la CNR existe au pont de Beaucaire. Nous avons procédé à un levé topographique du 8 de l'échelle par un géomètre expert en mars 2010. Ce dernier est à la cote 11,38 NGF, ce qui donne un zéro à l'échelle actuelle = 3,38 NGF. Nous n'avons pas connaissance de la date de modification du zéro.

Pour les crues de 1935 et 1951, en retenant les hauteurs d'eau citées dans PARDÉ et appliquant les corrections de PICHARD, on obtient pour ces deux crues, des niveaux qui semblent anormalement hauts. En effet des données sur les niveaux plus en aval montrent une perte de charge entre le pont de Beaucaire et le Viaduc ferroviaire beaucoup plus importante que pour les autres crues. En absence d'autres données, nous avons conservé dans le classement le niveau donné avec la correction de Pichard et le niveau suivant l'échelle actuelle qui a été taré par un géomètre expert, en privilégiant ces dernières données.

Pour les crues post-aménagements CNR, nous avons estimé ces niveaux en ajoutant 60 cm (perte de charge moyenne estimée dans [R 16]) aux niveaux enregistrés à la station de Beaucaire/Tarascon [R 14].

5.5.3. CONCLUSIONS SUR LES GRANDES CRUES

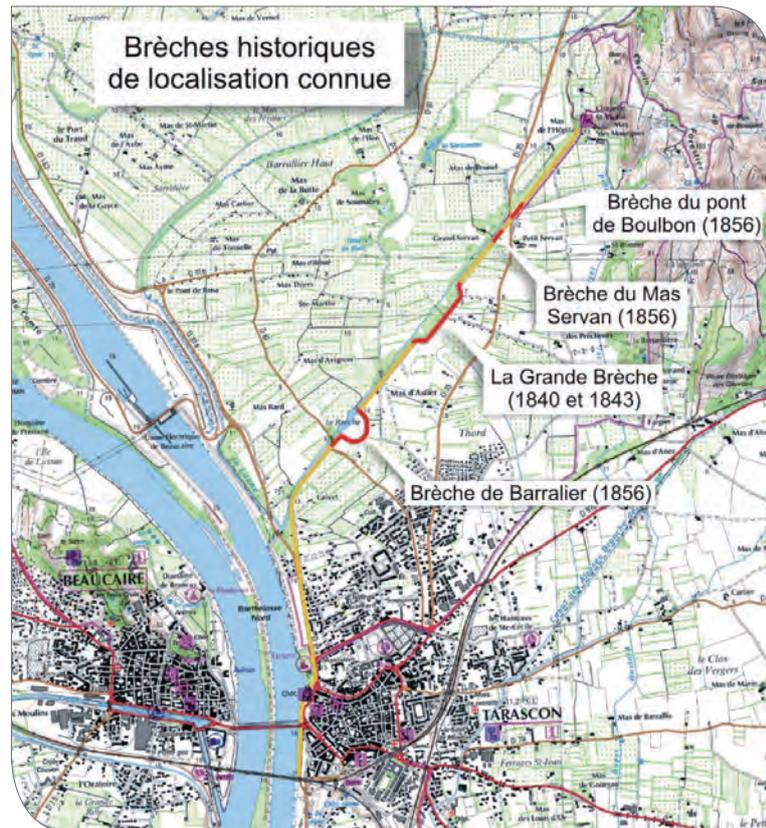
Le classement des crues respectivement par débit et par hauteur d'eau figure ci-après. Nous avons également fait figurer les brèches occasionnées lors de ces crues. Pour ce dernier point, les références utilisées sont [R 41], [R 19] et [R 3]. En ce qui concerne les brèches d'octobre 1993 et janvier 1994, certains désordres ont été qualifiés à tort de brèches, alors qu'il s'agissait de départ de brèches. Nous avons appliqué les définitions figurant dans le chapitre 1.

De ce tableau, on en déduit que la crue des 3 et 4 décembre 2003 est, en terme de **débit** à la station de Beaucaire/Tarascon, la 3^{ème} crue la plus forte après celles du 4 novembre 1840 et du 31 mai 1856. C'est une crue légèrement supérieure à la crue centennale.

En termes de **niveau** atteint au pont de Beaucaire, qui correspond à l'entrée dans le Grand Delta, la crue des 3 et 4 décembre 2003 est la crue la plus forte depuis 1840.

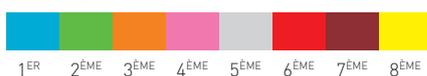
La reconstitution des lignes d'eau historiques confirme que les niveaux, atteints en décembre 2003 en tête de Delta, n'ont jamais été aussi élevés.

Cette différence entre débit et hauteur d'eau dans la traversée de Beaucaire/Tarascon s'explique principalement par le nombre de brèches occasionnées dans le système et plus particulièrement les brèches occasionnées dans la digue de la Montagnette en 1840 et 1856 (cf. figure ci-dessous) qui ont abaissé sensiblement les niveaux d'eau dans la traversée de Beaucaire/Tarascon [R 3].



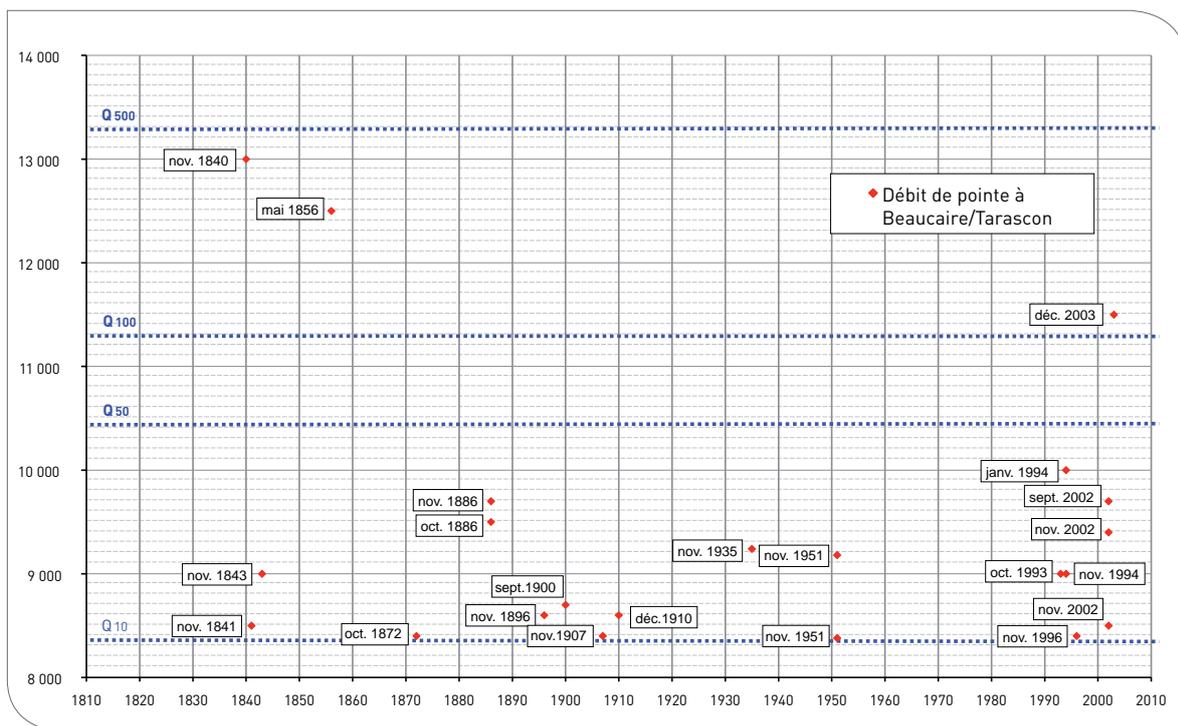
Brèches historiques dans la digue de la montagnette (source BRLi [R 70])

LÉGENDE CLASSEMENT

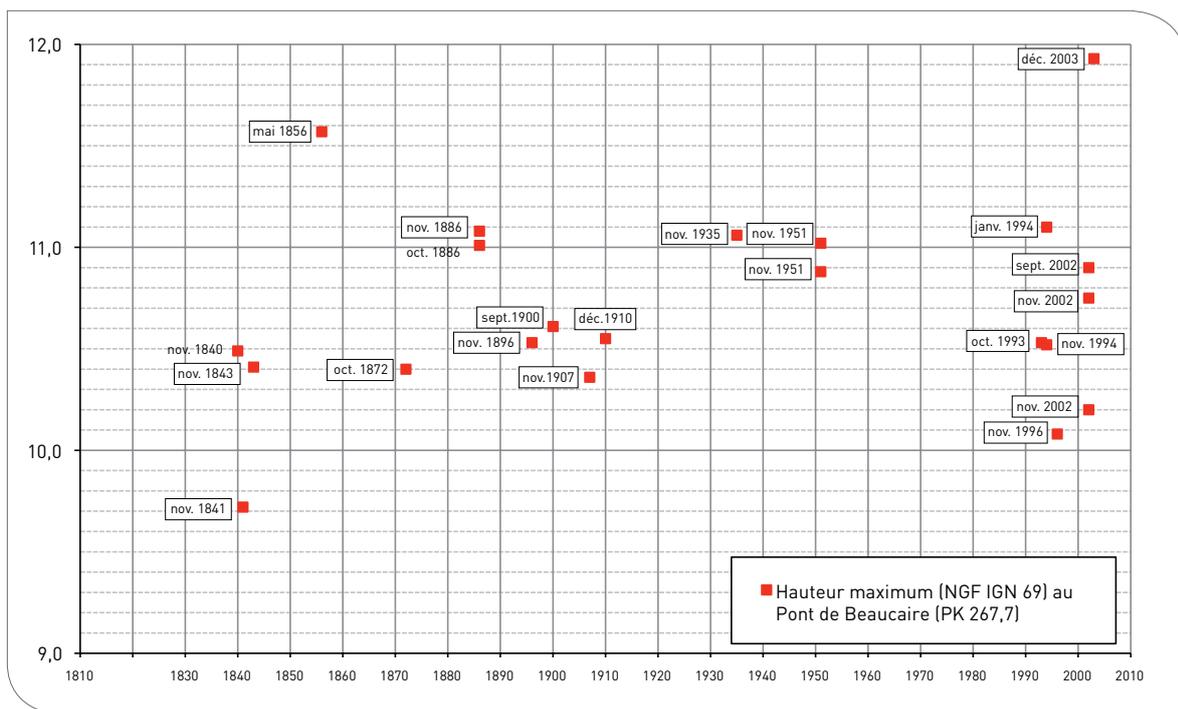


CRUE	DÉBIT DE POINTE À BEAUCAIRE	SOURCE	TYPE DE CRUE	NIVEAU AU PONT DE BEAUCAIRE (M NGF IGN69)	BRÈCHE EN RIVE DROITE	BRÈCHE EN RIVE GAUCHE	OBSERVATIONS
2 nov. 1840	13 000 m ³ /s	DREAL	Généralisée	10,49	9	2	12,12 mNGF si absence de brèches d'après [R3]
31 mai 1856	12 500 m ³ /s	DREAL	Généralisée	11,57	1	11	12,12 mNGF si absence de brèches d'après [R3]
4 déc. 2003	11 500 m ³ /s ± 5 %	Conférence Consensus (CC)	Méditerranéenne	11,93	2 (210 hm ³)	2 (17 hm ³)	
8 janv 1994	10 250 m ³ /s	SPC GD	Généralisée	11,10		2 (20 hm ³)	
12 nov. 1886	9 700 m ³ /s	Pardé	Généralisée	11,08			
10 sept. 2002	9 620 m ³ /s	SPC GD	Méditerranéenne	10,90			
28 oct. 1886	9 500 m ³ /s	Pardé	Méditerranéenne	11,01			
26 nov. 2002	9 420 m ³ /s	SPC GD	Généralisée	10,75	1		
14 nov. 1935	9 240 m ³ /s	EGR	Méditerranéenne	11,06/11,21			Perte de charge anormalement forte entre pont de Beaucaire et Viaduc ferroviaire
22 nov. 1951	9 180 m ³ /s	EGR	Méditerranéenne	11,02/11,17			Perte de charge anormalement forte entre pont de Beaucaire et Viaduc ferroviaire
10 oct. 1993	8 950 m ³ /s	SPC GD	Généralisée	10,53		1 (130 hm ³)	
3 nov. 1843	9 000 m ³ /s	Pardé	Méditerranéenne	10,41		3	
6 nov. 1994	8 890 m ³ /s	SPC GD	Méditerranéenne	10,52			
30 sept. 1900	8 700 m ³ /s	Pardé	Cévenole	10,61			
2 nov. 1896	8 600 m ³ /s	Pardé	Généralisée	10,53			
8 déc. 1910	8 600 m ³ /s	Pardé	Cévenole	10,55			
17 nov. 2002	8 500 m ³ /s	SPC GD	Généralisée	10,20			
27 oct. 1841	8 500 m ³ /s	Pardé	Généralisée	9,72	2	2	10,52 mNGF si absence de brèches d'après [R3]
21 oct. 1872	8 400 m ³ /s	Pardé	Méditerranéenne	10,40		1	
10 nov. 1907	8 400 m ³ /s	Pardé	Méditerranéenne	10,35			
13 nov. 1996	8 430 m ³ /s	SPC GD	Cévenole	10,08			
12 nov. 1951	8 380 m ³ /s	EGR	Méditerranéenne	10,73/10,88			

Crues supérieures à la crue décennale depuis 1840 (débits, hauteurs d'eau, brèches)



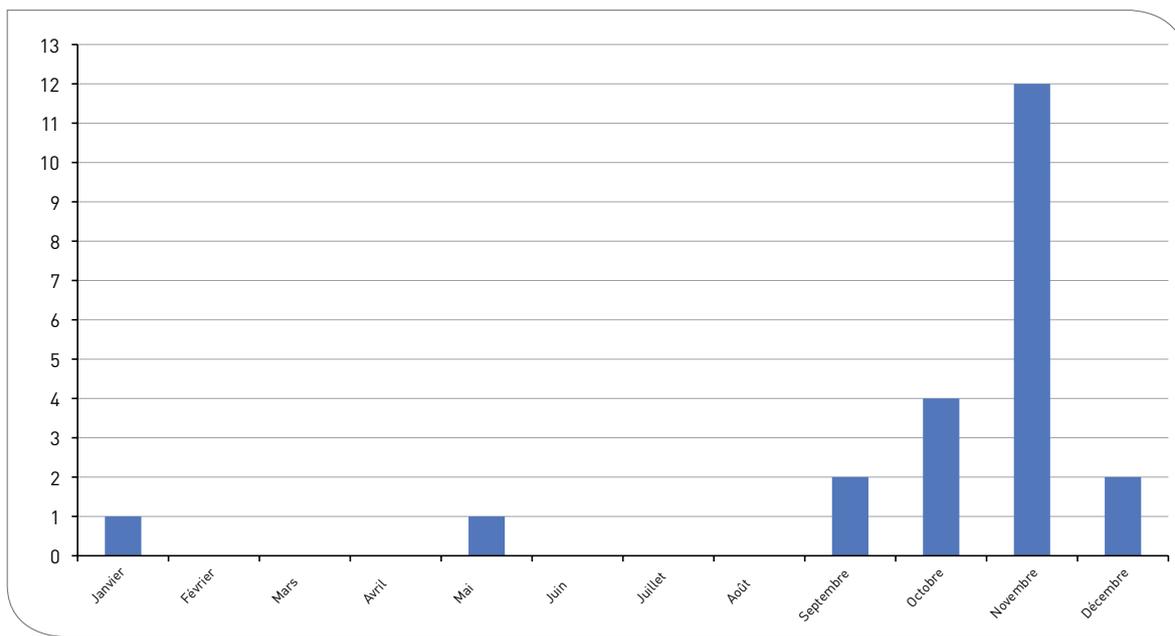
Estimation des débits de pointe à Beaucaire/Tarascon des crues supérieures à la crue décennale depuis 1840



Hauteur d'eau maximum au pont de Beaucaire (PK267,7) des crues supérieures à la crue décennale depuis 1840

La figure ci-après illustre la répartition par mois de l'année de ces 22 crues supérieures à la crue décennale.

On constate que toutes ces crues à l'exception près de la crue de mai 1856 se sont produites de septembre à janvier avec une concentration importante de ces crues sur le mois de novembre.

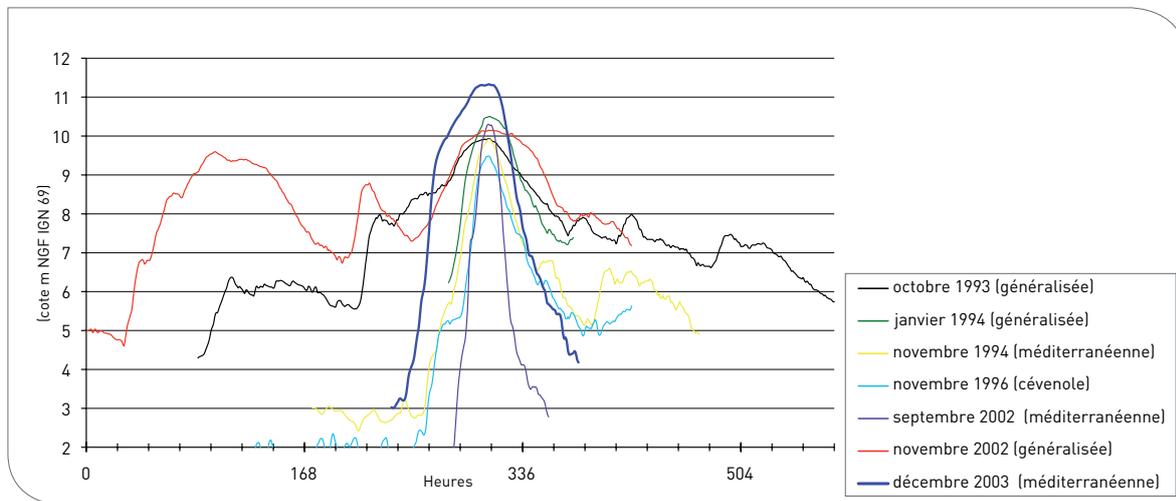


Répartition par mois de l'année des crues importantes depuis 1840

→ 5.6. LES CRUES POST AMÉNAGEMENTS CNR SUPÉRIEURES À LA CRUE DÉCENNALE

5.6.1. LIMNIGRAMMES À LA STATION DE BEAUCAIRE/TARASCON

La comparaison des limnigrammes et du type de crues permet de voir que les crues ont des déroulements bien différents en fonction de leur origine météorologique.



Limnigrammes à la station de Beaucaire/Tarascon (source CNR [R 14])

Ainsi les crues cévenoles et méditerranéennes sont très brèves, même si l'hydrogramme de la crue de décembre 2003 est épais au regard des autres crues méditerranéennes.

Les crues généralisées ont de leur côté des hydrogrammes plus épais. On notera que depuis 1840, aucune crue océanique n'a généré dans le Delta de crues supérieures à la crue décennale.

5.6.2. NIVEAUX MAXIMUMS ENREGISTRÉS AUX STATIONS LIMNIMÉTRIQUES

Les niveaux maximums des 8 crues supérieures à la crue décennale, depuis la réalisation des aménagements CNR, figurent ci-après. Ces altitudes sont en NGF IGN 69.

Figurent également dans ce tableau les niveaux à 8 heures avant la formation de la brèche de Claire Farine et à 10 heures avant la formation de la brèche de Petit Argence.

L'analyse de ces niveaux montre que le 3 décembre 2003 à 8 heures, lors de la formation de la première brèche (Claire Farine), jamais les niveaux n'avaient été aussi élevés aux stations de Beaucaire/Tarascon, BRL, Fourques, Arles et Saint-Gilles. Pour les stations de Petite Abbaye et Grand Boisviel, ce n'est pas le cas, mais il est à noter que ces stations sont sous l'influence du niveau marin.

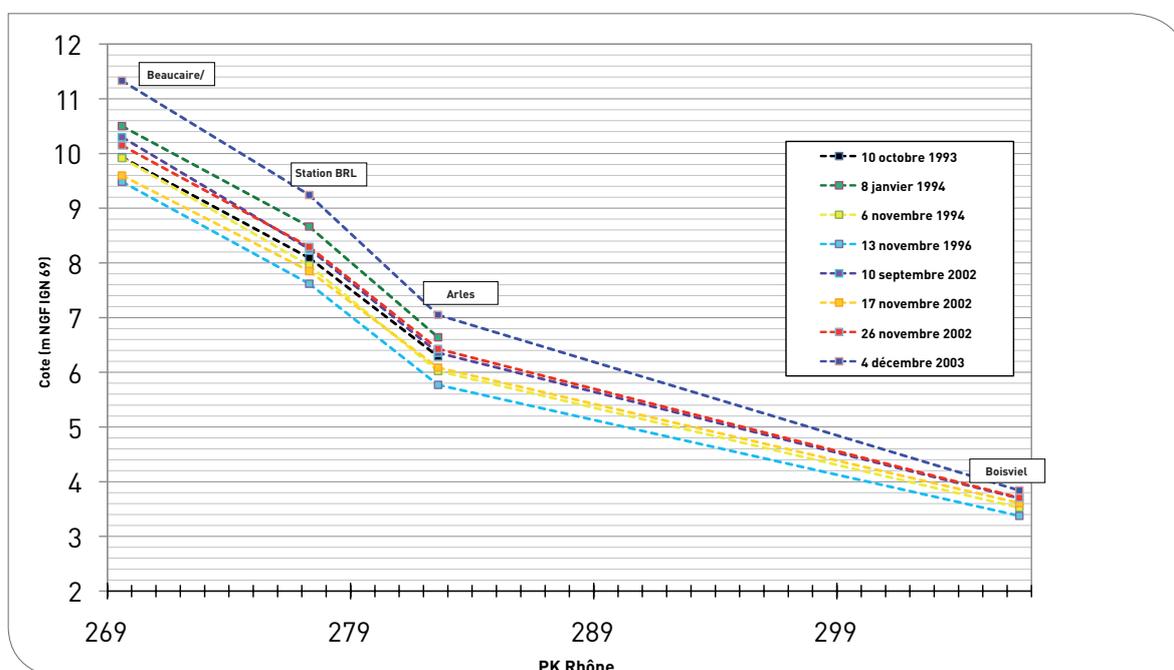
STATIONS CNR ET PK

CRUES	TARASCON BEUCAIRE	CNABRL	FOURQUES	SAINT- GILLES	PETITE ABBAYE	ARLES	GRAND BOISVIEL
	PK 269,6	PK 277,3	PK 281	PK 297,3	PK 323,9	PK 282,6	PK 306,5
10 octobre 1993	9,93	8,09	7,34	5,77	2,30	6,29	
8 janvier 1994	10,50	8,67	7,72	5,96	2,33	6,64	
6 novembre 1994	9,92	7,95	7,33	5,73	2,28	6,02	3,52
13 novembre 1996	9,48		6,73	5,23	2,10	5,77	3,38
10 septembre 2002	10,30	8,26	7,43	5,89	2,29	6,36	3,70
17 novembre 2002	9,60	7,85	7,15	5,81	2,45	6,09	3,61
26 novembre 2002	10,15	8,29	7,51	6,14	2,57	6,43	3,71
4 décembre 2003	11,33	9,24	8,03	6,32	2,56	7,05	3,84
3 décembre 2003 8h	10,72	8,72	7,84	6,27	2,54	6,65	3,60
3 décembre 2003 10h	10,83	8,84	7,93	6,32	2,56	6,75	3,71

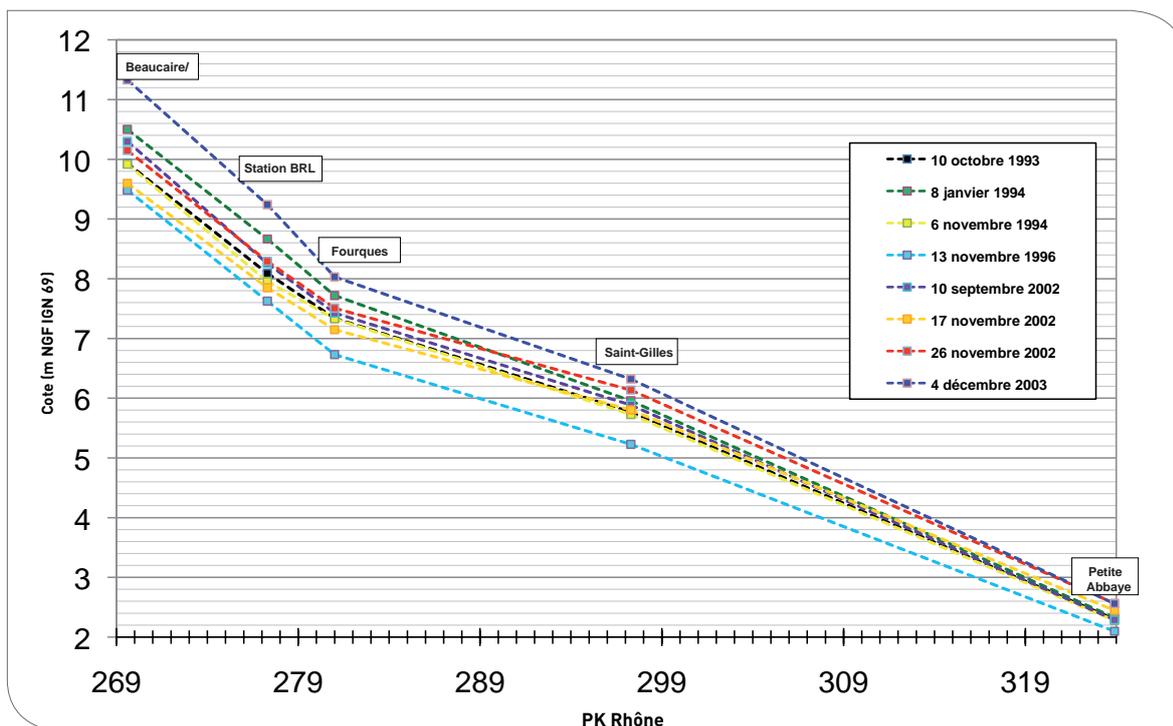
Hauteurs d'eau maximum aux stations limnimétriques - crues récentes (source CNR [R 14])

À la station de Beaucaire/Tarascon, le niveau enregistré le 3 décembre 2003 à 8 heures, avant la formation de la première brèche, était comparable avec le niveau maximum enregistré lors de la grande crue de mai 1856, où 12 brèches ont eu lieu.

Ce "record" de niveau s'explique par l'efficacité des dispositifs de surveillance mis en place sur les deux rives, qui ont permis de résorber de nombreux désordres (22 brèches évitées en rive gauche) et retarder l'instant fatidique où la formation de brèches devenait inévitable.



Niveaux maximums des crues récentes supérieures à la crue décennale le long du Rhône et Grand Rhône (source CNR [R 14])



Niveaux maximums des crues récentes supérieures à la crue décennale le long du Rhône et Petit Rhône (source CNR [14])

Ces figures appellent les commentaires suivants :

- Les niveaux atteints lors de la crue de décembre 2003 sont nettement supérieurs aux autres crues,
- Les lignes d'eau peuvent s'inverser suivant la forme de l'hydrogramme de crue en tête de Delta. On constate que pour les crues respectivement du 10 septembre 2002 et du 26 novembre 2002, pour lesquelles aucune brèche majeure n'est venue "perturber" la ligne d'eau, la crue de septembre 2002 a atteint des niveaux en tête de Delta supérieurs à celle de novembre 2002. Les niveaux de la crue du 26 novembre 2002 dépassent les niveaux de la crue du 10 septembre 2002 à partir de la station BRL sur le Rhône (PK 277,3). **Cet "inversement" s'explique par la différence de durée des crues.** Lors de la réalisation de l'étude de calage précis entre Beaucaire et Arles, la CNR a montré que le gradient de montée de crue (et donc la durée de crue) pouvait avoir une influence sur les niveaux de crue ; ainsi à débit égal, une crue plus rapide est mieux laminée et atteint des niveaux inférieurs à une crue longue (effet transitoire/permanent),
- Cet effet dû au laminage de la crue est très bien illustré par la crue de novembre 1996, qui est une crue cévenole, donc très rapide. Cette crue présente des niveaux relativement élevés à Beaucaire/Tarascon, et voit une diminution forte de ses niveaux en aval,
- Si le niveau de la crue du 8 janvier 1994 est supérieur de 35 cm à la crue du 26 novembre 2002 à la station de Beaucaire/Tarascon, la ligne d'eau de la crue du 26 novembre 2002 devient supérieure au niveau de la crue du 8 janvier 1994 vers le PK 288. **Cette différence s'explique par les deux brèches** de Beaumont (PK 288) et Lauricet (PK 303) qui ont plafonné les niveaux en aval,

- On note que les crues de novembre 1994 et d'octobre 1993 présentent des lignes d'eau comparables, alors qu'elles n'ont pas du tout été vécues de la même façon. La crue d'octobre 1993 a causé une brèche inondante avec un volume de déversement de 130 millions de m³, alors que la crue de novembre 1994 n'a pas occasionné de brèches,
- Les différences de niveaux entre ces crues deviennent très faibles à l'approche de l'embouchure (station de Grand Boisviel sur le Grand Rhône et station de Petite Abbaye sur le Petit Rhône). Cette diminution s'explique par l'importance croissante du niveau marin sur les lignes d'eau en aval du Delta.

→ 5.7. FACTEURS OU PARAMÈTRES IMPACTANT LA LIGNE D'EAU

L'étude de calage précis entre Beaucaire et Arles a fait l'objet de deux analyses de sensibilité :

- Une analyse de sensibilité lors de la phase de calage du modèle, qui a porté sur les paramètres suivants : débit, rugosité, bathymétrie pour définir la précision du modèle.
- Une analyse de sensibilité lors du calage des ouvrages, qui a porté sur les paramètres suivants : gradient de crue, niveau marin pour définir l'incertitude du modèle.

Les conclusions de cette analyse figurent ci-dessous.

5.7.1. SENSIBILITÉ SUR LES VALEURS DE DÉBIT

La conférence de consensus a conclu que le débit de pointe à Beaucaire était de 11500 m³/s \pm 5%. Les modèles ont été testés avec un hydrogramme de crue majoré de 5 %, ce qui correspond à un débit de pointe de 12 075 m³/s et un hydrogramme de crue minoré de 5%, ce qui correspond à un débit de pointe de 10 925 m³/s.

La variation de l'hydrogramme à Beaucaire/Tarascon de \pm 5% a une influence sur les niveaux plus ou moins importante selon les tronçons et les conditions d'écoulement (cf. tableau en page suivante).

D'une manière générale, la variation de l'hydrogramme à Beaucaire de \pm 5% engendre :

- Une variation de \pm 3,5% dans le Grand Rhône à Arles se traduisant par une variation de \pm 20 cm sur les niveaux,
- Une variation de \pm 17% dans le Petit Rhône à Fourques se traduisant par une variation de \pm 60 cm sur les niveaux (soit \pm 20 cm pour une variation de débit dans le Petit Rhône de \pm 5%).

MODÈLE ÉTUDE DE CALAGE	LIMNIGRAMMES OBSERVÉS	SENSIBILITÉ DU DÉBIT SUR LES NIVEAUX (CM)
Modèle Rhône amont	Aval barrage Vallabrègues	± 20 cm
	Beaucaire/Tarascon	± 20 cm
Modèle Rhône Beaucaire/Arles	CNARNBRL	± 15 cm
	Arles	± 20 cm
Modèle Grand Rhône	Grand Boisviel	± 20 cm
	Fourques	± 60 cm (avant brèches)
Modèle Petit Rhône	Saint-Gilles	± 60 cm (avant brèches)
	Petite Abbaye	- 20 ou + 10 cm (avant brèches)

Synthèse de la sensibilité du modèle à une variation de 5 % sur l'hydrogramme de décembre 2003 à Beaucaire/Tarascon

5.7.2. SENSIBILITÉ SUR LES COEFFICIENTS DE RUGOSITÉ

L'objectif a été de traduire physiquement l'impact d'une variation de coefficient de Strickler sur les lignes d'eau. On rappelle qu'une des conclusions de la conférence de consensus a été de montrer que le transport solide lors de la crue de décembre 2003 avait été intense, ce qui s'est traduit par une modification de coefficient de résistance à l'écoulement.

L'influence de la variation de coefficients de Strickler sur les niveaux des quatre modèles constituant le modèle de l'étude calage est résumée dans le tableau ci-dessous. La fourchette de précision, associée à une variation du coefficient de Strickler, est d'autant plus grande que l'on s'éloigne de la condition limite aval. Par exemple, pour le modèle Grand Rhône dont la condition aval est imposée au PK326, une variation de 5 point dans le lit mineur modifie les niveaux de :

- ± 40 cm à Grand Boisviel soit 30 km en amont,
- ± 70 cm dans le Grand Rhône à Arles soit 43 km en amont.

MODÈLE ÉTUDE DE CALAGE	LIMNIGRAMMES OBSERVÉS	SENSIBILITÉ DE LA RUGOSITÉ SUR LES NIVEAUX (CM)
Modèle Rhône amont	Aval barrage Vallabrègues	- 45 / +60 cm
Modèle Rhône Beaucaire/Arles	Beaucaire/Tarascon	± 40 cm
	CNARNBRL	± 20 cm
Modèle Grand Rhône	Arles	± 70 cm
	Grand Boisviel	± 50 cm
Modèle Petit Rhône	Fourques	± 20 cm (avant brèches)
	Saint-Gilles	± 10 cm (avant brèches)
	Petite Abbaye	± 1 cm (avant brèches)

Synthèse de la sensibilité du modèle à une variation de 5 points dans le lit mineur du cours d'eau

5.7.3. SENSIBILITÉ DE LA BATHYMÉTRIE

L'influence de la variation de bathymétrie entre 2002 et 2007 sur les niveaux des modèles Rhône amont/Rhône/Grand Rhône est synthétisée dans le tableau ci-dessous.

La reconstitution des fonds de 2002 a eu pour conséquence une augmentation générale des niveaux d'eau calculés. Le niveau maximal est augmenté de 16 cm à Arles.

MODÈLE ÉTUDE DE CALAGE	LIMNIGRAMMES OBSERVÉS	SENSIBILITÉ DE LA BATHYMÉTRIE SUR LES NIVEAUX (CM)
Modèle Rhône amont	Aval barrage Vallabrègues	- 2 cm
	Beaucaire/Tarascon	+ 3 cm
Modèle Rhône Beaucaire/Arles	CNARNBRL	+ 3 cm
	Arles	+ 19 cm
Modèle Grand Rhône	Grand Boisviel	+ 12 cm

Synthèse de la sensibilité du modèle aux variations bathymétriques entre 2002 et 2007

5.7.4. CONCLUSION DE L'ANALYSE DE SENSIBILITÉ SUR LE CALAGE DU MODÈLE

Le modèle est bien calé et représente correctement les écoulements sur l'ensemble du secteur modélisé :

- La précision sur les niveaux maxima calculés est de :
 - ± 10 cm en valeur absolue dans le lit mineur (calage sur les limnigrammes mesurés),
 - ± 30 cm dans le lit majeur (fourchette plus lâche due à la précision moindre des laisses de crue).
- La répartition Grand Rhône – Petit Rhône s'inscrit bien dans la fourchette communément admise (Petit Rhône : 11 à 13% du débit total).
- Le modèle a tendance à surestimer les niveaux calculés dans le Petit Rhône pour des débits (dans le Petit Rhône) inférieurs à 700 m³/s, mais reproduit correctement les niveaux observés pour des débits supérieurs. Ce biais n'est pas préjudiciable pour les phases de calage au regard des débits considérés (de 10 500 à 14 000 m³/s à Beaucaire/Tarascon, soit environ de 1 100 à 1 800 m³/s dans le Petit Rhône).

Les coefficients de rugosité retenus pour le calage du modèle semblent particulièrement faibles, notamment :

- Sur le Gardon,
- Sur le Vieux Rhône de Vallabrègues,
- Sur le Rhône de Beaucaire à Arles,
- Sur le Grand Rhône d'Arles au seuil de Terrin,
- Sur le Petit Rhône de Fourques à Saint-Gilles.

Selon la conférence de consensus, la crue de décembre 2003 a été atypique, avec un transport solide intense. Les incertitudes sur les données d'entrée du modèle (hydrogramme à Beaucaire/Tarascon, rugosité du lit, variations bathymétriques du lit) sont telles qu'une analyse de sensibilité sur ces paramètres a été menée, afin d'évaluer les fourchettes de précision (dans les calculs de niveaux d'eau) associées.

Ces fourchettes de précision sont les suivantes :

- $\pm 5\%$ sur l'hydrogramme à Beaucaire => ± 20 cm sur les niveaux calculés,
- ± 5 points de rugosité dans le lit mineur => ± 40 cm sur les niveaux calculés,
- Évolution bathymétrique entre 2002 et 2007 => jusqu'à $+ 15$ cm sur les niveaux calculés.

5.7.5. SENSIBILITÉ DU NIVEAU MARIN

Le niveau marin a, sur le Grand Rhône, un impact en crue jusqu'en traversée d'Arles et sur le Petit Rhône jusqu'à Saint-Gilles. Il est à noter que cet impact décroît par paliers.

Sur le Grand Rhône, les grands paliers sont d'aval en amont :

- Lembouchure (8 derniers km),
- Resserrement en traversée de Salin-de-Giraud,
- Coude de Chamone (PK 315,5).

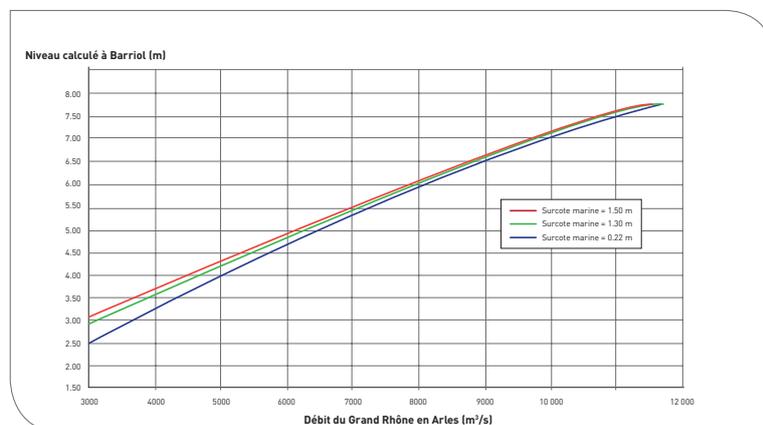
Sur le Petit Rhône, le principal palier est :

- Laval du Bac du Sauvage, où on note l'absence de digue en rive droite,
- Les digues en rive droite en aval de Sylvéreal => ces digues déversent à partir de 8 000 à 9000 m³/s débit à Tarascon), ce qui de ce fait "contrôlent" la ligne d'eau en amont.

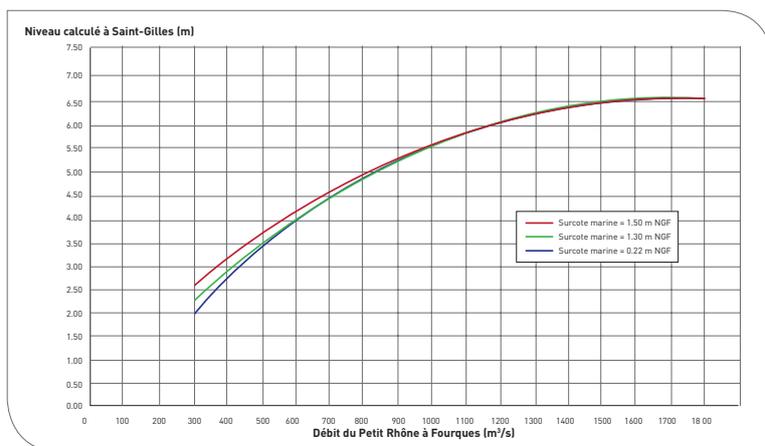
Les deux figures ci-après, extraites de l'étude de calage, illustrent respectivement l'impact du niveau marin sur le Grand Rhône et Petit Rhône.

Les conclusions de cette analyse sont que l'influence de la surcote marine en crue est :

- Nulle sur le Petit Rhône en amont de Saint-Gilles
- Quasiment nulle sur le Grand Rhône en amont de Barriol.



Influence du niveau marin sur la courbe de tarage (calculé par le modèle) à Barriol (PK284) (source CNR [R 16])



Influence du niveau marin sur la courbe de tarage (calculé par le modèle) à Saint-Gilles (PK297,3) (source CNR [R 16])

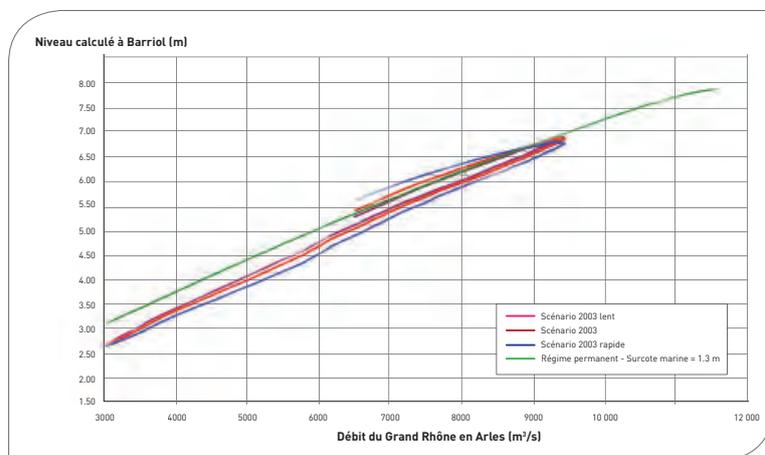
5.7.6. SENSIBILITÉ DU GRADIENT DE CRUE

Les niveaux maximum atteints en crue dépendent du gradient de crue de cette dernière. Pour un même débit de pointe, les niveaux maximum atteints sont d'autant plus élevés que la crue est lente.

Un test de sensibilité sur la crue de décembre 2003 (dans la configuration hydraulique de 2003) a été mené afin de comparer les niveaux maximum atteints pour les scénarios suivants :

- Hydrogramme 2003 – Marégramme 2003 ($Z_{\max} = 0.98$ m NGF).
- Hydrogramme 2003 deux fois plus rapide – Marégramme aval deux fois plus rapide.
- Hydrogramme 2003 deux fois plus lent – Marégramme aval deux fois plus lent.

La figure suivante au PK Rhône 284 (aval écluse d'Arles – digue de Barriol) compare les relations $\text{Niveau}_{2003} = f(Q_{2003})$ pour les trois gradients de crue considérés avec la courbe de tarage établie en régime permanent avec une surcote marine de 1.30 m NGF



Influence du gradient de crue sur les niveaux maximum calculés à Barriol (source CNR [R 16])

Ces deux figures illustrent bien “la raquette hydraulique” : pour un même débit, les niveaux atteints sont supérieurs à la décrue qu’en montée de crue, cette différence étant d’autant plus importante que les gradients de crue et décrue sont élevés.

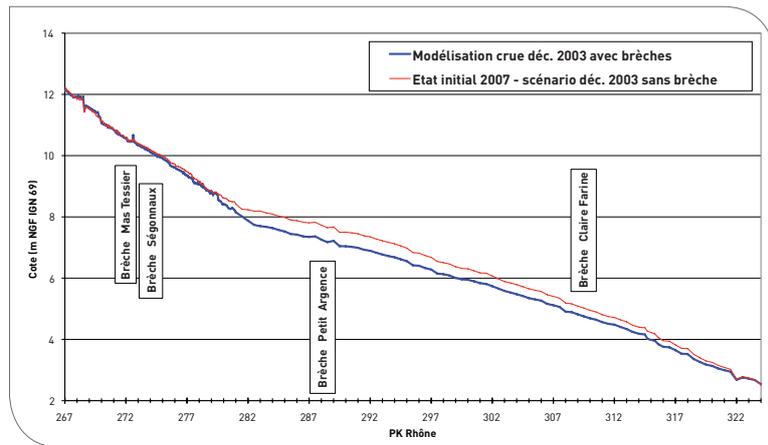
5.7.7. IMPACT DES BRÈCHES SUR LES LIGNES D’EAU

D’autres paramètres perturbent la ligne d’eau. Ces sont les brèches, qui ont des impacts notables sur la ligne d’eau aval.

En aval d’une brèche qui vient de se produire, le lit endigué propage un hydrogramme de crue obtenu par différence entre l’hydrogramme amont et celui qui est dérivé vers le lit majeur au travers de la brèche. La ligne d’eau est abaissée en proportion de la réduction de débit.

Vers l’amont, l’effet hydraulique est d’une toute autre nature. Une brèche, tant qu’elle débite, induit un abaissement de la ligne d’eau par effet de remous. Cela peut constituer un avantage local, par exemple en arrêtant un débordement qui aurait commencé. Mais cela est rarement déterminant sur de longues distances, car peu à peu l’effet des pertes de charges tout au long du cours d’eau “dilue” le bénéfice de l’abaissement aval [R 34].

La figure ci-dessous traduit l’impact des quatre brèches sur la ligne d’eau du Rhône et Petit Rhône en décembre 2003 :



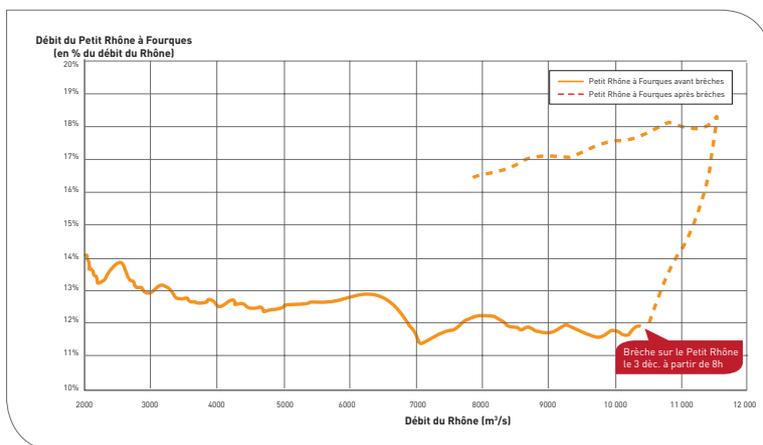
Lignes d’eau en décembre 2003 avec brèches et ligne d’eau de la crue de décembre 2003 dans l’état initial de 2007 avec déversement sans brèche

Il est cependant à noter que l’état initial 2007 tient compte des travaux de mise à la cote côté Gard du PK 276 au PK 290 qui étaient prévus avant la crue de décembre 2003. Ces travaux ont néanmoins peu d’influence.

Il en ressort que les brèches sur le Petit Rhône, en se produisant une dizaine d’heures avant la pointe de crue et en dérivant 210 millions de m³ ont eu pour effet de plafonner la ligne d’eau sur le Petit Rhône Aval, qui sans cela aurait encore plus débordé sur les digues rive droite et rive gauche. Au moment de la formation de la brèche d’Argence, le Rhône avait déjà surversé la digue au droit de Claire Farine, les digues étaient en limite de surverse, voire en début de surverse en amont d’Argence, au droit de Figarès (rive gauche) et en aval de l’écluse de Saint-Gilles.

La figure ci-dessous extraite de l'étude de calage précis entre Beaucaire et Arles montre qu'en décembre 2003, la répartition Petit Rhône Grand Rhône était d'environ 12% jusqu'à l'apparition des brèches sur le Petit Rhône qui ont créé un appel de débit sur le Petit Rhône et modifié complètement le fonctionnement du système et donc les niveaux d'eau.

Pour expliquer simplement ce phénomène : les brèches abaissent les niveaux dans le lit du fleuve mais l'impact des brèches en amont étant plus faibles, les niveaux continuent de monter compte tenu de l'augmentation du débit. Ceci a pour conséquence d'accroître la pente hydraulique entre le Rhône et le Petit Rhône, ce qui se traduit par une augmentation de débit dans le Petit Rhône.



Répartition Grand Rhône/Petit Rhône en décembre 2003 (source CNR [R 16])

Compte tenu de l'ancienneté des ouvrages et des incertitudes liées à leur mode de conception et mode de réalisation, la détermination du niveau de sûreté des ouvrages du SYMADREM nécessite la réalisation des revues de sûreté par un organisme agréé conformément à la réglementation en vigueur [R 511].

Néanmoins, nous proposons dans le présent chapitre l'établissement d'une première appréciation de cette cote de sûreté "historique" des digues par tronçons homogènes, suivant la méthodologie décrite ci-après et suivant les éléments développés dans le chapitre "historique des aménagements".

L'objectif de cette estimation est de pouvoir disposer d'une première estimation servant de base à l'ensemble des actions conduites par le SYMADREM dans le cadre du présent programme.

Les données figurant dans cette estimation représentent l'état initial à la date du 1^{er} janvier 2011.

→ 6.1. COTES DE PROTECTION, DE SÛRETÉ ET DE DANGER DE RUPTURE

6.1.1. SYSTÈME ENDIGUÉ COMPORTANT DES DÉVERSOIRS DE SÉCURITÉ

Les obligations réglementaires en termes de conception de digue n'existent pas.

Depuis la circulaire du 30 avril 2002 susvisé, la réalisation de déversoir de sécurité sur les digues est fortement recommandée et peut même faire l'objet, en cas d'absence dans une demande d'autorisation au titre du code de l'environnement, d'un refus d'autorisation par les services de l'État. Ces déversoirs de sécurité sont appelés par le SYMADREM : digue résistante à la surverse.

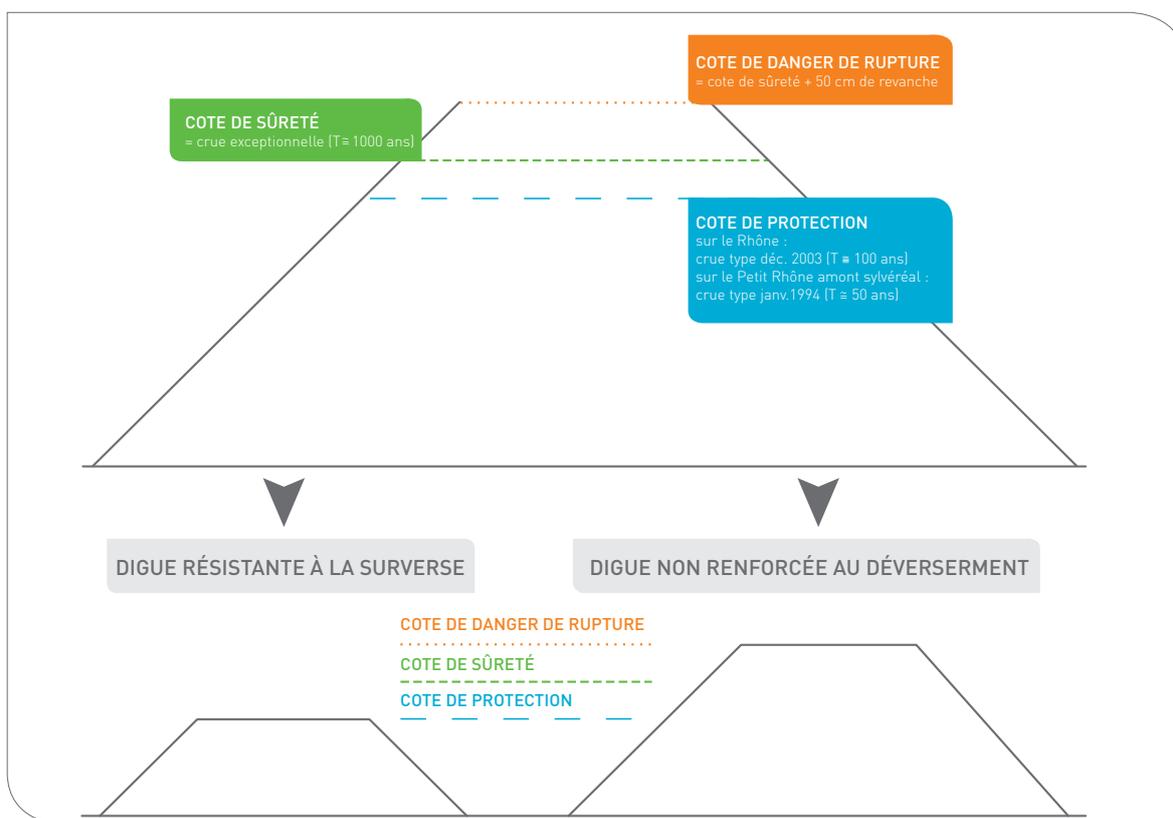
Conformément aux recommandations figurant dans la publication faite par le CEMAGREF et HYDROCOOP lors du colloque du Comité Français des Barrages et Réservoirs – Société Hydrotechnique de France en janvier 2009 sur "le fonctionnement et dimensionnement des évacuateurs de crues" [R 202], le SYMADREM a retenu pour les ouvrages à construire ou à renforcer dans le cadre du Plan Rhône, 3 cotes définies dans le glossaire :

- **La cote de protection** : c'est, par définition, la cote des digues résistantes à la surverse. Elle correspond à la cote des premiers déversements une fois tous

les aménagements du Plan Rhône réalisés. L'occurrence de ces derniers peut varier suivant les bras du Rhône. Cette cote de protection correspond à la cote altimétrique des points bas du système actuel de protection. La longueur des tronçons de digue résistante à la surverse est dimensionnée par des études hydrauliques pour éviter ou limiter au maximum les impacts hydrauliques en amont ou en aval des zones à aménager.

- **La cote de sûreté** : la cote de sûreté ou cote de sécurité correspond au niveau atteint par la crue exceptionnelle du Rhône après réalisation des aménagements du Plan Rhône.
- **La cote de danger de rupture** : c'est la cote des digues non renforcées au déversement. Elle correspond au niveau atteint par la crue exceptionnelle du Rhône après réalisation des aménagements du Plan Rhône (cote de sûreté), assortie d'une revanche de 50 cm, à l'exception de tronçons très localisés où cette revanche peut être différente.

La figure ci-après illustre les choix de conception du SYMADREM résultant des objectifs de protection et principe des aménagements définis par le schéma de gestion des inondations du Rhône aval.



Différentes cotes retenues dans la conception des ouvrages à réaliser dans le cadre du programme de sécurisation

En résumant, l'objectif du plan Rhône de construire des ouvrages capables de résister à la crue exceptionnelle du Rhône (T=1000 ans) implique la réalisation de :

- Digue résistante à la surverse calée en dessous du niveau atteint par la crue exceptionnelle du Rhône,

- Digue millénaire, non renforcée au déversement calée au-dessus du niveau atteint par la crue exceptionnelle du Rhône.

Les ouvrages du Plan Rhône sont réalisés avec un double objectif :

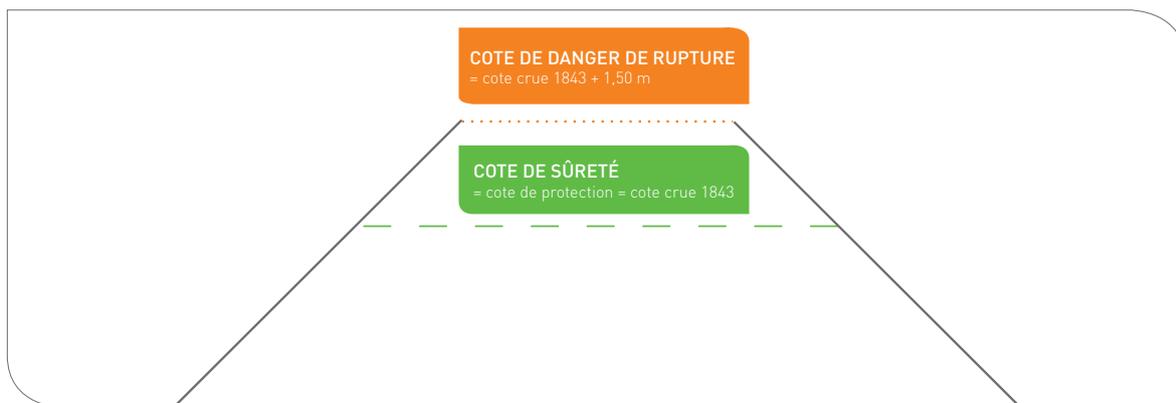
- L'absence de déversement jusqu'à la cote de protection,
- L'absence de rupture jusqu'à la cote de sûreté.

6.1.2. SYSTÈME ENDIGUÉ NE COMPORTANT PAS DE DÉVERSOIR DE SÉCURITÉ

C'est le cas du système endigué actuel, qui ne comporte pas de déversoirs de sécurité. Les cotes de protection et de sûreté sont confondues ; l'inondation provenant du fleuve ne peut être provoquée que par des brèches dans les ouvrages (cf. chapitre "historique des aménagements").

Soit le maître d'ouvrage dispose des études de projet déterminant ces cotes, soit ces cotes sont déterminées par une revue de sûreté.

La figure ci-après illustre le principe de conception des ouvrages en rive droite, qui prévaut encore sur les tronçons de digue n'ayant pas fait l'objet de travaux de confortement depuis le XIX^e siècle.



Digue ne comportant pas de déversoir de sécurité

→ 6.2. MÉTHODE DE DÉTERMINATION

Deux types de digue peuvent être aujourd'hui considérés dans le périmètre du SYMADREM :

- Les digues n'ayant fait l'objet d'aucun programme de confortement depuis leur construction au XIX^e siècle,
- Les digues ayant fait l'objet d'un programme de confortement récent (soit après les crues de 1993 et 1994).

Parmi les digues ayant fait l'objet d'un programme de confortement récent, deux types d'intervention peuvent être considérés :

- Les opérations de confortement à cote identique (programme dit des invariants en rive gauche),
- Les opérations de confortement avec mise à niveau (interventions en rive droite).

D'après l'analyse historique du rapport d'Alexandre SURREL de 1844 qui dresse très précisément les objectifs de protection et de conception des ouvrages en rive droite ; objectifs actualisés en rive gauche suite à la crue de mai 1856 par l'ingénieur BERNARD, on peut en déduire que :

Pour les ouvrages n'ayant pas fait l'objet de travaux de confortement récents :

- En rive droite, la cote de sûreté correspond à la cote atteinte par la crue de novembre 1843,
- En rive gauche, la cote de sûreté correspond à la cote atteinte par la crue de mai 1856.

Pour les ouvrages ayant fait l'objet de travaux de confortement récents :

- La cote de sûreté correspond à la cote actuelle de la crête de la digue diminuée de la revanche communément admise de 50 cm retenue sur les ouvrages neufs.

→ 6.3. DONNÉES UTILISÉES

Pour la reconstitution des niveaux atteints par la crue de mai 1856, nous avons retenu les cotes utilisées par le service navigation Rhône Saône [R 43], même si la comparaison de ces cotes avec les plans d'archives montre quelques différences, qui peuvent être significatives sur certains tronçons de digue. Ces différences, après transfert des données dans le référentiel IGN 69, peuvent s'expliquer par le fait que pour les plans anciens, les niveaux d'eau correspondent à des laisses de crues, qui peuvent être différentes, pour un même point kilométrique, entre la rive gauche et la rive droite compte tenu de l'effet des vagues (batillage provoqué par le vent) et par le fait qu'il y ait également pu avoir des erreurs de levés.

Pour la reconstitution des niveaux atteints par la crue de novembre 1843, nous avons retenu le document référencé [R 42] : Archives départementales du Vaucluse / S 479 : repère des crues de 1856 / 1840 / 1843 / 1755 / 1846. Les laisses des crues de 1755, 1840, 1843 et 1856, figurant dans ce document, nous ont permis de reconstituer la ligne d'eau de la crue de novembre 1843 à partir des niveaux atteints lors de la crue de 1856.

Pour l'estimation des lignes d'eau dans les conditions d'écoulement actuel :

- Sur le Rhône du Barrage de Vallabrègues jusqu'au PK 284, les lignes d'eau sont issues du modèle bidimensionnel, développé par la CNR_{ingénierie} dans le cadre de l'étude de calage précis entre Beaucaire et Arles [R 16],
- Sur le Petit Rhône du PK 281 à la Mer, les lignes d'eau sont issues du modèle bidimensionnel, développé par EGIS_{eau} dans le cadre de l'opération de renforcement des digues du Petit Rhône [R 17],
- Sur le Grand Rhône du PK 282,5 à la Mer, les lignes d'eau sont issues du modèle bidimensionnel, développé par la CNR_{ingénierie} dans le cadre de l'opération de renforcement des digues de Salin-de-Giraud et de Port-Saint-Louis-du-Rhône [R 18].

→ 6.4. ESTIMATION SOMMAIRE DE LA COTE DE SÛRETÉ AU 1^{ER} JANVIER 2011

Sur les tronçons de digues non confortées depuis le XIX^e siècle, la cote des crues historiques de mai 1856 ou novembre 1843 est comparée avec les lignes d'eau modélisées pour différents scénarios de crue dans les conditions d'écoulement actuel, ce qui permet de déduire la cote de sûreté des ouvrages anciens.

Sur les tronçons de digues confortées, depuis 1993 la cote actuelle de la crête de digue diminuée d'une revanche de 50 cm est comparée avec les lignes d'eau modélisées pour différents scénarios de crue dans les conditions d'écoulement actuel et la cote de sûreté est déduite de cette comparaison.

L'estimation de la cote de sûreté est faite par tronçon homogène et suivant des classes définies ci-dessous :

- Q_{10} : cote de sûreté correspondant à une crue dont la période de retour est estimée à environ 10 ans,
- Q_{20} : cote de sûreté correspondant à une crue dont la période de retour est estimée à environ 20 ans,
- Q_{30} : cote de sûreté correspondant à une crue dont la période de retour est estimée à environ 30 ans,
- Q_{50} : cote de sûreté correspondant à une crue dont la période de retour est estimée à environ 50 ans,
- Q_{100} : cote de sûreté correspondant à une crue dont la période de retour est estimée à environ 100 ans,
- Q_{1000} : niveau de sûreté correspondant à une crue dont la période de retour est estimée à environ 1000 ans,

Les profils en long et le plan de situation figurant en pages suivantes indiquent :

- Les cotes actuelles des ouvrages de protection,
- Les lignes d'eau modélisées dans les conditions actuelles des crues caractéristiques étudiées dans le plan Rhône,
- Les lignes d'eau reconstituées des crues historiques de 1843 et 1856,
- La cote de sûreté estimée par tronçons homogènes,
- La cote de submersion par tronçons homogènes.

Ces profils en long permettent de classer les ouvrages en fonction de leur cote de sûreté. On distingue ainsi :

Les ouvrages dont la cote de sûreté correspond aux crues de période de retour 10 ans sont :

- La digue du Petit Rhône rive droite en aval du Pont de Sylvéréal

Ce tronçon a fait l'objet de déversement lors des crues de 1994, 2002 et 2003. Compte tenu de la faible hauteur de chute, aucune brèche totale n'y a été observée. Seuls des départs de brèches par érosion régressive liée au déversement ont pu être observés.

Les ouvrages dont la cote de sûreté correspond aux crues de période de retour 20 ans sont :

- La digue du Petit Rhône rive droite de l'écluse de Saint-Gilles au Mas neuf de Capette,
- La digue de Grand Rhône rive droite du PK 308 à la Mer.

La digue du Petit Rhône rive droite a été classée en catégorie A au titre du décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007.

La digue du Grand Rhône rive droite est située au droit du village de Salin-de-Giraud. Elle a été classée en catégorie B au titre du décret précité.

Les ouvrages dont la cote de sûreté correspond aux crues de période de retour 30 ans sont :

- La digue du Petit Rhône rive gauche de l'autoroute A54 au village d'Albaron,
- La digue du Petit Rhône rive gauche de l'aval du village d'Albaron à la Mer,
- La digue du Grand Rhône rive gauche de Grand Boisviel au canal du Rhône à Fos,
- La digue du Grand Rhône rive gauche de Port-Saint-Louis-du-Rhône (partie aval).

Ces tronçons de digues ont été classés en catégorie B au titre du décret précité.

Il est à noter que la digue de Port-Saint-Louis-du-Rhône a fait l'objet d'un confortement récent. La période de retour de la cote de sûreté assez faible s'explique par le fait que le confortement a été réalisé à la cote identique et que l'influence du niveau marin est assez élevée.

Les ouvrages dont la cote de sûreté correspond aux crues de période de retour 50 ans sont :

- La digue du Rhône rive droite du Fer à Cheval à la station BRL,
- La digue du Petit Rhône rive droite du Mas neuf de Capette au Pont de Sylvéreal,
- La digue du Petit Rhône rive gauche du Mas de Cazeneuve à l'autoroute A54,
- La digue du Grand Rhône rive gauche de Prends-té-Garde à Grand Boisviel,
- La digue du Grand Rhône rive droite de Petite Montlong à Boisverdun,

Les digues du Rhône et Petit Rhône rive droite sont classées en catégorie A au titre du décret précité.

Les digues du Grand Rhône et du Petit Rhône rive gauche sont classées en catégorie B au titre du décret précité.

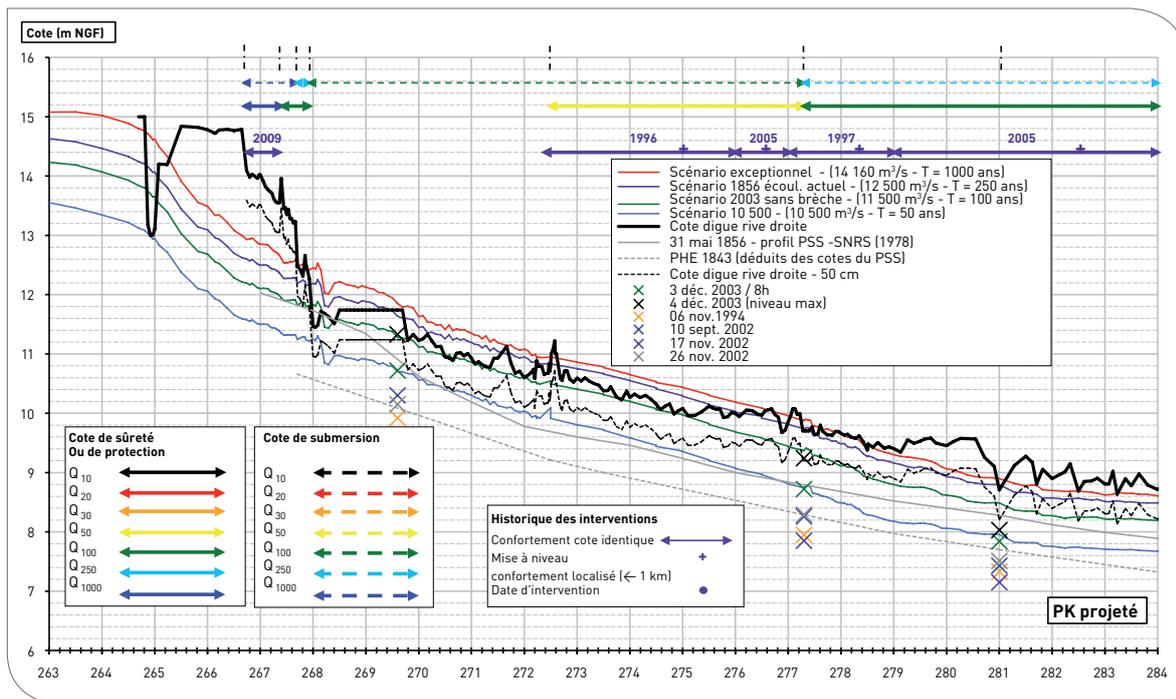
Les ouvrages dont la cote de sûreté correspond aux crues de période de retour 100 ans sont :

- La digue de la Montagnette et les quais de Tarascon,
- La digue du Rhône rive droite de la station BRL à Fourques,
- La digue du Petit Rhône rive droite de Fourques au pont de Saint-Gilles,
- La digue du Petit Rhône rive gauche du Pont suspendu au Mas de Cazeneuve,

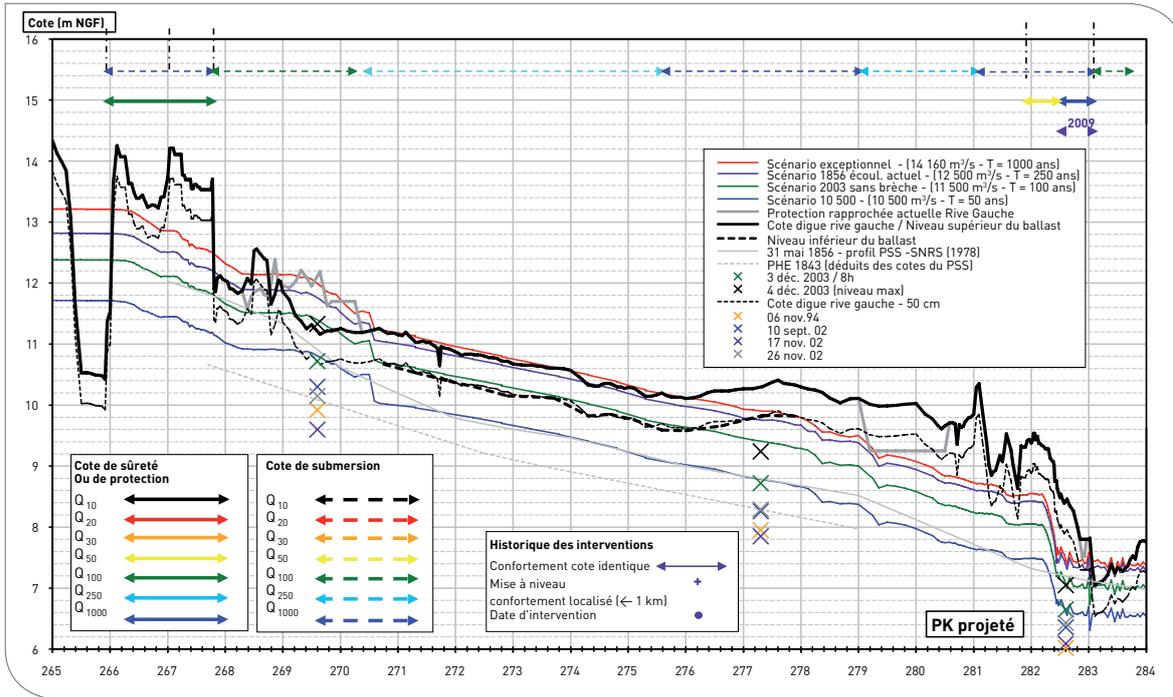
- Le quai de la gare maritime,
- La digue du Grand Rhône rive droite des Papeteries Etienne,
- La digue du Grand Rhône rive gauche de Barriol.
- Le quai Marx Dormoy en rive gauche du Grand Rhône,

Les ouvrages dont la cote de sûreté correspond aux crues de période de retour 1000 ans sont :

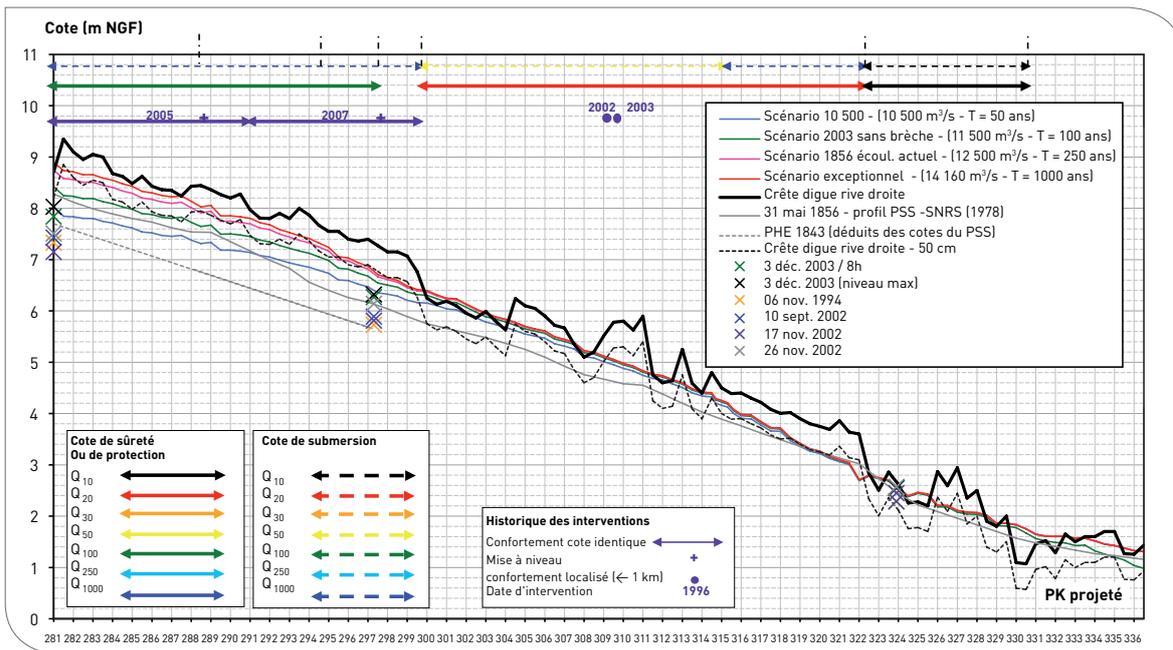
- La digue de la Vierge et la digue du Musoir,
- La digue de la banquette,
- La digue du défluent,
- Le quai Saint Pierre, quai Trinquetaille et quai de la Gabelle,
- La digue du Grand Rhône rive droite de Emmaüs à Petite Montlong,
- Le quai de la roquette,
- La digue du Petit Rhône rive droite du Pont de Saint-Gilles à l'écluse de Saint-Gilles,
- La digue du Petit Rhône rive gauche au droit du village d'Albaron,
- La digue du Petit Rhône rive gauche de Senebier au Pont de Sylvéréal.



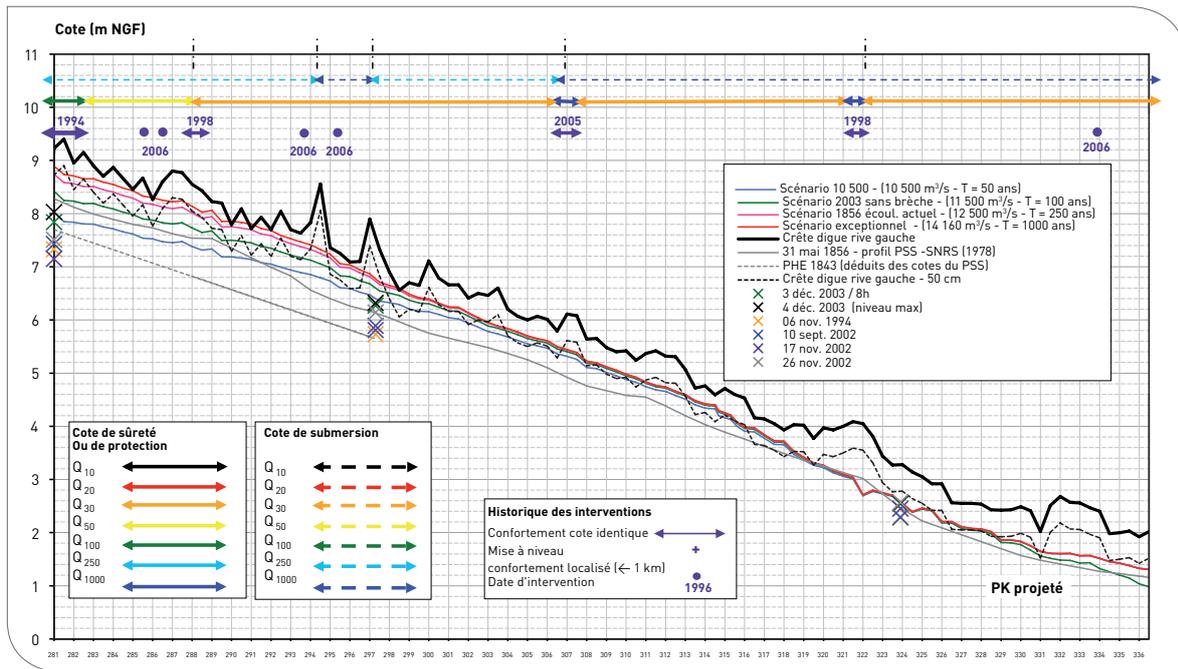
Rhône rive droite – État initial – profil en long des lignes d'eau et estimation sommaire de la cote de sûreté des digues



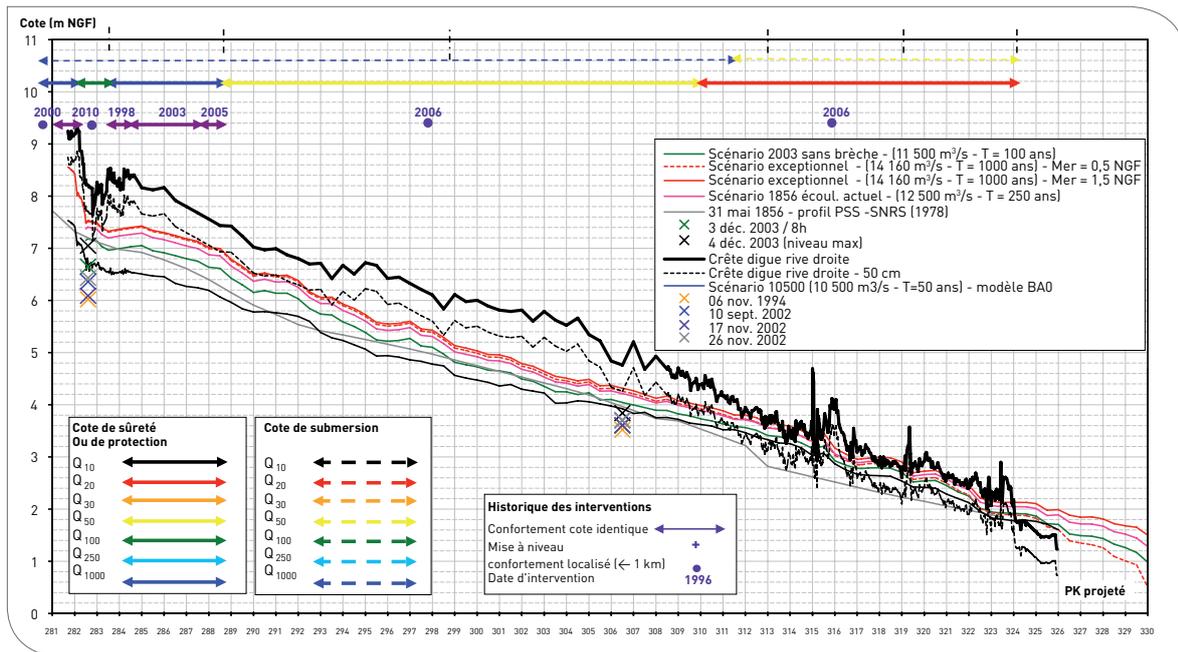
Rhône rive gauche – État initial – profil en long des lignes d'eau et estimation sommaire de la cote de sûreté des digues



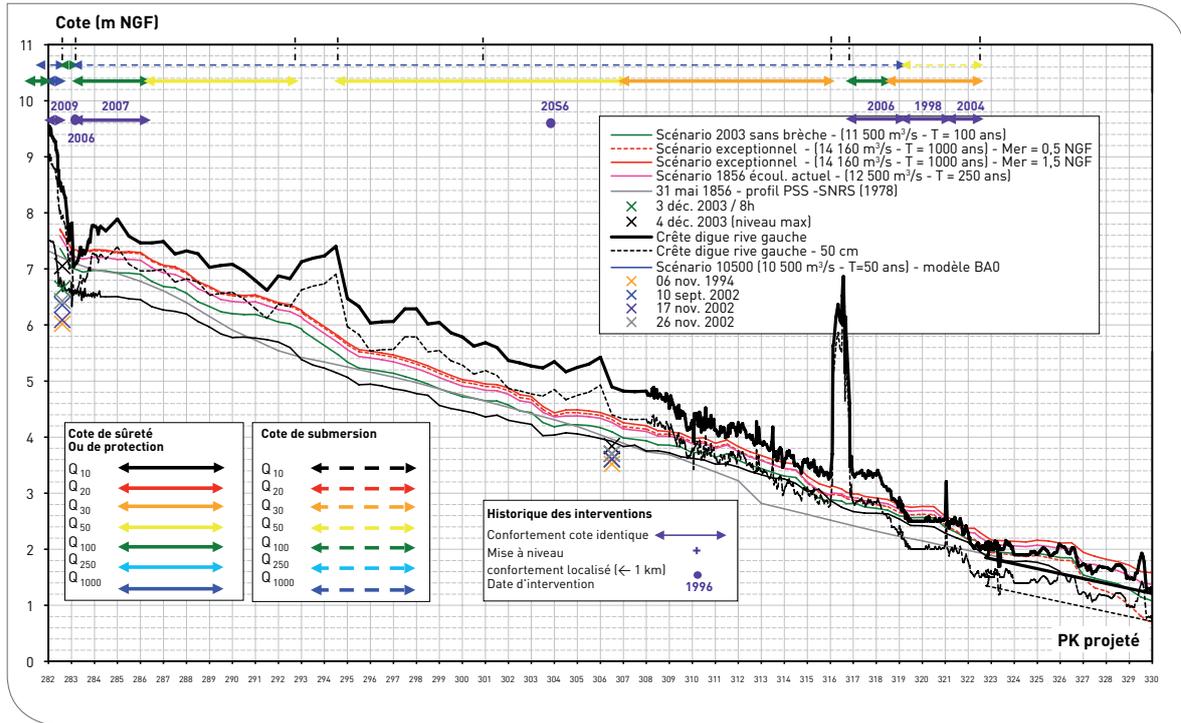
Petit Rhône rive droite – État initial – profil en long des lignes d'eau et estimation sommaire de la cote de sûreté des digues



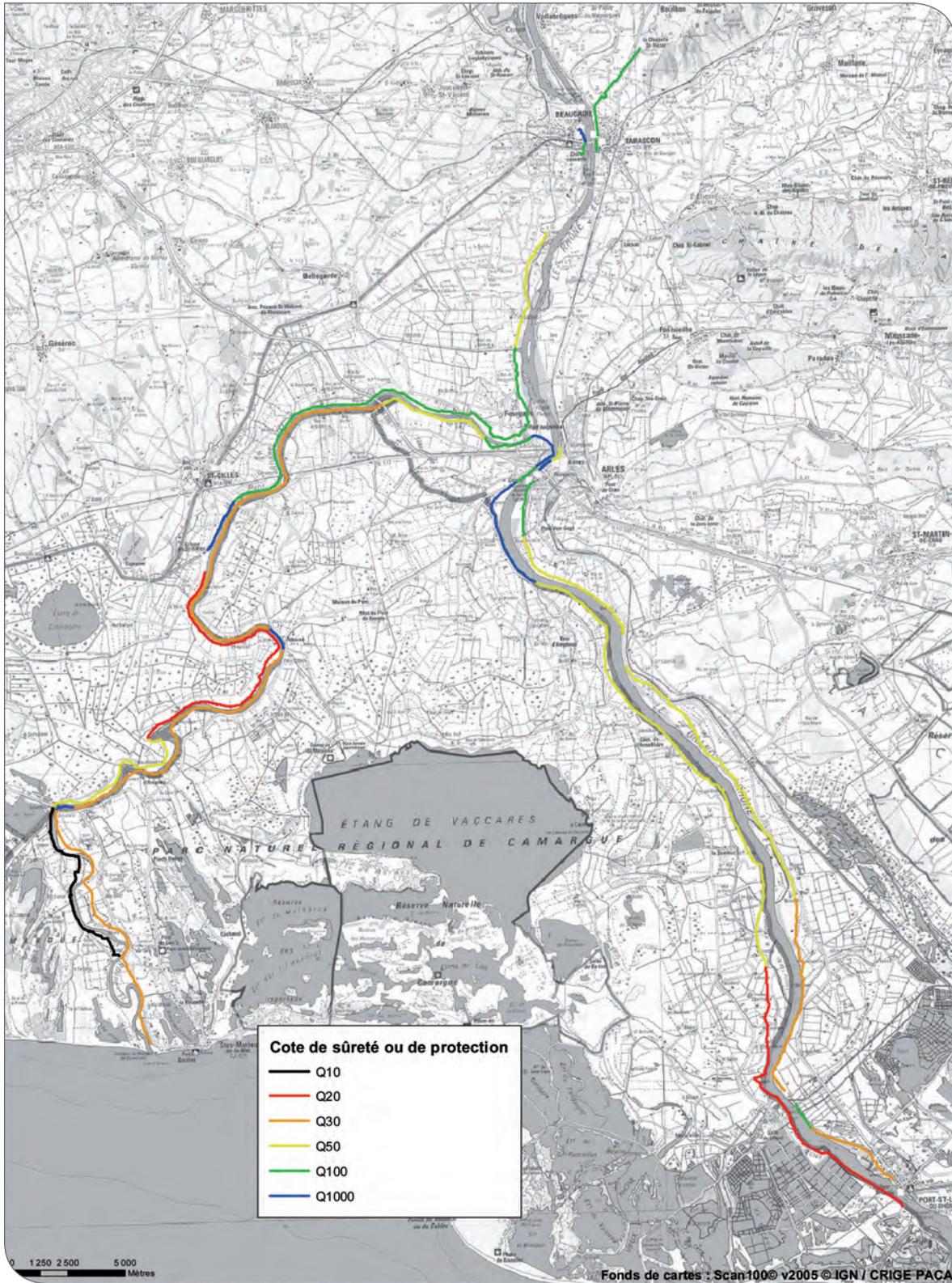
Petit Rhône rive gauche – État initial – profil en long des lignes d'eau et estimation sommaire de la cote de sûreté des digues



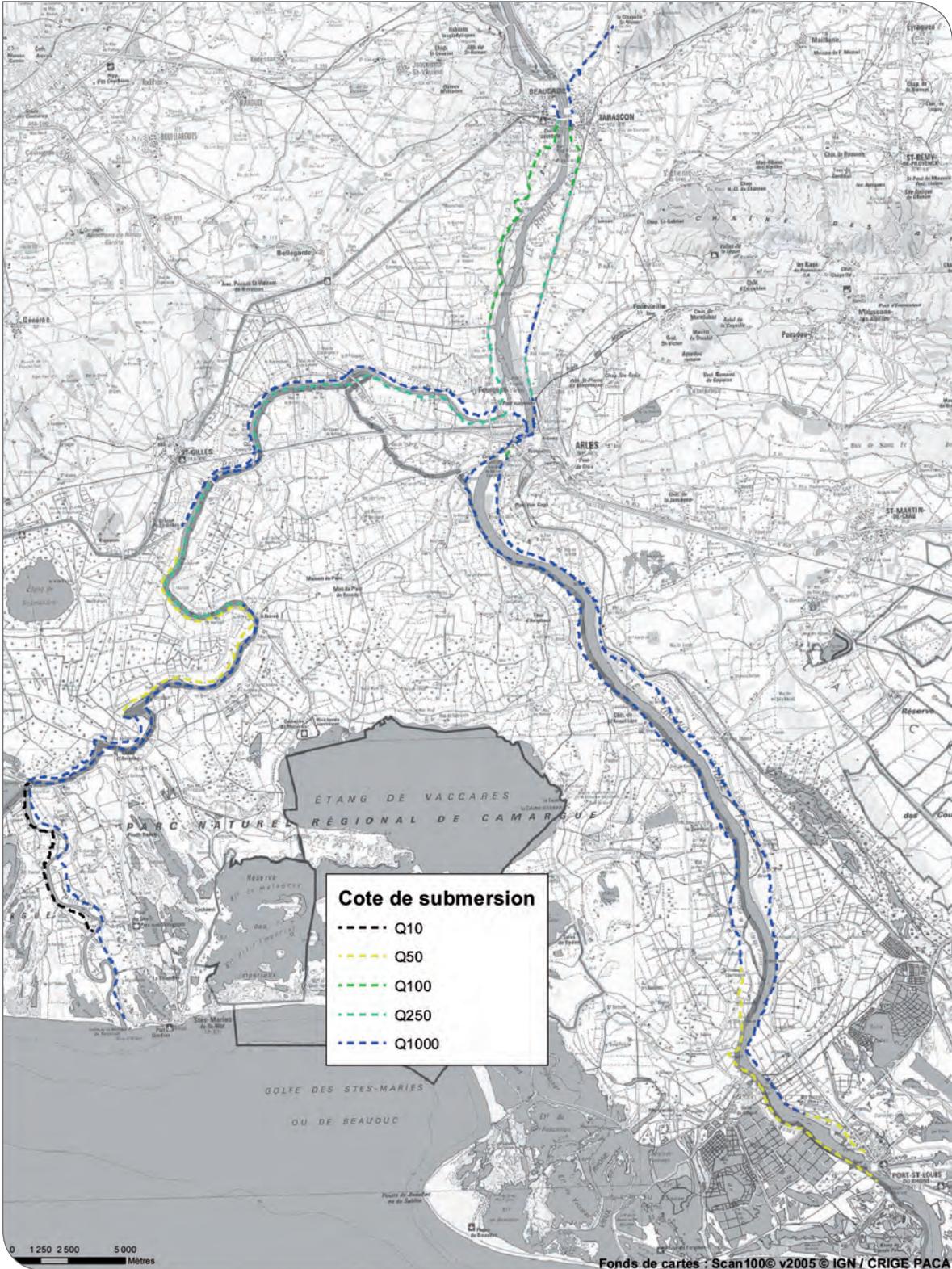
Grand Rhône rive droite – État initial – profil en long des lignes d'eau et estimation sommaire de la cote de sûreté des digues



Grand Rhône rive gauche – État initial – profil en long des lignes d'eau et estimation sommaire de la cote de sûreté des digues



État initial – Estimation sommaire de la cote de sûreté des ouvrages du SYMADREM



État initial – Estimation de la cote de submersion des ouvrages du SYMADREM



02

OBJECTIFS,
DESCRIPTION,
IMPACTS ET
JUSTIFICATION
DU PROGRAMME
DE SÉCURISATION

PAGE 116

7. Objectifs et description du programme de sécurisation

- 7.1 Objectif prioritaire : la sécurisation du système actuel de protection 116
- 7.2 Limites du système actuel de protection 116
- 7.3 Principes des aménagements et objectifs de protection retenus dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval 120
- 7.4 Gain apporté par les digues résistantes à la surverse 121
- 7.5 Objectifs de protection et objectifs de sécurité du programme de sécurisation 122
- 7.6 Objectifs environnementaux 125
- 7.7 Adaptabilité des ouvrages au changement climatique 126
- 7.8 Méthodologie générale d'intervention 129
- 7.9 Type d'aménagements et calage des ouvrages 133

PAGE 146

8. Études de diagnostic et de conception des ouvrages

- 8.1 Les modes de rupture pris en compte dans les études 146
- 8.2 Évaluation du mode de rupture par surverse 147
- 8.3 Évaluation du mode de rupture par érosion interne 149
- 8.4 Évaluation du mode de rupture par affouillement externe 152
- 8.5 Évaluation du mode de rupture par glissement 156
- 8.6 Contenu des études de diagnostic 157
- 8.7 Évaluation du risque de brèches 166
- 8.8 Objectifs des études de conception 170
- 8.9 Objectifs des études de la zone protégée 173
- 8.10 Étude de dangers 175

PAGE 176

9. Études hydrauliques : découpage des modèles

- 9.1 Objectifs 176
- 9.2 Contenu des études hydrauliques 176
- 9.3 Choix de modèles 2D 176
- 9.4 Hypothèses prises et justification du choix de découpage des modèles hydrauliques 178
- 9.5 Modèle n°1 : De l'étude de calage 180
- 9.6 Modèle n°2 : Lit protégée rive droite du Rhône 183
- 9.7 Modèle n°3 : Grand Rhône et partie de lit protégée du Grand Rhône 186
- 9.8 Modèle n°4 : Petit Rhône, petite Camargue et île de Camargue 188
- 9.9 Modèle n°5 : Lit protégée rive gauche du Rhône et du Grand Rhône 191

PAGE 194

10. Impact du programme de sécurisation

- 10.1 Impact hydraulique : état initial 194
- 10.2 Impact hydraulique : scenarios de crues étudiés 195
- 10.3 Impact dans la zone protégée 198
- 10.4 Impact dans le lit endigué : contraintes réglementaires et qualification 218
- 10.5 Étapes de calage des ouvrages de protection et qualification de l'impact hydraulique dans le lit endigué 219
- 10.6 Impact du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles avant mesures d'annulation et réduction d'impacts 220
- 10.7 Analyse des incidences liées à l'exhaussement des lignes d'eau en amont de Beaucaire/Tarascon 223

→ 10.8 Détermination et justification des mesures d'annulation et réduction d'impact hydraulique	232
→ 10.9 Impact du programme sur le Rhône du barrage de Vallabregues à Arles	255
→ 10.10 Impact du programme sur le Grand Rhône	262
→ 10.11 Impact du programme sur le Petit Rhône	269
→ 10.12 Impact sur les débits et la répartition Petit Rhône/Grand Rhône	275
→ 10.13 Volume soustrait ou gagné aux capacités d'expansion des crues	277
→ 10.14 Impact environnemental	278
→ 10.15 Impact paysager	295
→ 10.16 Conformité avec le SDAGE BRM 2010-2015	295
→ 10.17 Conclusion sur l'impact général du programme	299

PAGE 300

11. Phasage opérationnel du programme

→ 11.1 Typologie des travaux	300
→ 11.2 Critères de découpage du programme en opérations	302
→ 11.3 Découpage et phasage des opérations	306
→ 11.4 Planning prévisionnel des opérations	313

PAGE 316

12. Concertation et information du public

→ 12.1 Années 2005-2006 : mise en place des comités territoriaux de concertation et élaboration du Pré-Schéma Sud	316
→ 12.2 Années 2007-2009 : les études du SYMADREM sont engagées, la concertation se poursuit	317
→ 12.3 Années 2009-2010 : réunions publiques et décisions	319
→ 12.4. Lettre d'information, site internet	324

PAGE 326

13. Maîtrise d'ouvrage des travaux et exploitation des ouvrages après travaux

→ 13.1 Principe général de répartition de la maîtrise d'ouvrage	326
→ 13.2 Répartition de maîtrise d'ouvrage	327
→ 13.3 Exploitation des ouvrages après travaux	327
→ 13.4 Consistance des missions d'exploitation des ouvrages	333

PAGE 339

14. Financement des opérations

→ 14.1 Clés de financement	339
→ 14.2 Montant global du programme de sécurisation	339
→ 14.3 CPIER plan Rhône 2007-2013	342

PAGE 344

15. Justification du calage des ouvrages de protection

→ 15.1 Justification du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles : examen des différentes solutions	344
→ 15.2 Justification du calage des ouvrages sur le Grand Rhône	358
→ 15.3 Justification du calage des ouvrages sur le Petit Rhône	367

7 OBJECTIFS ET DESCRIPTION DU PROGRAMME DE SÉCURISATION

→ 7.1. OBJECTIF PRIORITAIRE : LA SÉCURISATION DU SYSTÈME ACTUEL DE PROTECTION

Le système actuel de protection a plus de 150 ans et présente un niveau de sûreté relativement hétérogène et le plus souvent insuffisant notamment au droit de secteurs urbanisés. Il y a donc lieu de sécuriser le système actuel en rendant, conformément aux objectifs du Plan Rhône, très improbable la formation de brèches jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône, dont la période de retour a été estimée dans le cadre de l'EGR à 1000 ans.

→ 7.2. LIMITES DU SYSTÈME ACTUEL DE PROTECTION

La brèche est une rupture brutale de la digue en crue, provoquant une vague de submersion dans la plaine inondable que l'ouvrage était censé protéger. La photo ci-dessous, prise en septembre 2002 par la Mairie d' Aimargues sur les digues du Vidourle, illustre le danger que peut représenter une brèche pour les populations habitant dans le lit protégé d'un fleuve.



Brèche dans les digues du Vidourle – Aimargues/Septembre 2002 (©ville d'Aimargues)

Comme cela a été dit dans le chapitre précédent, dans un système endigué sans déversoir de sécurité, la cote de protection et la cote de sûreté se confondent et sont situées en-dessous de la cote de submersion de la digue.

Cela signifie que la probabilité de formation d'une brèche augmente sensiblement dès que le niveau d'eau atteint par la crue dépasse le seuil correspondant à la cote de sûreté de l'ouvrage. Le risque de brèche devient quasi-certain (probabilité de $\frac{1}{2}$) à certain (probabilité de 1) quand la cote de danger est atteinte. Dans un système de protection sécurisé, la cote de danger correspond à la cote de la crête de digue. Dans un système non sécurisé, cette cote de danger n'est pas connue et peut être calée en dessous de la crête de la digue.

Cette conception pose des problèmes de sécurité publique pour plusieurs raisons :

- L'inondation par le fleuve intervient uniquement quand il y a rupture des ouvrages et brèche,
- La localisation de ces brèches est aléatoire, ce qui pose de nombreux problèmes dans l'organisation des plans communaux de sauvegarde et des plans de secours,
- L'inondation par le fleuve provoquée une rupture de l'ouvrage génère un effet de vagues et des vitesses très importantes qui ne permettent pas, dans la bande de sécurité, le déplacement des personnes,
- L'inondation par le fleuve provoquée une rupture de l'ouvrage peut intervenir avant surverse. Les habitants de la zone protégée peuvent donc avoir en crue une impression de sécurité, alors même que la cote de sûreté a été dépassée et que les ouvrages sont sollicités au-dessus de leur dimensionnement.

En considérant que :

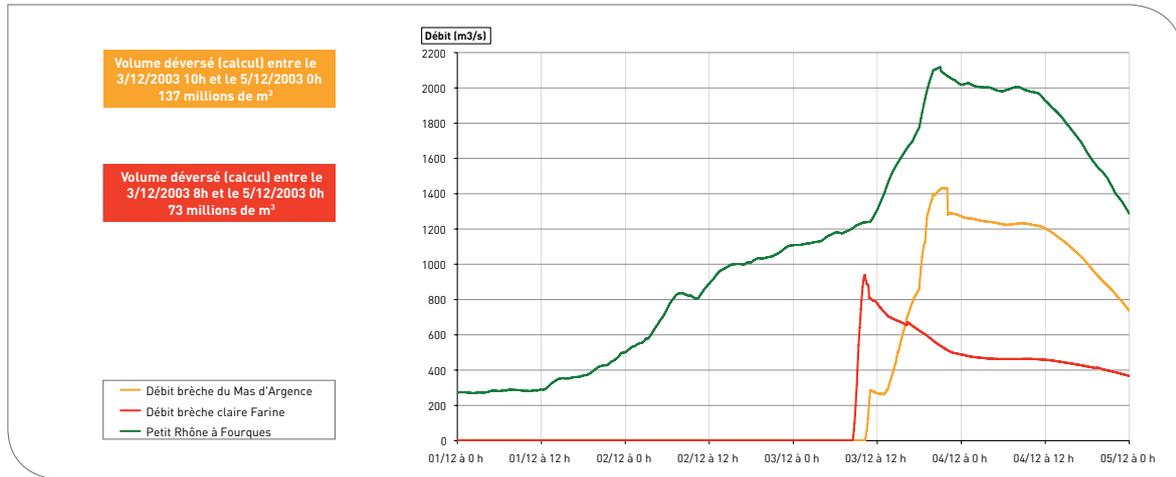
- La probabilité de formation d'une brèche dans le système actuel, sur la base du retour d'expérience des crues de 2002 et 2003, est de 1 pour les crues atteignant la crête de digue,
- Les crues atteignant ou dépassant la crête de digue correspondent à des événements de périodes de retour respectivement de 50 ans sur le Petit Rhône et Grand Rhône et de 100 ans sur le Rhône (cf. chapitre "Estimation sommaire de la cote de sûreté"),
- La probabilité d'avoir dans les 20 prochaines années (durée de réalisation du Plan Rhône) des crues supérieures aux crues de période de retour 50 et 100 ans, est respectivement de 1 chance sur 3 et 1 chance sur 5.

On en déduit que pour les 20 prochaines années, le risque de brèche est de 1 chance sur 3 sur le Petit Rhône et Grand Rhône et de 1 chance sur 5 sur le Rhône entre Beaucaire et Arles. Cet exposition au risque est inacceptable et confirme la nécessité de sécuriser très rapidement le système actuel de protection.

Outre le problème posé sur la sécurité des personnes, la brèche génère des volumes de déversement très importants ; la zone protégée continuant d'être inondée même en décrue, jusqu'à ce que le niveau d'eau descende en dessous de la cote du terrain naturel.

Ces volumes de déversement causent d'importants dommages. En décembre 2003, ces derniers ont été estimés par la DREAL de Bassin à 700 millions d'euros dans le Grand Delta du Rhône.

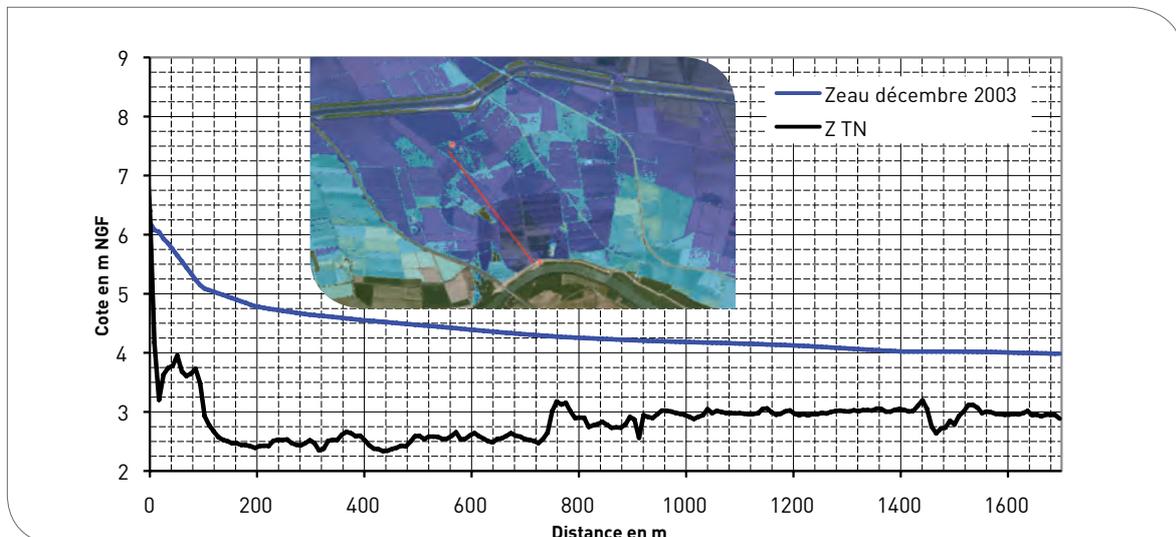
La figure ci-dessus extraite de [R 16] illustre les hydrogrammes reconstitués des brèches de Petit Argence et de Claire Farine en décembre 2003. Le volume total d'eaux ayant transité dans les deux brèches est estimé à 210 millions de m³. On peut ainsi voir que même lors de l'amorce de la décrue le 4 décembre 2003 à partir de 12h, les débits transitant dans les brèches de Petit Argence et Claire Farine étaient estimés encore respectivement à 1200 m³/s et 450 m³/s.



Hydrogrammes sur le Petit Rhône, dans les brèches de Claire Farine et Petit Argence lors de la crue de décembre 2003 (source CNR [R 16])

La figure ci-dessous extraite de [R 61] montre le profil en long de la vague provoquée par la brèche de Petit Argence et modélisée par ISL dans le cadre de l'étude de renforcement de la digue de Beaucaire/Fourques.

L'examen de ce profil en long montre que l'onde de rupture provoquée par la brèche de Petit Argence a été très importante sur une longueur de 100 mètres, puis progressivement à partir de 200 mètres, elle a perdu de sa puissance. On note néanmoins que la hauteur de la vague était supérieure à 1 mètre sur une distance d'environ 1,5 km.



Profil en long de la vague provoquée par la brèche de Petit Argence (source ISL [R 61])

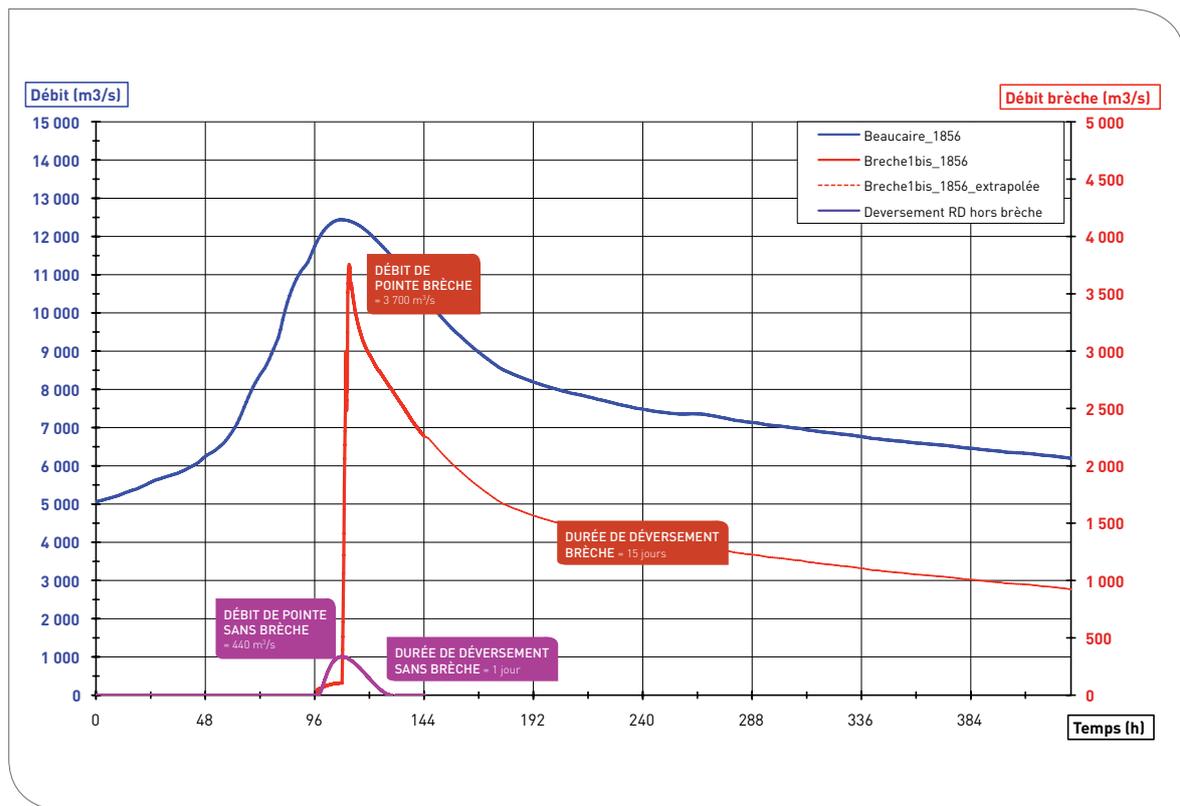
Les digues du Rhône entre Beaucaire et Arles étaient lors de la crue de décembre 2003 en limite de surverse. Certains déversements très localisés ont pu être contenus par l'apport de matériaux de remblais, notamment au droit de la station BRL au PK 277,3.

Dans le cadre de [R 61], des simulations ont été menées sur les débits et volumes de déversements qui pourraient être occasionnés dans les digues du Rhône entre Beaucaire et Arles en cas de brèches pour une crue comparable à celle de mai 1856.

Les hydrogrammes figurant ci-dessous permettent à la fois d'illustrer l'impact des brèches pour lit protégé :

- La courbe en bleu représente l'hydrogramme de crue à la station de Beaucaire/Tarascon (débit sur l'axe à gauche),
- La courbe en violet caractérise les déversements en rive droite sans formation de brèche (débit sur l'axe à droite),
- La courbe en rouge caractérise les déversements au droit de la brèche. La formation de la brèche intervient, dans cet exemple, à la pointe de crue (débit sur l'axe à droite).

On voit clairement que les écoulements transitant par la brèche peuvent atteindre des débits très élevés (env. 3700 m³/s dans le cas présent) compte tenu de ce que la digue est effacée sur toute sa hauteur. Ce débit est à comparer avec les débits de déversements hors brèche qui sont beaucoup plus faibles et qui sont dus à la faible lame d'eau déversante (débit estimé à environ 440 m³/s).



Hydrogramme des déversements hors brèche (violet) et par la brèche (rouge) (source CNR [R 16])

La formation de brèche a également pour effet que les entrées d'eau se produisent pendant toute la durée de la décrue, alors que pour des déversements sans brèche, l'inondation par le fleuve cesse dès que les niveaux d'eau redescendent sous la crête digue. Dans le présent cas :

- Le volume de déversement par la brèche est estimé à 1 700 millions de m³,
- Le volume de déversement hors brèche est estimé à 15 millions de m³, soit 100 fois moins !

→ 7.3. PRINCIPES DES AMÉNAGEMENTS ET OBJECTIFS DE PROTECTION RETENUS DANS LE SCHÉMA DE GESTION DES INONDATIONS DU RHÔNE AVAL

Pour réduire très fortement la probabilité de formation de brèches jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône, il s'avère non seulement nécessaire de conforter les ouvrages actuels suivant les recommandations actuelles en matière de conception dans le domaine des digues et barrages, mais aussi d'aménager des tronçons de digue renforcés de manière à résister à un déversement sans rupture lors des crues débordantes, constatées aujourd'hui pour des crues supérieures à la crue cinquantennale.

Les principes retenus dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval (p. 42 de [R 33]) sont l'aménagement de :

- Tronçons de digue calés sans revanche, renforcés pour résister au déversement,
- Tronçons de digues non renforcés au déversement, calés avec revanche.

Ces tronçons de digue renforcés pour résister au déversement sont appelés dans la suite du rapport "digues résistantes à la surverse".

La cote de protection des sections renforcées au déversement entre Beaucaire et Arles a été fixée, en première approche à 30 cm au-dessus du niveau d'eau effectivement atteint en décembre 2003 (p. 48 et 49 de [R 33]). Cette différence de 30 cm correspond à l'impact moyen, estimé au lendemain de la crue, des 4 brèches sur les niveaux d'eau entre Beaucaire et Arles [R 10].

En ce qui concerne le calage des sections non renforcées au déversement, le schéma de gestion des inondations du Rhône aval préconise de caler ces ouvrages à la crue millénaire (p. 48 de [R 33]).

Aucun élément ne figure dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval sur la détermination de la revanche. Dans le cadre de l'étude de calage, le bureau d'étude de la CNR a proposé au SYMADREM de retenir une revanche d'environ 50 cm [R 16].

La cote de protection retenue sur le Petit Rhône est la cote atteinte après aménagement par la crue cinquantennale, dont le débit de pointe à la station de Beaucaire/Tarascon est estimé à environ 10 500 m³/s.

Le schéma de gestion des inondations du Rhône aval n'a pas émis de recommandations sur les cotes de protection à retenir sur le Grand Rhône notamment à proximité de l'embouchure avec la Mer.

En ce qui concerne les crues déversantes, le schéma de gestion des inondations

du Rhône aval a proposé une répartition égale (50/50) des volumes déversés en rive droite et rive gauche du Rhône et du Petit Rhône.

Ces principes et objectifs ont été validés par le Comité du Pilotage du Plan Rhône le 7 juillet 2006.

→ 7.4. GAIN APPORTÉ PAR LES DIGUES RÉSISTANTES À LA SURVERSE

Le renforcement des digues à la surverse nécessite de renforcer le talus aval (côté lit protégé) par une protection capable de résister à l'érosion pour des vitesses élevées (environ 5 mètres/seconde dans le cas des digues du Rhône).

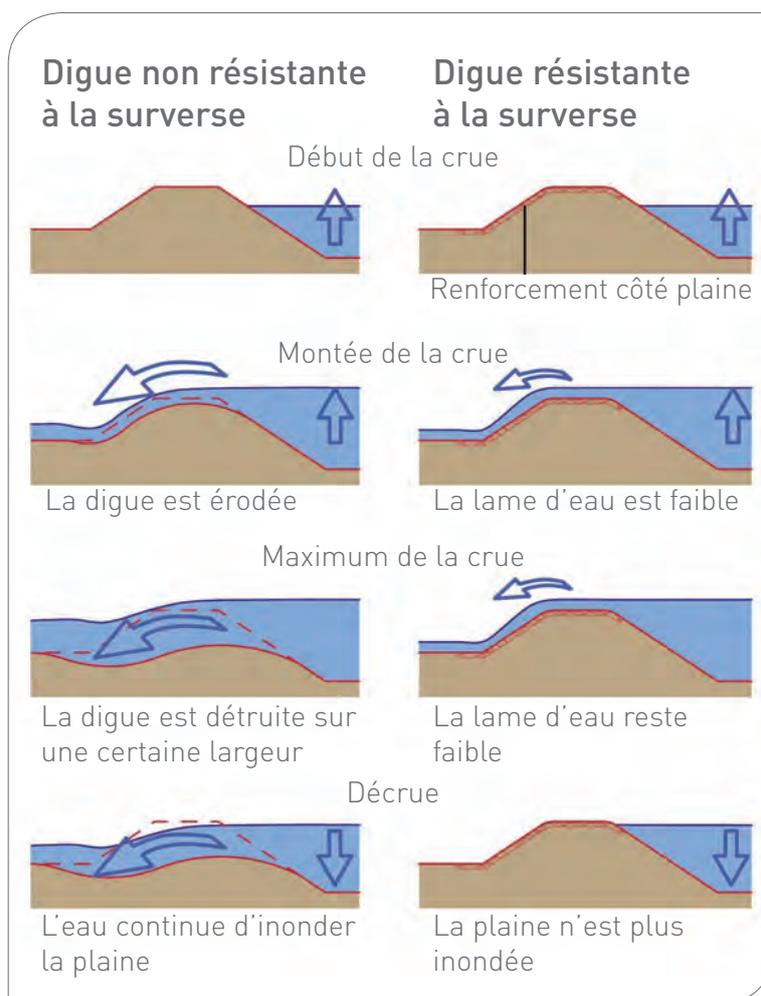
Le déversement sur ce type d'ouvrages peut être comparé au déversement sur un seuil en rivière, comme le montre la photo ci-contre.

Les gains en termes de réduction de débits et volumes de déversement sont considérables. Ce gain est quantifié pour les différents scénarios de crues étudiées dans le chapitre "impacts et mesures du programme".

La figure ci-après compare le fonctionnement actuel et le fonctionnement projeté.



Déversement sans rupture sur un seuil en rivière sur la Cèze



Digues non résistantes à la surverse et digues résistantes à la surverse (schéma Jean-Luc Masson)

→ 7.5. OBJECTIFS DE PROTECTION ET OBJECTIFS DE SÉCURITÉ DU PROGRAMME DE SÉCURISATION

L'objectif principal du programme est de construire des ouvrages de protection contre les crues capables de résister à la rupture pour une crue exceptionnelle du Rhône, dont le débit de pointe est estimé à 14 160 m³/s à la station de Beaucaire/Tarascon.

Les principes retenus par le schéma de gestion des inondations du Rhône aval sont l'aménagement de :

- Tronçons de digue calés sans revanche, renforcés pour résister au déversement. Ces digues sont appelées dans le présent document : **digue résistante à la surverse** ;
- Tronçons de digues non renforcés au déversement, calés avec revanche. Ces digues sont appelées dans le présent document : **digue millénaire**.

Conformément aux recommandations du CEMAGREF [R 202], le SYMADREM a retenu pour les ouvrages à construire ou à renforcer dans le cadre du Plan Rhône, 3 cotes :

- **Cote de protection** : c'est la cote des digues résistantes à la surverse. Elle correspond à la cote des premiers déversements une fois tous les aménagements du Plan Rhône réalisés. L'occurrence de ces derniers peut varier suivant les bras du Rhône. Cette cote de protection correspond aux points bas du système de protection actuel.
 - **La cote de protection entre Beaucaire et Arles** correspond au niveau d'eau atteint pour une crue type décembre 2003 sans brèche, dont le débit de pointe est estimé à 11 500 m³/s ± 5 % à la station de Beaucaire/Tarascon et dont la période de retour est légèrement supérieure à 100 ans, suivant l'analyse statistique définie dans l'Étude Globale Rhône (EGR) ;
 - **La cote de protection sur le Petit Rhône** correspond au niveau d'eau atteint pour une crue, dont le débit de pointe est estimé à 10 500 m³/s à la station de Beaucaire/Tarascon et dont la période de retour est de l'ordre de 50 ans, suivant l'analyse statistique définie dans l'Étude Globale Rhône (EGR) ;
 - **La cote de protection sur le Grand Rhône** correspond en rive droite au niveau d'eau atteint pour une crue, dont le débit de pointe est estimé à 11 500 m³/s à la station de Beaucaire/Tarascon diminuée de 35 cm et en rive gauche, au niveau d'eau atteint pour une crue, dont le débit de pointe est estimé à 12 500 m³/s à la station de Beaucaire/Tarascon ;
 - Les cotes de protection ayant été préalablement fixées sur le Rhône et Petit Rhône par le schéma de gestion des inondations du Rhône aval ; **les longueurs des tronçons de digues résistantes à la surverse ont été dimensionnées de façon à n'avoir aucun impact hydraulique notable en amont, en aval et sur la rive opposée par rapport à l'état initial défini par les services de police de l'eau. Des mesures d'annulation et réduction d'impact ont néanmoins été nécessaires sur le Rhône pour atteindre les objectifs de protection définis dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval.**

- **Cote de sûreté ou sécurité** : la cote de sûreté ou cote de sécurité correspond au niveau atteint par la crue exceptionnelle du Rhône après réalisation des aménagements du Plan Rhône. la période de retour de cette crue est estimée à 1000 ans, suivant l'analyse statistique définie dans l'Etude Globale Rhône (EGR) ;
- **Cote de danger** : c'est la cote des digues non renforcées au déversement. Elle correspond au niveau atteint par la crue exceptionnelle du Rhône après réalisation des aménagements du Plan Rhône (cote de sûreté), assortie d'une revanche de 50 cm.

Cette revanche de 50 cm a été fixée dans le cadre de l'étude de calage [R16] en fonction du niveau maximum acceptable en traversée d'Arles et des objectifs de protection entre Beaucaire et Arles définis dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval [R33]. Elle permet de faire face à des incertitudes de trois types :

- **Incertitudes liées à la modélisation, dont la précision absolue est estimée à 20 cm.**

En traversée d'Arles, la ligne d'eau est fortement "chahutée", du fait :

- De la présence d'un coude prononcé,
- D'un changement de section notable avec un approfondissement important des fonds,
- De la présence de deux ponts (avec chacun deux piles dans le lit du fleuve).

Les lignes d'eau calculées témoignent d'ailleurs de la difficulté de convergence numérique, malgré un maillage particulièrement raffiné en traversée d'Arles (maille de 15 m dans le sens longitudinal – 5 m dans le sens transversal).

- **Incertitudes liées aux caractéristiques hydrologiques et hydrauliques du système, dans une fourchette de 30 cm restants :**

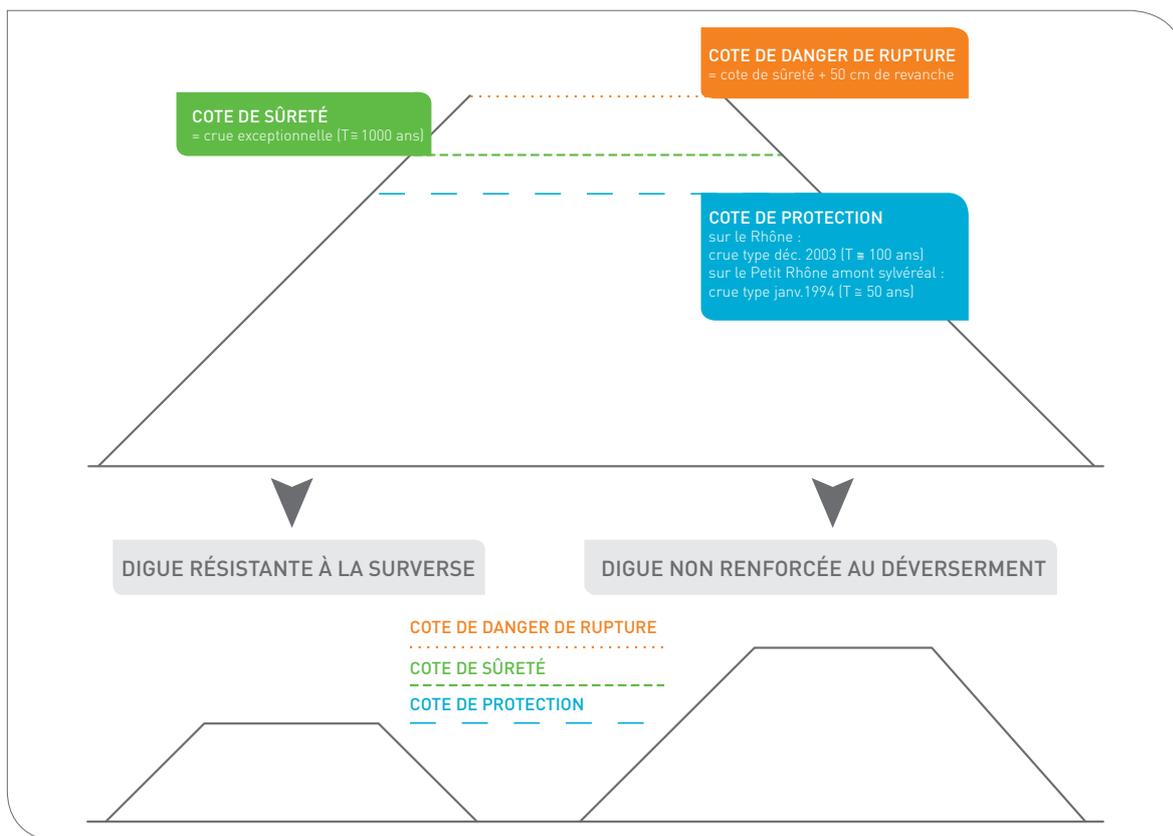
- Rapidité des événements futurs (crue plus ou moins rapide), évaluée à 10 cm environ,
- Évolution incertaine et inconnue des conditions d'écoulement et de la rugosité qui permet de faire face à une augmentation de la rugosité (diminution du coefficient de Strickler de 4 points environ),
- Évolution incertaine et inconnue de la bathymétrie du Rhône, qui permet de faire face à un engravement notable du Rhône, supérieur en valeur absolue à l'incision mesurée entre les campagnes bathymétriques réalisées en 2002 et 2007.

- **Incertitudes liées à l'effet des vagues pouvant être estimées à 35 cm.**

Si l'on considère que ces trois incertitudes sont indépendantes (suivant la formule de propagation des incertitudes, l'incertitude générale correspondant à n incertitudes est la somme quadratique des n incertitudes).

Cette revanche de 50 cm initialement déterminée pour la traversée d'Arles a été étendue à l'ensemble du périmètre par soucis de cohérence.

La figure page suivant illustre les choix de conception résultant des objectifs définis dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval.



Différentes cotes retenues dans la conception des ouvrages à réaliser dans le cadre du Plan Rhône

Les ouvrages de protection du présent programme de sécurisation sont réalisés en conséquence avec un double objectif :

- L'absence de déversement jusqu'à la cote de protection,
- L'absence de rupture jusqu'à la cote de sûreté.

Pour les crues débordantes (au-delà de la cote de protection), le principe de répartition équitable (50/50) des volumes déversés entre la rive droite et la rive gauche du Rhône et Petit Rhône a été arrêté par l'ensemble des pouvoirs publics et repris dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval. Sur le Grand Rhône, compte tenu de l'influence forte du niveau marin au droit des zones à enjeux (Port-Saint-Louis-du-Rhône et Salin-de-Giraud) et compte tenu de ce qu'aucun objectif ne figurait dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval, les cotes de protection ont été déterminées de façon à ce que les zones d'enjeux forts soient hors d'eau pour une crue de type mai 1856.

Ces objectifs impliquent la réalisation de :

- Dignes résistantes à la surverse calées en dessous du niveau atteint par la crue de sûreté,
- Dignes dites "millénales", non renforcées au déversement calées 50 cm au-dessus du niveau atteint par la crue de sûreté.

Si l'on considère que la durée de vie des ouvrages est de 100 ans, la probabilité d'avoir une crue supérieure à la crue de sûreté sur cette période est de 10 % (cf. chapitre "les crues du Rhône et la crue des 3 et 4 décembre 2003).

→ 7.6. OBJECTIFS ENVIRONNEMENTAUX

Des objectifs environnementaux ont été définis dès la conception des ouvrages. Ces objectifs peuvent être résumés en trois principes :

- Éloigner du fleuve, l'ouvrage de protection,
- Conserver la ripisylve,
- Favoriser la réutilisation en remblai des matériaux du site et des matériaux des digues actuelles.

7.6.1. ÉLOIGNER DU FLEUVE, L'OUVRAGE DE PROTECTION

Les digues sont des ouvrages de génie civil assurant la protection contre les crues. Ils sont soumis à une réglementation stricte depuis 2007 [R511] et des règles de conception et d'exploitation difficilement compatible avec une gestion écologique des berges du Rhône.

Les berges du Rhône, même si elles ont été largement anthropisées avec la création des épis Girardon début du XX^e siècle et la création de panneaux de fonds notamment sur le Petit Rhône dans les années 1970, présentent un intérêt écologique indéniable, qu'il convient de préserver.

Sur certains tronçons de digue très proches du fleuve, compte tenu de l'impossibilité de sécuriser les ouvrages suivant les objectifs de sécurité projetés sans impact lourd sur la ripisylve des berges (suppression de la ripisylve, mise en place de palplanches ou d'enrochements), le SYMADREM a fait le choix de déconnecter les ouvrages de protection des berges de façon à ce que des gestions adaptées et respectueuses de l'environnement puissent être mise en place respectivement pour les digues et les berges.

7.6.2. CONSERVER LA RIPISYLVE

Quand les digues sont éloignées du fleuve, elles sont très souvent encadrées par de la ripisylve et de caisses d'emprunt. La sécurisation des digues en place impose l'élargissement des digues et la suppression de ces milieux.

Le choix pris par le SYMADREM est d'adapter le tracé des digues à conforter en fonction des enjeux environnementaux tout en limitant la contrainte sur l'agriculture. Les choix retenus sont détaillés dans le chapitre "impacts et mesures du programme".

7.6.3. FAVORISER LA RÉUTILISATION EN REMBLAI DES MATÉRIAUX DU SITE ET DES MATÉRIAUX DES DIGUES ACTUELLES

La sécurisation des digues nécessite l'apport de volumes de matériaux très importants.

Le SYMADREM demande à ce que la réutilisation des matériaux provenant des digues actuelles et l'exploitation de matériaux d'emprunts locaux, soient intégrés dans la conception des ouvrages à renforcer ou reconstruire, de façon à réduire l'acheminement de matériaux de carrière, optimiser le coût des ouvrages.

En favorisant l'utilisation d'emprunts locaux et en recyclant les matériaux des digues actuelles, le SYMADREM s'inscrit dans une démarche de développement durable alliant économie et environnement.

→ 7.7. ADAPTABILITÉ DES OUVRAGES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La mission d'expertise par le CGEDD du schéma de protection entre Tarascon et Arles et du contournement d'Arles [R 34] avait également pour objectif d'étudier les impacts du changement climatique. Elle a conclu qu'aucune étude sur les crues du Rhône n'avait aujourd'hui été réalisée.

Compte tenu de la durée de vie des ouvrages à construire, qui est de 100 ans, une modification des cas de charges pris en compte dans le dimensionnement des ouvrages, ne doit pas être écartée sur la durée de vie des ouvrages. Les changements possibles concernent :

- L'hydrologie du Rhône (conditions aux limites amont),
- Le niveau marin (conditions aux limites aval).

En ce qui concerne le niveau marin, des études locales ont été faites par le CEREGE. La construction du scénario de crue exceptionnelle, ayant servi de base à la détermination de la cote de sûreté, a tenu compte d'une montée des eaux de 40 cm, d'ici à 2050.

Pour appréhender l'impact sur les ouvrages, qu'aurait une modification de l'hydrologie du Rhône, il convient de bien comprendre le fonctionnement du système projeté :

Deux types d'ouvrages composent le système de protection (de 1^{er} rang) :

- Des digues résistantes à la surverse calées à la cote de protection,
- Des digues dites millénales calées à la cote de danger de rupture correspondant à la cote de sûreté assortie d'une revanche de 50 cm.

La cote de protection et les longueurs des tronçons de digues résistantes à la surverse ont été dimensionnés au regard de l'état initial défini par les services de police de l'eau et de la nécessité d'avoir aucun impact hydraulique notable en amont ou en aval. Ce dimensionnement est donc indépendant de l'hydrologie du Rhône et a été défini en fonction de contraintes réglementaires. Une modification éventuelle de l'hydrologie du Rhône n'aurait, en conséquence, aucun impact sur les objectifs de protection, si ce n'est l'occurrence des premiers déversements.

La cote de sûreté a été calée en fonction de la crue exceptionnelle du Rhône, dont la période de retour est estimée à 1000 ans, soit à une fréquence suffisamment faible pour que le risque de rupture par surverse soit acceptable. Elle est donc directement dépendante de l'hydrologie du Rhône. Toute évolution hydrologique amènerait soit, à constater que les objectifs de sécurité du programme ont baissé, soit à décider de recalculer les digues dites millénales.

Par ailleurs, compte tenu de la configuration en toit du Rhône et de ce que pour la crue exceptionnelle, la zone protégée ne sera pas suffisamment inondée, pour considérer qu'une rupture pour cette crue ne serait pas dommageable, une révision des objectifs de sécurité à la baisse n'apparaît pas comme une hypothèse acceptable. En conséquence, le SYMADREM a quantifié très sommairement et de façon très théorique, le recalage altimétrique des digues millénales, qui serait à effectuer en cas de réévaluation du débit de la crue millénaire à la station de Beaucaire/Tarascon.

Les débits de période de retour supérieure à 1000 ans sont rappelés dans le tableau ci-après :

PÉRIODE DE RETOUR	DÉBIT DE POINTE
1 000 ans	14 160 m ³ /s
2 000 ans	15 000 m ³ /s
5 000 ans	16 150 m ³ /s
10 000 ans	17 000 m ³ /s

Débites de pointe à la station de Tarascon et périodes de retour associées des crues de période de retour comprise entre 1 000 et 10 000 ans

Examen des profils en long de l'état projet et plus particulièrement de la crue type mai 1856 et crue exceptionnelle montre qu'un sur-débit de 1660 m³/s en tête de delta provoque un exhaussement de la ligne d'eau d'environ :

Sur le Rhône :

- En traversée de Beaucaire et Tarascon : 45 cm,
- En amont des digues résistantes à la surverse : 20 à 40 cm,
- Au droit des digues résistantes à la surverse : 10 cm,
- En aval des digues résistantes à la surverse : 10 à 15 cm.

Sur le Petit Rhône :

- En amont des digues résistantes à la surverse : 10 à 15 cm,
- En aval des digues résistantes à la surverse : 0 cm.

Sur le Grand Rhône :

- 10 à 15 cm.

Ce qui nous permet de déduire très sommairement, le fonctionnement hydraulique suivant :

- Entre Beaucaire et Arles, les déversements se produisent au-delà d'un débit de 11 500 m³/s,
- Sur le Petit Rhône, les déversements se produisent au-delà d'un débit de 10 500 m³/s,
- Les tronçons résistants à la surverse, situés sur ces deux bras du Rhône, ont pour conséquence d'écrêter les crues et limiter les exhaussements des lignes d'eau dus au sur-débit,
- À proximité des embouchures, les déversements sont, dans ces gammes de débits, surtout influencés par le niveau marin, pour lesquels une hypothèse de surcote marine a déjà été prise.

En imaginant une hypothèse extrême et théorique, où le débit de pointe de la crue millénaire serait augmenté de 2000 m³/s, on estime que la rehausse des digues millénales devrait être approximativement de :

- Sur le Rhône, en traversée de Beaucaire et Tarascon : 60 cm,
- Sur le Rhône, en amont des digues résistantes à la surverse : 50 cm,
- Sur le Rhône, en aval des digues résistantes à la surverse : 20 cm,
- Sur le Petit Rhône, en amont des digues résistantes à la surverse : 20 cm,
- Sur le Petit Rhône, en aval des digues résistantes à la surverse : 0 cm,
- Sur le Grand Rhône : 20 cm.

Par sécurité et considérant des pentes de talus de 2,5 et une largeur minimum de 4,5 m en crête pour permettre une exploitation des ouvrages, il est proposé d'élargir la crête de digue de 1,0 mètre, ce qui permettra en cas de réévaluation de l'hydrologie du Rhône due au changement climatique d'effectuer une mise à la cote sans incidence importante sur les ouvrages et leur fonctionnalité. Pour les digues du Petit Rhône en aval des digues résistantes à la surverse, cet élargissement de la largeur en crête n'est pas nécessaire.

Sur le Rhône, en amont des digues résistantes à la surverse, les ouvrages présentent des profils très diversifiés. On distingue principalement :

- Les ouvrages maçonnés en traversée de Beaucaire/Tarascon, qui comporte le plus souvent des parapets présentant des revanches supérieures ou égales à 50 cm. Pour ces ouvrages, une rehausse des parapets serait à prévoir en fonction de l'objectif à atteindre.
- Les ouvrages à construire sur les SIP de Beaucaire et Tarascon. Ces ouvrages d'une hauteur modeste (1 m) pourraient être repris assez facilement. Il n'est donc pas prévu d'élargissement supplémentaire.

→ 7.8. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE D'INTERVENTION

7.8.1. OBJECTIFS DES ÉTUDES DE DIAGNOSTIC ET DE CONCEPTION

Deux échelles d'études ont été retenues :

- L'ouvrage de protection,
- La zone protégée par l'ouvrage de protection.

Deux phases d'intervention ont été retenues :

- Une phase de diagnostic (appelé diagnostic approfondi mais correspondant au diagnostic de sûreté défini à l'article R214-146 du code de l'environnement),
- Une phase de conception des ouvrages.

L'objectif du diagnostic de sûreté est de :

- Déterminer le comportement des ouvrages pour différents scénarios de crues,
- Identifier les différents modes de rupture par tronçons homogène,
- Conclure sur le niveau de sûreté de la digue et sur la localisation des zones probables de brèches,
- Modéliser les ondes de rupture des brèches probables identifiées dans le diagnostic,
- Estimer l'impact dans la zone protégée en termes de sécurité publique et en terme socio-économique.

L'objectif des études de conception est de :

- Définir les mesures à prendre en termes de travaux en fonction des objectifs techniques précités. Ces mesures portent notamment sur le rétablissement des fonctions principales d'une digue durable exposées ci-après,

- Modéliser après recalage et confortement des digues, les crues débordantes jusqu'à la crue exceptionnelle,
- Estimer l'impact dans la zone protégée, en terme de sécurité publique et en terme socio-économique, lié à la réduction sensible du risque de brèche jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône et à la diminution en conséquence des volumes de déversements.

7.8.2. DIAGNOSTIC DE SÛRETÉ DES OUVRAGES : MODES DE RUPTURE ÉTUDIÉS

Les 4 modes de rupture, identifiés par le Cemagref [R200], pour les **ouvrages en terre** et étudiés dans les études de diagnostic sont :

- La surverse,
- L'érosion interne,
- Le glissement en masse,
- L'affouillement externe (ou érosion de pied ou érosion externe).

Pour les **ouvrages poids en béton et maçonnerie**, les modes de rupture identifiés par l'eurocode 7 sont :

- Instabilité d'ensemble,
- Glissement du mur sur sa base,
- Renversement du mur,
- Poinçonnement du sol sous la base du mur,
- Rupture combinée dans le sol et la structure,
- Défaut d'étanchéité et érosion interne en fondation,
- Affouillement en pied aval et déstabilisation de l'ouvrage lié à un déversement,
- Mouvements excessifs,
- Rupture d'un élément de structure ou des liaisons entre ces éléments (notamment liaison portes/mur),
- Fissuration par traction du parement amont.

Pour identifier ces modes de rupture, les différents volets d'étude menés sont :

- Étude historique (documents existants, historique des aménagements),
- Étude géomorphologique,
- Étude hydraulique dans le lit endigué,
- Étude hydraulique dans le lit protégé,
- Reconnaissances géophysiques et géotechniques,
- Modélisations géo-mécanique et d'écoulement souterrain,

Le contenu de ces différents volets est décrit dans le chapitre intitulé "méthodologie et contenu des études de diagnostic de sûreté des ouvrages".

7.8.3. CONCEPTION DES OUVRAGES : OBJECTIFS ET FONCTIONS D'UNE DIGUE DURABLE

Pour éliminer les risques de rupture, la conception des travaux de renforcement, doit apporter des réponses technique, économique, architecturale et environnementale. La conception s'appuie sur le rétablissement des 8 fonctions principales d'une digue durable, définies ci-après :

- **Fonction stabilité** : la stabilité de la digue actuelle est vérifiée et les ouvrages projetés dimensionnés en précisant méthodiquement :
 - Le mode de rupture étudié,
 - La justification du choix de la méthode de calcul,
 - Le scénario des conditions et situations de chargement,
 - Les seuils servant de critères de stabilité,
 - Le modèle géologique,
 - Le modèle géométrique,
 - Le modèle géotechnique,
 - Le modèle géomorphologique,
 - Le modèle hydraulique (propriétés et conditions aux limites),
 - Les résultats,
 - La définition de la surveillance adaptée à la structure.
- **Fonction drainage** : évacuer les écoulements internes.
- **Fonction étanchéité** : la justification de l'efficacité et de la durabilité de l'étanchéité sont précisées. L'impact des fuites en fondation dans les anciens méandres font l'objet d'une réflexion attentive (zones de rupture potentielle).
- **Fonction protection** : la conception de la protection superficielle évite que l'ensemble des agressions de l'environnement n'altère l'étanchéité ou la stabilité de la digue. Par exemple, elle doit empêcher les animaux fouisseurs de creuser des galeries dans les talus et le soleil de dessécher les matériaux au point de fissurer la crête du remblai.
- **Fonction filtration** : barrière qui doit empêcher l'initiation ou la progression de l'érosion interne et le colmatage des drains.
- **Fonction évacuation** : elle concerne le positionnement et le dimensionnement des tronçons résistants à la surverse.
- **Fonction sécurité** : elle regroupe les conclusions de l'étude de danger et la définition du plan de surveillance et des moyens d'accès pour intervention. Ainsi elle doit permettre d'accéder **en tous points** des digues **en toute période et par tout temps** pour assurer un entretien régulier, une surveillance et une capacité d'intervention en temps de crue.
- **Fonction préservation de l'environnement** : choix de solutions durables minimisant l'impact environnemental et le coût global pour la société et assurant l'intégration sociale des riverains (tourisme, développement de nouvelles activités).

Tous les calculs sont effectués suivant les recommandations en vigueur dans le domaine des digues et des barrages, textes réglementaires et guides techniques.

Le SYMADREM a retenu une classe de durabilité des ouvrages à construire de 100 ans.

7.8.4. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Pour les travaux assimilés à des travaux d'entretien ou de grosses réparations, un dossier de type "porté à connaissance" conformément à l'article R214-18 du code de l'environnement est proposé.

Pour les travaux soumis au régime des déclarations/autorisations, trois procédures sont engagées :

- Une procédure au titre du code de l'environnement, au titre de la réglementation sur l'eau et les milieux aquatiques, visant à autoriser l'aménagement soumis à un certain nombre d'articles de la nomenclature "loi sur l'eau" et à déclarer le projet d'intérêt général (DIG),
- Une procédure au titre du code de l'environnement, au titre de la prévention des pollutions, des risques et des nuisances, visant à autoriser les installations temporaires de prélèvement de matériaux en vue de leur exploitation pour les aménagements de la digue (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement),
- Une procédure au titre du code de l'expropriation pour cause d'utilité publique, visant à déclarer d'utilité publique le projet pour pouvoir mettre en œuvre les expropriations nécessaires à sa réalisation et à mettre en compatibilité les documents d'urbanisme des communes concernées.

Dans le cadre de la procédure d'expropriation et de déclaration d'utilité publique :

- Une enquête parcellaire est menée à la suite de la déclaration d'utilité publique.

Pour ces opérations, les dossiers réglementaires suivants, sont réalisés :

- Dossier d'autorisation au titre des articles L.214-1 à L.214-6 du code de l'environnement (art. 10 de la loi 92-03 sur l'eau) et dossier particulier NATURA 2000, y compris l'étude de dangers conforme à l'arrêté du 12 juin 2008,
- Étude d'impact au titre des articles L122-1 à L122-3 du code de l'environnement,
- Demande de Déclaration d'Intérêt Général conformément aux articles L.211-7 et L.216-16 du code de l'environnement (art. 31 de la loi 92-03 sur l'eau),
- Dossier d'enquête préalable à la Déclaration d'Utilité Publique conformément à l'article L11-1 du code de l'expropriation pour cause d'utilité publique et à l'article L123-1 du code de l'environnement,
- Dossier d'enquête parcellaire prévu à l'article R11-3 du code de l'expropriation pour cause d'utilité publique,
- Dossier d'enquête préalable à la mise en compatibilité des Plans Locaux d'Urbanisme,
- Demande d'Autorisation d'exploiter au titre des Installations Classées Pour l'Environnement des zones d'emprunt et de transit, conformément au code de l'environnement.

7.8.5. MISE EN ŒUVRE DU DÉCRET DU 11 DÉCEMBRE 2007 RELATIF À LA SÉCURITÉ DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

La réalisation du programme de sécurisation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône du Barrage de Vallabrègues à la Mer s'inscrit dans le cadre du décret du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et des arrêtés pris en application. Ce dernier prescrit certaines obligations et la fourniture de certains documents dont la liste est résumée ci-dessous :

- Les études de l'examen technique complet,
- Modalités de l'examen technique complet,
- La revue de sûreté,
- Le diagnostic initial,
- Le diagnostic de sûreté,
- La visite technique approfondie,
- La visite de surveillance programmée,
- La visite de surveillance post crue,
- Le dossier d'ouvrages,
- Les consignes,
- Description de l'organisation mise en place.

Les dossiers d'ouvrages ont été établis et sont à la disposition des services de contrôle.

Les consignes écrites comprennent :

- Les dispositions hors périodes de crues, qui font l'objet d'un Règlement d'Exploitation des Ouvrages (R.E.O.),
- Les dispositions en périodes de crues, qui font l'objet d'un Plan de Gestion des Ouvrages en Périodes des Crues (P.G.O.C.).

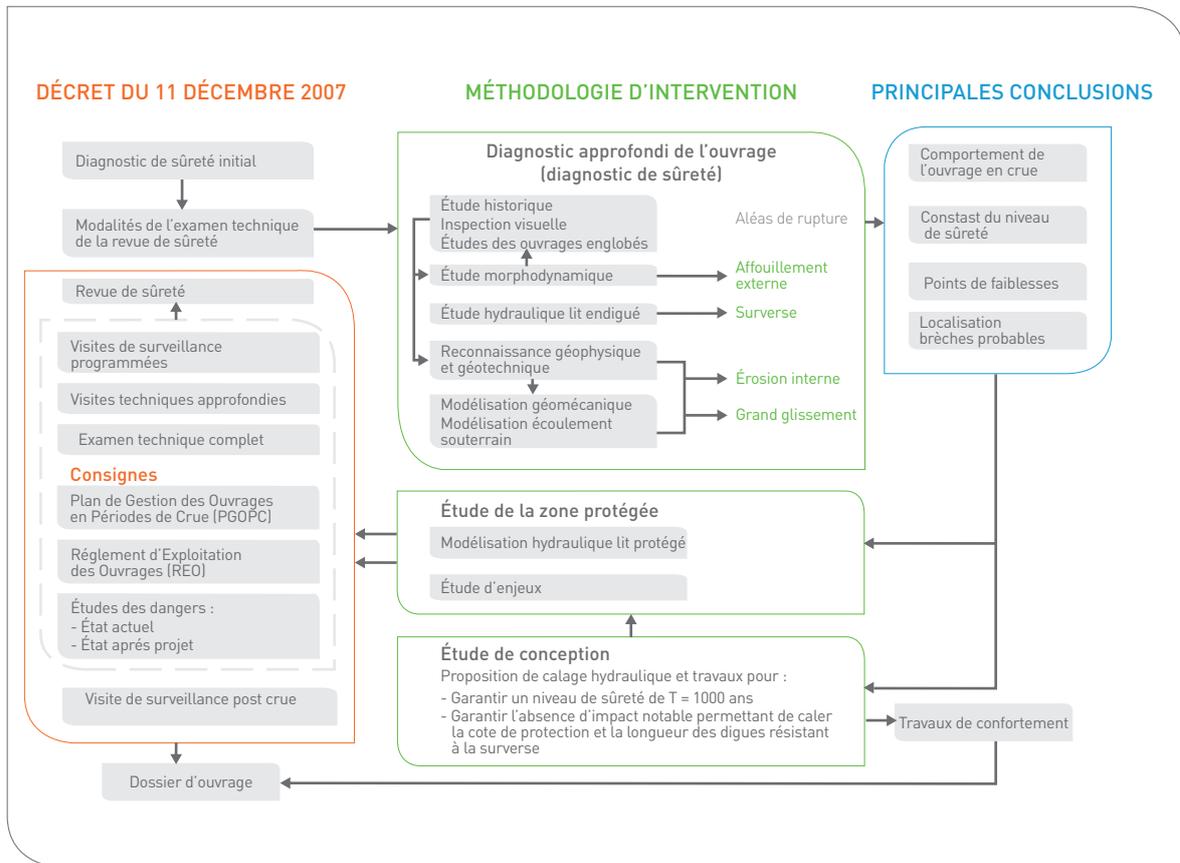
Les consignes écrites ont été transmises aux préfets pour approbation.

Le rapport de surveillance et le compte rendu de la visite technique approfondie sont transmis chaque année aux préfets des rives droite et gauche.

Le diagnostic initial a également été transmis aux deux préfets.

Le diagnostic de sûreté au sens du décret de 2007 est réalisé à la demande du préfet lorsque l'ouvrage ne paraît pas remplir des conditions de sûreté suffisantes. Compte tenu de ce que les ouvrages du SYMADREM sont des ouvrages anciens ayant montré leurs limites et faiblesses lors des crues récentes, le SYMADREM considère qu'il est la pièce maîtresse préalable à toute intervention. Il permet de déterminer le comportement des ouvrages en crue et de constater le niveau de sûreté. Sans attendre la demande du Préfet, le SYMADREM a pris le parti de le réaliser systématiquement avant toute intervention sur un ouvrage et préalablement à la réalisation des études de conception. Il sera progressivement réalisé sur l'ensemble de notre périmètre.

Le tableau synoptique en page suivante illustre les liens entre les documents demandés dans le cadre du décret du 11 décembre 2007 et la méthode d'intervention mise en œuvre pour la réalisation des travaux du programme de sécurisation.



Liens entre les dossiers à produire dans le cadre du décret du 11 décembre 2007 et les études réalisées dans le cadre du Plan Rhône

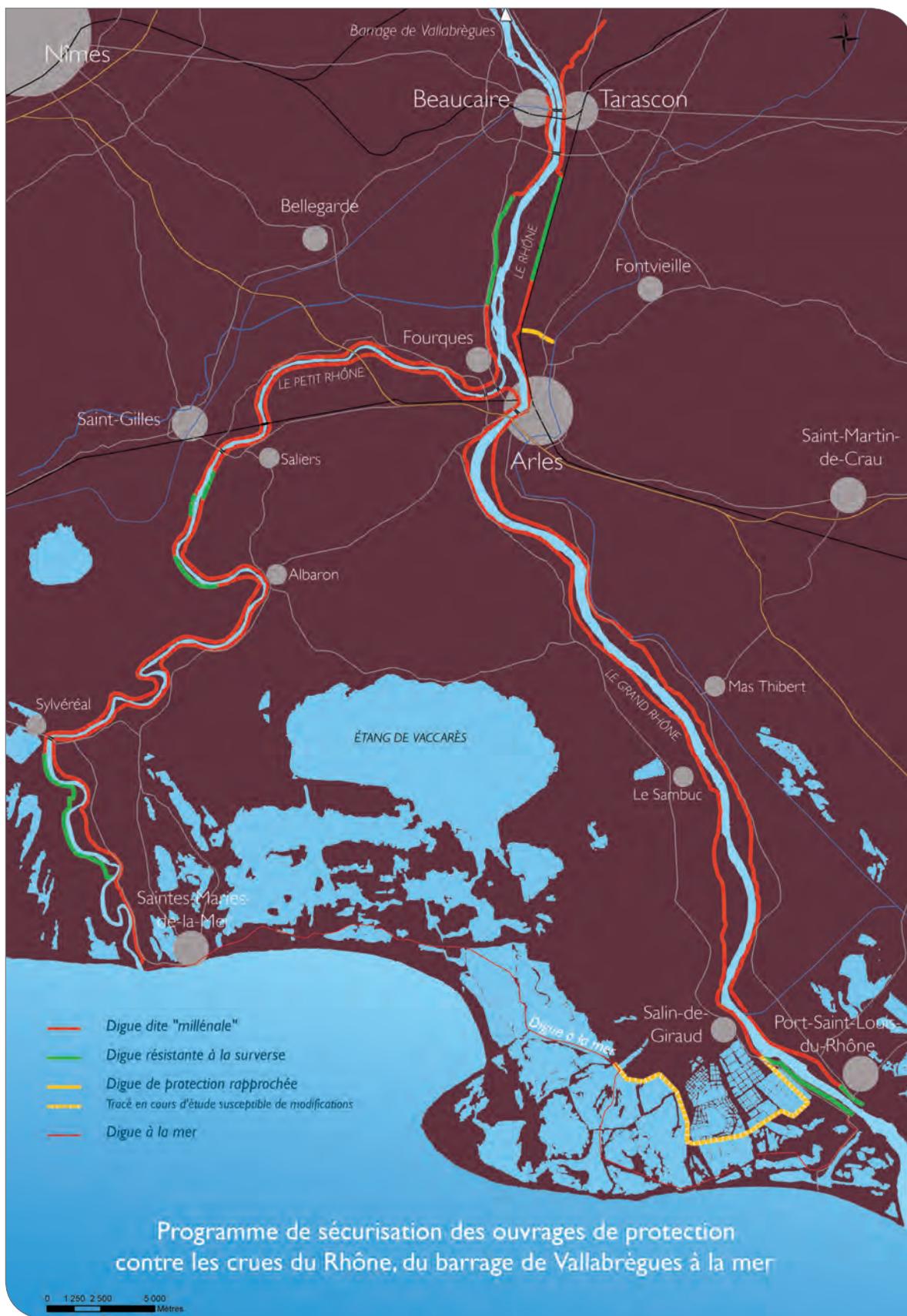
→ 7.9. TYPE D'AMÉNAGEMENTS ET CALAGE DES OUVRAGES

7.9.1. TYPOLOGIE DES AMÉNAGEMENTS

Trois types de digue sont prévus dans le programme de sécurisation :

- Des digues résistantes à la surverse calées à la cote de protection,
- Des digues dites "millénales" non renforcées au déversement et calées 50 cm au-dessus de la cote de sûreté,
- Des digues de 2^{ème} rang dans le lit protégé au droit des zones à enjeux sensibles.

L'implantation des différents types de digue figure ci-après :



7.9.2. OUVRAGES MAÇONNÉS EN TRAVERSÉES D'ARLES, DE BEUCAIRE ET DE TARASCON

Les ouvrages maçonnés concernés sont :

- Les quais d'Arles,
- Les quais de Tarascon,
- La digue de la montagnette,
- La digue de la Banquette,
- La digue de la vierge.

Outre le confortement de ces ouvrages, il est prévu le traitement des points bas suivants, pour disposer d'une revanche d'environ 50 cm pour la crue exceptionnelle après aménagements :

- La digue de la Banquette de Beaucaire : traitement du parapet démoli de la digue de la banquette en amont),
- Digue de la montagnette de Tarascon : traitement des points bas (notamment le parapet le long du RD81a) : revanche localement réduite à 40/50 cm),
- Quais de Tarascon : traitement du point bas (ancienne pile du pont suspendu),
- Quais d'Arles + Amont et Aval des Quais : traitement des points bas suivants :
 - Aval parapet quais de la roquette (revanche localement réduite à 30/45 cm),
 - Reconstruction du parapet démoli du quai de la gare maritime,
 - Création d'une diguette de 40 à 80 cm sur le remblai de l'IRPA,
 - Rehausse, en amont du Pont des Lions rive gauche du Grand Rhône, du chemin des ségonnaux, de l'extrémité Est du Port d'Arles (SIP) et du remblai du Mas Molin raccordant le SIP d'Arles au remblai RFF).

Tous les passages batardables, calés en dessous de la crue exceptionnelle, sont tous équipés de batardeaux aluminiums. Compte tenu de ce que ces ouvrages maçonnés peuvent supporter un déversement sans rupture, et compte tenu de ce que les entrées d'eaux éventuelles par déferlement de vagues seraient très faibles, les passages batardables calés au-dessus de la crue exceptionnelle ne sont pas équipés et ne sont pas rendus équipables de batardeaux aluminiums.

7.9.3. DIGUES DU RHÔNE

Sur le Rhône entre Beaucaire et Arles, il est prévu dans le lit endigué :

En rive droite :

- L'aménagement d'un **tronçon de digue résistant à la surverse** d'une longueur développée de 5 km (PK 272,40 au PK 277,30) :
 - calé en altimétrie pour éviter tous débordements pour une **crue légèrement supérieure (+ 5 à 10 cm) à celle de décembre 2003 sans brèche** dans le système,
 - et renforcé pour les crues débordantes (crue type mai 1856 ou crue exceptionnelle) pour résister à un déversement sans rupture d'ouvrage.
- L'aménagement, en amont et en aval de ces tronçons de digues dites "millénales".

En rive gauche :

- La création d'une digue de 1^{er} rang à l'ouest du remblai ferroviaire, **résistante à la surverse** d'une longueur développée de 5 km (PK 270,75 au PK 275,80) :
 - Calée en altimétrie pour éviter tous débordements pour une **crue légèrément supérieure (+ 5 à 10 cm) à celle de décembre 2003** sans brèche dans le système,
 - Et renforcée pour les crues débordantes (crue type mai 1856 ou crue exceptionnelle) pour résister à un déversement sans rupture d'ouvrage.
- La création d'une digue dite millénaire de 1^{er} rang à l'ouest du remblai ferroviaire, en amont et en aval des tronçons de digue résistants à la surverse.

Malgré la grande longueur des 2 tronçons de digue résistant à la surverse, ce calage occasionne des impacts hydrauliques dans le lit endigué en amont de Beaucaire/Tarascon. Les mesures de réduction et d'annulation d'impact proposées consistent en le :

- Rehaussement du déversoir CNR de Boulbon de 10,45 NGF à 10,85 NGF,
- Rehaussement du déversoir CNR de Comps de 14,1 NGF à 14,4 NGF,
- Rehaussement de la digue communale d'Aramon de 14,4 NGF à 14,5 NGF,
- Rehaussement de la digue communale des marguilliers, en amont de Beaucaire, de 13,0 NGF à 14,5 NGF avec un déversoir de sécurité à 14,0 NGF,
- Élargissement du lit en aval du barrage de Vallabrègues de 450 000 m³,
- Dragage dans le secteur de l'usine Tembec de 600 000 m³,
- Création d'une lône en rive gauche entre le PK271 et PK274,5 (volume à extraire de 570 000 m³).

Ces mesures n'ont pas d'incidence sur la répartition des volumes déversés. Elles permettent d'améliorer la situation en amont sur tous les secteurs à la fois pour les crues fréquentes et très rares. Pour la crue exceptionnelle, un exhaussement de la ligne d'eau de + 5 à + 10 cm subsiste dans la plaine de Boulbon. Il est sans incidence sur la sécurité des ouvrages hydrauliques et sur les conditions d'inondabilité dans la plaine. La justification du calage des ouvrages figure au chapitre du même nom.

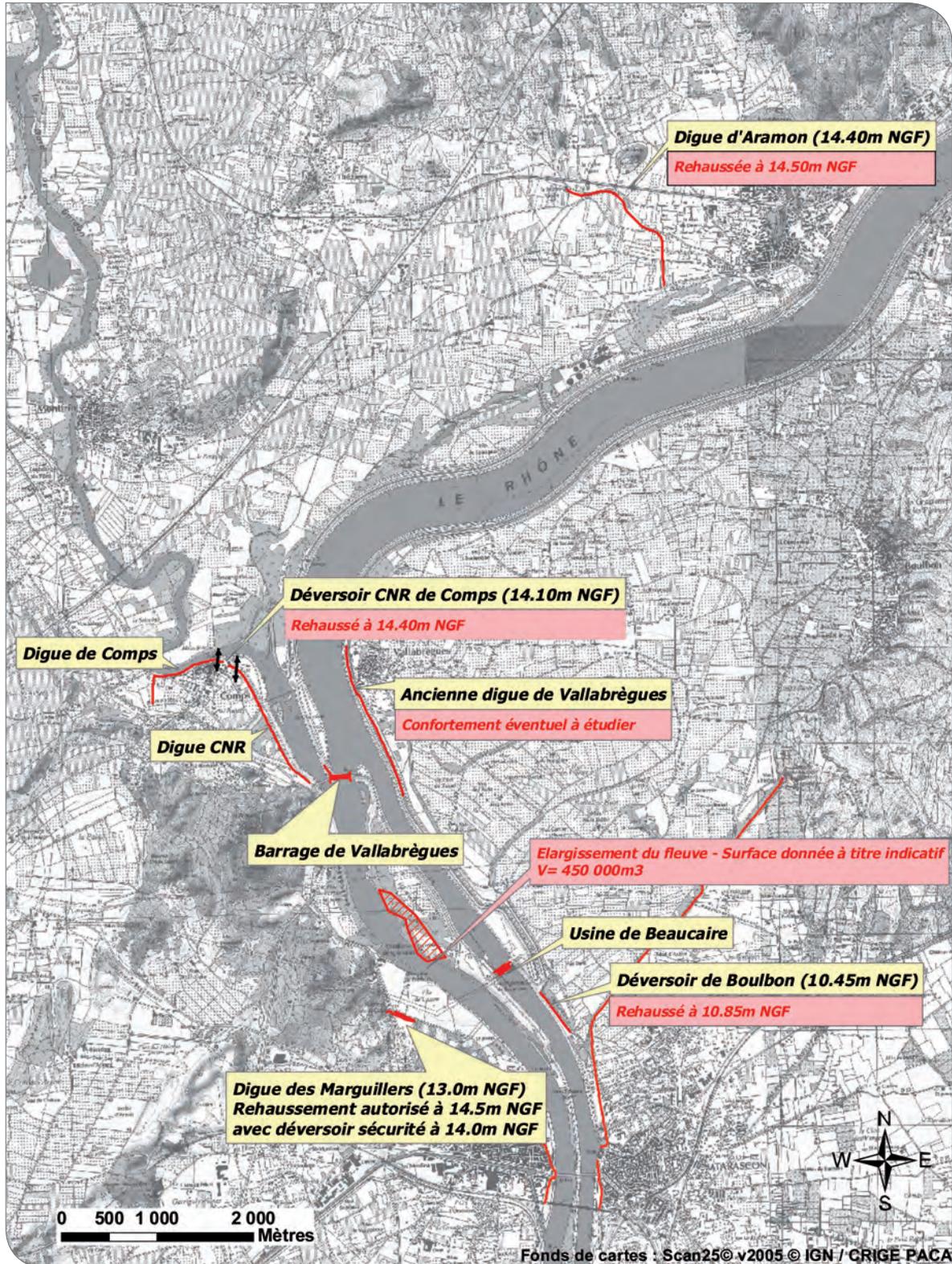
Dans le lit protégé en rive gauche, une protection rapprochée au droit des quartiers nord d'Arles inondés en décembre 2003 est prévue. Les travaux ont été réceptionnés en 2012.

En rive droite, les ouvrages de protection rapprochée au droit de Fourques et de Bellegarde envisagés dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval n'ont pas été jugés opportuns au regard des études opérationnelles. Ces ouvrages ont été abandonnés par délibération du comité syndical du SYMADREM en date du 6 novembre 2009.

La maîtrise d'ouvrage des travaux hors périmètre de compétences du SYMADREM a fait l'objet de conventions avec les autres gestionnaires. L'organisation de cette maîtrise d'ouvrage est explicitée dans le chapitre "maîtrise d'ouvrage des travaux et exploitation des ouvrages après travaux".

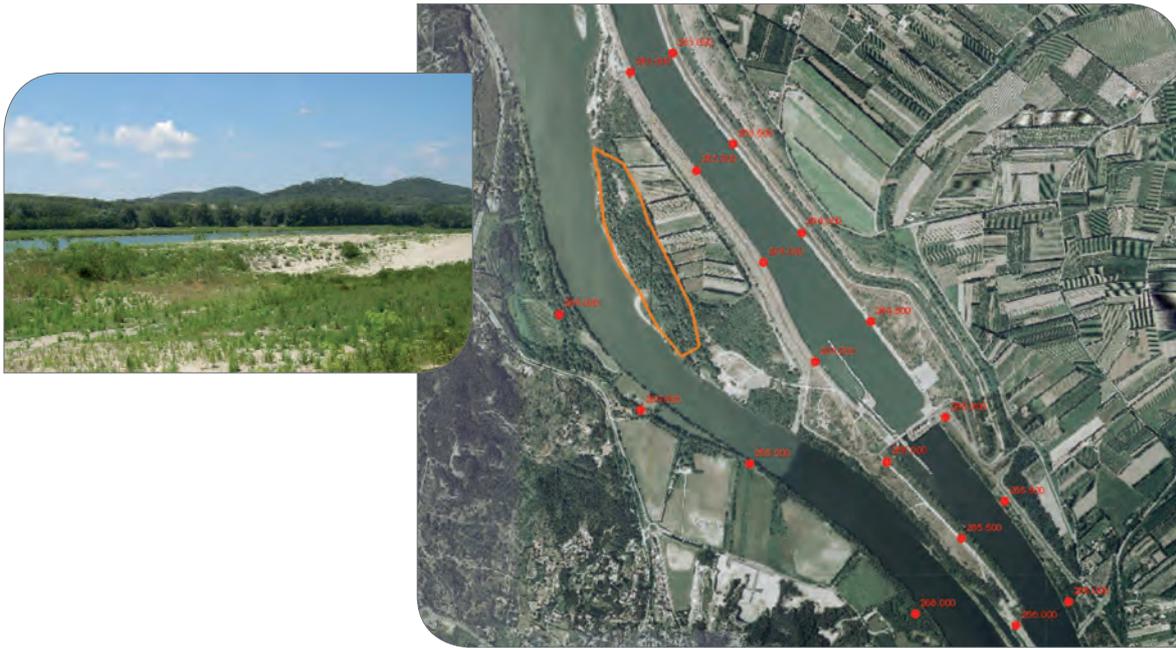
Les figures pages suivantes localisent respectivement les opérations de rehaussement d'ouvrages de protection prévus en amont de Beaucaire/Tarascon et le calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles en rives droite et gauche du Rhône.

Les trois figures ci-dessous localisent successivement d'amont vers l'aval, les



Aménagements prévus entre le Barrage de Vallabrègues et Beaucaire/Tarascon

mesures d'annulation et réduction d'impacts prévues dans le lit du fleuve entre le barrage de Vallabrègues et Arles :



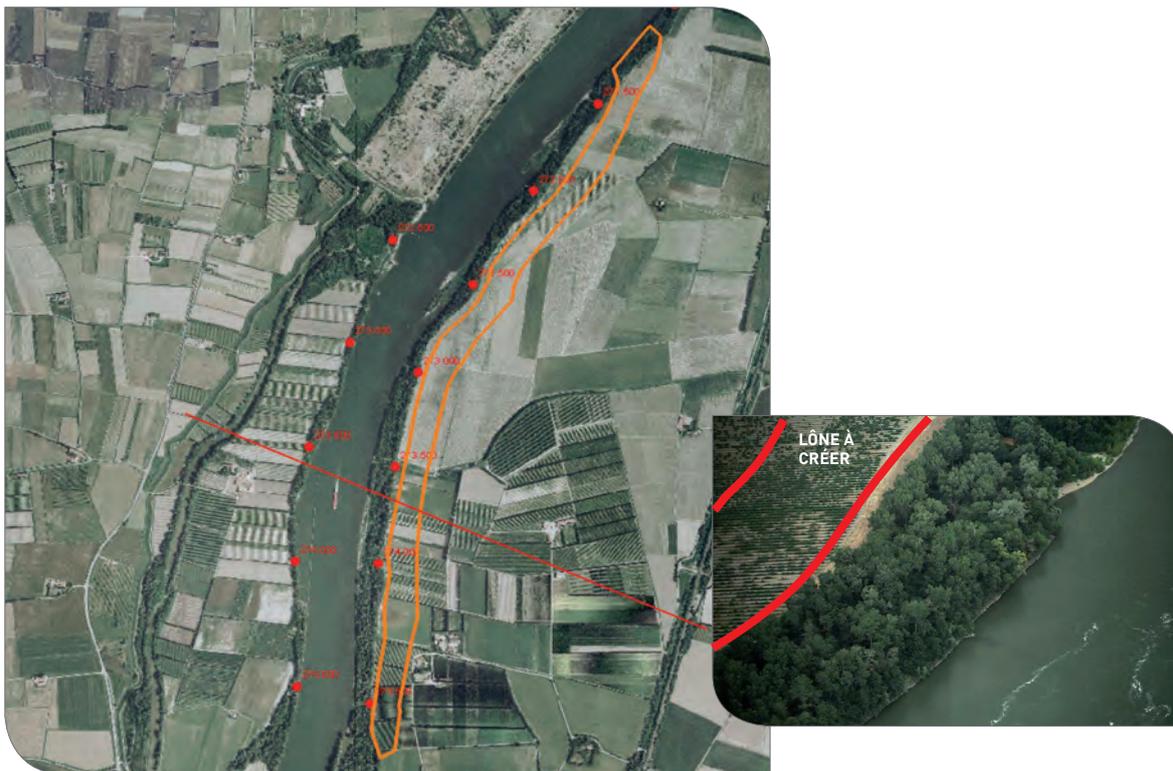
Élargissement du Vieux Rhône en aval du barrage de Vallabrègues

Suite à la crue de décembre 2003, un déboisement massif a été effectué au droit de l'atterrissement présenté sur la photo ci-dessus. Les mesures de réduction des impacts hydrauliques visent à élargir le lit au droit de cet atterrissement qui ne présente aujourd'hui qu'un faible enjeu environnemental puisque largement anthropisé.



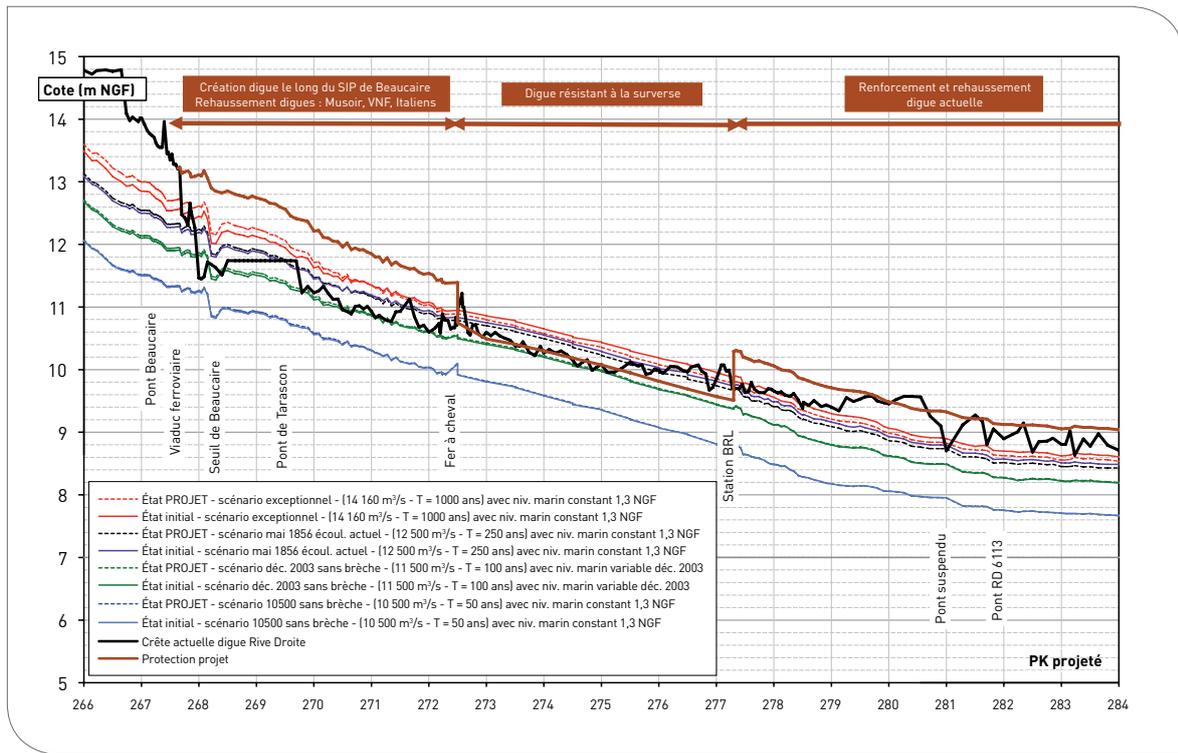
Dragage de l'atterrissement au droit de l'usine Tembec

De même qu'en aval du barrage de Vallabrègues, cet atterrissement a fait l'objet d'un déboisement massif suite à la crue de 2003. Il est envisagé de déblayer près de 600 000 m³ ce qui correspond à une surface de 90 000 m² sur une épaisseur moyenne de 7 m environ.

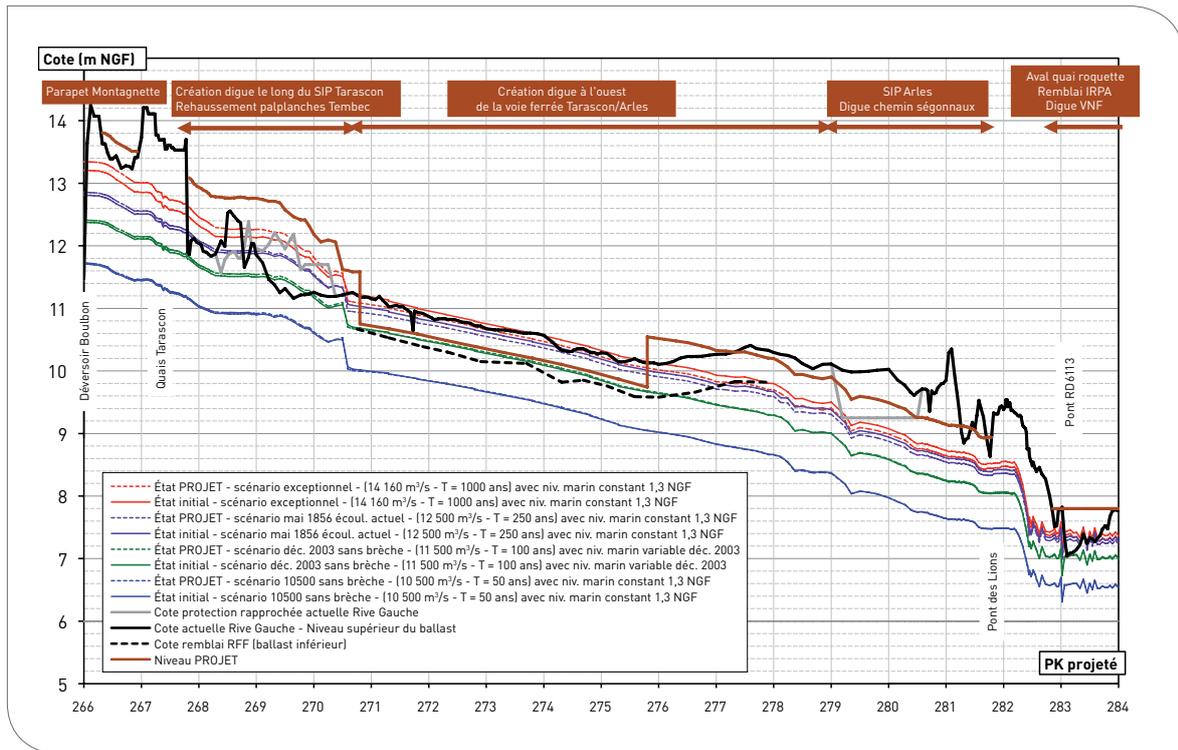


Création d'une lône en rive gauche du Rhône entre Beaucaire et Arles

La création de la lône en rive gauche du Rhône permet d'éviter tout impact sur la ripisylve en place. De plus la création de cette lône va permettre de restaurer une continuité écologique dans des zones d'inventaire ZNIEFF (canal du Canon et Lône du Pillet, ainsi que Île de Saxy) particulièrement riches en espèces des zones humides et dans un état de conservation faible.



État initial et état projet – calage actuel et projeté des ouvrages en rive droite du Rhône entre Beaucaire et Fourques (source CNR [R 16])



État initial et état projet – calage actuel et projeté des ouvrages en rive gauche du Rhône entre Tarascon et Arles (source CNR [R 16])

7.9.4. DIGUES DU PETIT RHÔNE

Sur le Petit Rhône, il est prévu :

En rive droite :

- L'aménagement de **deux tronçons de digue résistants à la surverse** d'une longueur développée respectivement de 0,5 km (PK 301,0 à 301,5) et 1,9 km (PK 302,6 à 304,5) :
 - Calés en altimétrie pour éviter tous débordements pour les crues inférieures ou égales à une crue de type 10 500,
 - Renforcés pour les crues débordantes (crues type décembre 2003, type mai 1856 ou crue exceptionnelle) pour résister à un déversement sans rupture,
- L'aménagement, en amont et en aval de ces tronçons résistants à la surverse, de **tronçons de digues dites "millénales"**,
- Le renforcement au déversement du tronçon de digue depuis le PK 322,5 au PK 330,8 à la cote identique.

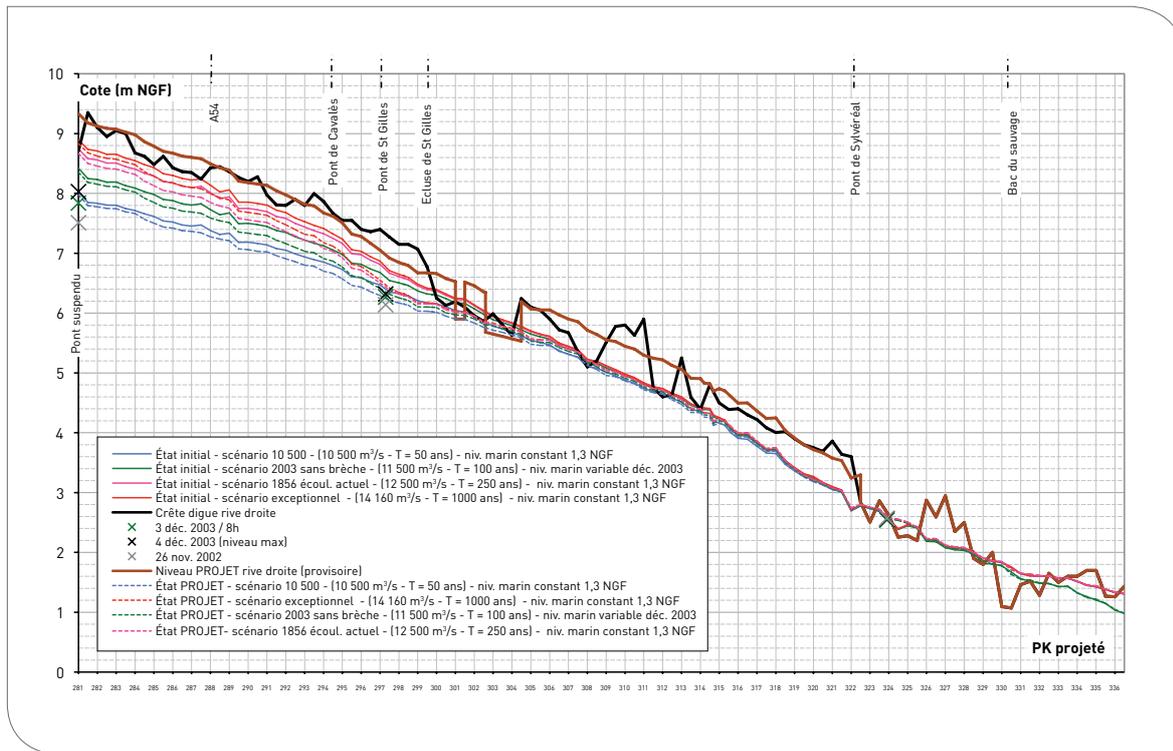
En rive gauche :

- l'aménagement d'un **tronçon de digue résistant** à la surverse d'une longueur développée de 1,5 km (PK 298,25 à 299,75) :
 - Calés en altimétrie pour éviter tous débordements pour les crues inférieures ou égales à une crue de type 10 500,
 - Et renforcés pour les crues débordantes (crues type décembre 2003, type mai 1856 ou crue exceptionnelle) pour résister à un déversement sans rupture d'ouvrage.
- L'aménagement, en amont et en aval de ces tronçons résistants à la surverse, de **tronçons de digues dites "millénales"**.

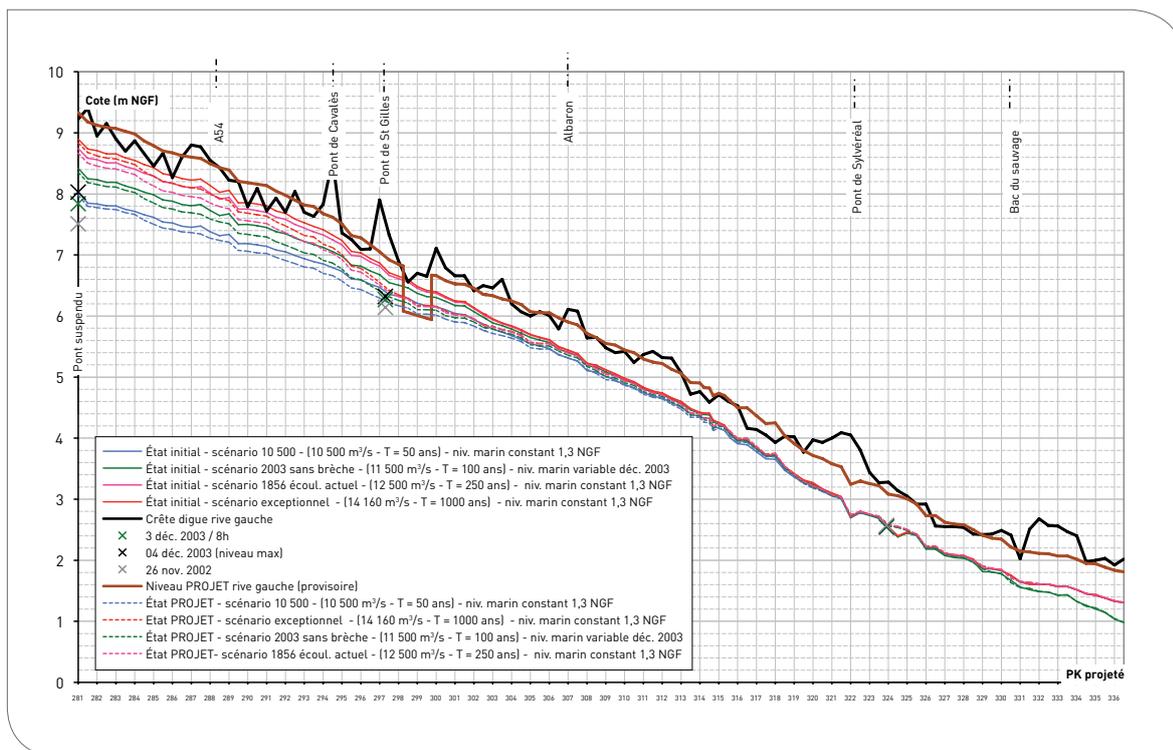
La différence de longueur entre la rive gauche et la rive droite est justifiée par l'impossibilité d'aménager des tronçons de digue résistants à la surverse face à face et par la nécessité d'avoir une répartition égale des volumes déversés sur chaque rive. Les tronçons de digue résistants à la surverse situés en amont ayant une lame d'eau déversante supérieure ; le débit de déversement est plus élevé ; une longueur de déversement inférieure est logiquement retenue pour respecter l'équilibre entre les deux rives.

Ce calage a été défini pour n'avoir aucun impact notable par rapport à l'état initial en amont, en aval ou sur la rive opposée.

Les profils en long des lignes d'eau dans l'état initial et l'état projet, ainsi que le calage actuel et projeté des ouvrages figurent en page suivante.



État initial et état projet - calage actuel et projeté des ouvrages en rive droite du Petit Rhône entre Fourques et la Mer (source EGISeau [R 17])



État initial et état projet - calage actuel et projeté des ouvrages en rive gauche du Petit Rhône entre Arles/Trinquetaille et la Mer (source EGISeau [R 17])

7.9.5. DIGUES DU GRAND RHÔNE

En rive droite du Grand Rhône, il est prévu dans le lit endigué :

- Le rehaussement des digues à la cote millénale ($Q_{1000} + 50$ cm) jusqu'à l'estacade de l'Esquineau,
- En aval de l'Esquineau : le recalage de la digue à une cote correspondant à niveau atteint par une crue type décembre 2003 sans brèche moins 35 cm et renforcement de la digue à la surverse.

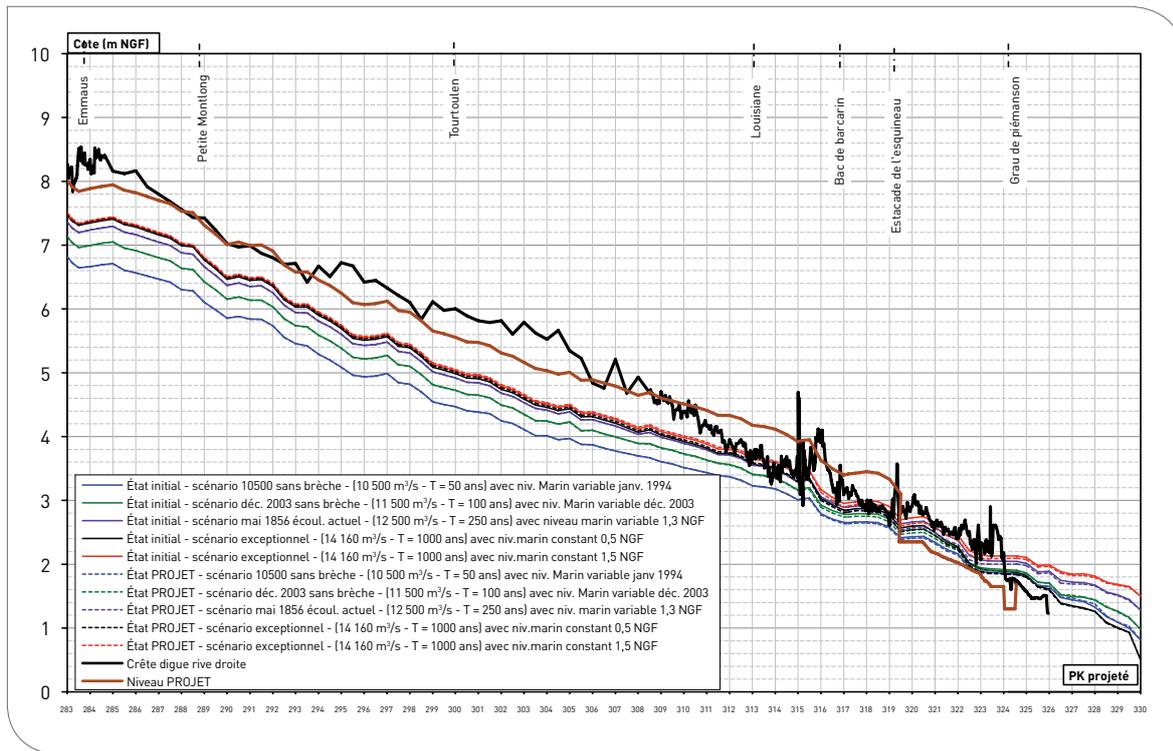
En rive gauche du Grand Rhône, il est prévu dans le lit endigué :

- Le rehaussement des digues à la millénale ($Q_{1000} + 50$ cm) jusqu'au centre-ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône,
- L'aménagement d'un parapet, au droit des quais du centre-ville, calé par rapport au niveau atteint par la crue type mai 1856 et capable de résister à un déversement sans rupture.

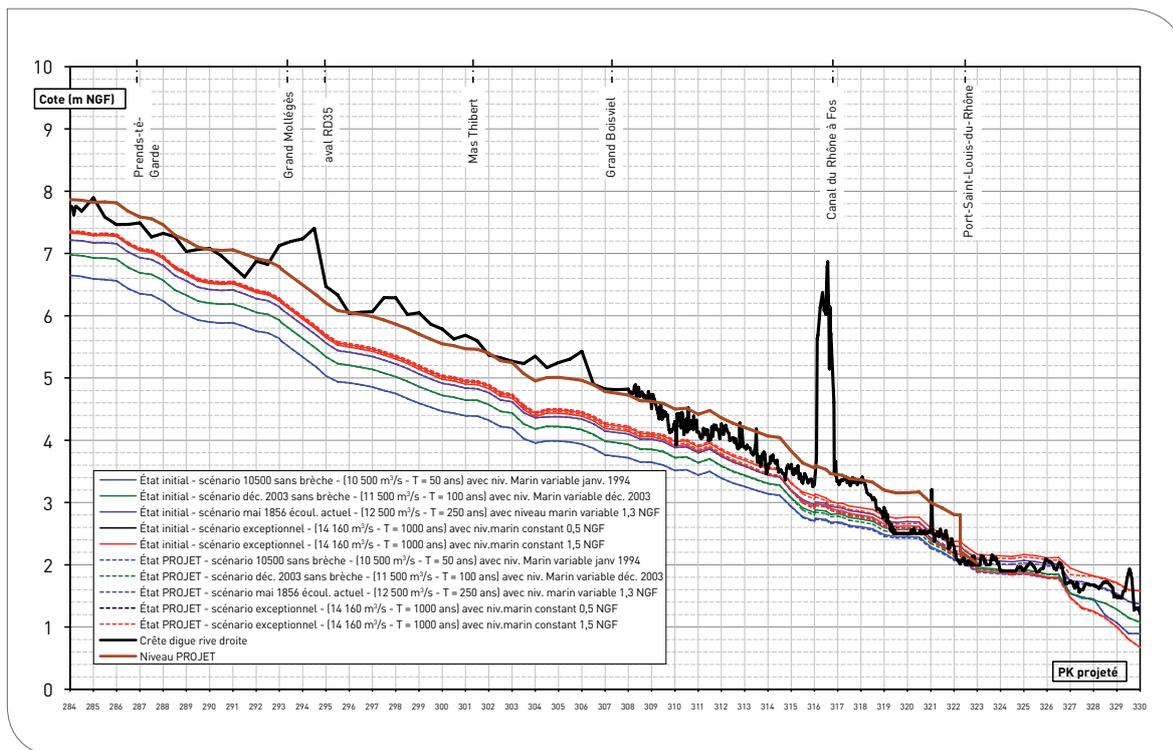
En rive droite, il est prévu dans le lit protégé, en sus des aménagements précités, la création d'une digue de protection rapprochée au sud du village de Salin-de-Giraud et des zones stratégiques de la Compagnie des Salins du midi. Cette action n'a pas été définie dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval, mais est rendue nécessaire au regard des résultats de l'étude de propagation des crues déversantes montrant, en l'absence d'une tel ouvrage, un niveau de protection, dans le village de Salin-de-Giraud, inférieur aux autres secteurs sensibles dans le Delta.

Le calage des digues abaissant les digues ou n'ayant qu'un impact quasiment nul, il n'est pas prévu de mesures d'annulation ou réduction d'impacts dans le lit endigué.

Les profils en long des lignes d'eau dans l'état initial et l'état projet, ainsi que le calage actuel et projeté des ouvrages figurent en page suivante.



État initial et état projet - calage actuel et projeté des ouvrages en rive droite du Grand Rhône entre Arles/Trinquetaille et la Mer (source EGISeau [R 18])



État initial et état projet - calage actuel et projeté des ouvrages en rive gauche du Grand Rhône entre Arles/Barriol et la Mer (source EGISeau [R 18])

7.9.6. ÉCLUSES VNF

Les portes des écluses respectivement de Beaucaire et de Saint-Gilles, ne déversent pas pour la crue exceptionnelle après aménagements (cf. tableau ci-après) et disposent d'une revanche comprise entre 15 et 43 cm. À l'instar des passages batardables calés au-dessus de la crue exceptionnelle, ces revanches, réduites localement, peuvent être admises avec la réserve suivante :

- Vérification par Voies Navigables de France de la stabilité des écluses (murs de tête et portes) avec la prise en compte de l'incertitude du modèle hydraulique (20 cm) et du déversement par des vagues (30 cm), jusqu'à la cote dite de "danger de rupture".

Sur les murs de tête des écluses, il est prévu la réalisation de parapets, calés à la cote de danger de rupture, destinés à éviter, tout risque de contournement des ouvrages ou de submersion par des vagues, notamment au droit des zones de raccordement entre les murs de tête et les digues d'embouquement. Ces travaux sur les écluses font l'objet de conventions entre le SYMADREM et VNF (cf. références).

Les portes de l'écluse d'Arles, actuellement à la cote de 6,95 NGF, déversent pour des crues supérieures ou égales à une crue type décembre 2003 sans brèche. Il est prévu de les mettre à la cote du niveau d'eau atteint par la crue exceptionnelle du Rhône, après aménagements, soit 7,30 NGF. À l'instar des écluses de Beaucaire et de Saint-Gilles, il est prévu que VNF vérifie, la stabilité des portes, avec la prise en compte de déversement par des vagues, jusqu'à la cote dite de "danger de rupture", située 50 cm au-dessus de la cote atteinte par la crue de sûreté, soit 7,80 NGF.

Si la stabilité n'est pas vérifiée, VNF intervient pour assurer cette stabilité et profite de cette opération pour mettre également à la cote de 7,30 NGF, les portes de l'écluse. Si la stabilité des portes et des murs de tête est vérifiée pour 7,80 NGF, le SYMADREM étudie et réalise en concertation avec VNF sur la base de l'étude de stabilité réalisée par VNF, un dispositif de rehausse des portes à la cote de 7,30 NGF.

Suivant ces choix en prenant l'hypothèse d'un niveau d'eau qui atteindrait la cote de danger de rupture (hypothèse non envisagée dans les études d'impact hydraulique), les débits de déversements sur les portes seraient compris entre 0,3 et 9,4 m³/s, ce qui est très faible et absorbable par les canaux de navigation si on se réfère à l'étude hydraulique menée sur le canal du Rhône à Sète en traversée de Beaucaire [R]25 qui a montré qu'un débit de 24 m³/s occasionnerait de faibles débordements sur les berges. Ces variations éventuelles de débits pour ce qui concerne le lit endigué sont sans impact (un débit de 10 m³/s correspond à 4 mm localement).

ÉCLUSE	ALTITUDE DES PORTES (NGF)	LARGEUR PORTE (m)	NIVEAU Q ₁₀₀₀ APRÈS PROJET (NGF)	REVANCHE PORTE (m)	Q ₁₀₀₀ + 50 cm (NGF)	LAME D'EAU MAXI (m)	DÉBIT DE DÉVERSEMENT MAXI AVEC Q ₁₀₀₀ + 50 CM
Beaucaire	12,7	14	12,55	0,15	13,05	0,35	4,9 m ³ /s
Arles	6,95	16	7,30	0,00	7,80	0,50	9,4 m ³ /s
Saint-Gilles	6,6	11	6,17	0,43	6,67	0,07	0,3 m ³ /s

Caractéristiques géométriques et hydrauliques au droit des écluses VNF

8 ÉTUDES DE DIAGNOSTIC ET DE CONCEPTION DES OUVRAGES

→ 8.1. LES MODES DE RUPTURE PRIS EN COMPTE DANS LES ÉTUDES

La méthodologie, reconnue nationalement pour le diagnostic et l'expertise technique en matière de digue est celle du Cemagref décrite dans l'ouvrage : "surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations - guide pratique à l'usage des propriétaires et gestionnaires" [200].

Le Cemagref a identifié 4 modes de rupture ou d'endommagement pour les digues en terre :

- La surverse,
- L'érosion interne,
- L'affouillement externe (parfois appelé érosion de pied ou sapement),
- Le glissement en masse.

Les 3 premiers modes de rupture sont initiés par des sollicitations hydrauliques, le dernier mode de rupture est le résultat de sollicitations mécaniques.

Le phénomène de glissement (mécanique) s'effectue en masse, alors que les phénomènes d'érosion (hydraulique) s'effectuent grains par grains.

Pour les ouvrages poids en béton et maçonnerie, les modes de rupture identifiés par l'eurocode 7 sont :

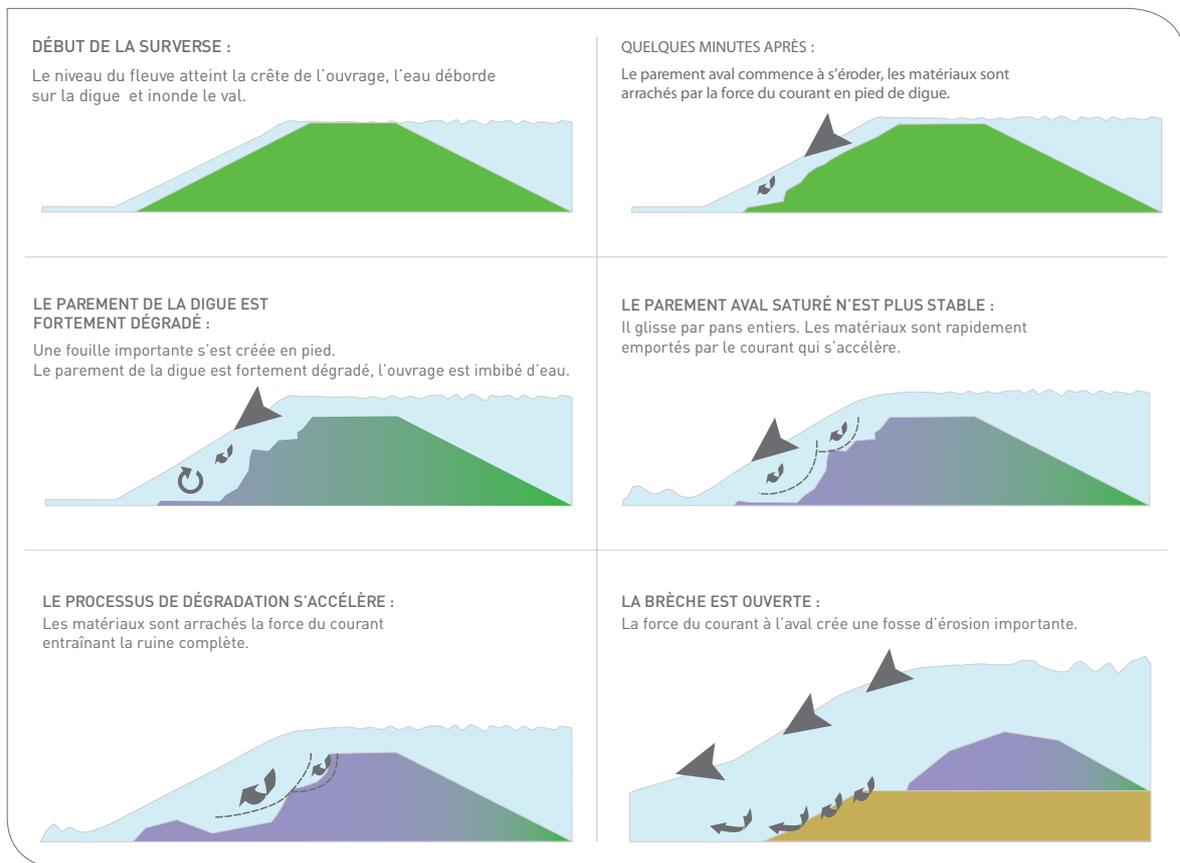
- Instabilité d'ensemble,
- Glissement du mur sur sa base,
- Renversement du mur,
- Poinçonnement du sol sous la base du mur,
- Rupture combinée dans le sol et la structure,
- Défaut d'étanchéité et érosion interne en fondation,
- Affouillement en pied aval et déstabilisation de l'ouvrage lié à un déversement,
- Mouvements excessifs,
- Rupture d'un élément de structure ou des liaisons entre ces éléments (notamment liaison portes/mur),
- Fissuration par traction du parement amont.

→ 8.2. ÉVALUATION DU MODE DE RUPTURE PAR SURVERSE

8.2.1. DESCRIPTION DU MODE DE RUPTURE PAR SURVERSE

La rupture d'une digue par surverse intervient assez rapidement après que la cote de submersion est dépassée. D'une manière générale, une digue en terre n'est pas conçue pour supporter un déversement sans rupture. Néanmoins suivant l'état du parement aval, la hauteur et la durée de déversement, la brèche peut mettre plus ou moins de temps à se former. L'érosion du parement de la digue côté terre peut commencer avant la submersion généralisée, de par l'effet des vagues qui envoient des paquets d'eau intermittents ou par des déversements sur des points bas localisés (ce qui est le cas le plus fréquent).

Les différentes phases de rupture d'une digue par surverse sont illustrées dans les figures, extraites de [R 200], ci-dessous :



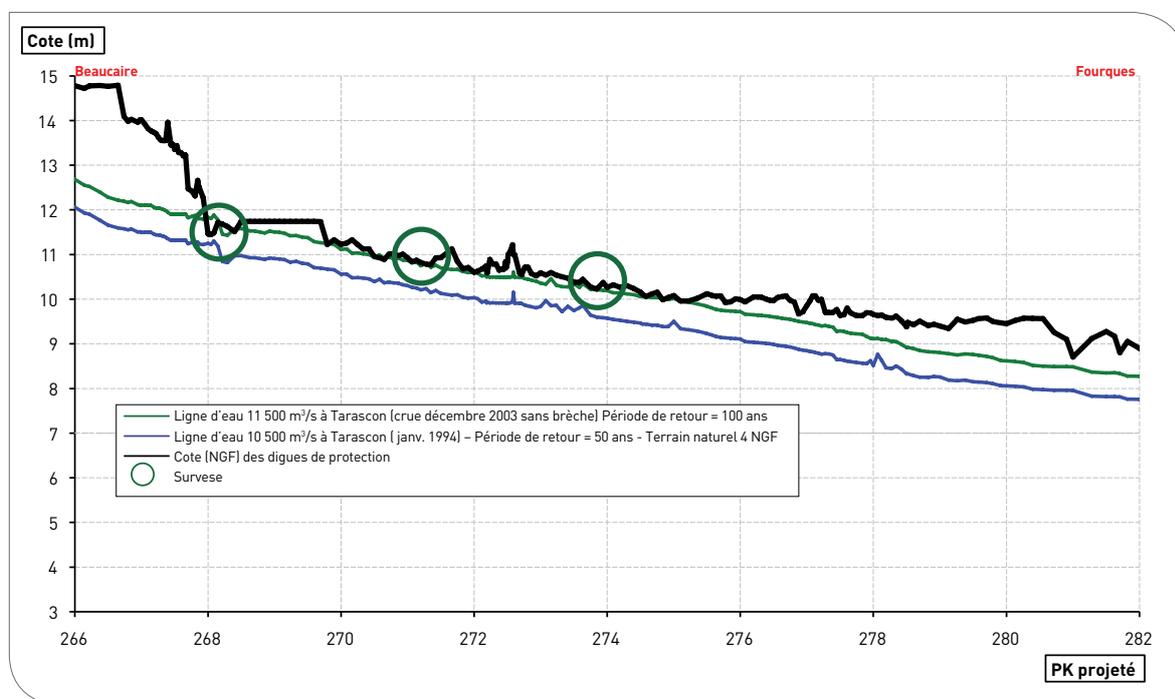
Différentes phases d'une rupture de digue par surverse (source CEMAGREF [R 200])

8.2.2. ÉVALUATION DE L'ALÉA DE RUPTURE PAR SURVERSE

La détermination du mode de rupture par surverse pour une crue donnée s'effectue par la comparaison entre la ligne d'eau de cette crue et le profil en long précis de la crête de digue.

La détermination de la ligne d'eau s'effectue par la mise en œuvre d'un modèle hydraulique permettant de modéliser mathématiquement les écoulements dans le lit endigué. Le calcul de ligne d'eau est réalisé en tenant compte des débits déversés.

L'exemple ci-dessous, issu de l'étude de calage précis entre Beaucaire et Arles réalisée par la CNR pour le compte du SYMADREM, illustre le mode de détermination de l'aléa de rupture par surverse à partir d'un modèle.



Profil en long établi à partir des données issues de CNR [R 16]

Ainsi pour une crue qui atteindrait un débit de pointe de 10 500 m³/s à la station de Tarascon (période de retour estimée par l'étude globale du Rhône (EGR) à environ 50 ans), on peut voir que le niveau d'eau maximum atteint par cette crue serait systématiquement en-dessous de la crête de digue avec une revanche supérieure à 50 cm. On peut en déduire que la probabilité de rupture par surverse sur ce tronçon pour une crue de cette intensité est faible ; la sûreté de l'ouvrage, vis-à-vis de ce mode de rupture est assurée.

En revanche, pour une crue dont le débit de pointe du Rhône atteindrait 11 500 m³/s (crue type décembre 2003 sans brèche), on peut voir que le niveau d'eau atteint par une telle crue affleurerait un grand linéaire de digue et dépasserait en certains points le niveau de la digue. C'était le cas en décembre 2003 où le Rhône a commencé à surverser sur les digues. La probabilité de rupture par surverse sur ce tronçon pour une telle crue est très forte ; la sûreté de l'ouvrage, vis-à-vis de ce mode de rupture, n'est plus assurée.

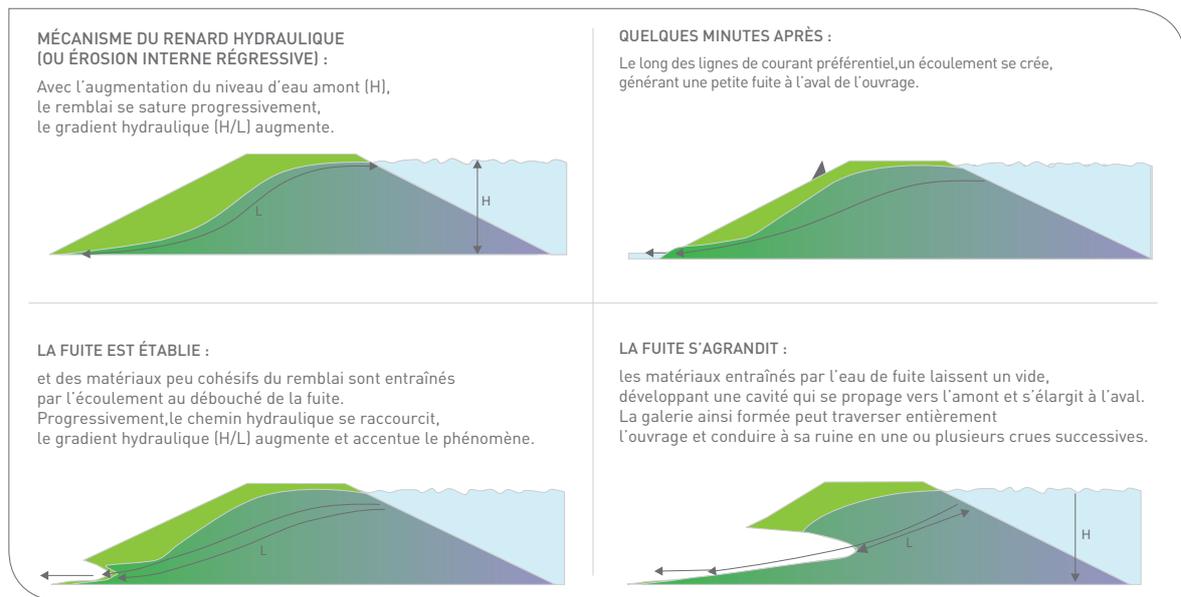
Les niveaux modélisés ne tiennent pas compte du phénomène de batillage, qui est la somme de l'élévation du plan d'eau provoquée par le vent (les vagues) et du déferlement de ces vagues sur la digue. Ce phénomène, qui provoque des passages de paquets d'eau, vient aggraver le risque de rupture par submersion.

→ 8.3. ÉVALUATION DU MODE DE RUPTURE PAR ÉROSION INTERNE

8.3.1. DESCRIPTION DU MODE DE RUPTURE PAR ÉROSION INTERNE

En crue, suivant la perméabilité des terrains rencontrés et la durée de la crue, il se produit des écoulements dans la digue. **L'érosion interne intervient lorsque la force d'écoulement est supérieure à la somme des autres force appliquées sur les grains (pesanteur, forces de contact)** soit lorsque le gradient hydraulique H/L est supérieur à un seuil appelé gradient critique des matériaux constituant la digue.

Les différentes phases de rupture d'une digue par érosion interne sont illustrées dans les figures, extraites de [R200], ci-dessous :



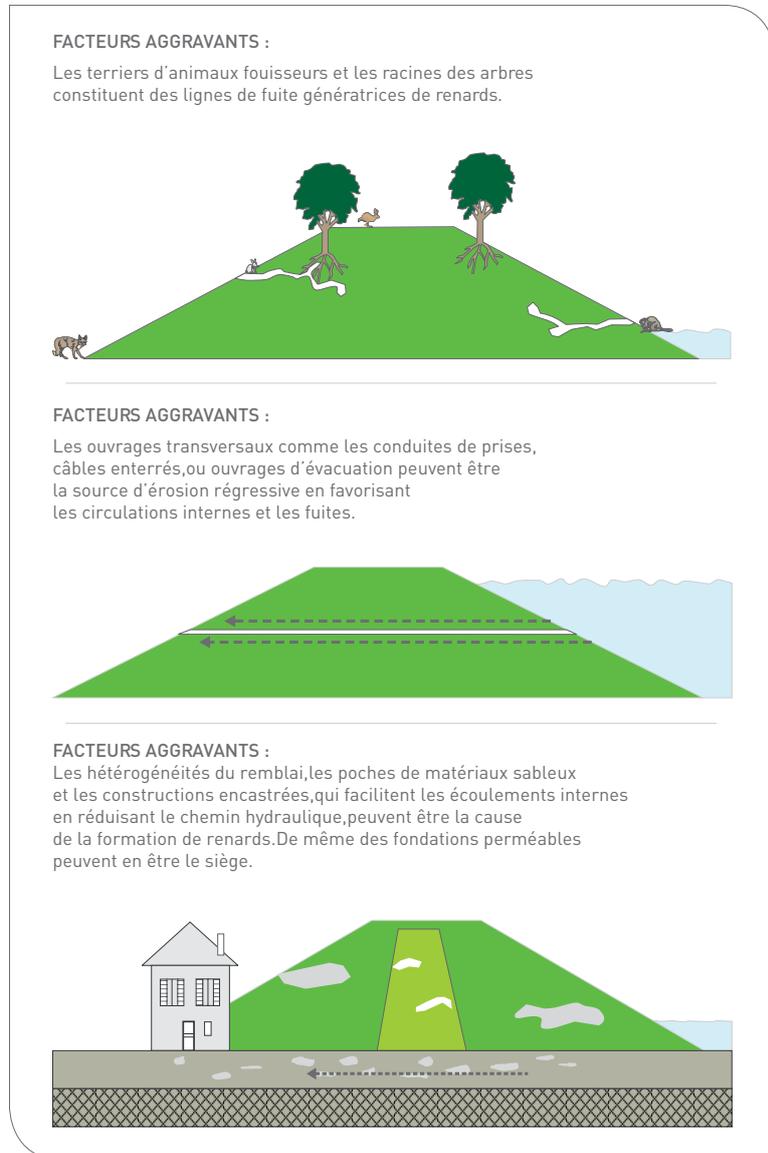
Différentes phases d'une rupture de digue par renard hydraulique/érosion interne (source CEMAGREF [R200])

L'érosion interne est initiée par l'un des quatre phénomènes de base ou par une combinaison d'entre eux :

- Une érosion de conduit : le long d'un ouvrage traversant mal enrobé ou mal compacté, terrier d'animaux fouisseurs, ouvrages fissure ou hétérogénéité des sols constituant la digue et la fondation,
- Une érosion régressive repérée notamment par tumulus de sable,
- Une érosion de contact entre deux couches l'une cohérente et l'autre graveleuse,
- Une suffusion par départ du limon dans les vides du sol.

Ce mode de rupture a été le mécanisme principal dans les brèches et les départs de brèches lors des crues d'octobre 1993 et janvier 1994. Les 16 brèches et départs de brèche observés ont été causés par l'érosion de conduit. 13 étaient dues à des terriers et 3 à des ouvrages traversants.

Les phénomènes d'érosion interne sont aggravés par la présence d'arbres, ouvrages traversants, terriers d'animaux fouisseurs, ouvrages implantés dans la digue (maison garde digue) et hétérogénéité des sols constituant la digue et la fondation. Les figures ci-dessous issues de [R 200] illustrent ces facteurs aggravants.



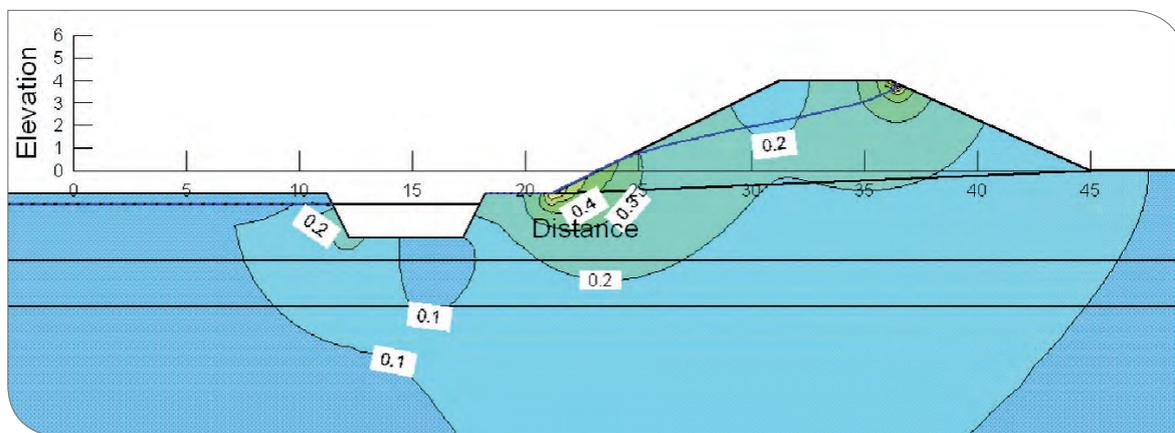
Facteurs aggravant les phénomènes d'érosion interne (source CEMAGREF [R 200])

8.3.2. ÉVALUATION DE L'ALÉA DE RUPTURE PAR ÉROSION INTERNE

Le mode de détermination de l'aléa de rupture par érosion interne est plus complexe à détecter dans l'état de l'art actuel. Un programme de recherche a démarré en 2005, le projet national sur l'Érosion Interne dans les Ouvrages Hydrauliques dit programme ERINOH [R 600]. Il a pour objet de mieux comprendre ce phénomène. Il est aujourd'hui achevé et va être suivi par le programme LEVEE [R 602] auquel est associé le SYMADREM, qui se concentre plus particulièrement sur les digues de Camargue.

Dans l'état de l'art actuel, la détermination de l'aléa de rupture par érosion interne nécessite :

- Des études historiques dont l'objectif est de :
 - Connaître les différentes étapes de construction des digues et en définitif le degré d'hétérogénéité des digues,
 - Connaître les anciens ouvrages traversant la digue, qui pourraient être masqués (ex. l'armellière en déc. 2003, Mas médaille en 2008),
 - Connaître les paléo-brèches,
 - Connaître les anciens bras du Rhône pour détecter des éventuelles couches perméables sableuses ou graveleuses en fondation.
- Des examens visuels pour détecter la présence éventuelle de terriers, d'arbres ou d'ouvrages traversants (érosion de conduit),
- Des reconnaissances géophysiques ou géotechniques destinées à découper la digue en tronçons homogènes et déterminer par tronçons homogènes les profils géologique et géotechnique de la digue,
- De modéliser les écoulements souterrains de façon à calculer les gradients hydrauliques et de les comparer avec les gradients critiques (exemple de calcul ci-dessous),
- D'évaluer à partir des essais géotechniques in situ et en laboratoire les risques d'érosion de conduit, érosion de contact, érosion régressive ou érosion par suffusion interne.



Modélisation des écoulements souterrains et calcul des gradients hydrauliques (source ISL [R 60])

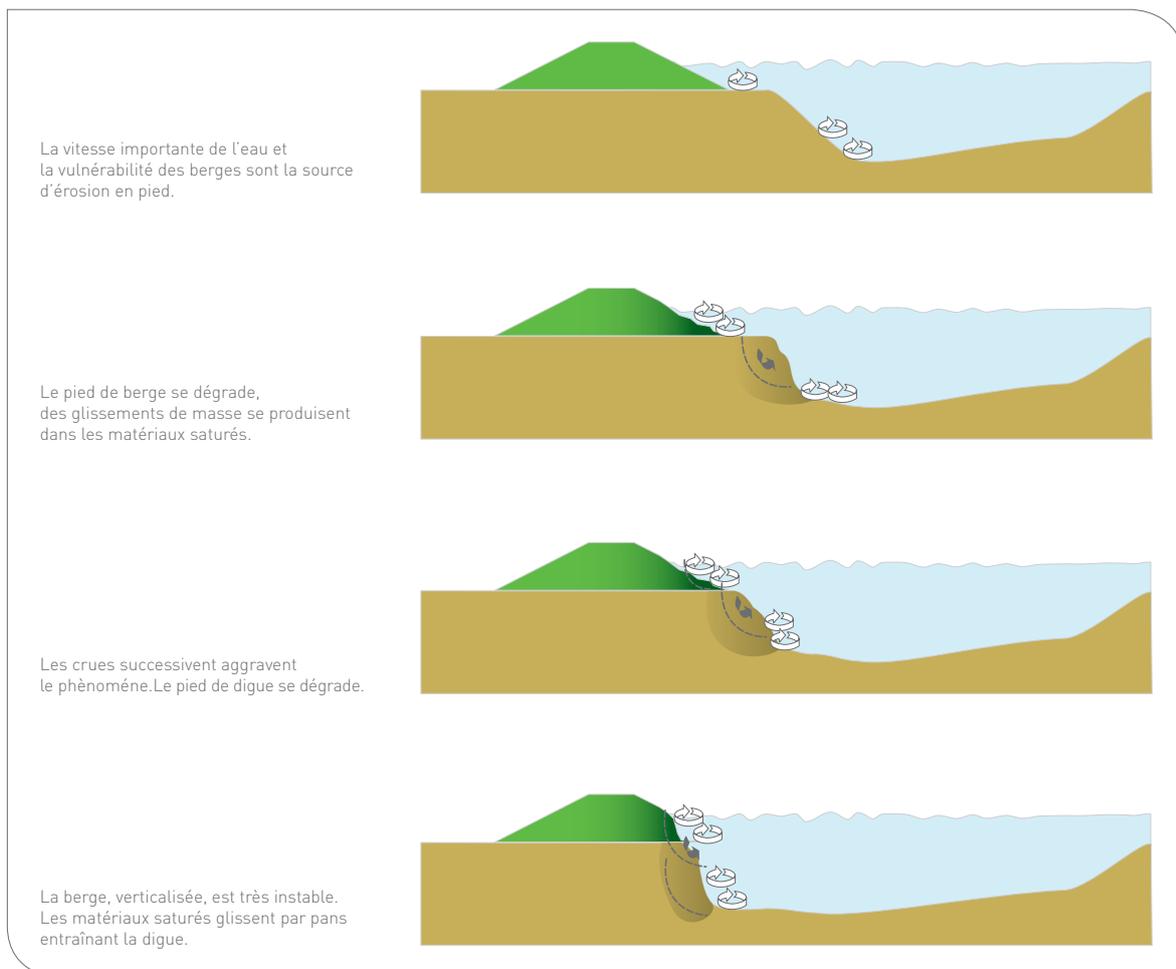
→ 8.4. ÉVALUATION DU MODE DE RUPTURE PAR AFFOUILLEMENT EXTERNE

8.4.1. DESCRIPTION DU MODE DE RUPTURE PAR AFFOUILLEMENT EXTERNE

L'affouillement externe est provoqué par la vitesse des écoulements qui engendrent l'érosion des talus côté fleuve. Cette érosion peut entraîner des glissements de terrain lors de la décrue.

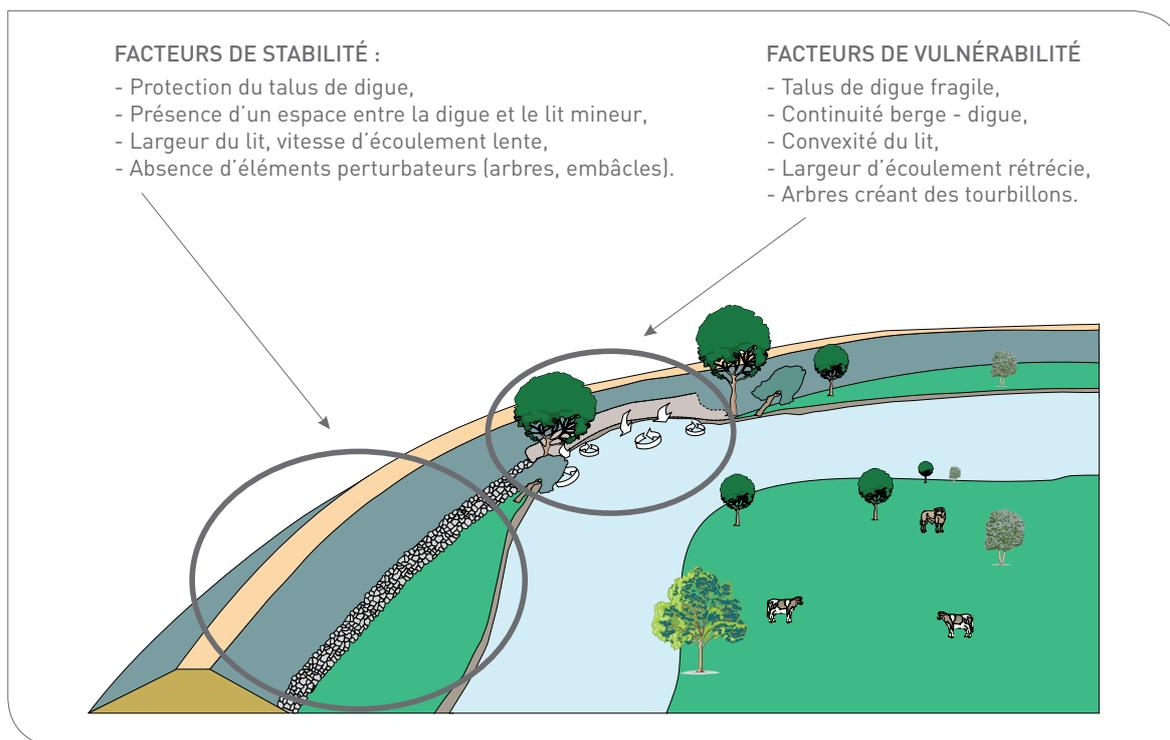
Ce mode de rupture a occasionné de nombreux endommagements lors des crues de 1993, 1994, 2002 et 2003, mais n'a jamais engendré de brèches, à notre connaissance, dans les digues du delta du Rhône depuis 1840. En effet, les pentes d'écoulement dans le delta du Rhône sont faibles. Elles génèrent des vitesses d'écoulement suffisantes pour engendrer des désordres en général sur les berges et plus rarement sur les digues mais pas suffisantes pour provoquer la formation d'une brèche.

Les différentes phases de rupture d'une digue par affouillement externe sont illustrées dans les figures, extraites de [R 200], ci-dessous :



Différentes phases de dégradation ou rupture de digue par affouillement externe (source CEMAGREF [R 200])

Différents facteurs viennent aggraver ou diminuer le risque de désordre par affouillement externe. Ils sont illustrés ci-dessous :



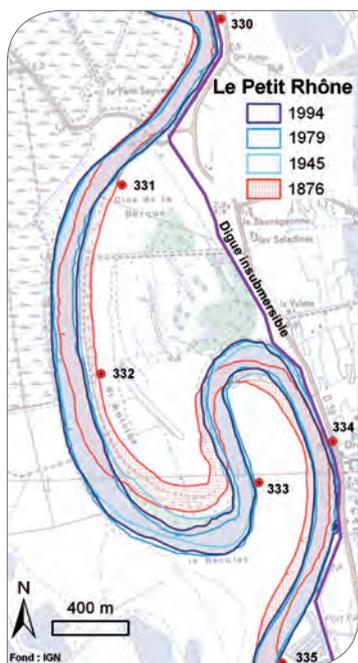
Facteurs aggravant ou diminuant le risque d'érosion par affouillement externe (source CEMAGREF [R]200))

8.4.2. ÉVALUATION DE L'ALÉA DE RUPTURE PAR AFFOUILLEMENT EXTERNE

Les risques d'affouillement externe sont évalués à partir d'un croisement entre les études hydrauliques, études morphodynamiques, études historiques et plus particulièrement des éléments suivants :

- Analyse des plans diachroniques pour estimer la mobilité en plan du fleuve,
- Comparaison des plans bathymétriques pour voir les secteurs en érosion ou dépôt,
- Les vitesses d'écoulements pour estimer les contraintes sur les berges et digues,
- Les inspections visuelles et analyse des plans d'archives pour voir l'état des berges et la présence ou non de protection masquée par la végétation.

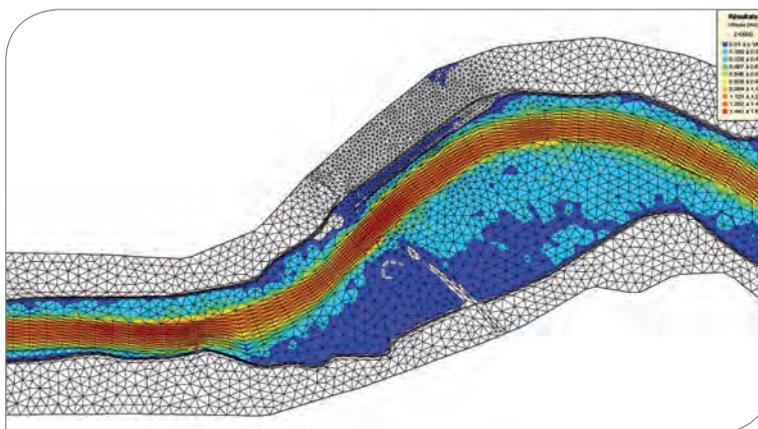
Les études morphodynamiques permettent d'évaluer le déplacement du fleuve en plan. En effet, un fleuve n'a pas de tracé fixe dans le temps. Il migre en fonction de nombreux paramètres (transport solide, ancien tracé, stabilité des berges, érosion de fond liée à des prélèvements dans le lit (carrière) ou par déficit d'apport solide).



Migration du Petit Rhône de 1876 à 1994 (source CEREGE [R 55])

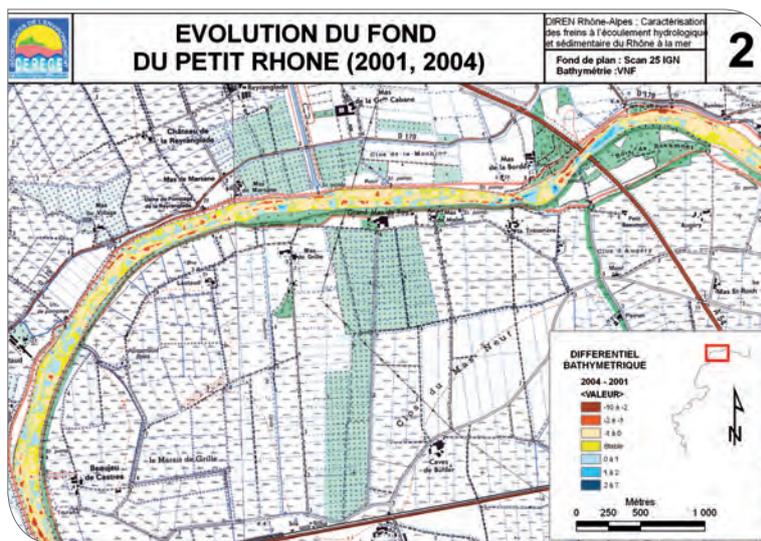
La figure ci-contre extraite de [R 55] a été réalisée à partir de plans d'archives et permet de voir la mobilité en plan du Petit Rhône de 1876 à 1994 à proximité de l'embouchure du Petit Rhône avec la mer.

Les études hydrauliques (modélisation hydraulique) permettent d'apprécier les vitesses des écoulements sur les talus des digues et donc les possibilités d'érosion.



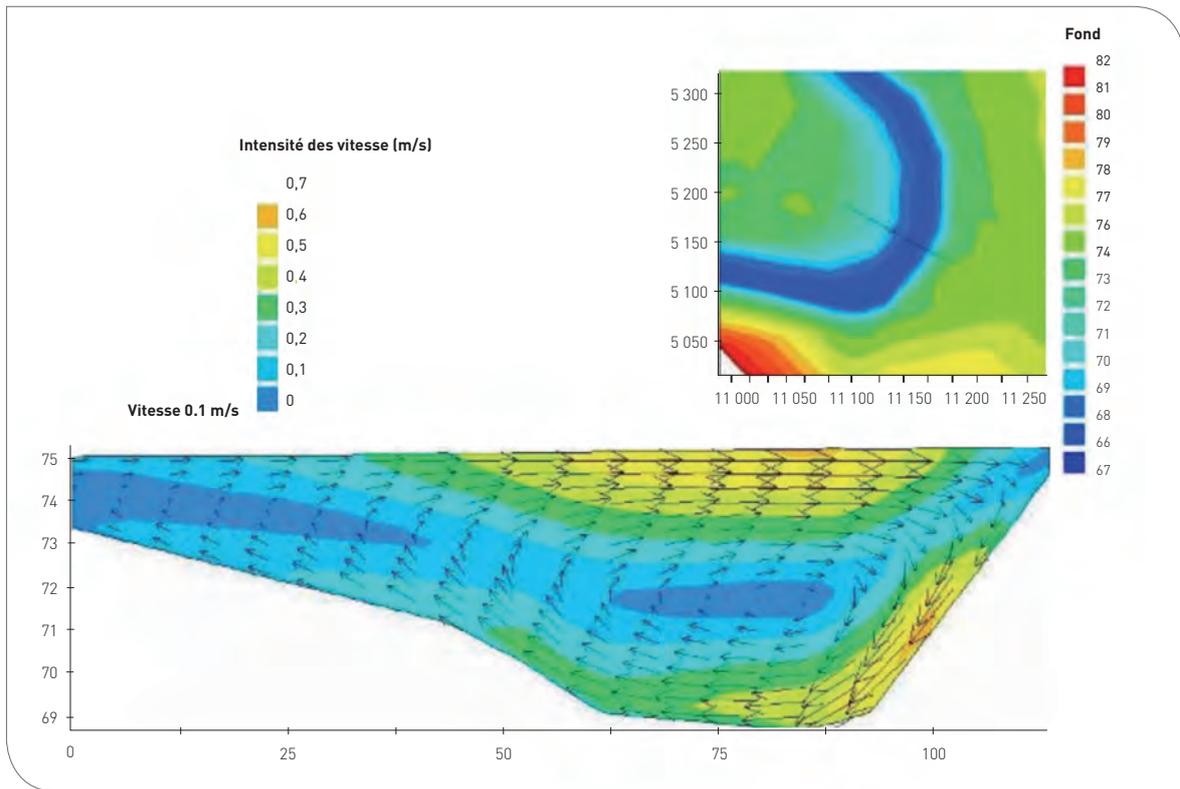
Exemple de calculs de vitesses par modèle 2D (source EGISeau [R 17])

La comparaison de levés bathymétriques permet également de voir les secteurs en érosion ou en dépôt. Elle permet également de voir les tendances de déplacement en plan ou d'amont en aval des fosses d'érosion.



Évolution de la bathymétrie sur le Petit Rhône entre 2001 et 2004 (source CEREGE [R 55])

La connaissance de la bathymétrie du fleuve est également une donnée aidant à la détermination de cet aléa. La présence d'une fosse en extrados de fleuve a tendance à provoquer l'érosion de berge. La figure ci-dessous extraite d'une modélisation en 3 dimensions de l'écoulement de l'eau dans un coude montre que la force centrifuge exercée par un coude tend à rejeter le courant de surface vers l'extérieur de la courbe, les matériaux sont alors arrachés. Ce phénomène entraîne la déstabilisation du pied de la berge.



Modélisation 3D des écoulements dans un coude (source SOGREAH [R 88])

Les études morphodynamiques ont également pour objet d'identifier tous les facteurs limitant la mobilité du fleuve (végétation des berges, existence ou non de protection de berges).

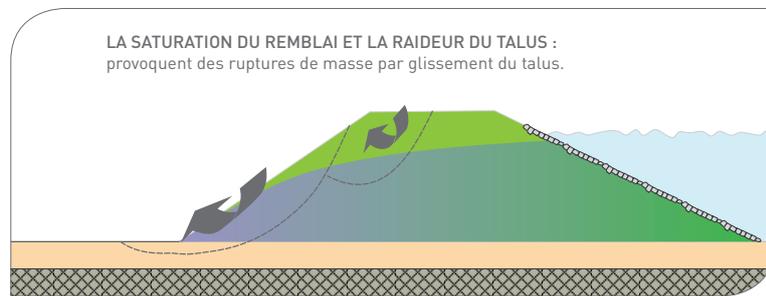
→ 8.5. ÉVALUATION DU MODE DE RUPTURE PAR GLISSEMENT

8.5.1. DESCRIPTION DU MODE DE RUPTURE PAR GLISSEMENT EN MASSE

Le glissement en masse intervient par rupture circulaire quand la digue et sa fondation sont en limon homogène saturé en eau et que les pentes des talus sont trop raides.

En crue, le risque de glissement est sur le talus côté terre (la stabilité du talus côté fleuve étant assurée par le poids de l'eau).

La figure ci-après illustre ce mode de rupture :



Glissement du talus aval en crue (source CEMAGREF [R 200])

En décrue, le risque de glissement est sur le talus côté fleuve (le talus côté fleuve a été imbibé d'eau et le poids de l'eau n'est plus là pour assurer la stabilité du talus).

La figure ci-dessous illustre ce mode de rupture :



Glissement du talus amont en décrue (source CEMAGREF [R 200])

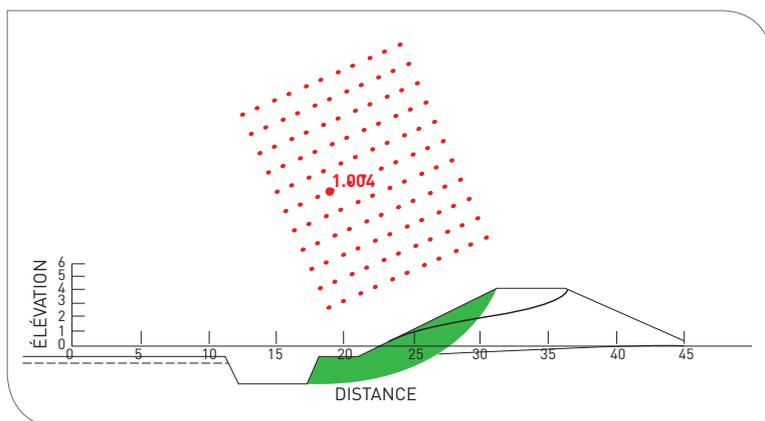
8.5.2. ÉVALUATION DE L'ALÉA DE RUPTURE PAR GLISSEMENT

La détermination de l'aléa de rupture par glissement nécessite :

- Des reconnaissances géophysiques ou géotechniques destinées à découper la digue en tronçons homogènes et déterminer par tronçons homogènes les profils géologique et géotechnique de la digue,
- De modéliser les écoulements souterrains de façon à calculer les lignes piézométriques dans la digue,
- De calculer la stabilité des talus amont (en décrue) et aval (en crue) suivant les différents cercles de glissement possibles.

À l'instar du mode de rupture par affouillement externe, ce mode de rupture a engendré des endommagements mais n'a pas engendré, à notre connaissance de brèches dans les digues du delta du Rhône depuis 1840. Les digues du Rhône sont en effet construites en limons parfois plutôt argileux, parfois plutôt sableux, mais qui présentent des perméabilités suffisamment faibles pour ne pas saturer le remblai à l'échelle d'une crue.

Un exemple de calcul de stabilité au grand glissement figure ci-dessous :



Calcul de stabilité géomécanique (source ISL [R 60])

→ 8.6. CONTENU DES ÉTUDES DE DIAGNOSTIC

La détermination des différents aléas de rupture nécessite de nombreuses investigations résumées dans le tableau synoptique ci-dessous :

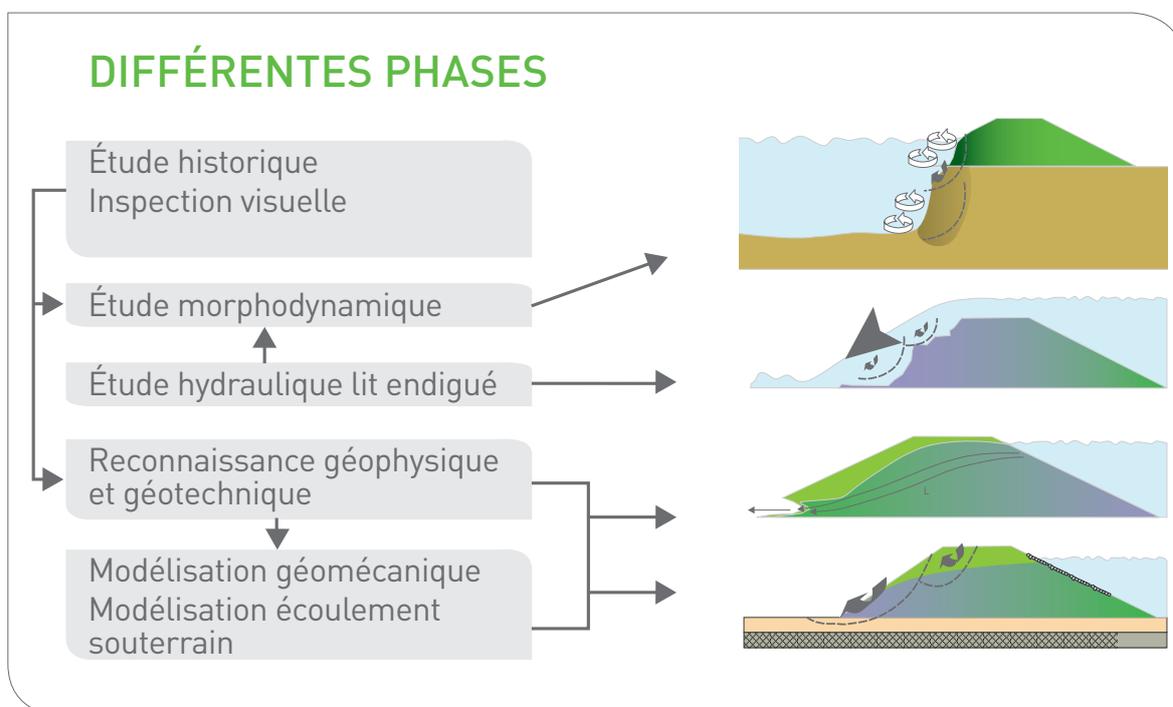


Tableau synoptique pour le diagnostic ou expertise d'une digue

Les études communes aux ouvrages de protection et à la zone protégée concernent :

- Les levés topographiques et bathymétriques.

Les études relatives aux ouvrages de protection comprennent les volets suivants :

- Une étude historique,
- Un examen visuel détaillé des berges et des digues,
- Une étude des ouvrages englobés et ouvrages connexes,
- Une étude hydraulique à minima dans le lit endigué (noyé/dénoyé),
- Des reconnaissances géophysiques et géotechniques,
- Des études d'écoulement souterrain,
- Des études géomécaniques (stabilité).

En ce qui concerne la zone protégée, les études comportent les volets suivants :

- Une étude hydraulique dans le lit protégé,
- Une étude d'enjeux.

L'étude de dangers telle que définie dans le décret du 11 décembre 2007 et l'arrêté du 12 juin 2008 pris en application est le résultat du croisement de ces différents volets d'étude.

De cette méthodologie, le SYMADREM assisté de son collègue d'experts, a défini une trame pour la réalisation des études de diagnostic, dont l'objectif est de déterminer le comportement de l'ouvrage en crue et de constater le niveau de sûreté de la digue.

Le contenu des différents volets d'étude est détaillé ci-après :

8.6.1. DONNÉES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMÉTRIQUES UTILISÉES

Pour le développement des modèles hydrauliques nécessaires à la modélisation des écoulements dans le lit endigué ainsi que pour les études de diagnostic et de conception, le SYMADREM a fait réaliser en 2007 une campagne de levés topographiques par technique laser hélicopté, après une étude de faisabilité conduite en 2006 avec l'appui du CEMAGREF et l'aide financière de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

C'est la "méthode" FLIMAP développée par la société FUGRO-GEOID, qui a été retenue pour les relevés terrestres. Ces levés ont permis l'établissement d'un modèle numérique de terrain (MNT) avec les caractéristiques suivantes :

- Précision en x,y,z : 3 cm
- Densité du MNT : 4 points/m²

Les données bathymétriques utilisées sont issues de :

- Levés réalisés par la CNR en 1999 et 2006 sur le Rhône et Grand Rhône, complétés à l'embouchure du Grand Rhône par des levés du CEREGE,
- Levés réalisés par VNF en 2001, 2004, 2006 et 2007 sur le Petit Rhône, complétés en 2009 par des levés de profils en travers par le SYMADREM en 2009.

Pour le développement des modèles hydrauliques dans le lit protégé, le SYMADREM utilise les levés topographiques de la Base de Données Topographiques (BDT) IGN réalisé dans le cadre du plan Rhône, par technique laser aéroporté avec une précision en z de 20 cm.

8.6.2. ÉTUDES HYDRAULIQUES EN LIT ENDIGUÉ ET LIT PROTÉGÉ

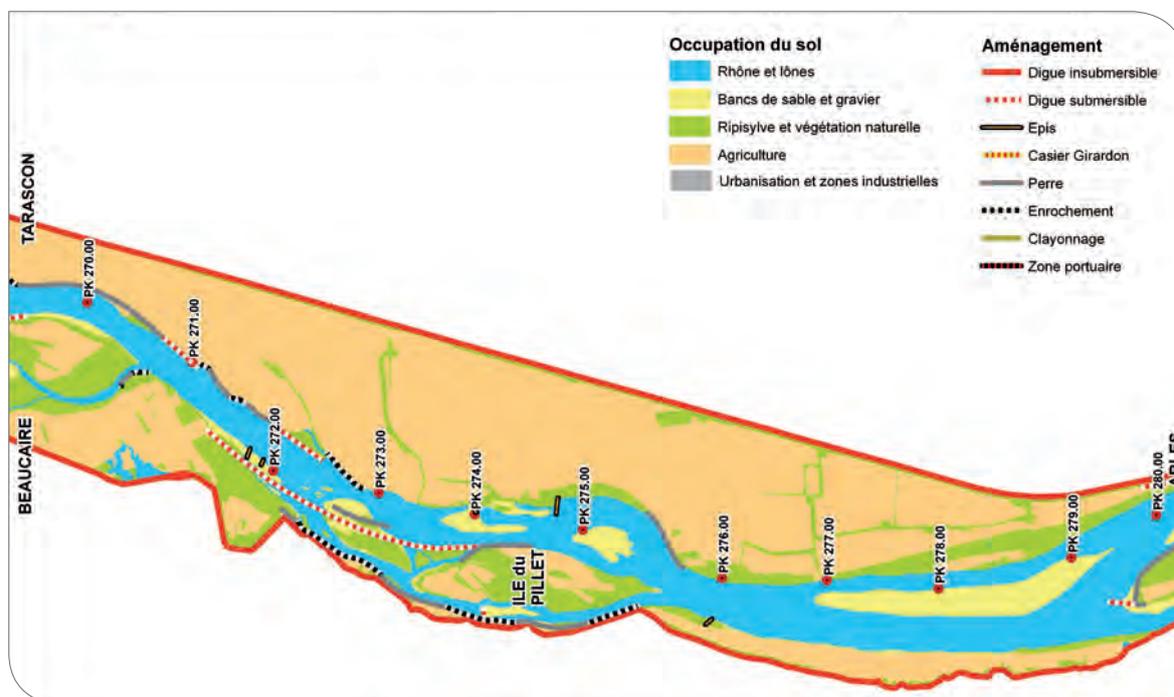
Le contenu et les objectifs des études hydrauliques sont décrits dans le chapitre intitulé “études hydrauliques - découpage des modèles”.

8.6.3. LES ÉTUDES MORPHODYNAMIQUES

Les études morphodynamiques consistent principalement à exploiter les nombreuses études et thèses réalisées par le CEREGE dans le grand delta du Rhône. Ces études ont permis notamment de dresser :

- Un historique des aménagements dans le fleuve (épis girardon, panneaux de fond),
- Des plans montrant l'évolution en plan du fleuve de 1876 à 1994,
- Des plans montrant l'évolution de la bathymétrie de 1876 à 2004 avec des périodes intermédiaires (2001...),
- Des plans avec une typologie berge haute (> 2 m) et berge basse (< 2 m) et les secteurs en érosion et en accrétion.

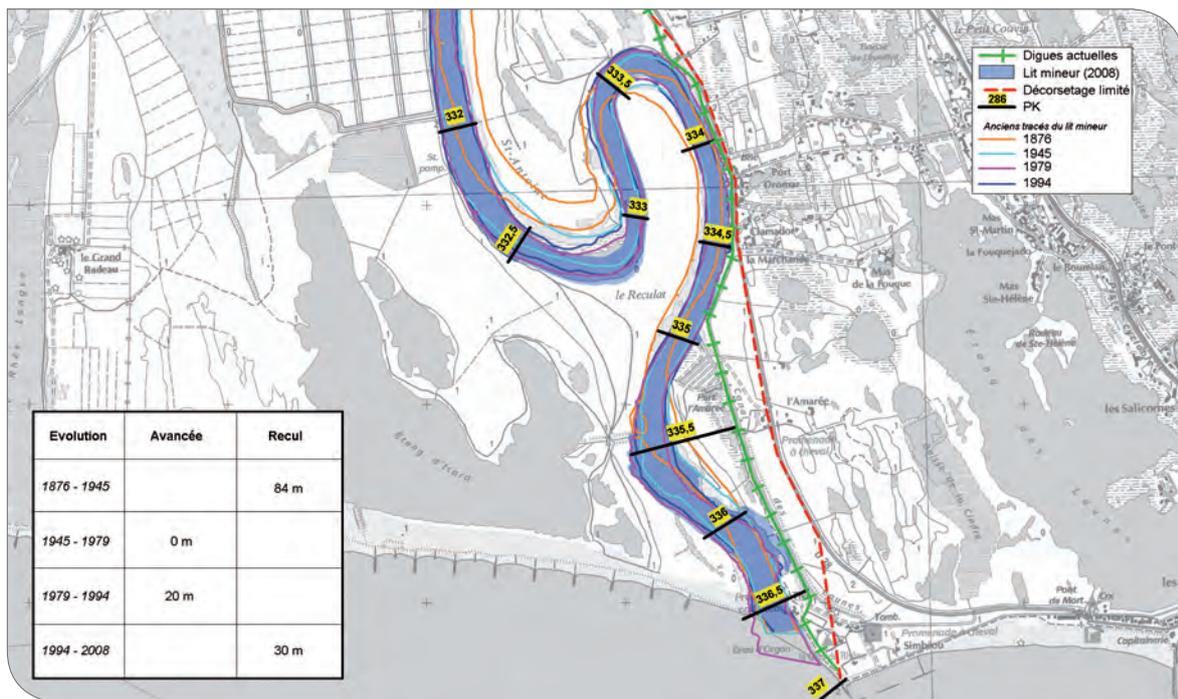
À titre d'exemple, les deux figures ci-après donnent la situation des aménagements et de l'occupation du sol respectivement en 1876 et 2003 et permettent de voir l'évolution morphodynamique du fleuve entre Beaucaire et Arles avec une tendance plutôt à la fermeture des bras secondaires et incision du fleuve.



Occupation du sol entre Beaucaire et Arles en 1876 (source CEREGE [R 55])

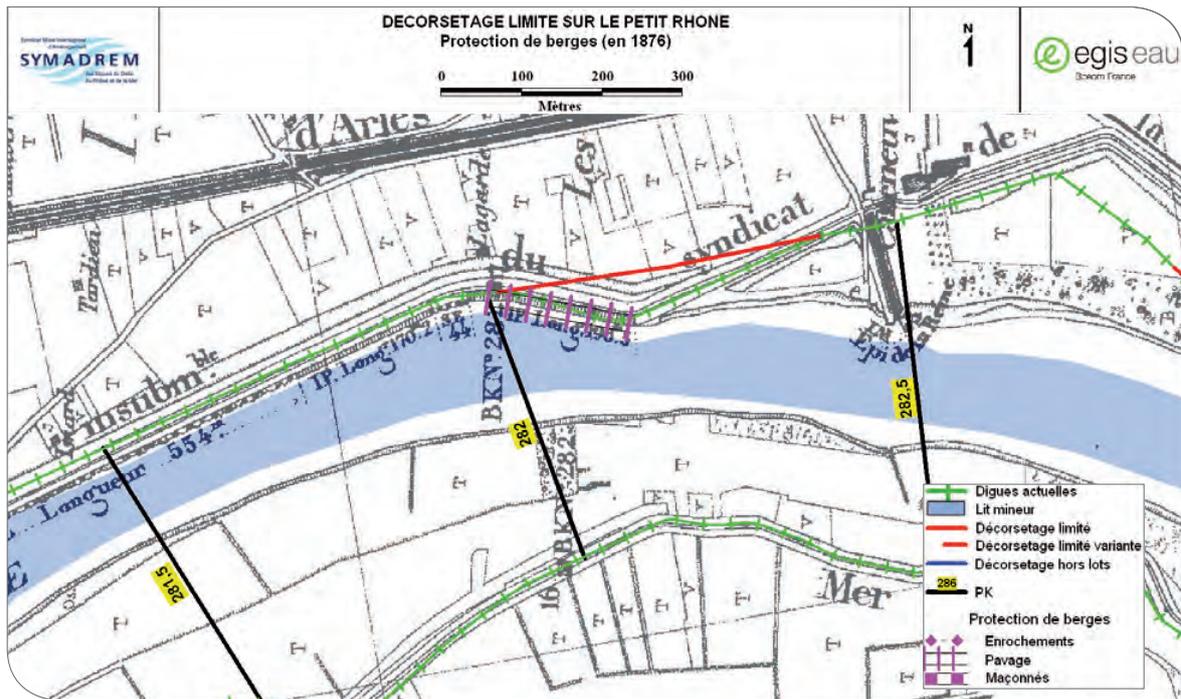


Occupation du sol entre Beaucaire et Arles en 2003 (source CEREGE [R 55])



Déplacement en plan du Petit Rhône entre 1876 et 2008 à proximité de son embouchure avec la mer (source EGISeau [R 17])

Ces études du CEREGE sont complétées par l'examen des plans d'archives de 1876, qui permettent de voir les protections en enrochements réalisés à l'époque et actuellement enfouies et identifier également la présence des panneaux.



Analyse des plans d'archives destinés à identifier les protections en enrochements (source EGISEau [R 17])

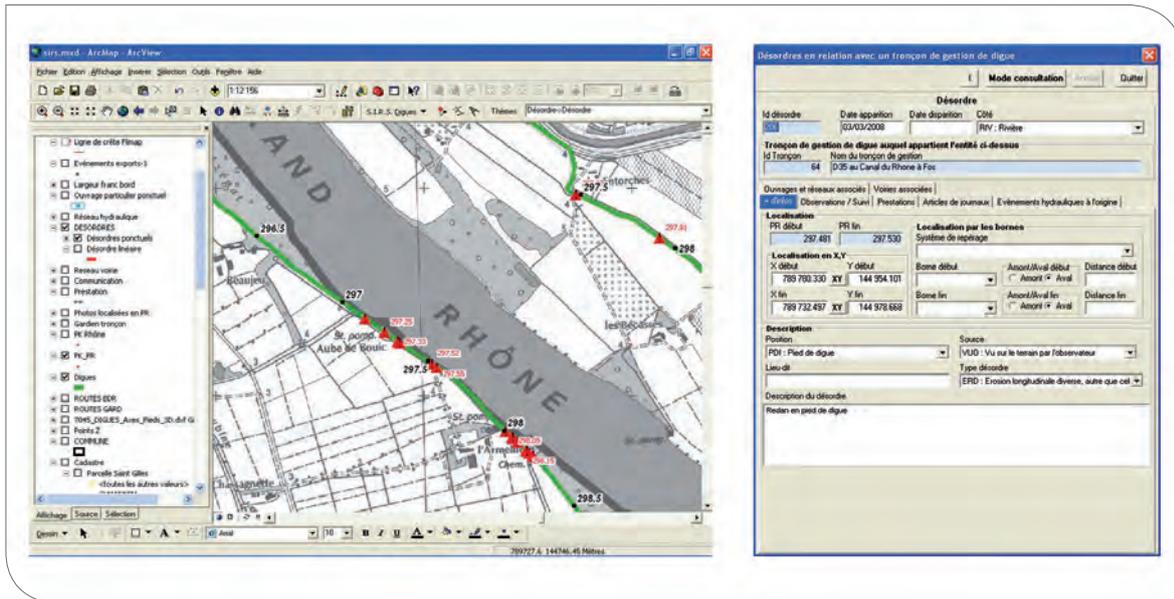
Ces différentes données sont exploitées dans le cadre des études de façon à permettre une appréciation de la tendance au déplacement du fleuve dans les années à venir et en définitif une appréciation de l'aléa de rupture par affouillement externe au droit de la digue suivant son implantation par rapport au fleuve.

8.6.4. VISITE TECHNIQUE APPROFONDIE

La visite technique approfondie, demandée par le décret de 2007, a pour principal objet de repérer les indices et l'évolution des désordres pouvant affecter la digue. Elle permet d'établir un état initial objectif de la digue (afin d'en suivre l'évolution ultérieure) et de recueillir des informations, qui pourront orienter les modalités d'exécution des reconnaissances géotechniques et contribuer au diagnostic des principaux modes de rupture. Elle est réalisée annuellement.

La visite technique approfondie s'effectue en parcourant intégralement à pied le linéaire de la digue à diagnostiquer et en répertoriant toutes les informations visuelles, d'une part sur les caractéristiques morphologiques externes de l'ouvrage (du moins sur celles non répertoriées par ailleurs, en particulier sur le plan topographique) et, d'autre part, sur les désordres ou les présomptions de désordre affectant l'une ou l'autre de ses composantes (côte, mur et pied de mur ou talus côté endigué et côté fleuve, berges si proches de la digue).

Ces informations sont saisies dans le système d'information à référence spatiale du SYMADREM : le SIRS-DIGUE, qui permet un traitement aisé des données et une optimisation des missions de surveillance.



Écran de saisie sur le SIRS-DIGUE

8.6.5. ÉTUDE HISTORIQUE

L'objectif de l'étude historique est de :

- Prendre connaissance et exploiter, à l'échelle du secteur de digue concerné, l'ensemble des documents disponibles et : archives, plans, photos aériennes, études antérieures, dossiers de travaux de confortement, données du sirs-digue,
- Effectuer une analyse critique et une synthèse des documents collectés et mis à disposition,
- Recenser les ouvrages anciens aujourd'hui masqués,
- Caractériser la constitution interne du corps de digue en terre ou la géométrie de l'ouvrage poids suivant les secteurs (grandes étapes de la construction, résultats d'éventuels sondages déjà réalisés,...),
- Confirmer la localisation les brèches historiques depuis 1840, au vu de l'exploitation des documents mis à disposition,
- Recenser la présence de paléo-chenaux traversant le tracé de la digue, autres que ceux figurant sur les documents mis à disposition,
- Recenser et localiser les repères des crues historiques (1856 et 2003),
- Analyser les résultats des sondages déjà réalisés sur le secteur,
- Analyser les études antérieures sur la digue, dossiers de travaux de confortement.

L'aspect historique est essentiel pour la compréhension du fonctionnement des digues du SYMADREM, qui sont des ouvrages anciens, ayant fait l'objet de multiples rehaussements et confortements.

La succession de ces couches peut occasionner des hétérogénéités dans le corps du remblai, qui peuvent être la cause de phénomène d'érosion interne lors de crues importantes.

La photo et la carte ci-dessous illustrent l'importance de cet aspect historique : Lors des crues, le garde digue du secteur avait identifié une zone d'infiltrations au droit du Mas Médaille au PK 286,3. Suite à une purge manuelle réalisée par le garde digue, il est apparu qu'un ouvrage masqué et non connu du SYMADREM existait dans la digue. L'examen, a posteriori des plans d'archives, a permis de confirmer cette existence. La purge de cet ouvrage est intervenue dans le mois suivant.



Purge d'un ouvrage traversant masqué au droit du mas médaille suite à l'observation d'infiltrations en crue - Carte des Ponts et Chaussées de 1876 confirmant cette présence

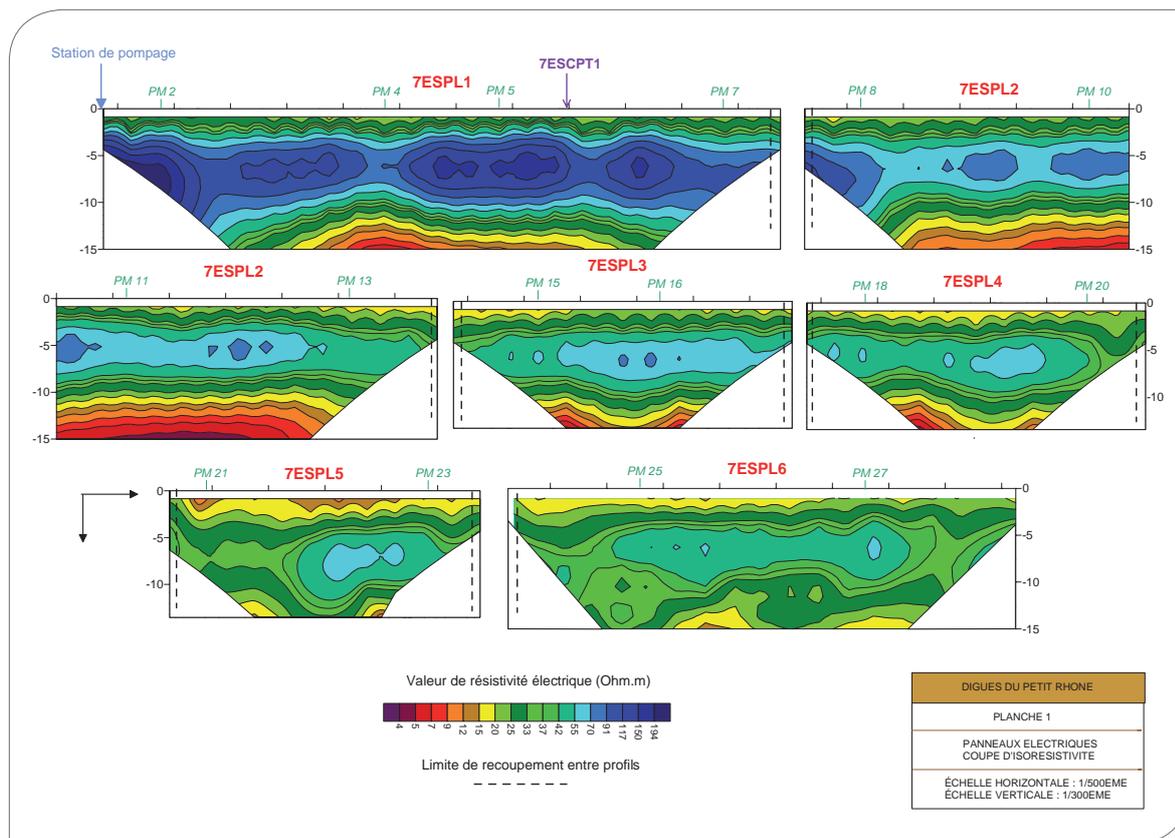
De la même façon, l'effondrement d'un ouvrage traversant masqué et non connu du SYMADREM au droit du château de l'Armelière, lors de la crue de décembre 2003, aurait sans la détection précoce du désordre par le garde digue et l'intervention du SYMADREM, provoqué la formation d'une brèche.

8.6.6. RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES ET GÉOPHYSIQUES

Les reconnaissances géotechniques et géophysiques en trois phases :

- Une phase de synthèse des données existantes en vue de la préparation et de l'économie du programme à réaliser.
- Une phase de campagne de reconnaissances dite "campagne systématique" comprenant :
 - Une campagne géophysique avec :
 - Un profil en long électrique, en crête de digue, sur la longueur totale de la digue,
 - Des profils en travers espacés d'environ 500 mètres. Des profils supplémentaires sont à réaliser localement sur les zones d'anciens travaux.
 - Une première campagne de pénétromètre statique lourd avec piézocone (CPT) tous les 500 mètres, en crête de digue, au point d'intersection des profils en long électriques et des profils en travers avec interprétation des données suivant les abaques de Robertson et Campanella (1989).

Cette phase permet de découper la digue en tronçons homogènes en y distinguant les ouvrages singuliers et les zones d'anomalies pour l'implantation des reconnaissances géotechniques détaillés.

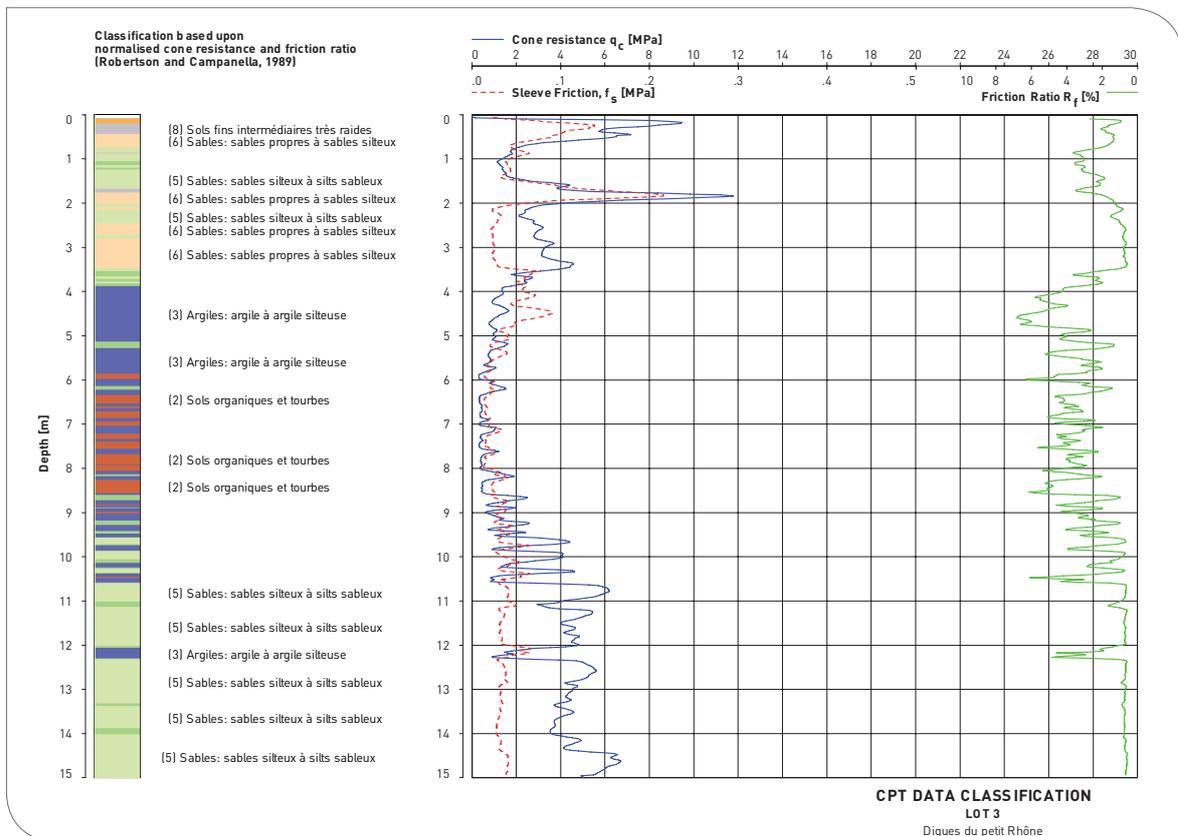


Profil en long de la digue et sa fondation par panneaux électriques (source FUGRO géotechnique [R 87])

Les mesures correspondant aux matériaux conducteurs ont tendance à localiser des matériaux de type limoneux ou argileux. Les mesures correspondant aux matériaux résistifs ont tendance à montrer des matériaux drainants.

Un soin particulier doit être apporté à la localisation des profils sur le terrain afin qu'ils puissent être croisés entre eux et avec les autres sondages géotechniques.

La figure suivante illustre les mesures de résistance de pointe et frottements latéraux par le CPT. Ces deux mesures permettent d'avoir, à partir des abaques de Robertson et Campanella (1989), une tendance des différentes couches de matériaux constituant la digue et sa fondation, qui devra être confirmée dans la phase de reconnaissance détaillée par des sondages carottés.

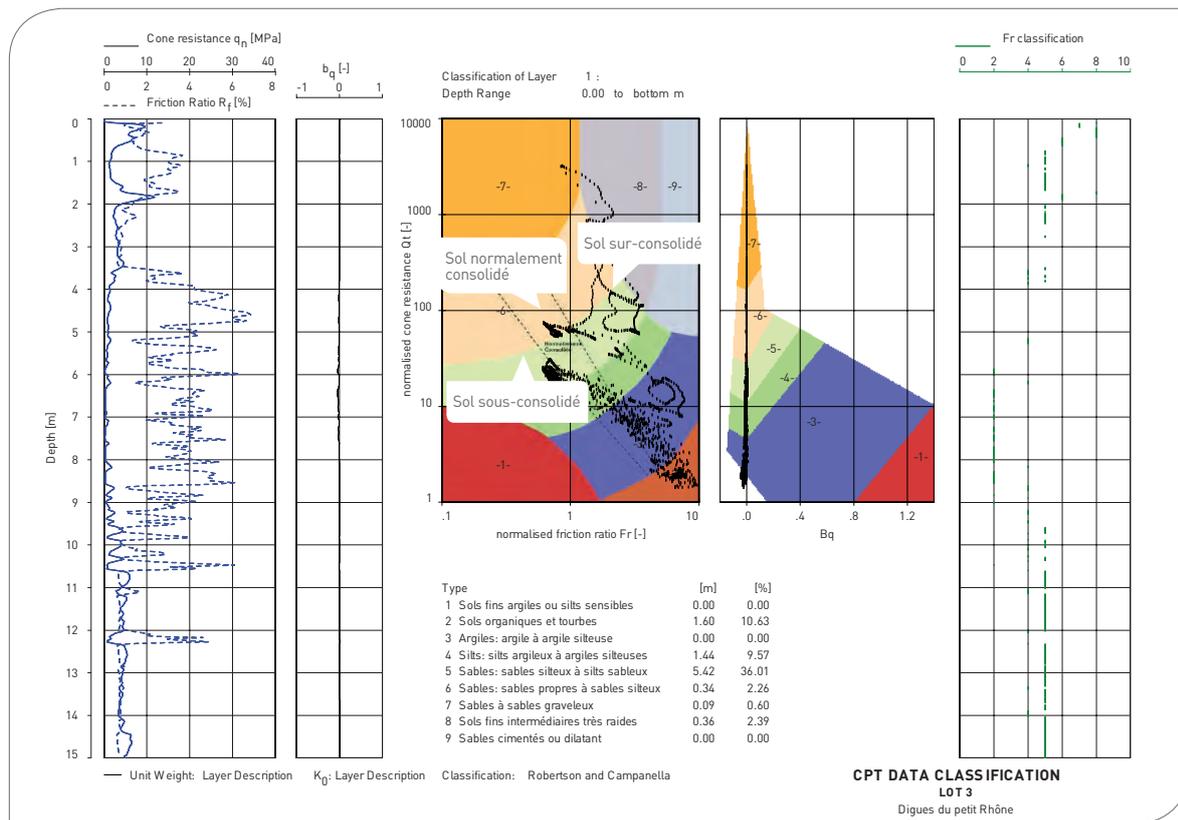


Mesures de résistance par le CPT et identification des couches de matériaux rencontrés à partir des abaques de Robertson et Campanella (1989) (source FUGRO géotechnique [183])

La figure ci-après réalisée à partir des mêmes données permet d'indiquer l'état de consolidation des différentes couches :

- Sol sur-consolidé,
- Sol normalement consolidé,
- Sol sous-consolidé.

Cette campagne systématique est fondamentale, car elle va permettre de découper la digue et sa fondation en tronçons homogènes et de localiser notamment les couches de sables propres sous-consolidées, qui sont fortement exposés au risque d'érosion interne et dans une moindre mesure les sables silteux sous-consolidés, susceptible de liquéfaction.



Détermination de l'État de consolidation des sols rencontrés (source FUGRO géotechnique)

Cette campagne est suivie d'une phase de campagne de reconnaissance dite "campagne détaillée" consistant en :

- La réalisation de sondages carottés avec prélèvement d'échantillons intacts dans chaque tronçon homogène et dans chaque couche de terrains caractéristiques,
- La réalisation des essais in situ et en laboratoires permettant de déterminer les paramètres géotechniques nécessaires à la modélisation des écoulements souterrains et géo-mécaniques,
- La réalisation de sondages et d'essais complémentaires au droit des zones d'anomalies rencontrées ou au droit des ouvrages singuliers.

Cette phase va permet de préciser le profil géologique et géotechnique de la digue et sa fondation et permet notamment d'apprécier les risques d'érosion interne.

→ 8.7. ÉVALUATION DU RISQUE DE BRÈCHES

Les études de diagnostic ont pour objectifs de conclure :

- Sur le comportement de l'ouvrage en crue,
- La définition d'un niveau de sûreté de la digue de la digue et sur la probabilité annuelle de rupture,
- La localisation de zones de brèches probables,
- Sur l'acceptabilité ou non du risque.

Pour évaluer le risque, plusieurs méthodes existent, mais les objectifs sont identiques : conclure sur l'acceptabilité ou l'inacceptabilité du risque. Ces conclusions passent par la détermination d'une probabilité annuelle de rupture. Pour "mesurer" l'acceptabilité du risque, plusieurs méthodes existent. La méthode décrite ci-après est la méthode dite ALARP (as low as reasonably possible) mise en place sur la digue entre Beaucaire et Fourques.

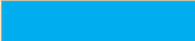
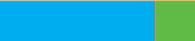
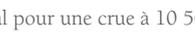
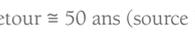
8.7.1. COMPORTEMENT DE L'OUVRAGE EN CRUE

Dans le cadre de l'étude de renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques, une analyse des différents modes de rupture a été menée, pour les quatre scénarios de crues étudiés et par tronçons homogènes.

Pour chaque tronçon homogène, une analyse à dire d'experts résultant de l'étude de diagnostic approfondi, a permis de qualifier le risque de rupture suivant le code couleur figurant ci-dessous :

Rupture quasi certaine	
Risque très fort	
Risque fort	
Risque moyen	
Risque faible	
Risque très faible	
Risque nul	

Les résultats du diagnostic figurent ci-après :

TRONÇON HOMOGÈNE	CRUE 10 500M ³ /S				
	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR SURVERSE	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR GLISSEMENT AVAL	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR ÉROSION INTERNE	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR SAPEMENT	ÉVALUATION DU RISQUE GLOBAL DE RUPTURE
PK 272,40 à PK 275,50					
PK 275,50 à PK 277,50					
PK 277,50 à PK 279,20					
PK 279,20 à PK 280,80					
PK 280,80 à PK 281,00					
PK 281,00 à PK 281,65					
PK 281,65 à PK 281,80					
PK 281,80 à PK 283,70					
PK 283,70 à PK 284,25					
PK 284,25 à PK 284,50					

Évaluation du risque global pour une crue à 10 500 m³/s de période de retour \approx 50 ans (source ISL [R 60])

CRUE DÉCEMBRE 2003

TRONÇON HOMOGENÈ	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR SURVERSE	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR GLISSEMENT AVAL	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR ÉROSION INTERNE	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR SAPEMENT	ÉVALUATION DU RISQUE GLOBAL DE RUPTURE
PK 272,40 à PK 275,50	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 275,50 à PK 277,50	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 277,50 à PK 279,20	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 279,20 à PK 280,80	Blue	Green	Yellow	Blue	Yellow
PK 280,80 à PK 281,00	Orange	Green	Yellow	Blue	Orange
PK 281,00 à PK 281,65	Blue	Green	Yellow	Blue	Yellow
PK 281,65 à PK 281,80	Blue	Green	Yellow	Blue	Yellow
PK 281,80 à PK 283,70	Blue	Green	Yellow	Blue	Yellow
PK 283,70 à PK 284,25	Blue	Green	Yellow	Blue	Yellow
PK 284,25 à PK 284,50	Blue	Green	Yellow	Orange	Orange

Évaluation du risque global pour une crue à 11 500 m³/s de période de retour \approx 100 ans (source ISL [R 60])

CRUE 12 500 M³/S

TRONÇON HOMOGENÈ	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR SURVERSE	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR GLISSEMENT AVAL	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR ÉROSION INTERNE	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR SAPEMENT	ÉVALUATION DU RISQUE GLOBAL DE RUPTURE
PK 272,40 à PK 275,50	Red	Yellow	Yellow	Blue	Red
PK 275,50 à PK 277,50	Orange	Yellow	Yellow	Blue	Orange
PK 277,50 à PK 279,20	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 279,20 à PK 280,80	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 280,80 à PK 281,00	Black	Yellow	Yellow	Blue	Black
PK 281,00 à PK 281,65	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 281,65 à PK 281,80	Black	Yellow	Yellow	Blue	Black
PK 281,80 à PK 283,70	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 283,70 à PK 284,25	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 284,25 à PK 284,50	Blue	Yellow	Yellow	Orange	Orange

Évaluation du risque global pour une crue à 12 500 m³/s de période de retour \approx 250 ans (source ISL [R 60])

TRONÇON HOMOGÈNE	CRUE 14 160 M ³ /S				
	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR SURVERSE	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR GLISSEMENT AVAL	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR ÉROSION INTERNE	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE PAR SAPEMENT	ÉVALUATION DU RISQUE GLOBAL DE RUPTURE
PK 272,40 à PK 275,50	Black	Yellow	Yellow	Blue	Black
PK 275,50 à PK 277,50	Red	Yellow	Yellow	Blue	Red
PK 277,50 à PK 279,20	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 279,20 à PK 280,80	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 280,80 à PK 281,00	Black	Yellow	Yellow	Blue	Black
PK 281,00 à PK 281,65	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 281,65 à PK 281,80	Black	Yellow	Yellow	Blue	Black
PK 281,80 à PK 283,70	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 283,70 à PK 284,25	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 284,25 à PK 284,50	Blue	Yellow	Yellow	Red	Red

Évaluation du risque global pour une crue à 14 160 m³/s de période de retour \approx 1000 ans (source ISL [R60])

Le risque global de rupture retenu étant le maximum des risques de rupture par mode de rupture.

Cette appréciation qualitative a permis de conclure que le risque de rupture sur la digue de Beaucaire/Fourques est faible pour une crue cinquantennale, fort pour une crue centennale et devient quasi-certain pour la crue de référence du Rhône. Elle met également en évidence des tronçons plus sensibles comme le tronçon compris entre PK 272,4 et 275,5.

8.7.2. PROBABILITÉ ANNUELLE DE RUPTURE

Cette appréciation a été ensuite quantifiée à dire d'expert en attribuant suivant la probabilité de la crue une probabilité de rupture.

Les deux tableaux ci-après utilisés par le bureau d'étude ISL dans le cadre de l'étude de renforcement de la digue de Beaucaire à Fourques ont permis de déterminer une probabilité annuelle globale de 1,2.10⁻².

SCÉNARIO DE CRUE	10 500 M ³ /S	DÉCEMBRE 2003	12 500M ³ /S	14 160 M ³ /S
Coupure en période de retour	T < 50 ans	50 < T < 100 ans	50 < T < 500 ans	T > 500 ans
Probabilité associée	0,98	0,0100	0,0080	0,0020

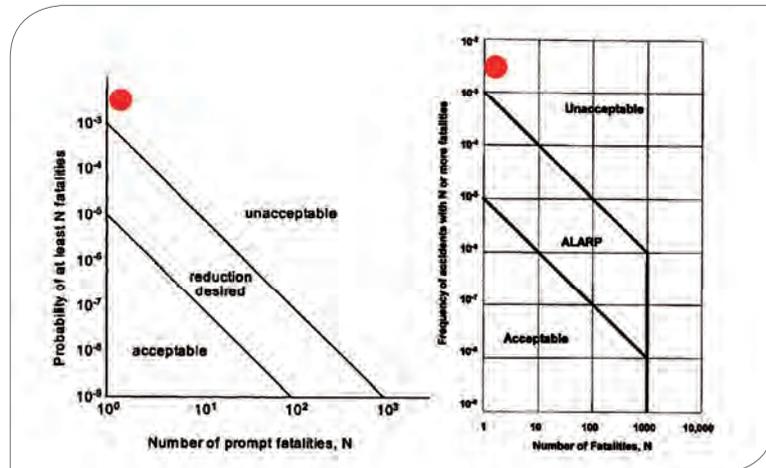
Probabilités d'occurrence par intervalles de crues

Rupture quasi certaine	Black	1
Risque très fort	Red	0,5
Risque fort	Orange	0,1
Risque moyen	Yellow	0,01
Risque faible	Light Yellow	0,001
Risque très faible	Green	0,0001
Risque nul	Blue	0

Exemple de grilles de probabilité à dire d'expert (source ISL [R60])

8.7.3. ÉVALUATION DU RISQUE

C'est la méthode utilisée sur la digue de Beaucaire/Fourques. La probabilité annuelle de rupture ce tronçon a été comparée aux courbes de risques utilisées dans la pratique anglo-saxonne ou néerlandaise (extraites du rapport du panel d'experts sur les ruptures des digues de la Nouvelle Orléans – investigation of the performance of the New Orléans Flood Protection Systems). On peut constater sur ces figures que la situation des digues entre Beaucaire et Fourques correspond suivant ces standards à un risque qualifié d'inacceptable, même en retenant un nombre nul de victimes.



Réduction et acceptabilité du risque (source ISL [60])

Bien entendu, comme le précise ISL dans son rapport d'étude de diagnostic approfondi, les valeurs absolues des probabilités données ci-dessus ne doivent être considérées que comme des ordres de grandeur. Les conclusions restent cependant inchangées si l'on considère des probabilités 10 fois plus faibles que celles avancées, les points caractéristiques de la situation se trouvant en partie supérieure de la zone "réduction souhaitable".

→ 8.8. OBJECTIFS DES ÉTUDES DE CONCEPTION

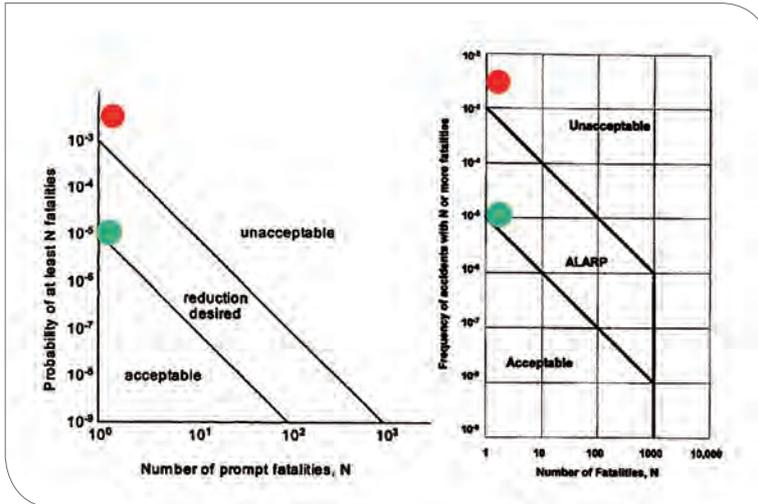
L'objectif des études de conception est d'apporter une réponse technique, économique et environnementales de façon à :

- Atteindre les objectifs de protection et de sécurité définis dans le chapitre "objectifs et description du programme de sécurisation",
- Réduire sensiblement la probabilité de rupture jusqu'à la crue de sûreté et réduire le risque à minima dans la zone de réduction souhaitable,
- Atteindre les objectifs environnementaux définis,
- Dimensionner des ouvrages adaptables sur leur durée de vie au changement climatique qui pourrait être traduit par une modification de l'hydrologie du Rhône et les hypothèses de niveaux marins.

Pour éliminer les risques de rupture, la conception des travaux de renforcement s'appuie sur le rétablissement des 8 fonctions principales d'une digue durable, décrites au chapitre "objectifs et description du programme de sécurisation".

8.8.1. RÉDUCTION DE LA PROBABILITÉ ANNUELLE DE RUPTURE

L'objectif de la sécurisation est de réduire la probabilité d'un rapport 100 à 1000 de façon à rendre le risque acceptable ou toléré.



Courbes de risque dites "ALARP"

8.8.2. PRESCRIPTIONS TECHNIQUES DU MAÎTRE D'OUVRAGE RELATIVES AUX OUVRAGES

La géométrie minimale des ouvrages sécurisés est la suivante :

- Largeur en crête : 5,5 mètres (4,5 mètres sur les digues du Petit Rhône en aval des digues résistantes à la surverse),
- Fruit des talus : 2,5.
- 3 pistes d'exploitation sont réalisées :
- 2 pistes d'une largeur de 4,5 m, situées respectivement en pied aval et pied amont de la digue,
- 1 piste en crête de digue.

Toutes les traversées d'ouvrage sont effectuées en "siphon inversé". Exceptionnellement ou en cas d'impossibilité technique, elles peuvent faire l'objet de traversée dite classique. Des protections contre l'érosion interne sont alors dimensionnées.

Les protections éventuelles de talus sont couvertes de végétation herbacée régulièrement fauchée.

Des grillages anti-fouisseurs sont posés sur les talus de la digue de façon à réduire les risques d'érosion interne.

L'implantation des ouvrages est suffisamment éloignée du fleuve pour s'affranchir du risque de rupture par affouillement externe et respecter les objectifs environnementaux.

Suivant les contraintes foncières situées en aval de la digue et la largeur du ségonnal, la méthode observationnelle peut être une alternative à la réalisation de protection lourde sur les pieds de berges.

8.8.3. CONTENU DES ÉTUDES DE CONCEPTION

Deux types de confortement sont étudiés :

- Maintien de l'ouvrage en place,
- Adaptation du tracé en fonction des contraintes extérieures (recul de l'ouvrage).

Pour les deux types d'implantation, les études de conception comprennent notamment :

- La détermination de l'implantation et conception des digues résistantes à la surverse et digues millénales,
- Le traitement et la conception des points singuliers (notamment les ouvrages traversants et les ouvrages de raccordement),
- Le dimensionnement des ouvrages de suivi et d'auscultation,
- L'étude des ouvrages connexes,
- L'étude de déplacement et rétablissement des réseaux (de toute nature),
- La proposition d'un ordre de priorité d'intervention en fonction des risques et décomposition en tranches fonctionnelles de travaux,
- La détermination, en investissement comme en entretien, du programme des travaux proposé et du coût prévisionnel des travaux,
- La définition et chiffrage d'un programme de consignes de surveillance, d'entretien et de visites périodiques de l'ouvrage,
- La définition des emprises foncières à acquérir, y compris des chemins stratégiques d'accès à la digue,
- Les enjeux environnementaux.

8.8.4. AUSCULTATION DES OUVRAGES

Le mode d'auscultation retenu pour les ouvrages en remblais qui seront sécurisés entre Beaucaire et Arles est continu. Il est assuré par thermométrie à base de fibre optique suivant les préconisations faites par le programme HYDRO DETECT réalisé en 2008 [R 601].

→ 8.9. OBJECTIFS DES ÉTUDES DE LA ZONE PROTÉGÉE

Les études de la zone protégée comprennent :

- Les études hydrauliques dans le lit protégé, dont l'objectif est de modéliser les ondes de rupture (état actuel) et des crues déversantes (état projet) dans le lit protégé,
- Les études d'enjeux dont l'objectif est d'identifier, géo-localiser et qualifier les enjeux existant dans la zone protégée.

Le croisement de ces études permet de :

- Dresser un état des lieux de l'existant tant en terme de sécurité publique, qu'en terme économique,
- Déterminer l'impact des aménagements dans la zone protégée en termes de sécurité publique et en termes économiques,
- Fournir l'ensemble des données nécessaires à la réalisation des études de dangers,
- Fournir toutes les données nécessaires aux communes pour l'actualisation des plans communaux de sauvegarde et pour les Préfectures, les Services Départementaux d'Incendie et de Secours pour l'actualisation des plans d'organisation de secours.

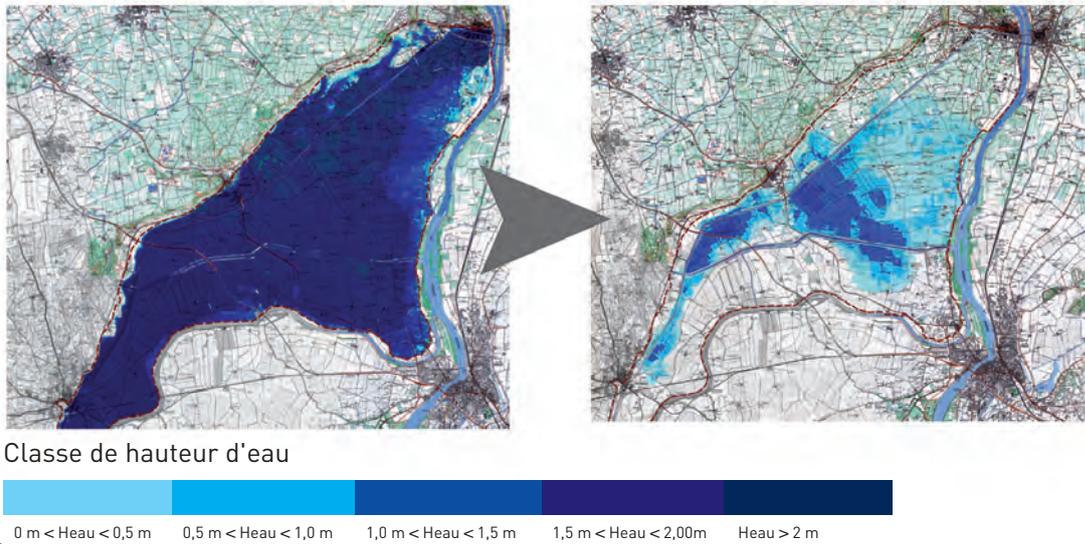
8.9.1. MODÉLISATION HYDRAULIQUE DES ÉCOULEMENTS DANS LE LIT PROTÉGÉ

L'objectif de la modélisation des écoulements dans le lit protégé est de déterminer pour une situation d'aménagement donnée et pour une crue donnée, un aléa.

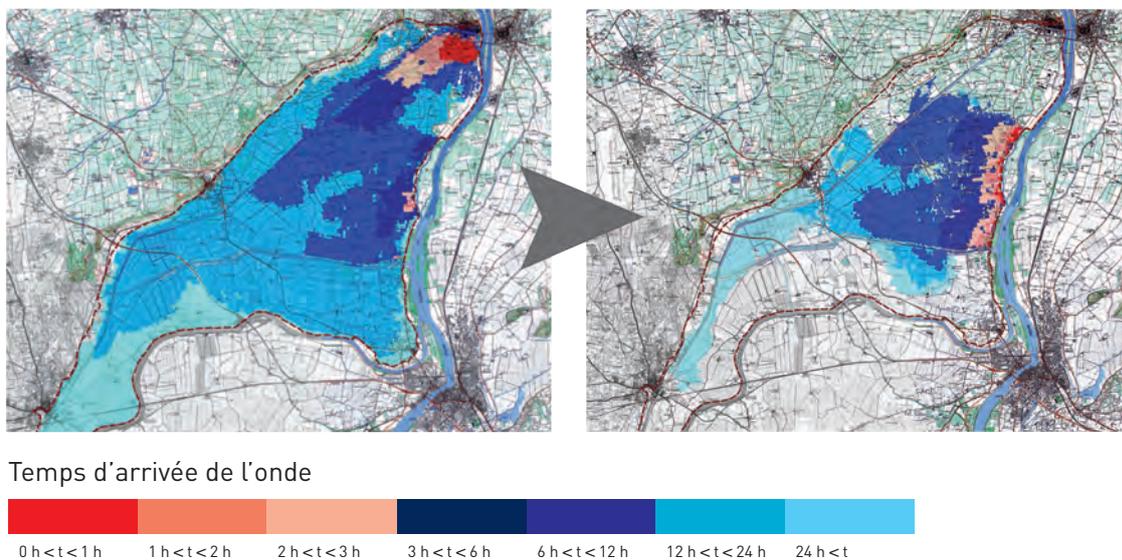
L'aléa concerne : la hauteur d'eau, la vitesse maximale, la durée de submersion et également le temps de propagation de l'onde de crue.

Les deux figures ci-après illustrent respectivement :

- L'aléa dans l'état initial dans la plaine de beaucaire avec la simulation d'une brèche en aval de l'écluse de beaucaire pour une crue type mai 1856 (état initial) et l'aléa après réalisation des aménagements définis dans le plan rhône (état projet),
- Le temps de propagation de l'onde de rupture dans l'état initial (avec brèches) et les déversements (sans brèche) dans l'état projet pour une crue type mai 1856.



Exemple de modélisation des écoulements dans la zone protégée – aléa état initial et aléa état projet (source ISL [R61])



Exemple de modélisation des écoulements dans la zone protégée – temps de propagation de l'onde de crue état initial et état projet pour une crue type mai 1856 (source ISL [R61])

8.9.2. ÉTUDE D'ENJEUX

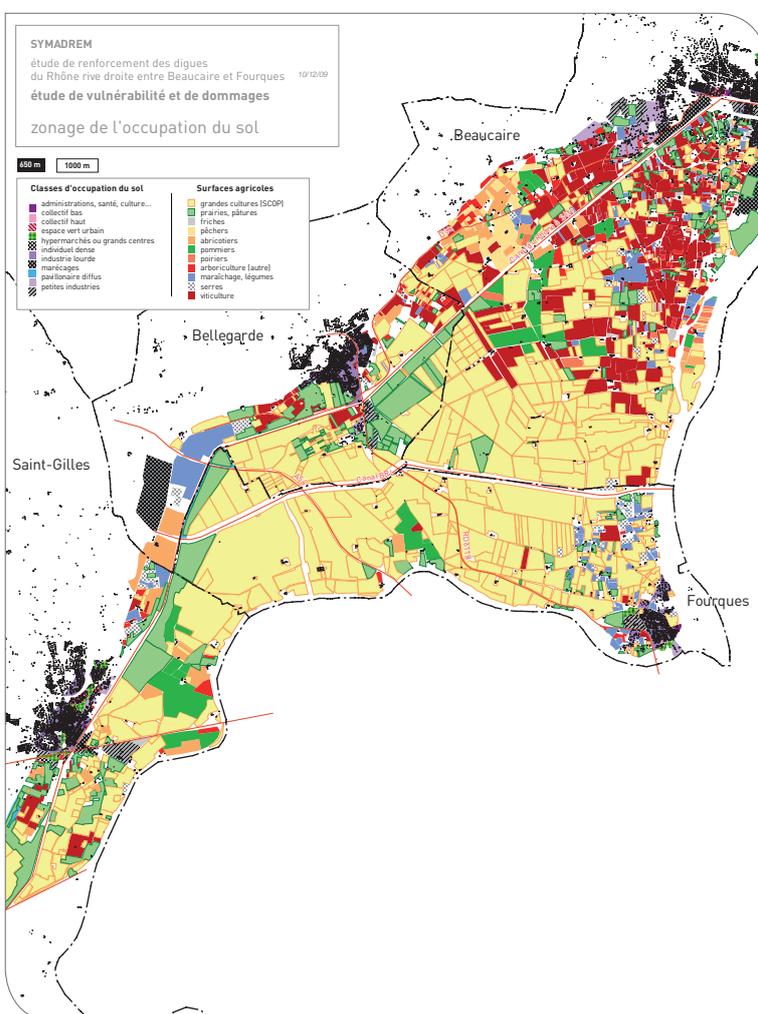
Les études d'enjeux comprennent les phases suivantes :

- Identification de secteurs d'enjeux homogènes et qualification de ces enjeux,
- Évaluation de la vulnérabilité de ces enjeux,
- Détermination des fonctions d'endommagement en fonction de l'aléa (hauteur d'eau, vitesse, durée de submersion) et seuil de non fonctionnement des différents enjeux,
- Croisement pour les scénarios de crues et d'aménagements modélisés de la

vulnérabilité et de l'aléa (hauteur, vitesse, durée de submersion) de façon à déterminer :

- Le montant des dommages,
 - Les impacts sur le fonctionnement des infrastructures,
 - Les impacts sur la gestion de crise du projet.
- Conclusion sur l'impact et la pertinence socio-économique du projet (comprenant toutes les interventions du projet y compris le montant des acquisitions foncières), analyse coût/bénéfices (ACB) et apport du projet en matière de gestion du risque inondation et gestion de crise, ainsi que détermination des secteurs restant fortement vulnérables après réalisation des aménagements.

La figure ci-après illustre le niveau de précision de ces études d'enjeux :



Étude d'enjeux – géolocalisation des enjeux dans la plaine de Beaucaire (sources ISL et chambre d'agriculture du Gard [R 400])

→ 8.10. ÉTUDE DE DANGERS

Les études de dangers sont réalisées conformément à l'arrêté du 12 juin 2008 à partir des données fournies lors des études décrites.

→ 9.1. OBJECTIFS

Les modèles développés dans le cadre des opérations sont destinés à modéliser les écoulements dans le lit endigué et dans le lit protégé.

L'objectif commun de ces modèles hydrauliques est de :

- Connaître précisément l'aléa inondation correspondant aux scénarios de crues considérés,
- Caler les ouvrages de protection en fonction des objectifs de protection précités,
- Estimer l'impact hydraulique dans le lit endigué et le lit protégé des ouvrages de protection à réaliser,
- Alimenter en données, les études de dangers à réaliser dans le cadre du décret du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques.

→ 9.2. CONTENU DES ÉTUDES HYDRAULIQUES

Les études comportent, en général, 5 phases :

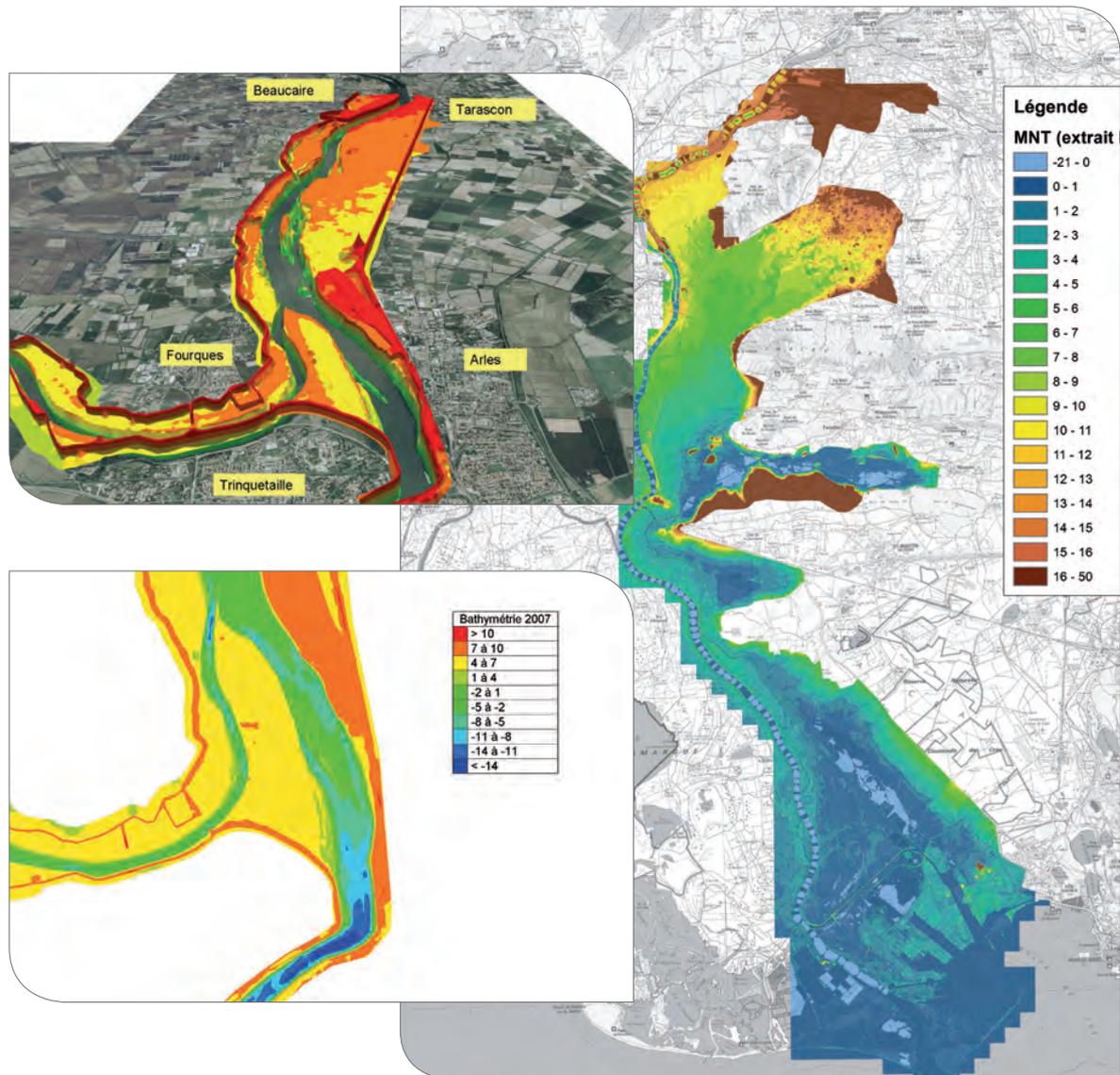
- Une 1^{ère} phase relative à la collecte et au traitement des données topographiques et bathymétriques,
- Une 2^{ème} phase relative à la construction et au calage hydraulique du modèle ainsi qu'une analyse de sensibilité des paramètres de calage,
- Une 3^{ème} phase relative à la détermination de l'état initial, l'identification des points bas du système et la détermination d'un calage provisoire des ouvrages,
- Une 4^{ème} phase relative au calage définitif des ouvrages, à l'estimation de l'impact hydraulique (état final et état intermédiaire) et à la détermination si nécessaire de mesures d'annulation et réduction des impacts,
- Une 5^{ème} phase relative à l'établissement d'un rapport final.

→ 9.3. CHOIX DE MODÈLES 2D

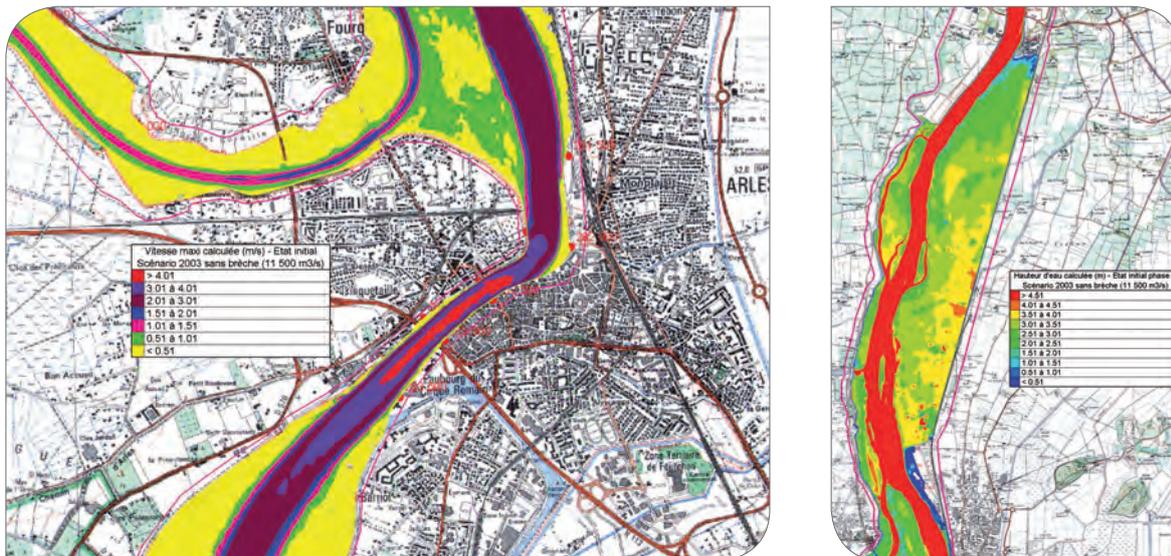
Les modèles construits dans le cadre du Plan Rhône sont des modèles bidimensionnels (2D) dédiés aux opérations. Ce choix a été justifié par la mise à disposition de données topographiques et bathymétriques de précisions, et

également par la nécessité de disposer d'un aléa de précision dans le cadre des études de dangers (modélisation des ondes de rupture et de la propagation des crues déversantes).

Les figures ci-après illustrent respectivement les modèles numériques de terrain et modèles bathymétriques utilisés pour la mise en œuvre des modèles, ainsi que les cartographies d'aléas (hauteurs et vitesses) extraites des modèles hydrauliques.



Modèles numériques de terrain et bathymétriques utilisés pour la construction des modèles hydrauliques (sources CNR et IGN)



Cartographie des hauteurs d'eau et vitesses (source CNR [R 16])

→ 9.4. HYPOTHÈSES PRISES ET JUSTIFICATION DU CHOIX DE DÉCOUPAGE DES MODÈLES HYDRAULIQUES

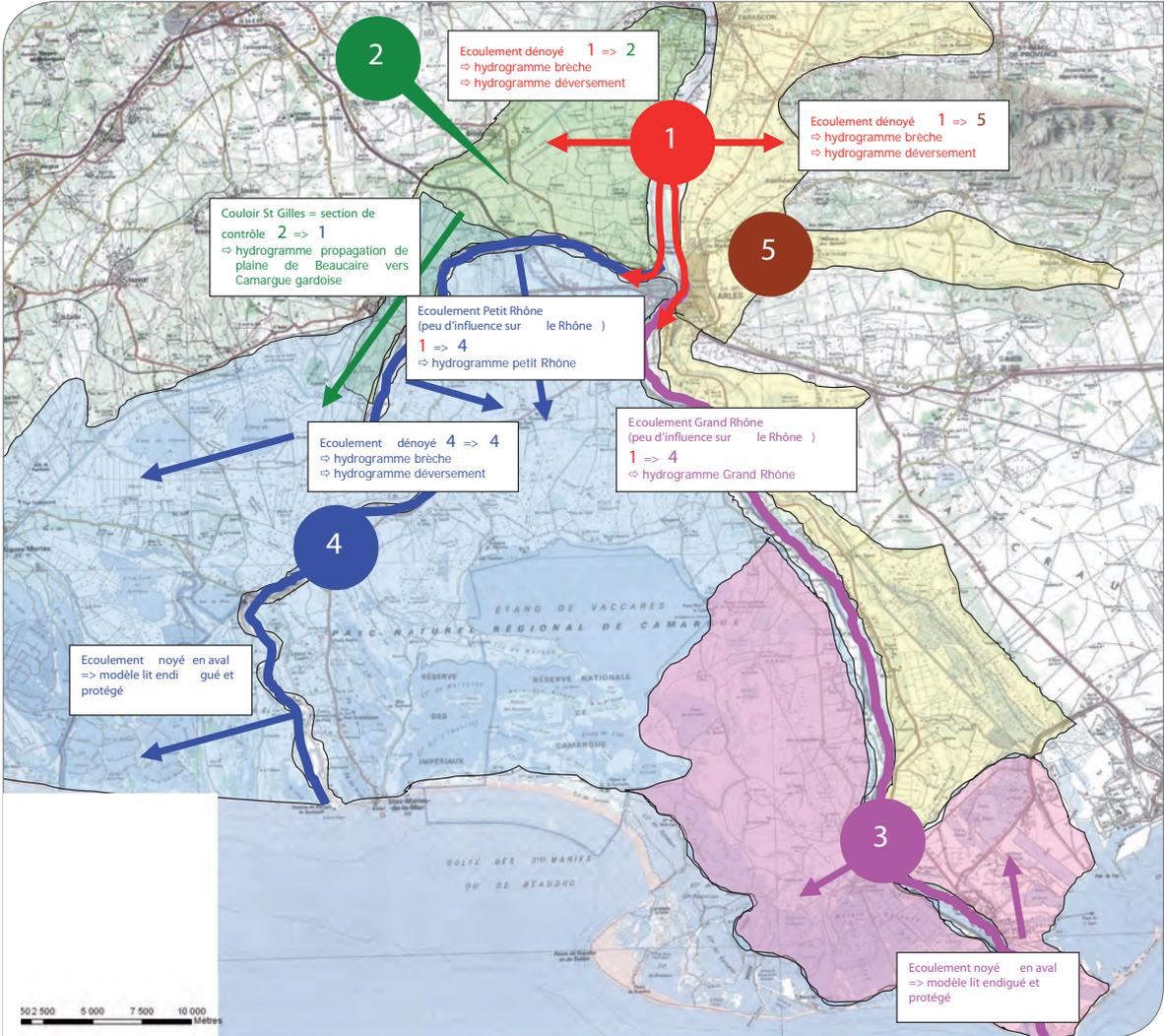
Devant l'impossibilité de réaliser un modèle 2D de précision à l'échelle du grand delta, le choix de réaliser plusieurs modèles hydrauliques a été retenu.

L'étendue des différents modèles hydrauliques a été définie en tenant compte du phasage opérationnelle du programme de sécurisation.

Les périmètres de chaque modèle ont été déterminés sur la base des principes suivants :

- La relative indépendance hydraulique des 3 bras du Rhône => les études, réalisées par la DREAL Rhône Alpes pour la définition du schéma de gestion des inondations du Rhône aval, ont montré que les aménagements dans le Petit Rhône ont des impacts importants dans le Petit Rhône, mais qu'au-delà du défluent, ces impacts sont centimétriques. Il en est de même pour le Grand Rhône.
- Le fonctionnement dénoyé/noyé des déversements ou ondes de rupture du lit endigué vers le lit protégé. En effet, la configuration en toit du lit majeur du Rhône a pour conséquence que les déversements sur les digues ou dans les brèches se font en écoulement dénoyé. Le fonctionnement en dénoyé n'est plus valable pour les brèches ou pour certains débordements au fur et à mesure que l'on s'approche des embouchures (cas de Port-Saint-Louis ou de la rive droite du Petit Rhône en aval du bac du sauvage).

Sur la base des hypothèses susvisées, 5 modèles ont ainsi été définis. L'étendue des différents modèles figure ci-après.



Découpage des modèles hydrauliques

→ 9.5. MODÈLE N°1 : DE L'ÉTUDE DE CALAGE

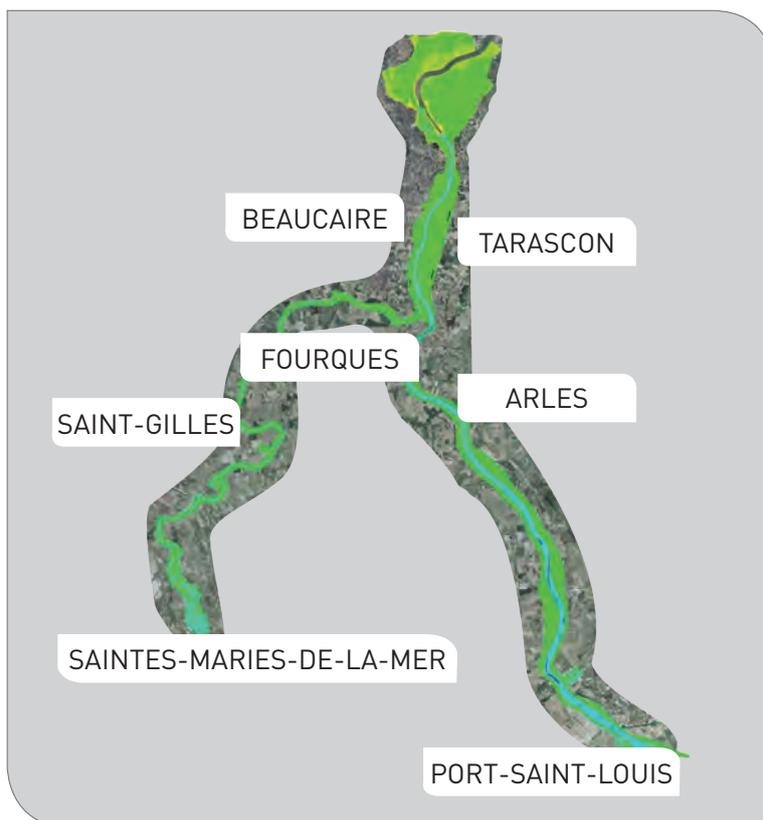
9.5.1. OPÉRATIONS DU PROGRAMME DE SÉCURISATION CONCERNÉES

Les opérations du programme de sécurisation concernées par le modèle n°1 sont :

- **GRI** : Grosses réparations des quais d'Arles et continuité de la protection en amont et en aval des quais,
- **BA1** : Renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques (sans le SIP de Beaucaire), y compris l'élargissement du fleuve en aval du Barrage de Vallabrègues,
- **BA2** : Création d'une digue à l'ouest de la voie ferrée Tarascon/Arles (sans le SIP de Tarascon), y compris l'optimisation des ZEC de Boubon, Aramon, Comps et des marguilliers et la création d'une lône en rive gauche du Rhône,
- **BA8** : Rehaussement des SIP de Beaucaire et Tarascon, y compris la suppression de l'atterrissement au droit de l'usine de Tembec,
- **BA6** : Confortement des digues de Beaucaire,
- **BA7** : Confortement des digues de Tarascon.

9.5.2. ÉTENDUE ET TYPE DU MODÈLE N°1

Le modèle n°1 s'étend depuis l'aval du barrage de Vallabrègues jusqu'à la mer sur le Petit Rhône et à 4 km de l'embouchure sur le Grand Rhône. C'est un modèle 2D (code TELEMAC développé par EDF), qui a été développé par la CNR_{ingénierie}. Il comporte 270 000 mailles de calculs. L'étendue du modèle figure ci-dessous. Ce modèle est le principal modèle développé dans le Plan Rhône, il permet de fournir l'ensemble des données nécessaires aux autres modèles. Pour définir l'impact global du programme de sécurisation, il a été, dans le cadre de prestations supplémentaires confiées à la CNR_{ingénierie}, couplé au modèle n°3.



Étendue du modèle de l'étude de calage (source CNR [R 16])

9.5.3. OBJECTIFS DU MODÈLE N°1

Les objectifs du modèle n°1 sont de :

- Modéliser les écoulements et déterminer l'aléa (hauteur d'eau, vitesse) de façon précise dans le lit endigué depuis le barrage de Vallabrègues jusqu'à la mer,
- Caler les ouvrages de protection contre les crues du Rhône entre Beaucaire et Arles,
- Estimer l'impact hydraulique de ces ouvrages en amont et aval du tronçon précité,
- Définir des mesures d'annulation et réduction d'impact de ces ouvrages,
- Proposer un phasage opérationnel des travaux permettant d'éviter des impacts notables en amont, en aval et sur la rive opposée dans les phases intermédiaires de réalisation,
- Fournir l'ensemble des données hydrauliques nécessaires au diagnostic des ouvrages dans l'état actuel et à la conception des ouvrages à réaliser dans le cadre du Plan Rhône.

9.5.4. CONDITIONS AUX LIMITES

Les conditions limites amont du modèle sont :

- Débit du Vieux Rhône (barrage de Vallabrègues),
- Débit du Rhône usiné (usine hydro-électrique de Beaucaire),
- Débit du Gardon.

Les conditions limites aval du modèle sont :

- Les marégrammes au Grau de la Dent (translaté au PK326 pour le Grand Rhône).

9.5.5. ÉLÉMENTS HYDRAULIQUES APPORTÉS PAR LE MODÈLE N°1

Le modèle n°1 de l'étude de calage a permis de :

- Caler les ouvrages de protection contre les crues du Rhône entre Beaucaire et Arles,
- Estimer l'impact hydraulique de ces ouvrages en amont et aval du tronçon à aménager, impact qui n'avait pas été pressenti dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval,
- Définir des mesures d'annulation et réduction d'impact de ces ouvrages entre le barrage de Vallabrègues et Arles,
- Fournir les éléments hydrauliques permettant de définir le présent programme de sécurisation des digues depuis le barrage de Vallabrègues jusqu'à Arles,
- Proposer un phasage opérationnel des travaux permettant d'éviter des impacts notables en amont, en aval et sur la rive opposée,
- S'assurer que les aménagements à réaliser entre le barrage de Vallabrègues et Arles n'avaient aucun impact négatif sur le Petit Rhône et le Grand Rhône pour les crues considérées.

9.5.6. ÉTATS D'AMÉNAGEMENT MODÉLISÉS

L'étude de calage a permis d'établir le phasage opérationnel suivant, depuis l'état initial jusqu'à l'état final :

- État initial
- État initial + GR1
- État initial + GR1 + BA1
- État initial + GR1 + BA1 + BA2
- État initial + GR1 + BA1 + BA2 + BA8
- État initial + toutes les opérations du programme de sécurisation
- État initial + toutes les opérations du CPIER Plan Rhône 2007/2013

9.5.7. DONNÉES DE SORTIES

Les données de sortie du modèle n°1 à destination des autres études sont :

- Les hydrogrammes de déversement ou de brèches en rive droite (modèle n°2) et gauche (modèle n°5) du Rhône entre Beaucaire et Arles destinés à alimenter les modèles de propagation dans le lit protégé (études d'impact et étude de dangers),
- Les hydrogrammes sur le Petit Rhône et le Grand Rhône destinés à permettre le calage des ouvrages sur le Petit Rhône et Grand Rhône (modèle n°3 et n°4).

9.5.8. VÉRIFICATIONS DES HYPOTHÈSES

Les vérifications nécessaires sont :

- Le fonctionnement en écoulement "dénoyé" des brèches (état initial) ou déversements (état projet) entre Beaucaire et Arles. Cette vérification a été faite par ISL dans le cadre du modèle n°2,
- L'absence d'impact notable sur le Rhône du calage des digues du Petit Rhône et Grand Rhône. La vérification a été faite dans le cadre du modèle n°1 (présentations supplémentaires).

→ 9.6. MODÈLE N°2 : LIT PROTÉGÉ RIVE DROITE DU RHÔNE

9.6.1. OPÉRATIONS DU PROGRAMME DE SÉCURISATION CONCERNÉES

Les opérations du programme de sécurisation concernées par le modèle n°2 sont :

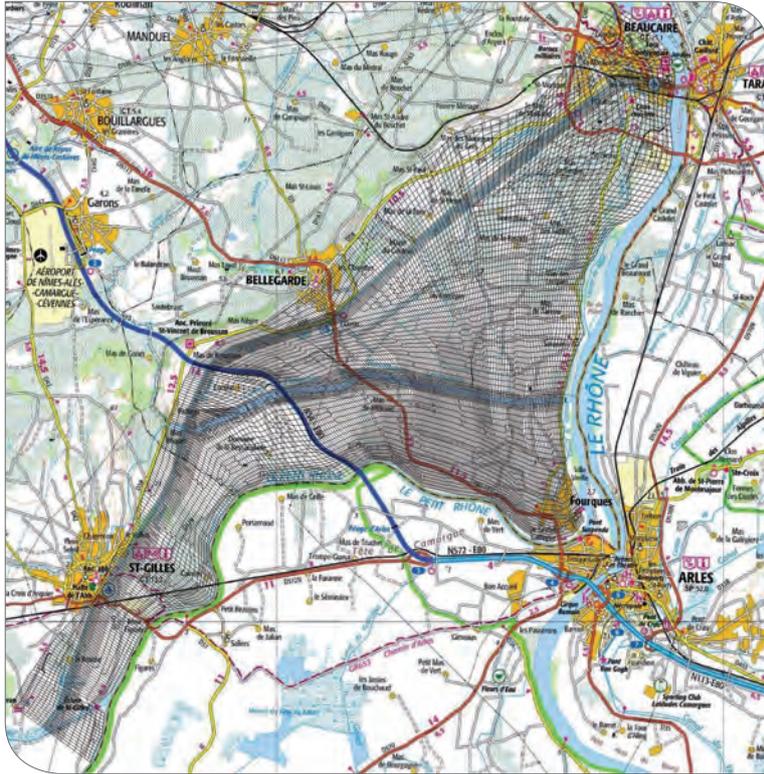
- **BA1** : Renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques (sans le SIP de Beaucaire), y compris l'élargissement du fleuve en aval du Barrage de Vallabrègues,
- **BA8** : Rehaussement des SIP de Beaucaire et Tarascon, y compris la suppression de l'atterrissement au droit de l'usine de Tembec,
- **PR1** : Renforcement des digues du Petit Rhône 1^{ère} priorité.

9.6.2. ÉTENDUE ET TYPE DU MODÈLE N°2

Le modèle 2 est un modèle 2D (code rubar 20 développé par le CEMAGREF) développé par ISL_{ingénierie}. Il comporte 30 000 mailles. Il couvre de lit protégé de :

- La plaine de Beaucaire,
- Les centres urbains de Beaucaire, Fourques, Bellegarde et Saint-Gilles,
- Le couloir de Saint-Gilles.

L'étendue du modèle n°2 figure ci-après :



Étendue du modèle n°2 (source ISL [R 61])

Bien que la digue entre Beaucaire et Fourques protège l'ensemble de la rive droite (plaine de Beaucaire et Camargue gardoise), l'étendue du modèle a été limitée volontairement à la plaine de Beaucaire sur la base des hypothèses suivantes :

- Les digues du Petit Rhône entre le défluent et l'écluse de Saint-Gilles ont été récemment confortées et rehaussées et ne devraient pas déverser pour la crue exceptionnelle,
- Les digues du Petit Rhône en aval de l'écluse de Saint-Gilles sont très exposées aux risques de brèches. L'objectif de l'étude étant de quantifier les impacts du renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques, l'extension du périmètre de l'étude à la Camargue gardoise n'aurait pas eu d'intérêt, la Camargue Gardoise restant exposée aux ruptures des digues du Petit Rhône en aval de l'écluse de Saint-Gilles.

9.6.3. OBJECTIFS DU MODÈLE N°2

Les objectifs du modèle n°2 sont de :

- Modéliser les écoulements et déterminer l'aléa (hauteur d'eau, vitesse, durée de submersion) de façon précise dans le lit protégé défini ci-dessus pour l'état initial (avec brèches) et pour les différents états projet (sans brèche),
- Modéliser l'impact hydraulique dans le lit protégé des aménagements du Plan Rhône,
- Caler les ouvrages de protection rapprochée envisagés dans la plaine de Beaucaire par le schéma de gestion des inondations du Rhône aval.

9.6.4. CONDITIONS AUX LIMITES

Les conditions limites du modèle n°2 sont :

- Les données de sortie du modèle n°1 (hydrogrammes de brèches et de déversement),
- Les conditions aux limites aval, déterminées à partir des modélisations réalisées par le Syndicat Mixte de la Camargue Gardoise dans le cadre de son étude de ressuyage.

9.6.5. ÉLÉMENTS HYDRAULIQUES APPORTÉS PAR LE MODÈLE N°2

Le modèle n°2 de l'étude Beaucaire/Fourques a permis de :

- Modéliser l'impact hydraulique dans le lit protégé des aménagements du Plan Rhône et de quantifier la réduction d'aléa due à la suppression des brèches,
- Conclure sur la non pertinence des ouvrages de protection rapprochée envisagés dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval (digues de 2^{ème} rang de Fourques et Bellegarde et digue en amont de l'A54, porte de ressuyage sur les digues du Petit Rhône),
- D'estimer, en situation aménagée, la capacité d'écrêtement de la plaine de Beaucaire à environ 40 millions de m³, ce qui a permis de conclure qu'en situation aménagée, les seuls écoulements à prendre en compte dans le couloir de Saint-Gilles concernent la crue exceptionnelle du Rhône. Les volumes de débordement en situation aménagée pour la crue de référence sont écrêtés en intégralité par la plaine.

9.6.6. OPÉRATIONS DU PROGRAMME DE SÉCURISATION CONCERNÉES ET ÉTATS MODÉLISÉS

Le modèle n°2 a permis de déterminer les impacts dans le lit protégé pour les états d'aménagements suivants :

- État initial
- État initial + GR1 + BA1
- État initial + GR1 + BA1 + BA2 + BA8

L'étude de calage (modèle n°1) a montré que les aménagements prévus sur le Petit Rhône et Grand Rhône abaisseront très légèrement la ligne d'eau et réduiront donc les volumes de déversement. Cette réduction étant très faible. La modélisation de la propagation des crues déversantes dans la plaine de Beaucaire n'a pas été envisagée après réalisation de l'ensemble du présent programme le gain lié à cet abaissement étant sans commune mesure avec la réduction des volumes de déversement dans la zone protégée, liés à la sécurisation des ouvrages.

L'hypothèse retenue sur les digues du Petit Rhône est l'absence de rupture des digues sur le tronçon Fourques/Saint-Gilles. Ces digues ont fait l'objet de travaux de confortement et de mise à la cote en 2004 et 2007. Après calage des digues du Petit Rhône, ce tronçon disposera à l'exception d'un linéaire de 7 km d'une revanche égale ou supérieure à 50 cm pour la crue exceptionnelle.

9.6.7. DONNÉES DE SORTIES

Les données de sortie du modèle n°2 sont :

- L'hydrogramme de propagation de crue dans le couloir de Saint-Gilles destiné au modèle n°4 (lit protégé) pour la crue exceptionnelle.

Ces données sont destinées à alimenter les études de renforcement des digues du Petit Rhône.

9.6.8. VÉRIFICATIONS DES HYPOTHÈSES

L'étude de propagation de crues dans la plaine de Beaucaire a montré que le couloir de Saint-Gilles jouait le rôle de section de contrôle entre la plaine de Beaucaire et la Camargue gardoise. Dès lors des conditions limites aval en Camargue gardoise ne sont pas apparus comme un paramètre conditionnant les niveaux dans la plaine de Beaucaire.

L'étude a également permis de vérifier le fonctionnement dénoyé des écoulements entre le lit endigué Beaucaire/Arles et le lit protégé. Les seuls écoulements noyés sont les écoulements au travers des brèches en fin de crue, qui n'ont pas d'effets sur l'aléa modélisé.

Les hypothèses, prises sur le découplage des modèles, ont pu être ainsi validées.

→ 9.7. MODÈLE N°3 : GRAND RHÔNE ET PARTIE DE LIT PROTÉGÉ DU GRAND RHÔNE

9.7.1. OPÉRATIONS DU PROGRAMME DE SÉCURISATION CONCERNÉES

Les opérations du programme de sécurisation concernées par le modèle n°3 sont :

- **GR2-1** : Renforcement de la digue de Salin-de-Giraud et de Port-Saint-Louis-du-Rhône et création d'une digue de protection rapprochée au sud de Salin-de-Giraud (hors CPIER Plan Rhône 2007/2013),
- **GR2-2** : Protection sud d'Arles,
- **GR2-3** : Renforcement des digues du Grand Rhône 2^{ème} priorité.

9.7.2. ÉTENDUE ET TYPE DU MODÈLE N°3

Le modèle n°3 est un modèle 2D (code TELEMAC développé par EDF). Il a été développé par CNR_{ingénierie} dans le cadre des opérations précitées. Il comporte 148 000 mailles et couvre le lit endigué du Grand Rhône depuis le défluent jusqu'à la mer et le lit protégé du Grand Rhône proche de l'embouchure. La figure ci-contre illustre l'étendue du modèle n°3. Il a été couplé au modèle n°1 pour l'estimation de l'impact global du programme de sécurisation.

L'étendue du modèle en lit protégé en rive gauche et rive droite du Grand Rhône est justifiée par les hypothèses suivantes :

- La présence des remblais longeant le canal du Rhône à Fos qui représentent une "coupure hydraulique" dans les écoulements en lit protégé entre l'amont et l'aval du canal du Rhône à Fos,



Étendue du modèle n°3
(source CNR [R 18])

- Le calage altimétrique des digues en rive gauche du Grand Rhône qui est supérieur, en amont du canal au niveau atteint par la crue exceptionnelle (sans revanche du PK 308 au PK 316) et l'implantation des digues qui est sur la majeure partie du linéaire en retrait par rapport au fleuve,
- En conséquence, les modifications d'implantation et de calage altimétrique auront des impacts très limités, voire nuls.

9.7.3. OBJECTIFS DU MODÈLE N°3

Les objectifs du modèle n°3 sont de :

- Modéliser les écoulements et déterminer l'aléa (hauteur d'eau, vitesse) de façon précise dans le lit endigué du Grand Rhône depuis le défluent jusqu'à la mer,
- Caler les ouvrages de protection contre les crues du Rhône entre Arles et la mer,
- Estimer l'impact hydraulique de ces ouvrages en amont et aval du tronçon précité,
- Définir les mesures éventuelles d'annulation et réduction d'impact de ces ouvrages,
- Proposer un phasage opérationnel des travaux permettant d'éviter des impacts notables en amont, en aval et sur la rive opposée dans les phases intermédiaires de réalisation,
- Modéliser les écoulements et déterminer l'aléa (hauteur d'eau, vitesse, durée de submersion) de façon précise dans le lit protégé défini ci-dessus pour l'état initial et pour les différents états projet,
- Modéliser l'impact hydraulique dans le lit protégé des aménagements du Plan Rhône,
- Fournir l'ensemble des données hydrauliques nécessaires au diagnostic des ouvrages dans l'état actuel et à la conception des ouvrages à réaliser dans le cadre du Plan Rhône.

9.7.4. CONDITIONS AUX LIMITES

Les conditions limites du modèle n°3 sont :

- Les hydrogrammes du Grand Rhône en aval du défluent calculés par le modèle n°1,
- Le marégramme du Grau de la Dent ou le niveau de la mer constant.

9.7.5. ÉLÉMENTS HYDRAULIQUES APPORTÉS PAR LE MODÈLE N°3

Le modèle n°3 a permis de :

- Caler les digues du Grand Rhône suivant des objectifs de protection qui ont été définis en cours d'étude en adéquation avec les objectifs de protection définis par le Plan Rhône, sur le Petit Rhône,
- Vérifier l'impact quasiment nul dans le lit endigué des aménagements proposés pour les scénarios de crues testés,

- Modéliser l'aléa dans le lit protégé pour l'état initial (avec brèches) et pour les différents états projet (sans brèche),
- Modéliser l'impact hydraulique dans le lit protégé des aménagements du Plan Rhône,
- Conclure sur la nécessité de créer en rive droite du Grand Rhône une protection rapprochée au sud du village de Salin-de-Giraud vis-à-vis de l'aléa marin et des inondations par remous du Rhône.

9.7.6. OPÉRATIONS DU PROGRAMME DE SÉCURISATION CONCERNÉES ET ÉTATS MODÉLISÉS

Pour les états suivants :

- État initial
- État initial + GR2-1 (sans digue de protection rapprochée)
- État initial + GR2-1 + GR2-2 + GR2-3 (avec digue de protection rapprochée)
- État initial + toutes les opérations du programme (modèle n°1)
- État initial + toutes les opérations du CPIER Plan Rhône (modèle n°1)

9.7.7. VÉRIFICATION DES HYPOTHÈSES

Les différences entre le modèle n°1 et modèle n°3 ont été appréciées au regard des niveaux de précisions des résultats en valeur absolue (20 cm).

→ 9.8. MODÈLE N°4 : PETIT RHÔNE, PETITE CAMARGUE ET ÎLE DE CAMARGUE

9.8.1. OPÉRATIONS DU PROGRAMME DE SÉCURISATION CONCERNÉES

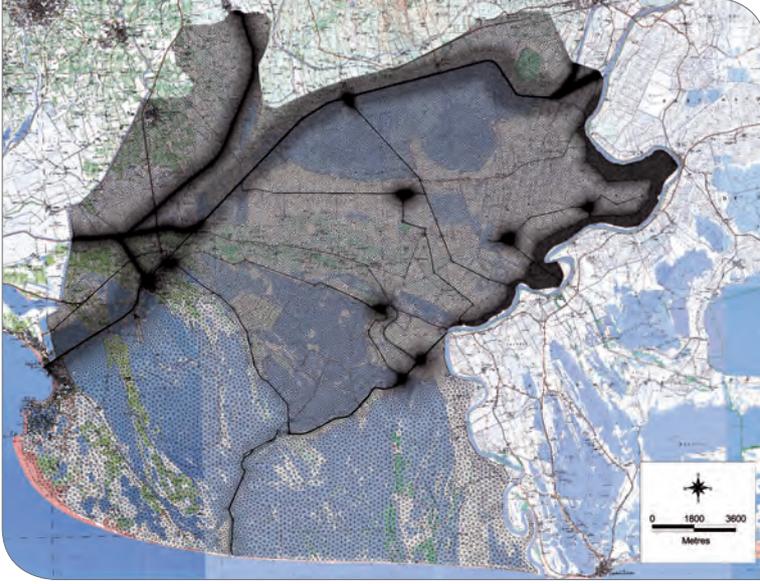
Les opérations du programme de sécurisation concernées par le modèle n°4 sont :

- **PRI** : Renforcement des digues du Petit Rhône - 1^{ère} priorité,
- **PRI-2** : Renforcement des digues du Petit Rhône - 2^{ème} priorité.

9.8.2. ÉTENDUE ET TYPE DU MODÈLE N°4

Le modèle 4 développé par EGISeau utilise le code TELEMAC développé par EDF. Ce modèle 4 a été réalisé dans le cadre de l'étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône. Il est composé de 3 modèles couvrant respectivement (cf. figures page suivant) :

- Le lit endigué du Petit Rhône du PK 281 à la mer (140 000 mailles),
- Le lit protégé de la Camargue Gardoise (282 000 mailles),
- Le lit protégé de la Camargue Insulaire (150 000 mailles).



Étendue du modèle n°4 en Camargue Gardoise (source EGISeau [R 17])



Étendue du modèle n°4 en Camargue Insulaire (source EGISeau [R 17])

9.8.3. OBJECTIFS DU MODÈLE N°4

Les objectifs du modèle n°4 sont de :

- Modéliser les écoulements et déterminer l'aléa (hauteur d'eau, vitesse) de façon précise dans le lit endigué du Petit Rhône et dans les lits protégés respectifs de la Camargue gardoise et de la Camargue Insulaire,
- Caler les ouvrages de protection contre les crues sur le Petit Rhône,
- Estimer l'impact hydraulique de ces ouvrages en amont et aval du tronçon précité,
- Définir des mesures éventuelles d'annulation et réduction d'impact de ces ouvrages,
- Proposer un phasage opérationnel des travaux permettant d'éviter des impacts notables en amont, en aval et sur la rive opposée dans les phases intermédiaires de réalisation,
- Fournir l'ensemble des données hydrauliques nécessaires au diagnostic des ouvrages dans l'état actuel et à la conception des ouvrages à réaliser dans le cadre du Plan Rhône.

9.8.4. CONDITIONS AUX LIMITES

Les conditions limites dans le lit endigué du modèle n°4 sont :

- Les hydrogrammes du Petit Rhône calculés par le modèle n°1,
- Les marégrammes enregistrés au Grau de la Dent ou Pertuis de la Fourcade,
- Niveau de la mer constant.

Les conditions limites dans le lit protégé du modèle n°4 sont :

- Les hydrogrammes de brèches et déversement calculés par le modèle n°4,
- Les hydrogrammes dans le couloir de Saint-Gilles calculés par le modèle n°2.

9.8.5. ÉLÉMENTS HYDRAULIQUES APPORTÉS PAR LE MODÈLE N°4

Le modèle n°4 a permis de :

- Caler les ouvrages de protection contre les crues sur le Petit Rhône,
- Estimer l'impact hydraulique de ces ouvrages en amont et en aval du tronçon à aménager,
- Conclure sur l'abaissement de la ligne d'eau au défluent du au recul des digues du Petit Rhône partiellement compensé par le rehaussement de certains tronçons,
- Vérifier que les aménagements et le calage proposés sur le tronçon amont du Petit Rhône (dignes du Petit Rhône - 1^{ère} priorité) n'avaient aucun impact notable sur l'aval du Petit Rhône (dignes du Petit Rhône - 2^{ème} priorité).

9.8.6. ÉTATS D'AMÉNAGEMENT MODÉLISÉS

On suppose les ouvrages entre Beaucaire et Arles réalisés.

Les états suivants ont été modélisés :

- État initial
- État initial + PR1
- État initial + toutes les opérations du CPIER Plan Rhône (modèle n°1)
- État initial + toutes les opérations du programme de sécurisation (modèle n°1)

9.8.7. VÉRIFICATION DES HYPOTHÈSES

Le couplage du modèle n°1 et n°3 pour vérifier l'impact global du programme de sécurisation a confirmé la faible influence du calage des digues du Petit Rhône sur les écoulements en amont et en définitif sur la répartition des débits entre le Petit Rhône et le Grand Rhône.

→ 9.9. MODÈLE N°5 : LIT PROTÉGÉ RIVE GAUCHE DU RHÔNE ET DU GRAND RHÔNE

9.9.1. OPÉRATIONS DU PROGRAMME DE SÉCURISATION CONCERNÉES

Les opérations du programme de sécurisation concernées par le modèle n°2 sont :

- **BA2** : Création d'une digue à l'ouest de la voie ferrée Tarascon/Arles (sans le SIP de Tarascon), y compris :
 - L'optimisation des ZEC de Boubon, Aramon, Comps et des marguilliers et la création d'une lône en rive gauche du Rhône,
 - Ressuyage et gestion des eaux déversées en rive gauche du Rhône.
- **BA8** : Rehaussement des SIP de Beaucaire et Tarascon, y compris la suppression de l'atterrissement au droit de l'usine de Tembec,
- **BA4a** : Création d'une digue au nord d'Arles.

9.9.2. ÉTENDUE ET TYPE DU MODÈLE N°5

Le modèle n°5 est un modèle 2D (code INFOWORKS développé par HR WALLINGFORD) développé par EGISeau dans le cadre des opérations précitées. Il comporte 150 000 mailles et couvre :

- La plaine de Boulbon,
- Une partie de la plaine de Tarascon,
- Le centre urbain de Tarascon,
- La plaine du Trébon,
- Les anciens marais d'Arles,
- Les marais des Baux,

- Le centre urbain d'Arles,
- La zone commerciale de Fourchon,
- Le Plan du Bourg.

L'étendue du modèle n°5 figure ci-dessous :



Étendue du modèle n°5 (source EGISeau [R 90])

9.9.3. OBJECTIFS DU MODÈLE N°5

Les objectifs du modèle n°5 sont de :

- Modéliser les écoulements et déterminer l'aléa (hauteur d'eau, vitesse, durée de submersion) de façon précise dans le lit protégé défini ci-dessus pour l'état initial et pour les différents états projet après notamment sécurisation du remblai RFF et réalisation des ouvrages de gestion et ressuyage des eaux déversées,
- Modéliser l'impact hydraulique dans le lit protégé des aménagements du Plan Rhône,
- Caler les ouvrages de gestion et ressuyage des eaux déversées envisagés en rive gauche par le schéma de gestion des inondations du Rhône aval.

9.9.4. CONDITIONS AUX LIMITES

Les conditions limites du modèle n°5 sont :

- Les données de sortie du modèle n°1 ou n°3 (hydrogrammes de brèches et de déversement),
- Les marégrammes au Grau de la dent ou pertuis de la Fourcade,
- Niveaux de la mer constants.

9.9.5. ÉLÉMENTS HYDRAULIQUES APPORTÉS PAR LE MODÈLE N°5

Le modèle n°5 va permettre de :

- Modéliser l'impact hydraulique dans le lit protégé des aménagements du Plan Rhône et de quantifier la réduction d'aléa dû à la suppression des brèches,
- Caler les ouvrages de gestion et ressuyage des eaux déversées en rive gauche,
- Conclure sur la pertinence des actions définies dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval.

9.9.6. OPÉRATIONS DU PROGRAMME DE SÉCURISATION CONCERNÉES ET ÉTATS MODÉLISÉS

- Le modèle n°5 va permettre de déterminer les impacts dans le lit protégé pour les états d'aménagements suivants :
- État initial (y compris BA4a)
- État initial (y compris BA4a) + GR1 + BA1 + BA2 + BA8 (sans ouvrage de ressuyage)
- État initial (y compris BA4a) + GR1 + BA1 + BA2 + BA8 (avec ouvrages de ressuyage)

9.9.7. VÉRIFICATIONS DES HYPOTHÈSES

Fonctionnement dénoyé/noyé entre le lit endigué et le lit protégé.

10 IMPACTS ET MESURES DU PROGRAMME DE SÉCURISATION

Pour chaque opération, une étude d'impact est établie conformément au code de l'environnement. Le présent chapitre a pour objectifs d'apprécier l'impact global du programme de sécurisation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône, suivant les 5 critères suivants :

- Impact dans la zone protégée,
- Impact dans le lit endigué,
- Impact environnemental,
- Impact paysager,
- Conformité avec le SDAGE Bassin Rhône Méditerranée 2010-2015.

→ 10.1. IMPACT HYDRAULIQUE : ÉTAT INITIAL

L'état initial a été défini par les services de l'état comme étant le suivant :

“Le fonctionnement hydraulique de l'état initial à prendre en compte dans les modélisations est le suivant :

- Niveau de protection défini par la géométrie actuelle des ouvrages/digues,
- Au-delà de ce niveau de protection (donc pour les crues importantes), les surverses et les ruptures de digues interviennent au moment où la ligne d'eau [maximale] est atteinte”.

Cette définition permet de considérer deux états théoriques de fonctionnement pendant la crue : un état de fonctionnement sans brèche jusqu'au pic de crue suivi d'un état de fonctionnement avec brèche.

Pour le lit endigué, compte tenu de ce que la formation de la brèche intervient au moment du pic de crue, le calcul des lignes d'eau maximum dans le lit endigué correspond à une modélisation hydraulique avec déversement sans brèche.

Pour le lit protégé, on peut assimiler le fonctionnement hydraulique à une modélisation sans brèche jusqu'à la pointe de crue et modélisation avec brèches à partir de la pointe de crue.

Cette définition de l'état initial, qui reste théorique, compte tenu de la complexité du fonctionnement hydraulique du système d'endiguement, permet d'avoir dans le lit endigué le scénario le plus défavorable vis-à-vis de l'aléa, puisqu'en prenant l'hypothèse que les déversements sur les digues n'occasionnent pas

de brèches, on obtient les niveaux d'eau maximums correspondant aux crues considérées. Cette hypothèse est sécuritaire vis-à-vis du fonctionnement des ouvrages hydrauliques structurants et notamment du barrage de Vallabrègues. Elle est également sécuritaire vis-à-vis des cas de charges à prendre en compte pour les études de diagnostic et études de conception.

En ce qui concerne le lit protégé, la prise en compte des brèches dans l'état initial permet également d'avoir le scénario le plus défavorable (mais également le plus probable dans l'état actuel) et permet en conséquence d'être sécuritaire vis-à-vis des personnes résidant dans la zone protégée. L'hypothèse de démarrage de la brèche, qu'elle soit avant, au moment des premiers déversements ou à la pointe de crue, a très peu d'incidences, puisque comme on a vu dans l'article intitulé "limites du système actuel de protection" du chapitre 7 "objectifs et description du programme de sécurisation", les volumes de déversements résultent avant tout de l'ouverture totale de la digue et des entrées d'eau pendant toute la phase de décrue.

Cette définition de l'état initial permet ainsi de prendre en compte les risques associés au lit endigué et les risques associés au lit protégé.

→ 10.2. IMPACT HYDRAULIQUE : SCÉNARIOS DE CRUES ÉTUDIÉS

Pour les études d'impact hydraulique, 4 scénarios de crues sont pris en compte. La crue 10500 correspond à la crue occasionnant les premiers déversements sur les digues. Elle correspond également au débit enregistré à la station de Beaucaire/Tarascon lors de la crue de décembre 2003, quand la première brèche a été occasionnée dans le système. Dans le cadre de l'impact global du programme de sécurisation, un 5^{ème} scénario a été ajouté à la demande de l'état, il correspond à la crue 9500.

CRUES	DÉBIT DE POINTE BEUCAIRE/ TARASCON	PÉRIODE DE RETOUR T (EN ANNÉES) SUIVANT EGR [1]	NIVEAU MARIN CONSIDÉRÉ (NGF)
Crue 9500 (crue de nov. 2002 avec pointe translatée)	9 500 m ³ /s	T ≈ 25/30 ans	Marégramme nov. 2002 (Max 0,95 NGF)
Crue 10500 (crue de janv. 1994 avec pointe translatée)	10 500 m ³ /s	T ≈ 50 ans	Marégramme janv. 1994 (Max 0,81 NGF)
Crue type déc. 2003 sans brèche	11 500 m ³ /s ± 5 %	T ≈ 100 ans	Marégramme déc. 2003 (Max 0,98 NGF)
Crue type mai 1856 dans les conditions actuelles d'écoulement et sans brèche	12 500 m ³ /s	T ≈ 250 ans	Marégramme déc. 2003 translaté à 1,3 NGF. et concomitant avec pointe de crue
Crue exceptionnelle (crue utilisée pour le dimensionnement des ouvrages CNR et retenue pour le dimensionnement des ouvrages du programme)	14 160 m ³ /s	T ≈ 1000 ans	Marégramme constant à 1,5 NGF

Scénarios de crues étudiés

Les hypothèses concernant l'aléa marin relatif à ces crues ont été établies à partir de données du CEREGE. Dans sa thèse [ULMANN 2007] du CEREGE a estimé les périodes de retour des surcotes marines pour différentes stations du Golfe de Lyon. Elles sont les suivantes :

STATION	SURCOTES (CM NGF) DURANT UNE PÉRIODE D'OCTOBRE À MARS POUR UN TEMPS DE RETOUR DE :			
	5 ANS	10 ANS	50 ANS	100 ANS
Port-Vendres	75	81	95	100
Sète	98	102	119	126
Grau-de-la-Dent	80	86	100	106

Surcote marine et période de retour associée

En sus de ces surcotes marines, la dérive tendancielle de montées des eaux a été prise en compte avec une dérive à moyen/long terme probable d'ici à 2050 comprise d'après le CEREGE, entre 20 cm (cas de figure moyen) et 40 cm (cas de figure extrême).

En décembre 2003, les niveaux marins enregistrés aux stations du Grau-de-la-Dent (proche de l'embouchure du Grand Rhône) et du pertuis de la Fourcade (proche de l'embouchure du Petit Rhône) au moment de la pointe étaient identiques.

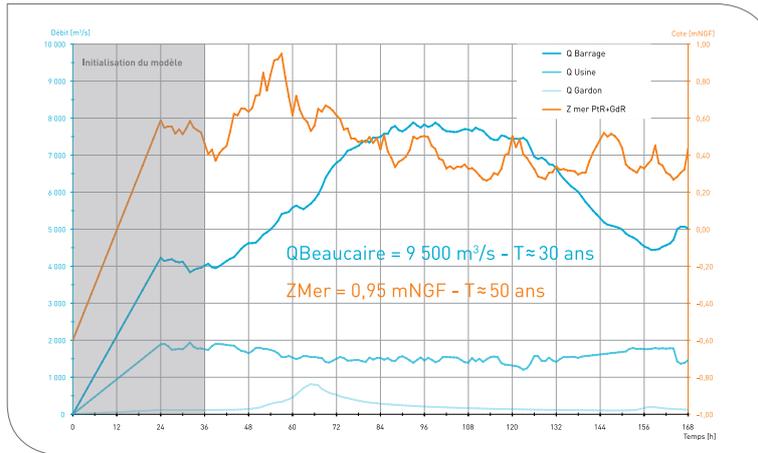
Dans un 1^{er} temps, pour la réalisation de l'étude de calage précis entre Beaucaire et Arles [16], un niveau marin constant de 1,3 NGF a été retenu pour l'ensemble des crues à l'exception de la crue de décembre 2003, pour laquelle, le marégramme observé en décembre 2003 a été retenu. Ces hypothèses n'ont eu aucune influence sur le calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles, compte tenu de l'absence d'impact du niveau marin sur ce tronçon du fleuve pour les fortes crues.

Cette hypothèse de niveau marin constant à 1,3 NGF s'est avérée problématique pour la modélisation de l'aléa fluvial à proximité des embouchures ; en effet, le niveau marin constant noyait l'aval et ne permettait pas de bien comprendre le comportement des crues du Rhône. En accord avec les services de l'état, les hypothèses suivantes ont été retenues :

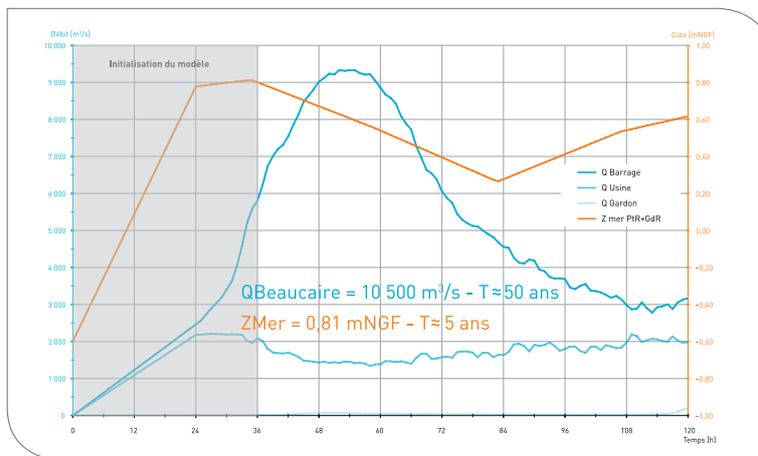
- Crue 10500 : marégramme observé en janvier 1994,
- Crue mai 1856, marégramme de décembre 2003, translaté dans le temps et en niveau pour atteindre 1,3 NGF au moment du pic de crue,
- Crue exceptionnelle (crue de sûreté) : niveau marin constant à 1,5 NGF

Le niveau marin de 1,5 NGF du scénario de crue exceptionnelle correspond à une surcote marine de 1,1 NGF, d'une période de retour légèrement supérieure à 100 ans avec une dérive extrême de montée des eaux, d'ici à 2050, de 40 cm.

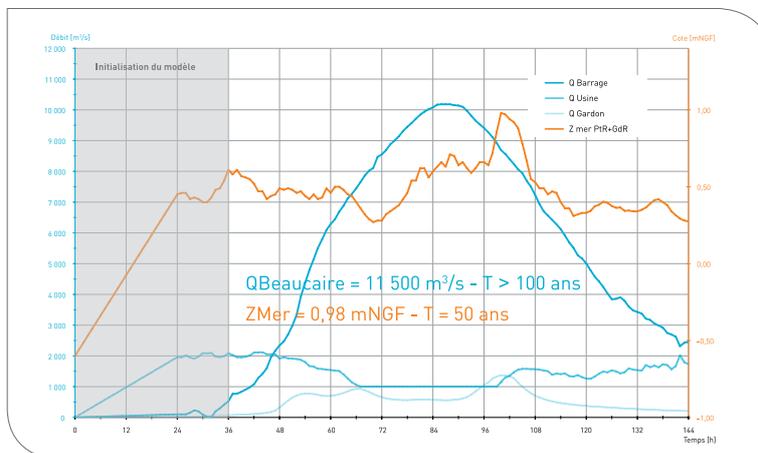
Les hydrogrammes et marégrammes des 5 scénarios modélisés figurent ci-dessous :



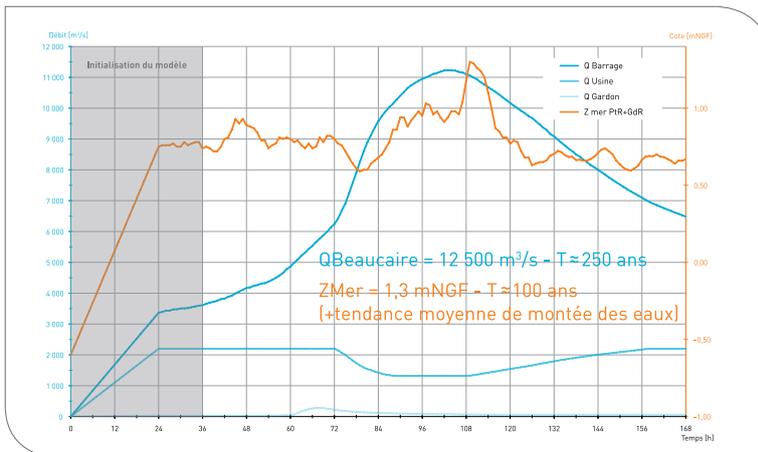
Hydrogramme et marégramme de la crue 9500 (source CNR [R 26])



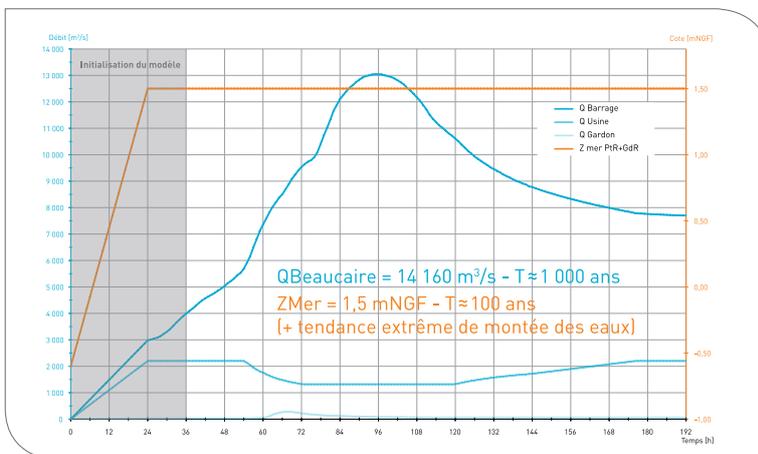
Hydrogramme et marégramme de la crue 10500 (source CNR [R 26])



Hydrogramme et marégramme de la crue type décembre 2003 (source CNR [R 26])



Hydrogramme et marégramme de la crue mai type 1856 (source CNR [R 26])



Hydrogramme et marégramme de la crue exceptionnelle (source CNR [R 26])

→ 10.3. IMPACT DANS LA ZONE PROTÉGÉE

10.3.1. LES ENJEUX DE LA ZONE PROTÉGÉE

La population protégée est estimée à 110 000 habitants dans la zone inondable du Delta. Les habitats sont assez denses dans les villes, souvent sur plusieurs étages, mais on trouve également quelques habitations diffuses dans les plaines.

De nombreux réseaux traversent le secteur, avec notamment des axes routiers structurants de grande importance pour les régions (A54 et RD6113 par exemple).

Les plaines protégées sont en majorité agricoles, avec de nombreux aménagements pour l'irrigation et le drainage. Les cultures y sont riches et très diversifiées, les grandes cultures céréalières dominent mais on trouve également de nombreuses parcelles de vignes, arboriculture et maraîchage, très sensibles aux inondations.

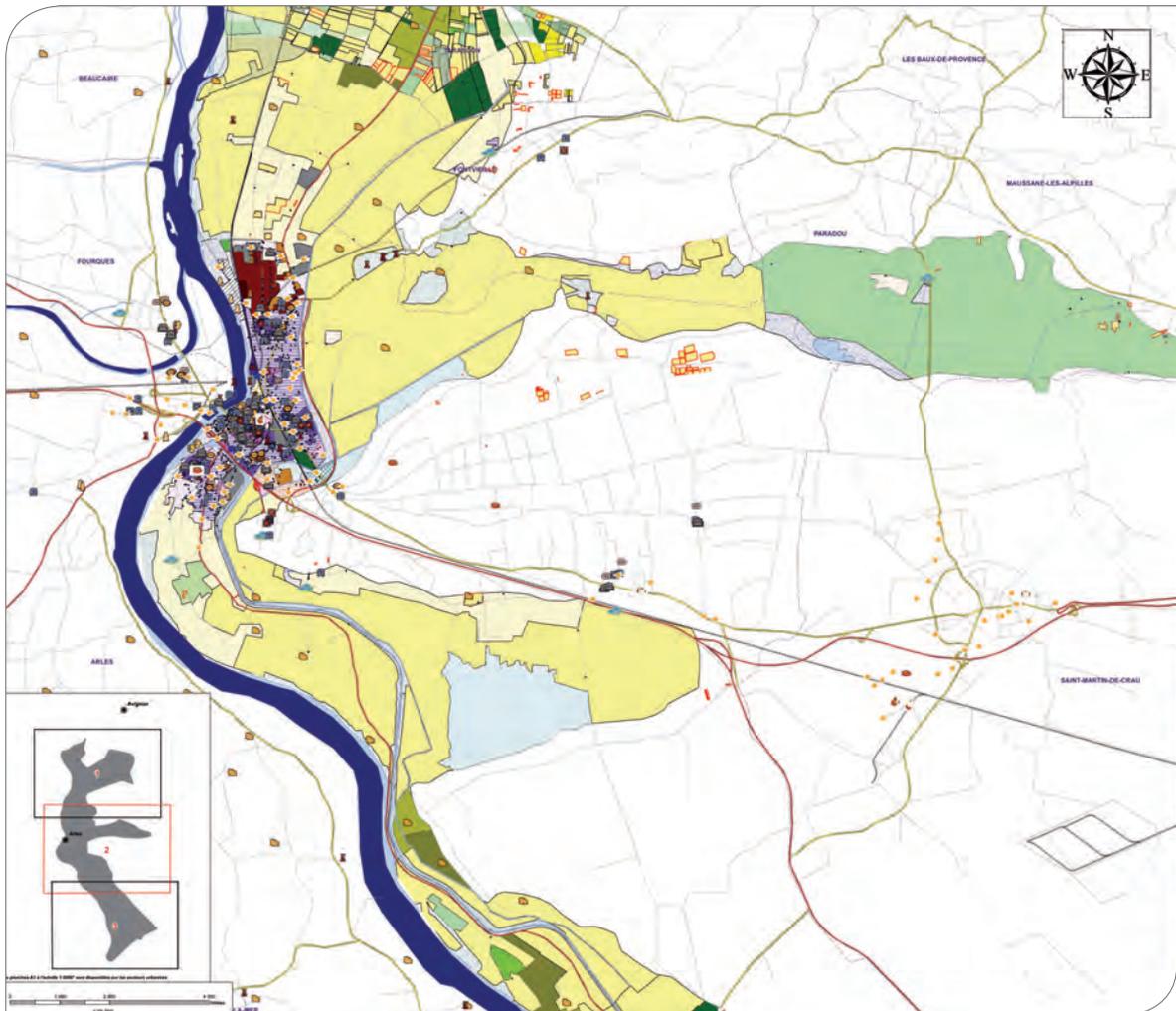
De nombreuses entreprises sont installées dans le secteur, en bordure des villes. Ces entreprises ont pour la plupart connu des inondations en 2003 et ont depuis pris des mesures de réduction de leur vulnérabilité aux inondations.

Le territoire est en majorité situé dans l'unité paysagère de Camargue. Le paysage à proximité des ouvrages est structuré par les bras du fleuve et par les ouvrages eux-mêmes.

Les digues en elles-mêmes, étant végétalisées, s'insèrent dans ce paysage à dominante végétale. Vue depuis la plaine, elles dominent ce paysage plat. Vues depuis le ségonnal, elles délimitent la ligne d'horizon par l'absence de végétation arborée mais sont souvent surplombées par les frondaisons de haies plus lointaines.

Côté plaine s'étendent les plaines de la Camargue cultivée, parcourue par les voies de circulation et les petits canaux ; côté Rhône, le paysage varie beaucoup selon linéaire, mais reste généralement ouvert et agricole au plus proche de la digue avant de se fermer sur la ripisylve qui borde le Rhône.

Le delta du Rhône est une zone au patrimoine historique riche et varié. Avec la proximité de la Via Domitia, reliant Rome à l'Espagne et qui traversait le Rhône à Beaucaire, la zone était très fréquentée par les armées, les fonctionnaires, les commerçants et les voyageurs, et ce jusqu'au Moyen-Âge.

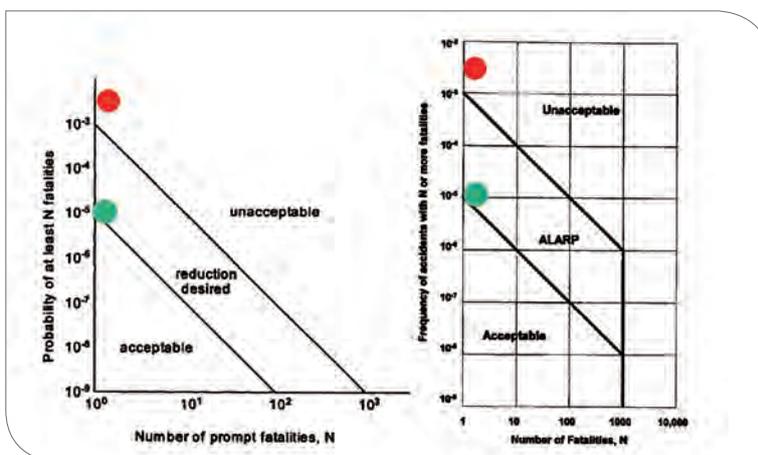


Zonage des enjeux en rive gauche du Rhône (source EGISeau [R 402])

10.3.2. RÉDUCTION DU RISQUE LIÉE À LA SÉCURISATION DES OUVRAGES

L'impact du programme dans la zone protégée est considérable dans le lit protégé puisque le risque de brèche apporté par les aménagements devient très faible jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône. ISL dans [60] estime que la probabilité de rupture est réduite d'un rapport 100, ce qui est très important en termes de réduction du risque, puisque l'on passe globalement d'une probabilité annuelle de rupture de $10^{-2}/10^{-3}$ à $10^{-4}/10^{-5}$.

Suivant le graphique dit "ALARP" fréquemment utilisé dans les pays anglo-saxons pour apprécier le risque et présentée dans le chapitre 8 intitulé "études de diagnostic" et de conception des ouvrages, cette réduction très sensible de la probabilité annuelle de rupture permet de passer d'un risque inacceptable à un risque compris entre la zone d'acceptabilité ou tolérée, ce qui, pour des ouvrages comme les digues, est très important en termes de gains.



Graphique ALARP – Gain du programme en termes de réduction du risque – exemple Beaucaire/Fourques [60] (en rouge niveau de risque actuel et en vert niveau de risque projeté)

10.3.3. IMPACT DE LA SÉCURISATION DES OUVRAGES DE PROTECTION ENTRE BEUCAIRE ET ARLES

Les zones protégées concernées par la sécurisation des ouvrages entre Beaucaire et Arles sont la rive droite et la rive gauche du Rhône et plus particulièrement la plaine de Beaucaire pour ce qui concerne la rive droite et la plaine du Grand Trébon, les anciens marais d'Arles, et les marais de la vallée des Baux pour ce qui concerne la rive gauche.

10.3.3.1. DÉTERMINATION DE L'ÉTAT INITIAL ENTRE BEUCAIRE ET ARLES

Dans l'état initial, les volumes de déversements ont été estimés en rive droite du Rhône à partir des différentes modélisations de brèches réalisées dans le cadre de l'étude de renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques [60].

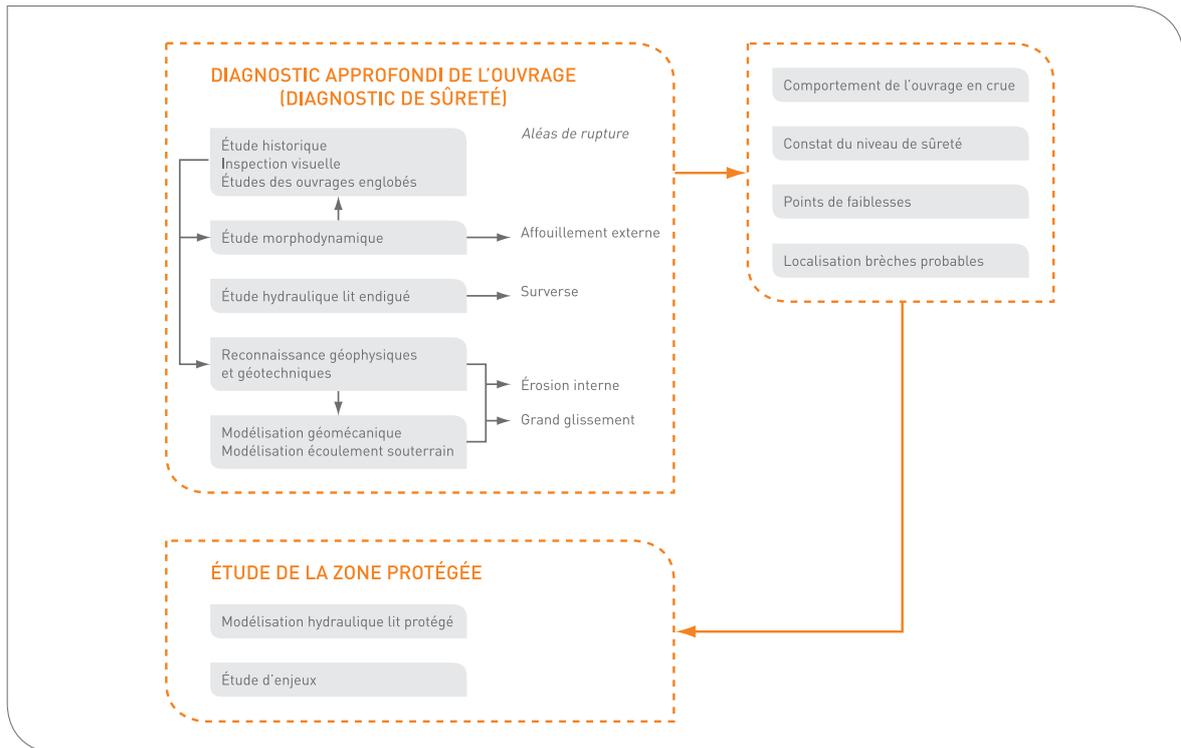
L'étude de dangers du remblai ferroviaire menée par RFF en rive gauche du Rhône donne des hydrogrammes de brèches comparables à ceux retenus en rive droite du Rhône.

Dans l'état initial, les débits et volumes de déversements par rives, entre Beaucaire et Arles, sont les suivants :

SCÉNARIOS DE CRUE	ÉTAT INITIAL DANS LE LIT PROTÉGÉ	
	DÉBIT DE DÉVERSEMENT (BRÈCHE + HORS BRÈCHE)	VOLUME DE DÉVERSEMENT ESTIMÉ (BRÈCHE + HORS BRÈCHE)
Crue de Décembre 2003 sans brèche 11 500 m ³ /s à la station de Tarascon Période de retour ≈ 100 ans	Entre 700 et 3500 m ³ /s (p.m. 1400 m ³ /s par la brèche d'Argence)	Entre 35 et 260 Millions de m ³ (p.m. 140 m ³ par la brèche d'Argence) Moyenne : 150 Millions de m ³
Crue de référence Mai 1856 12 500 m ³ /s à la station de Tarascon Période de retour ≈ 250 ans	Entre 1400 et 4200 m ³ /s	Entre 170 et 1 700 Millions de m ³ Moyenne : 900 Millions de m ³
Crue Exceptionnelle 14 160 m ³ /s à la station de Tarascon Période de retour ≈ 1 000 ans	Entre 2700 et 6000 m ³ /s	Entre 550 et 2500 Millions de m ³ Moyenne : 1,5 Milliards de m ³

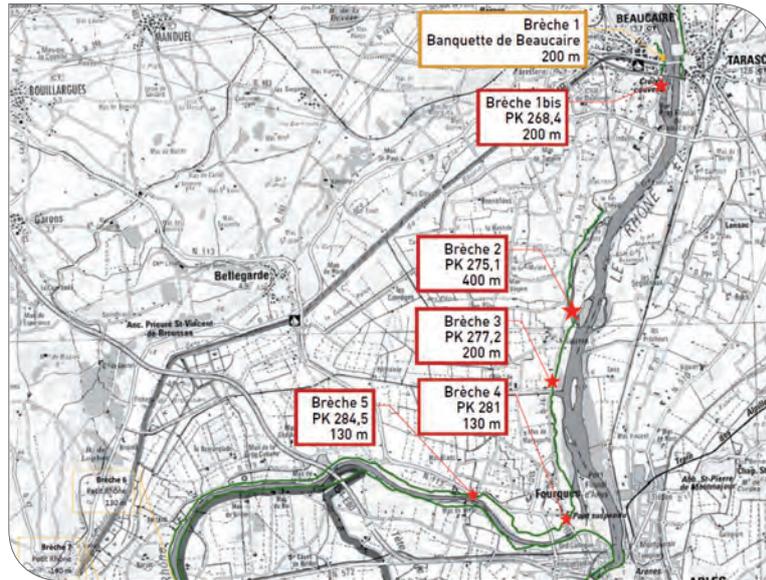
État initial – débits et volumes de déversement entre Beaucaire et Arles (par rive)

Les zones probables de brèches, la cinétique d'ouverture et la détermination des hydrogrammes de brèches, ont été définies par le bureau d'étude suivant la méthodologie définie dans le chapitre "études de diagnostic et de conception" des ouvrages et résumée dans la figure ci-après :



Méthodologie des études de diagnostic de la définition du comportement des ouvrages à la modélisation des ondes de rupture

La localisation des brèches probables en rive droite du Rhône issue de [R 60] et permettant de déterminer l'état initial figure ci-après :

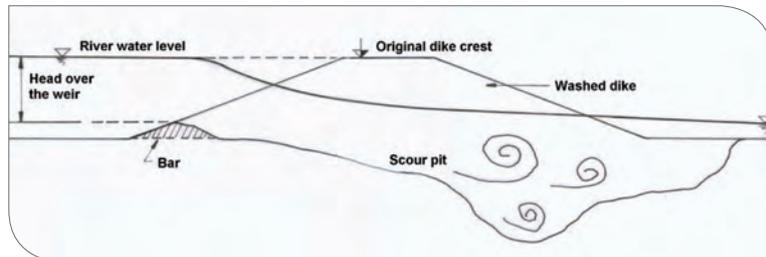


Digue Beaucaire/Fourques – zones probables de brèches (source ISL [R 60])

La cinétique d'ouverture des brèches a été définie par le bureau d'étude à partir de nombreux retours d'expérience en France et en Europe.

BRÈCHE	LOCALISATION BRÈCHE	EXTENSION MAXIMALE DE LA BRÈCHE	TEMPS D'OUVERTURE DE LA BRÈCHE	PROFONDEUR DE LA FOSSE	TEMPS D'OUVERTURE DE LA FOSSE
1 bis	PK 268,40	200 m	2 heures	10 m	2 heures
2	PK 275,10	400 m	5 heures	15 m	5 heures
3	PK 277,20	200 m	2 heures	10 m	2 heures
4	PK 281,00	130 m	2 heures	10 m	2 heures

Dimensions et cinétiques d'ouverture des brèches [R 60]



Écoulement au droit d'une brèche (source projet IMPACT [R 60])

Les hypothèses définies par le bureau d'étude pour l'ouverture de la brèche sont : la rupture commence au moment où le niveau dans le Rhône ou le Petit Rhône atteint son maximum et continue jusqu'au moment où le niveau dans le Rhône redescend au niveau du terrain naturel aval. Ces hypothèses techniques sont conformes avec la définition de l'état initial par les services de l'État.

De cette analyse des brèches probables, on en déduit qu'elles sont réparties de façon homogène sur l'ensemble du tronçon entre Beaucaire et Fourques. Les brèches ont été modélisées pour les scénarios de crue à 11 500, 12 500 et 14 160 m³/s.

BRÈCHE	LARGEUR	DÉVERSEMENT PAR BRÈCHE		DÉVERSEMENT HORS BRÈCHE	
		DÉBIT DE POINTE (EN M ³ /S)	VOLUME DE DÉVERSEMENT (EN MILLIONS DE M ³)	DÉBIT DE POINTE (EN M ³ /S)	VOLUME DE DÉVERSEMENT (EN MILLIONS DE M ³)
1 bis	200 m	3 425	260	45	1
2	400 m	2 565	145	35	1 à 2
3	200 m	900	50	40	1 à 2
4	130 m	685	35	35	1 à 2

Scénario crue type décembre 2003 suivant état initial

BRÈCHE	LARGEUR	DÉVERSEMENT PAR BRÈCHE		DÉVERSEMENT HORS BRÈCHE	
		DÉBIT DE POINTE (EN M ³ /S)	VOLUME DE DÉVERSEMENT (EN MILLIONS DE M ³)	DÉBIT DE POINTE (EN M ³ /S)	VOLUME DE DÉVERSEMENT (EN MILLIONS DE M ³)
1 bis	200 m	3 760	1 700	440	15
2	400 m	3 015	925	430	16
3	200 m	1 140	180	500	21
4	130 m	865	140	505	27

Scénario crue type mai 1856 avec modélisation d'une brèche

BRÈCHE	LARGEUR	DÉVERSEMENT PAR BRÈCHE		DÉVERSEMENT HORS BRÈCHE	
		DÉBIT DE POINTE (EN M ³ /S)	VOLUME DE DÉVERSEMENT (EN MILLIONS DE M ³)	DÉBIT DE POINTE (EN M ³ /S)	VOLUME DE DÉVERSEMENT (EN MILLIONS DE M ³)
1 bis	200 m	4 320	2 430	1 730	75
2	400 m	3 480	1 790	1 635	85
3	200 m	1 300	510	1 760	125
4	130 m	960	390	1 770	150

Scénario crue type exceptionnelle avec modélisation d'une brèche

De ces modélisations, on en déduit que pour une même crue, le débit de pointe et le volume de déversement de la brèche dépendent fortement des paramètres suivants :

- Largeur de la brèche,
- Présence ou non d'un ségonnal,
- Hauteur des digues mesurée depuis le terrain naturel côté terre.

La largeur de la brèche est un paramètre important, mais n'est pas le paramètre dominant.

Pour l'estimation du débit de pointe, c'est la hauteur de la digue mesurée depuis le terrain naturel côté terre, qui est le paramètre dominant.

Pour le volume de déversement, c'est ce dernier paramètre également, qui est dominant avec la présence ou non d'un ségonnal qui va faire en sorte que la période de décrue sera plus ou moins longue.

De par la configuration du système qui fait que les hauteurs de digue diminuent de l'amont vers l'aval, les brèches en tête de delta ont des effets beaucoup plus graves que les brèches en aval du delta.

10.3.3.2. DÉTERMINATION DE L'ÉTAT PROJET ENTRE BEAUCAIRE ET ARLES

Pour la détermination de l'état projet, la probabilité de formation d'une brèche jusqu'à la crue exceptionnelle est réduite d'un rapport de 1000 [R 60], ce qui permet de retenir comme hypothèse pour la détermination de l'état projet uniquement les déversements sans brèche.

Compte tenu du calage des ouvrages et de l'absence de débordements jusqu'à la crue de type décembre 2003, les volumes déversés en rives gauche et droite du Rhône pour les crues de type mai 1856 ou crue exceptionnelle sont les suivants :

SCÉNARIO	DÉBIT MAXI À BEAUCAIRE (M ³ /S)	DÉBIT MAXI DÉVERSÉ RG (M ³ /S)	VOLUME DÉVERSÉ RG (MM ³)	DÉBIT MAXI DÉVERSÉ RD (M ³ /S)	VOLUME DÉVERSÉ RD (MM ³)
10 500 m ³ /s	10 500	0	0	0	0
2003 sans brèche	11 500	0	0	0	0
Crue de référence	12 500	370	24.1	330	20.3
Crue exceptionnelle	14 160	1110	111.4	1140	109.7

Volumes et débits déversés entre Beaucaire et Arles après sécurisation (source CNR [R 16])

La répartition des débits et volumes déversés entre les deux rives est assurée aux marges de précision près. La modélisation du programme global de sécurisation par la CNR [R 26] incluant les opérations de renforcement sur le Petit Rhône et sur le Grand Rhône a montré la très faible influence de ces travaux sur les volumes déversés entre Beaucaire et Arles (variation de 1 à 2 %).

Il convient également de souligner que sur un linéaire de déversement de 5 000 mètres avec un coefficient de débit de 0,27 (hypothèse retenue par la CNR) on obtient pour les lames d'eau déversantes ci-après, les débits de déversements correspondants :

LAME D'EAU DÉVERSANTE (EN M)	DÉBIT DE DÉVERSEMENT (EN M ³ /S)
0,02	17
0,1	189
0,12	249 (189 + 60)
0,2	535
0,22	617 (535 + 82)
0,3	982
0,32	1 082 (982 +100)

Lame d'eau déversante et débit correspondant

Ainsi une variation de 2 cm sur la lame d'eau déversante, suivant la hauteur de cette dernière donne des variations de débits allant de 60 à 100 m³/s, ce qui sur une durée de déversement de 1 jour peut donner des variations de volumes de déversement allant respectivement de 5 à 9 millions de m³.

Cette sensibilité des lignes d'eau sur les débits et volumes de déversement ainsi que les méthodes de calcul permettant d'extraire du modèle 2D les données nécessaires à l'estimation de ces débits de déversement nous amènent à préciser que les volumes déversés sont donnés avec une précision comprise entre 10 et 20 % près.

La modélisation respectivement de l'état initial (avec brèches) et de l'état projet (sans brèche) figure ci-dessous et permet d'apprécier l'impact du programme sur les niveaux d'eau dans la plaine de Beaucaire et en rive gauche du Rhône.

Ainsi pour une crue :

- Type décembre 2003, on passe d'un volume de déversement probable de 150 millions de m³ probable à 0,
- Type mai 1856, on passe d'un volume de déversement probable de 900 millions de m³ probable à 25 millions de m³, soit 36 fois moins,
- Exceptionnelle, on passe d'un volume de déversement probable de 1500 millions de m³ probable à 110 millions de m³, soit 14 fois moins.

Volume de déversement probable
150 Millions de m³/rive



Volume de déversement probable
900 Millions de m³/rive



Volume de déversement probable
1,5 Milliards de m³/rive

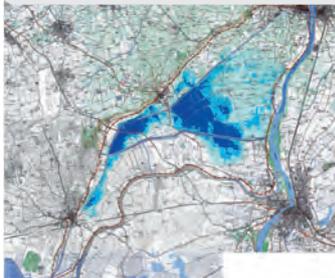


Volume de déversement
0 Million de m³/rive



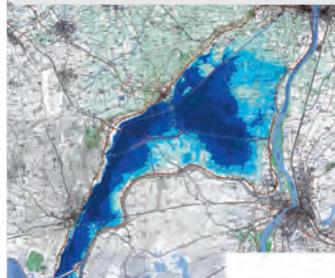
Scénario 11 500 (T± 100 ans)

Volume de déversement
≈ 25 Millions de m³/rive



Scénario 12 500 (T± 250 ans)

Volume de déversement
≈ 110 Millions de m³/rive



Scénario 14 160 (T± 1000 ans)

Impact hydraulique dans le lit protégé du programme de sécurisation (source ISL [R 61])

Volume de déversement probable
entre 15 et 500 millions de m³

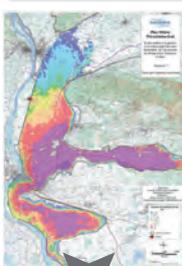


Volume de déversement
0 million de m³



Scénario 11 500 (T± 100 ans)

Volume de déversement probable
entre 500 millions et 1,2 milliards de m³

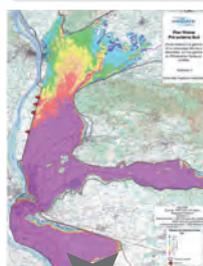


Volume de déversement
entre 20 et 25 millions de m³

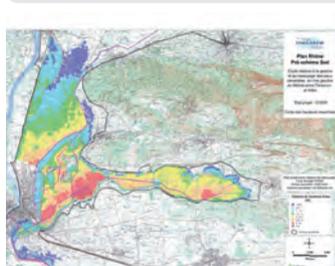


Scénario 12 500 (T± 250 ans)

Volume de déversement probable
supérieur à 1,2 Milliards de m³



Volume de déversement
entre 95 et 110 millions de m³



Scénario 14 160 (T± 1000 ans)



Impact hydraulique dans le lit protégé de la plaine du Trébon du programme de sécurisation (source EGISeau [R 90])

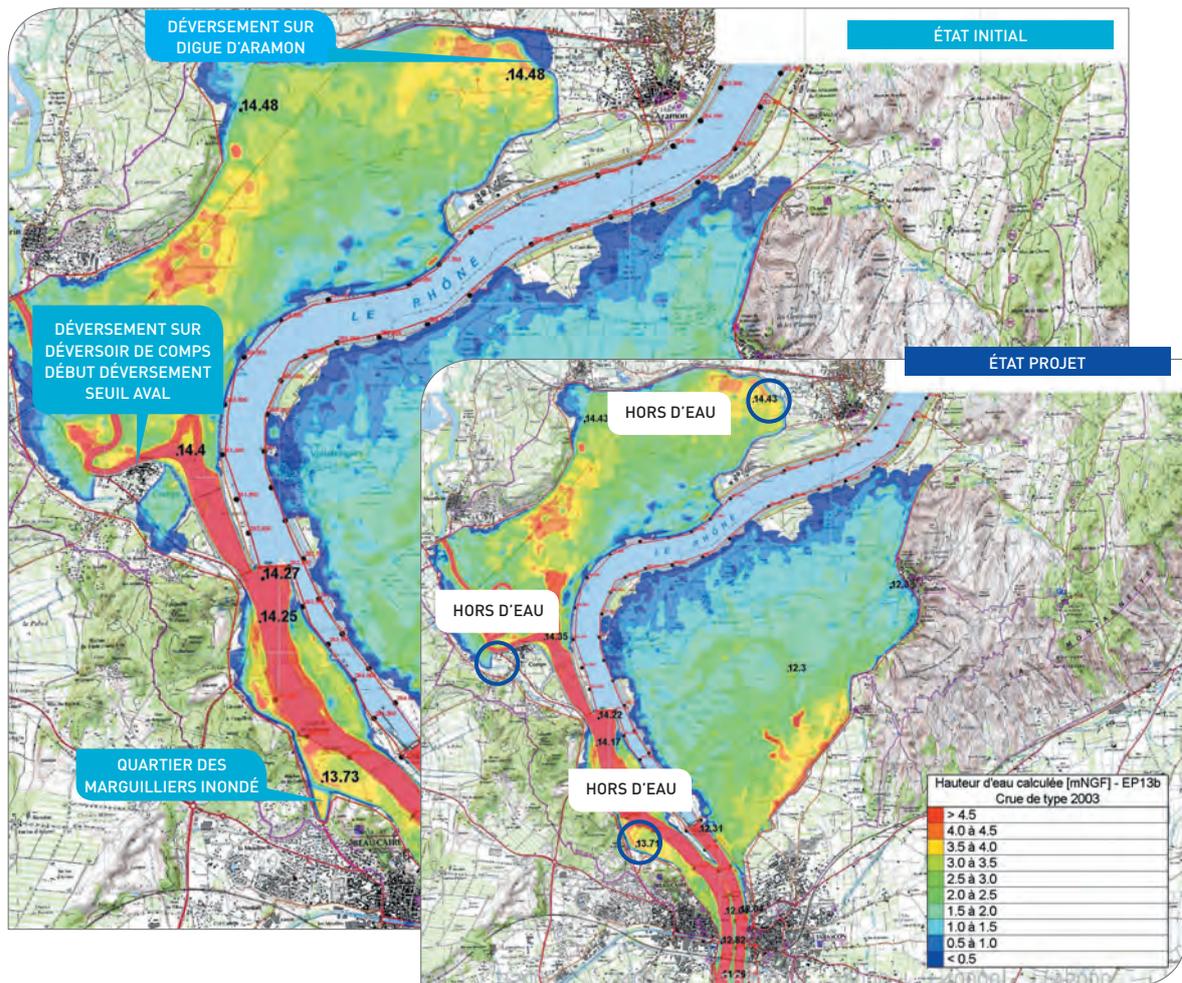
10.3.4. IMPACT DU PROGRAMME ENTRE LE BARRAGE DE VALLABRÈGUES ET BEAUCAIRE/TARASCON

Les aménagements prévus sur les ouvrages de protection, entre le barrage de Vallabrègues et Beaucaire/Tarascon, sont les suivants :

- Rehaussement du déversoir de Boulbon de 10,45 à 10,85 NGF,
- Rehaussement du déversoir de Comps de 14,1 NGF à 14,4 NGF,
- Rehaussement de la digue d'Aramon de 14,4 NGF à 14,5 NGF,
- Rehaussement de la digue des marguilliers de 13,0 NGF à 14,5 NGF avec un déversoir de sécurité à 14,0 NGF.

Ces ouvrages concernent les zones protégées respectivement de Boulbon, de Comps, d'Aramon et des Marguilliers.

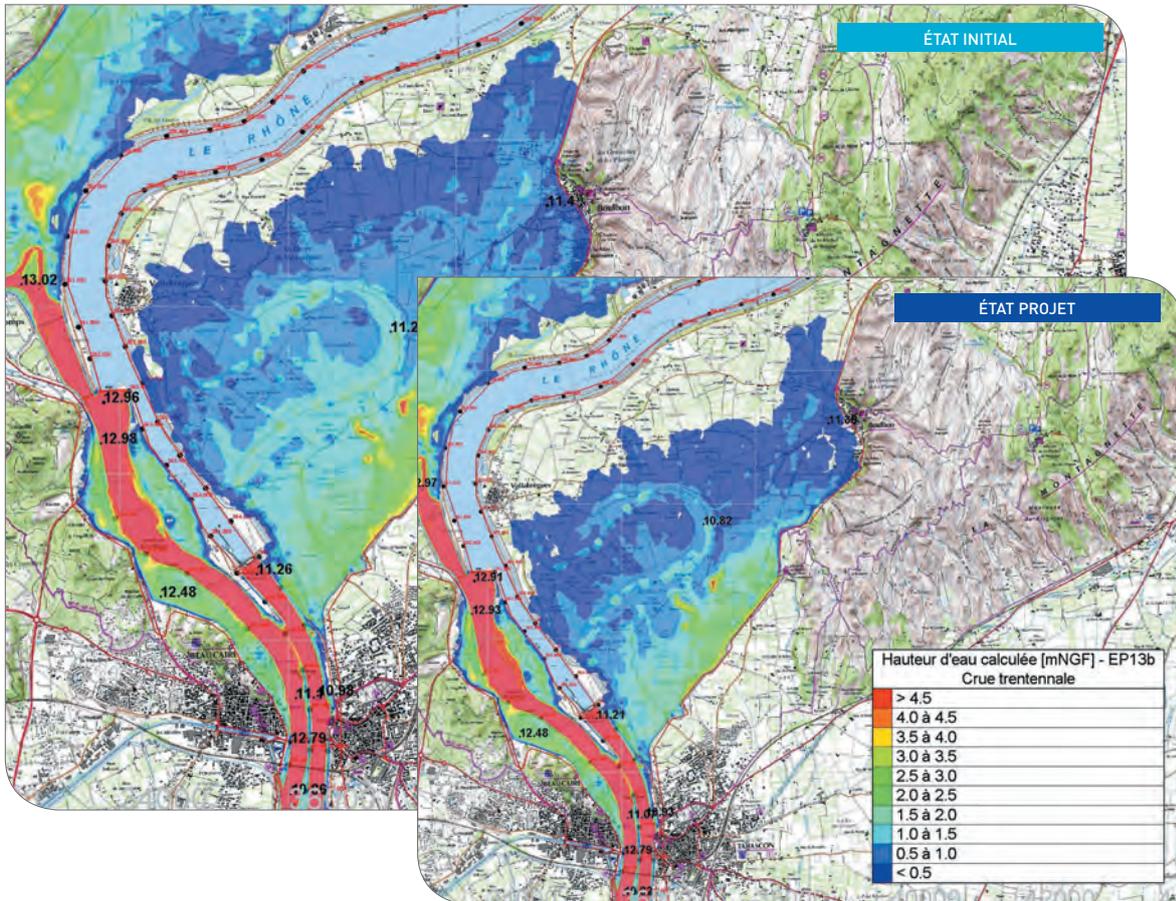
À l'exception du déversoir de Boulbon, ces rehaussements ont pour objet d'éviter, jusqu'à une crue type décembre 2003, tout débordement sur les ouvrages de protection actuels, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui. La commune d'Aramon, la commune de Comps et le quartier des marguilliers voient donc leur niveau de protection amélioré et mis en cohérence.



Impact du programme sur les communes de Comps, Aramon et quartier des Marguilliers pour une crue type décembre 2003 sans brèche (source CNR [R16])

Le rehaussement du déversoir de Boulbon de 10,45 NGF à 10,85 NGF a pour impact d'inonder moins fréquemment la plaine. On passe d'un débit de déversement de 8 500 m³/s à 9 000 m³/s, soit d'une période de retour d'environ 10 ans à une période de retour légèrement inférieure à 20 ans.

Pour la crue trentennale, les hauteurs sont abaissées de plus de 40 cm (on passe d'une cote de 11,26 NGF à 10,82 NGF). L'enveloppe de la crue recule sensiblement. Le Nord de la plaine est hors d'eau (St Pierre de Mézoargues et quartiers sud de Boulbon). À l'exception de la partie située au sud de la "laune", les terres inondées sont en aléa faible.

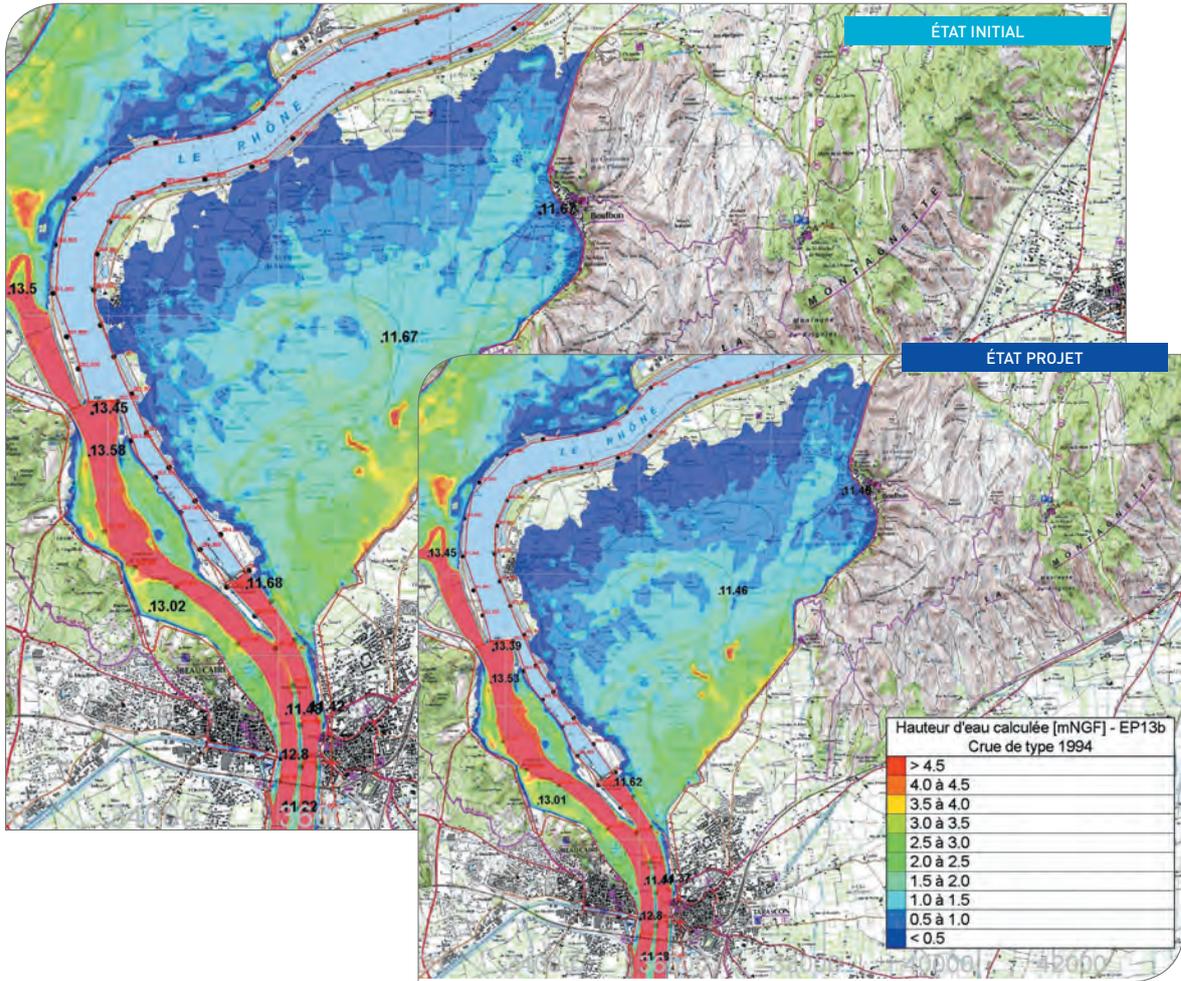


Impact du programme dans la plaine de Boulbon pour une crue 9500 (source CNR [R 26])

Pour la crue cinquantiennale, les hauteurs d'eau sont abaissées d'environ 20 cm au droit des centres urbains de Vallabrègues, Boulbon et Saint Pierre de Mézoargues, qui sont actuellement sous moins de 50 cm d'eau. Pour une crue type décembre 2003 et pour les crues supérieures, l'impact du programme est quasiment nul.

Ce qui nous permet de conclure que l'impact du programme est positif pour les gammes de crues comprises entre 10 et 30 ans. Le gain diminue progressivement pour les crues de période de retour comprise entre 30 à 50 ans pour devenir quasiment nul pour les crues de période de retour 100 ans et plus.

Les habitants de cette plaine considérée comme une ZEC dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval voient leur situation sensiblement améliorée.



Impact du programme dans la plaine de Boulbon pour une crue 10500 (source CNR [R 26])

10.3.5. IMPACT DE LA SÉCURISATION DES DIGUES DU GRAND RHÔNE

10.3.5.1. DÉTERMINATION DE L'ÉTAT INITIAL SUR LE GRAND RHÔNE

Les zones protégées concernées par les travaux de sécurisation des digues du Grand Rhône sont : la Camargue Insulaire et la Rive gauche en aval d'Arles.

Ces deux zones protégées ont été inondées en 1840 et 1856 par des ruptures de digues sur le Grand Rhône (cf. carte de Pardé dans le chapitre relatif à l'histoire des aménagements). Si des départs de brèches ou des désordres ont pu être observés en 1993, 1994, 2002 et 2003, aucune brèche totale n'a été occasionnée sur ce tronçon du fleuve.

En décembre 2003, sur le Grand Rhône, les digues de Salin de Giraud et les quais de Port-Saint-Louis-du-Rhône étaient en limite de déversements. Une digue provisoire a été construite en urgence le long de la route menant à Chamone évitant l'inondation du village par le Rhône mais ce sont surtout les 4 brèches sur le Petit Rhône et le Rhône, qui ont abaissé la ligne d'eau de 20 à 25 cm et ont permis d'éviter une inondation par le Rhône de ces deux secteurs.

Dans le cadre des études menées sur le Grand Rhône [R18], la CNR^{ingénierie} a modélisé l'état initial avec déversement sans brèche, qui montre qu'en l'absence de brèches dans le système, le centre-ville de Port-Saint-Louis et le centre du village de Salin-de-Giraud auraient été inondés en décembre 2003 (cf. figure ci-dessous) :

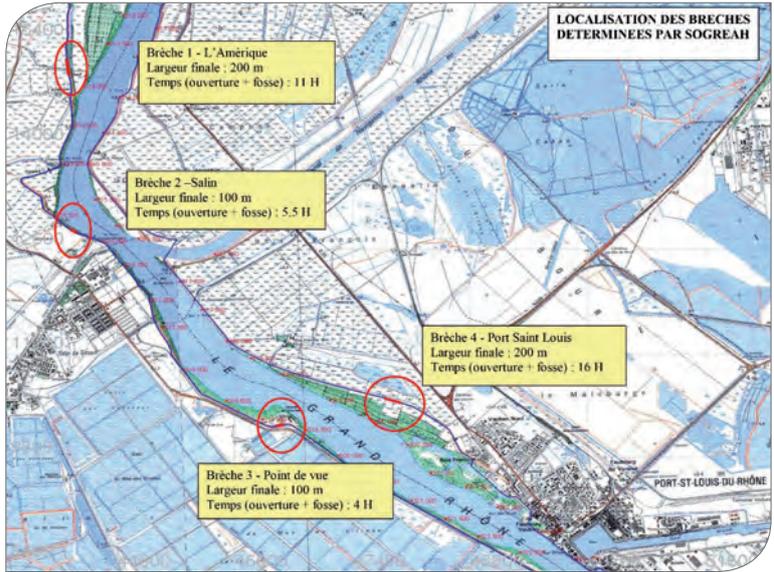


Modélisation état initial sans brèche crue type décembre 2003 (source CNR [R26])

Les ouvrages les plus exposés au risque de brèches sont situés au droit du village de Salin-de-Giraud et de la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône. Si les travaux de confortement de la digue de Port-Saint-Louis-du-Rhône de 1998 à 2006 à la cote identique ont sensiblement amélioré la sécurité de l'ouvrage, le risque de rupture par surverse demeure et est fortement tributaire de la concomitance des crues du Rhône et des tempêtes marines.

Le diagnostic approfondi des digues réalisé sur l'aval du Grand Rhône [R88] a montré de nombreuses fragilités dans la digue de protection de Salin-de-Giraud. La géométrie des ouvrages (plutôt bas avec des pentes relativement douces) expliquent qu'ils aient assez bien résisté jusqu'à présent, cependant l'étude montre que pour des sollicitations importantes (dès la crue type 2003) le risque de brèche est fort.

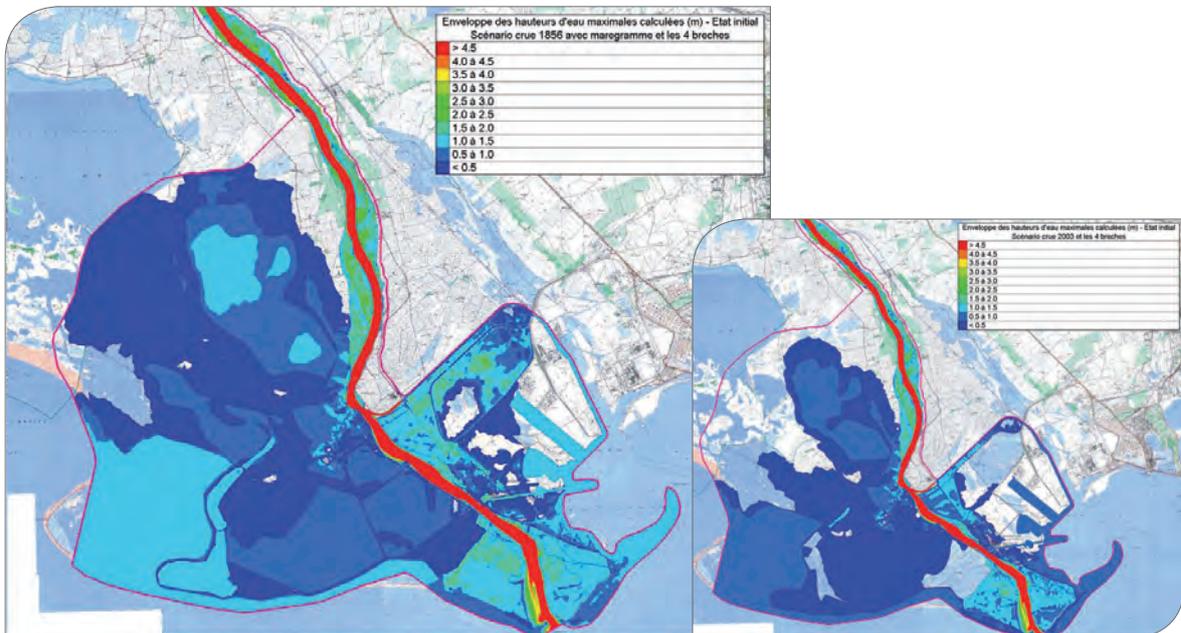
Les zones probables de brèche résultant de l'étude de diagnostic figurent ci-dessous :



Zones probables de brèches issues du diagnostic (source SOGREAH [R 88])

Les deux figures suivantes donnent les ondes de rupture pour une crue type décembre 2003 et une crue type mai 1856.

Par ailleurs, l'étude réalisée par SOGREAH et la CNR_{ingénierie} a montré également que le village de Salin-de-Giraud, compte tenu de l'état de la digue à la Mer et des nombreux points bas observés sur la digue à la Mer était fortement exposé au risque d'inondation par submersion marine.



Modélisation état initial aval Grand Rhône – Hauteurs d'eau maximum en cas de brèches pour une crue type décembre 2003 (à gauche) et une crue type mai 1856 (à droite) (source SOGREAH [R 18])

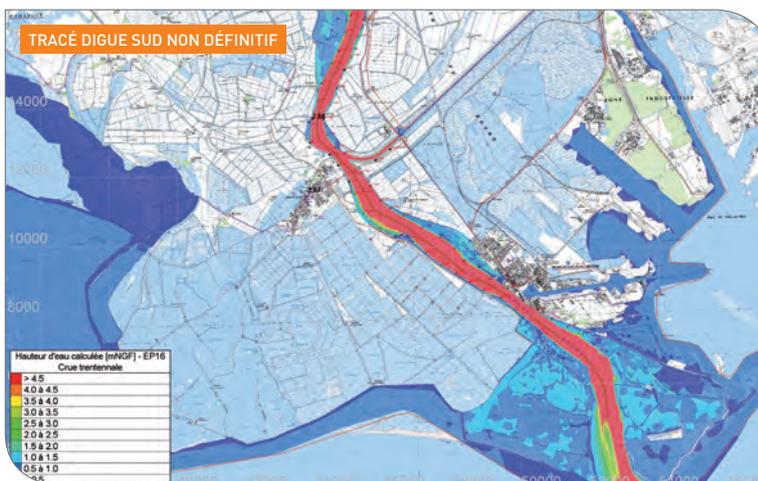
10.3.5.2. DÉTERMINATION DE L'ÉTAT PROJET

Les modélisations en page suivante permettent d'apprécier le gain lié à la sécurisation des ouvrages et à la création d'une digue de protection rapprochée au sud de Salin-de-Giraud calée au-dessus de la crue millénale et se raccordant à la digue à la Mer actuel au niveau du Rhône vif. Le tracé de cette dernière n'est pas définitivement arrêté et fait l'objet d'une concertation avec la Compagnie des Salins du midi, pour prendre en compte les secteurs de l'entreprise les plus vulnérables aux inondations.

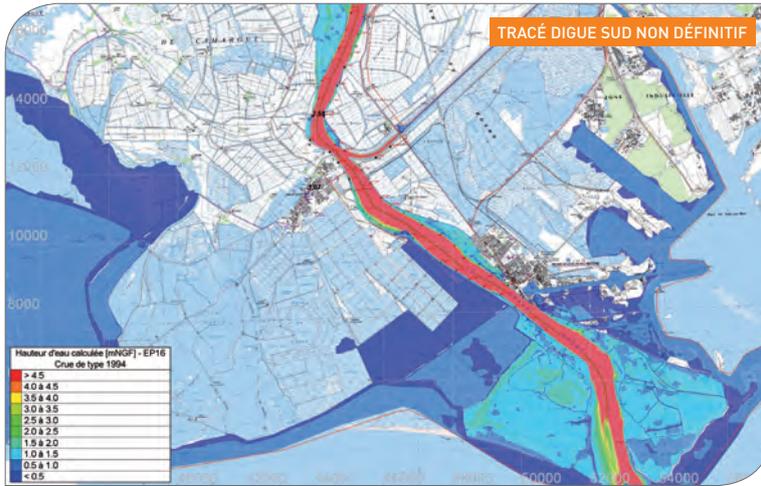
Cette protection rapprochée est une digue de 2^{ème} rang vis-à-vis de l'aléa fluvial et constitue la protection de 1^{er} rang vis-à-vis de l'aléa marin. Elle se substituerait à la digue à la Mer actuelle fortement exposée au risque de brèches. Elle s'inscrit dans la politique de l'État de recul stratégique sur les secteurs fortement exposés à l'érosion marine.

Les modélisations après travaux figurent ci-après. Les impacts sur le village de Salin-de-Giraud et la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône sont les suivants :

- Pour une crue du Rhône type décembre 2003, le village de Salin-de-Giraud (protégé par la digue de 2^{ème} rang) et le centre-ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône sont hors d'eau,
- Pour une crue du Rhône type mai 1856, le village de Salin-de-Giraud (protégé par la digue de 2^{ème} rang) et le centre-ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône sont hors d'eau,
- Pour une crue exceptionnelle du Rhône le village de Salin-de-Giraud (protégé par la digue de 2^{ème} rang) et le centre-ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône seraient inondés, par remous, sous moins de 1 mètre d'eau et avec des vitesses d'écoulement ne dépassant pas 0,2 mètre/seconde.



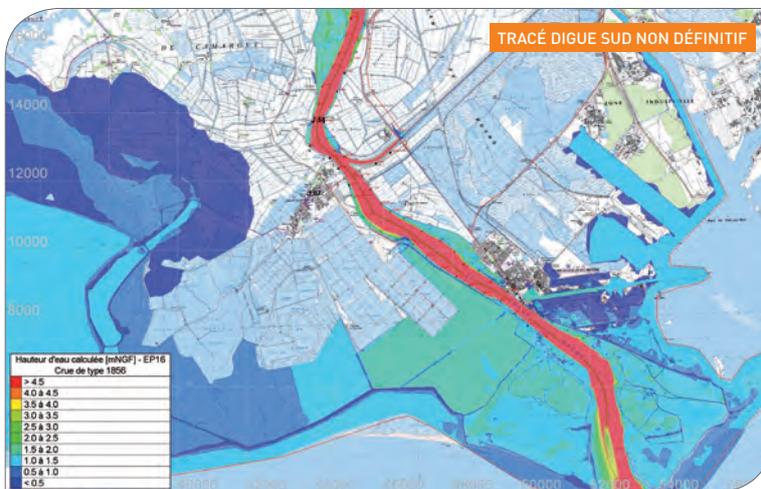
Modélisation de l'état après travaux – hauteur d'eau crue type 9500 (source CNR [R 26])



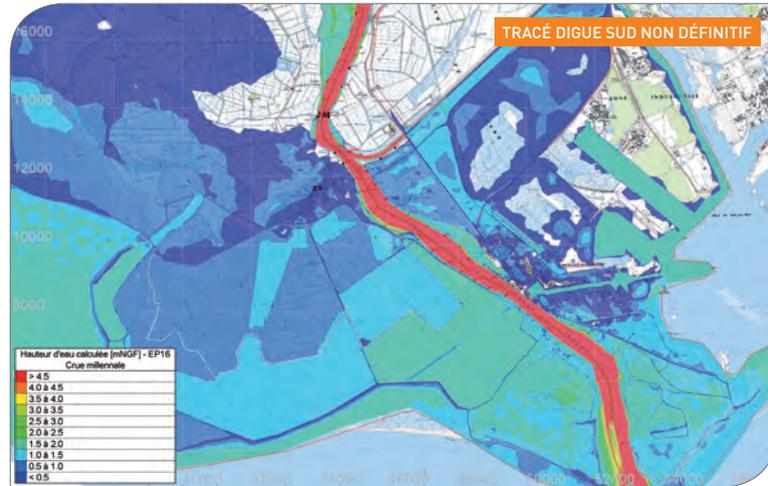
Modélisation de l'état après travaux – hauteur d'eau crue type 10500 (source CNR [R26])



Modélisation de l'état après travaux – hauteur d'eau crue type décembre 2003 (source CNR [R26])

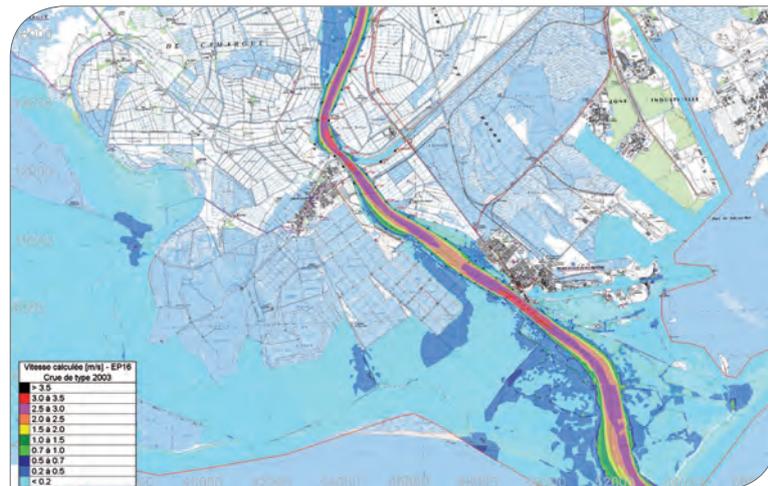


Modélisation de l'état après travaux – hauteur d'eau crue type mai 1856 (source CNR [R26])



Modélisation de l'état après travaux – hauteur d'eau crue exceptionnelle (source CNR [R 26])

La figure ci-dessous montre les vitesses d'écoulement dans la partie comprise entre la digue route résistante à la surverse et la digue de protection rapprochée. Ces vitesses sont en général inférieures à 0,2 m/s, ce qui est très faible et sans incidence sur l'érosion des remblais présents dans ce secteur.



Vitesses des écoulements dans l'espace inter-digues pour une crue type décembre 2003 (source CNR [R 26])

10.3.6. IMPACT DE LA SÉCURISATION DES DIGUES DU PETIT RHÔNE

Les zones protégées concernées par les travaux de sécurisation des digues du Petit Rhône sont la Camargue Insulaire et la Rive droite en aval de Saint-Gilles.

10.3.6.1. DÉTERMINATION DE L'ÉTAT INITIAL SUR LE PETIT RHÔNE

Les digues du Petit Rhône sont fortement exposées au risque de brèches. Depuis 1993, toutes les brèches totales ayant donné lieu à inondation du Rhône, se sont produites sur le Petit Rhône.

En octobre 1993, bien que 12 départs de brèches, caractérisés comme brèches à l'époque, aient été recensés, seule la brèche de Figarès a donné lieu à inondation du Rhône avec un volume de déversement estimé à 130 millions de m³. Suivant la courbe de tarage actuelle, la période de retour de cette crue serait aujourd'hui estimée à 15 ans.



Zone inondée en octobre 1993 – image SPOT



Brèche de Figarès – octobre 1993 – (©photo-aerienne-france.fr)

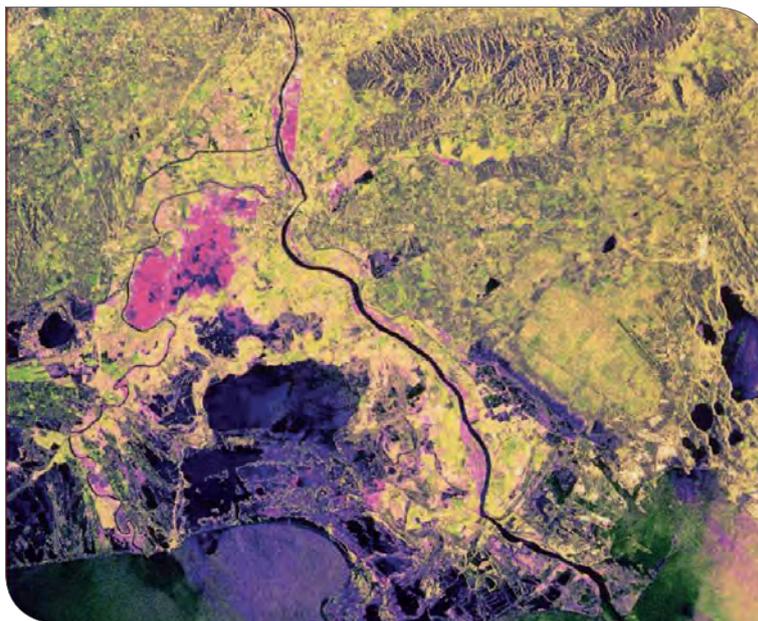
En janvier 1994, deux brèches inondantes ont été occasionnées dans les digues du Petit Rhône rive gauche : la brèche de Beaumont et la brèche de Lauricet pour un volume de déversement estimé à 20 millions de m³. Suivant la courbe de tarage actuelle, la période de retour de cette crue serait d'environ 40 ans.



Brèche de Lauricet – janvier 1994
(©photo-aerienne-france.fr)



Brèche de Beaumont – janvier 1994



Zone inondée en janvier 1994 – image SPOT

En novembre 2002, une brèche inondante a eu lieu au PK309 (claire farine). Le volume de déversement n'a pas été estimé. La période de retour de cette crue est estimée à 25/30 ans.

En décembre 2003, pour une crue de période de retour de 100 ans, deux brèches ont été occasionnées générant un volume de déversement estimé à 210 millions de m³ [R 16]. Les brèches ont démarré quand le Rhône a dépassé le débit cinquantennal à la station de Beaucaire/Tarascon.

10.3.6.2. DÉTERMINATION DE L'ÉTAT PROJET

Après sécurisation complète des digues du Delta du Rhône, les débits et volumes déversés en rives gauche et droite du Petit Rhône en amont de Sylvéréal, estimés dans le cadre de [R 17] pour les crues de type décembre 2003, mai 1856 ou crue exceptionnelle sont les suivants :

SCÉNARIO	DÉBIT MAXI À BEAUCAIRE (M ³ /S)	DÉBIT MAXI DÉVERSÉ DIGUES PR RG (M ³ /S)	VOLUME DÉVERSÉ DIGUES PR RG (MM ³)	DÉBIT MAXI DÉVERSÉ DIGUES PR RD (M ³ /S)	VOLUME DÉVERSÉ DIGUES PR RD (MM ³)
10 500 m ³ /s	10 500	0	0	0	0
2003 sans brèche	11 500	89	6,5	63	4,8
Crue mai 1856	12 500	142	21	100	15
Crue exceptionnelle	14 160	173	35	119	25

Volumes et débits déversés sur le Petit Rhône en amont du pont de Sylvéréal après aménagements (source EGISeau [R 18])

L'équilibre 50/50 des déversements entre les deux rives est donc assuré aux marges de précision près.

En ce qui concerne la rive droite du Rhône, des déversements entre Beaucaire et Fourques ont lieu pour la crue type mai 1856 et la crue exceptionnelle. Pour la crue type mai 1856, la totalité du volume déversé est écrêté dans la plaine de Beaucaire et n'ont donc pas d'impact en Camargue gardoise. Pour la crue exceptionnelle, sur les 110 millions de m³ déversés, 40 millions de m³ sont écrêtés dans la plaine de Beaucaire et 70 millions de m³ s'écoulent par le couloir de Saint Gilles pour inonder la Camargue Gardoise.

En aval de Sylvéréal en rive droite du Petit Rhône, compte tenu du calage inchangé des digues et de l'absence de digue en aval du bac du Sauvage, les volumes de déversements entre l'état initial et l'état projet restent inchangés et sont importants (plusieurs dizaines de millions de m³).

L'impact du programme de sécurisation en termes de réduction des débits et volumes déversés sur le Petit Rhône en amont de Sylvéréal est synthétisé ci-dessous.

SCÉNARIO	ÉTAT INITIAL	ÉTAT PROJET (VOLUME DÉVERSÉ SUR LES DIGUES DU PETIT RHÔNE) EN MILLIONS DE M ³ /RIVE
≤ 10 500 m ³ /s	130 millions de m ³ en oct. 1993 20 millions en janv. 1994	0
2003 sans brèche	210 millions de m ³ en déc. 2003	5 à 7
Crue de référence	Entre 210 et 600 millions de m ³	15 à 21
Crue exceptionnelle	Environ 600 millions de m ³	25 à 35

Impact du programme sur les volumes déversés par les digues du Petit Rhône

10.3.7. IMPACT ÉCONOMIQUE

Outre l'impact sur la sécurité publique, les études d'enjeux menées dans le cadre des études de diagnostic et de conception permettent de monétariser l'impact économique des projets.

En rive droite, on passe ainsi pour une :

- crue type décembre 2003 de 100 millions d'euros de dommages à l'absence de dommages,
- crue type mai 1866, d'une fourchette comprise entre 180 et 430 millions d'euros de dommages à 20 millions d'euros, une fois tous les aménagements réalisés,
- crue exceptionnelle, d'une fourchette comprise entre 270 et 480 millions d'euros de dommages à 85 millions d'euros, une fois tous les aménagements réalisés.

En rive gauche, on passe ainsi pour une :

- crue type décembre 2003 suivant le scénario probable de brèches (trémie ou remblai ferroviaire) de 37 à 1165 millions d'euros de dommages à l'absence de dommages liés au Rhône,
- crue type mai 1866, d'une fourchette comprise entre 1,2 et 1,8 milliards d'euros de dommages à 60 millions d'euros, une fois tous les aménagements réalisés,
- crue exceptionnelle, de 1,8 milliards d'euros de dommages à 220 millions d'euros, une fois tous les aménagements réalisés.

→ 10.4. IMPACT DANS LE LIT ENDIGUÉ : CONTRAINTES RÉGLEMENTAIRES ET QUALIFICATION

En application du décret du 17 juillet 2006 et de l'arrêté du 27 juillet 2006, tout projet de remblais en zone inondable nécessitant une étude d'impact au titre de l'article R122-3 doit étudier différentes alternatives limitant les impacts sur l'écoulement des crues, en termes de ligne d'eau et de débit.

La disposition 8-02 du Schéma Directeur d'Aménagement et Gestion des Eaux Bassin Rhône Méditerranée 2010-2015 intitulée "Contrôler les remblais en zone inondable" stipule que *"tout projet en remblai en lit majeur doit être examiné au regard de ses impacts propres mais également du risque de cumul des impacts de projets successifs, même indépendants. Ainsi tout projet de cette nature présente une analyse des impacts jusqu'à la crue de référence :*

- *Vis-à-vis de la ligne d'eau.*
- *En considérant le volume soustrait aux capacités d'expansion des crues."*

Conformément à ces prescriptions, le SYMADREM a examiné les impacts du programme de sécurisation dans le lit endigué au regard de ces deux paramètres.

Il convient de souligner que le SYMADREM est allé plus loin que les exigences du SDAGE en analysant l'impact des crues jusqu'à la crue exceptionnelle, dont la période de retour est estimée à 1000 ans. En effet, la crue de référence du Rhône, qui est la crue de mai 1856 dans les conditions actuelles d'écoulement, a une période de retour de 250 ans. Compte tenu de ce que les aménagements CNR situés en amont du périmètre d'interventions du SYMADREM et de ce que les digues objet du présent programme sont dimensionnées pour résister jusqu'à la crue exceptionnelle, il était logique que cette crue exceptionnelle soit prise en compte par le SYMADREM dans les études d'impacts.

La prise en compte des volumes soustrait ou gagné aux capacités d'expansion des crues est un paramètre important pour le *"risque de cumul des impacts de projets successifs, même indépendants"*. Dans le cas particulier du programme de sécurisation qui s'inscrit dans une démarche globale figeant le calage hydraulique des ouvrages de protection pour les 100 prochaines années et compte tenu de ce que le Grand Delta est le dernier tronçon hydraulique avant la mer, ce paramètre n'apparaît pas pertinent à notre sens pour juger des impacts du programme. Néanmoins, nous avons évalué les surfaces gagnées et soustraites pour chaque opération. Elles sont présentées pages suivantes.

Pour estimer l'impact hydraulique (abaissement/exhaussement de la ligne d'eau) des aménagements, la CNR_{ingénierie} a proposé dans le cadre de l'étude de calage [R 16], de retenir les classes suivantes :

EXHAUSSEMENT/ABAISSMENT DE LA LIGNE D'EAU	EXHAUSSEMENT	ABAISSMENT
0 cm (impact nul)		
0 à 2 cm : impact quasiment nul (limite de précision du modèle)		
2 à 5 cm		
5 à 10 cm		
10 à 15 cm		
Supérieur à 15 cm		

Classification de l'impact hydraulique dans le lit endigué

Cette classification a été retenue pour les études hydrauliques sur le Petit Rhône [R 17] et Grand Rhône [R 18].

→ 10.5. ÉTAPES DE CALAGE DES OUVRAGES DE PROTECTION ET QUALIFICATION DE L'IMPACT HYDRAULIQUE DANS LE LIT ENDIGUÉ

Le calage des ouvrages de protection et l'estimation de leur impact hydraulique respectif et global ont été réalisés en quatre grandes étapes.

Dans un 1^{er} temps [R 16], le calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles a été déterminé suivant les objectifs définis dans le schéma de gestion des inondations sur le Rhône aval. Des impacts hydrauliques notables, non pressentis dans le schéma de gestion, ont été constatés en amont de Beaucaire/Tarascon. Des mesures d'annulation et réduction de l'impact hydraulique en amont de Beaucaire/Tarascon ont été déterminées. L'absence d'impact hydraulique en aval d'Arles sur le Petit Rhône et le Grand Rhône a été vérifiée.

Dans un 2^{ème} temps [R 17], le calage des ouvrages sur le Grand Rhône a été déterminé en étendant les objectifs définis dans le schéma de gestion à ce tronçon du fleuve. Le calage des ouvrages a été réalisé pour n'avoir aucun impact hydraulique notable en amont de Salin de Giraud où il n'est pas prévu de travaux dans le cadre du CPIER Plan Rhône 2007/2013. Il a été vérifié que les travaux en aval du Grand Rhône pouvaient être réalisés indépendamment des autres travaux de sécurisation.

Dans un 3^{ème} temps [R 18], le calage du Petit Rhône a été déterminé suivant les objectifs définis dans le schéma de gestion des inondations. Le calage des ouvrages a été réalisé pour n'avoir aucun impact hydraulique notable en aval d'Albaron où, en rive gauche, il n'est pas prévu de travaux dans le cadre du CPIER Plan Rhône 2007/2013. Il a été vérifié l'absence d'impact notable au défluent et le peu d'influence sur la répartition Petit Rhône / Grand Rhône. Il a également été vérifié que les travaux de sécurisation des digues du Petit Rhône pouvaient être réalisés indépendamment des autres travaux.

Dans un dernier temps [R 26], le modèle de l'étude de calage n°1 et le modèle Grand Rhône n°3 ont été couplés et l'ensemble des ouvrages prévus dans le programme de sécurisation intégré dans ce modèle. Ce modèle global a permis d'estimer l'impact

hydraulique du programme de sécurisation suivant deux hypothèses (avec ou sans décorsetage limité des digues du Petit et Grand Rhône). Il a permis de conclure sur la très faible influence du décorsetage limité sur la répartition Grand Rhône/Petit Rhône (juste des impacts locaux). Il a également montré la très faible influence du calage des ouvrages sur les débits de pointe du Petit et Grand Rhône et a permis de vérifier les hypothèses de découplage des modèles et de phasage des travaux. Cette étude complémentaire a permis de montrer que l'impact du programme global de sécurisation pouvait être estimé sur le Rhône et le Grand Rhône de manière fine avec ce modèle, mais que sur le Petit Rhône, le modèle d'EGISEau était mieux adapté.

→ 10.6. IMPACT DU CALAGE DES OUVRAGES ENTRE BEUCAIRE ET ARLES AVANT MESURES D'ANNULATION ET RÉDUCTION D'IMPACTS

Le calage des ouvrages de protection entre Beaucaire et Arles est justifié au chapitre intitulé "justification du calage des ouvrages de protection".

Par rapport à l'état initial, le calage retenu entre Beaucaire et Arles présente des impacts hydrauliques résumés dans le tableau ci-dessous :

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE								
DÉBIT DE POINTE À LA STATION DE TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PL. ARAMON	AVAL BARRAGE	PL. BOULBON	TRAV. BEUCAIRE TARASCON	BEUCAIRE/ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
10500	50 ans	Janv. 1994	0	0	+ 1	+ 2	0	0	0	0	0
11500	100 ans	Déc. 2003	+ 1	+ 1	+ 3	+ 4	+ 2	0	0	+ 1	0
12500	250 ans	Mai 1856	+ 1	+ 2	+ 5	+ 5	- 6	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 2 à 5
14160	1 000 ans	Millénaire	+ 4	+ 3	+ 14	+ 16	- 9	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 5 à 10

Impact hydraulique des aménagements entre Beaucaire et Arles par tronçons hydrauliques homogènes (CNR [R] 16)

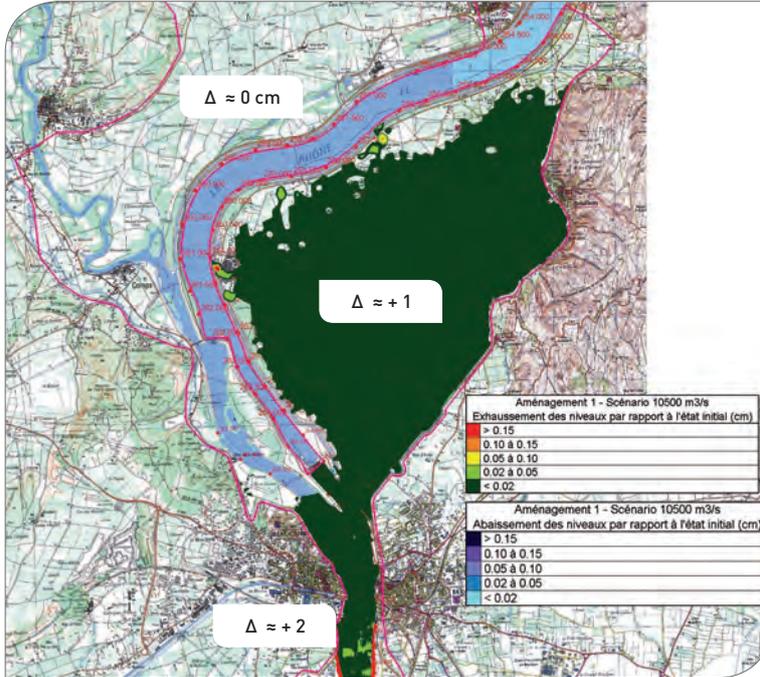
Globalement, le calage proposé a des incidences nulles ou positives en aval (abaissement de la ligne d'eau) et négatives en amont de Beaucaire/Tarascon (exhaussement de la ligne d'eau). Ces incidences sont dues à l'annulation des déversements au droit des SIP de Beaucaire et Tarascon, qui est nécessaire pour éviter tout risque de contournement des tronçons résistants à la surverse jusqu'à la crue exceptionnelle. Elle est obtenue par rehausse du SIP de Beaucaire, de la digue des Italiens, de la digue d'embouquement de l'écluse de Beaucaire, du rideau de palplanches TEMBEC et du SIP de Tarascon.

Sur la répartition des impacts en amont suivant les différents scénarios de crues :

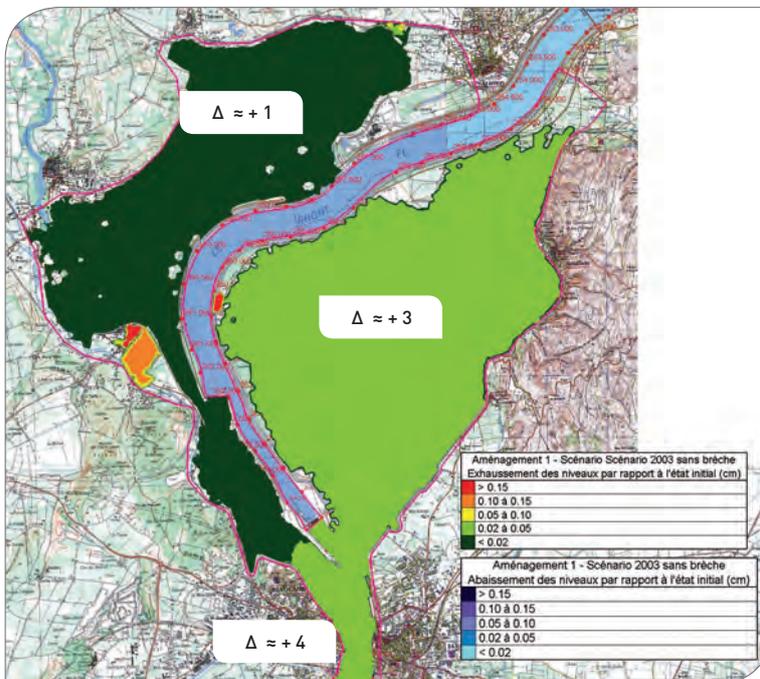
- Pour la Q_{50} , l'impact quasiment nul est dû à l'empiètement dans le ségonnal de la digue à l'ouest de la voie ferrée entre Tarascon et Arles,
- Pour la Q_{100} , l'impact légèrement notable en traversée de Beaucaire/Tarascon est dû à l'empiètement de la digue précitée et à l'annulation des déversements au droit de la digue des italiens en rive droite,

- Pour la Q_{250} et Q_{1000} , l'impact notable et croissant entre la Q_{250} et Q_{1000} , en amont est dû aux ouvrages précités et à l'annulation des déversements au droit du SIP. L'impact positif en aval est dû au calage des ouvrages résistants à la surverse entre Beaucaire et Arles.

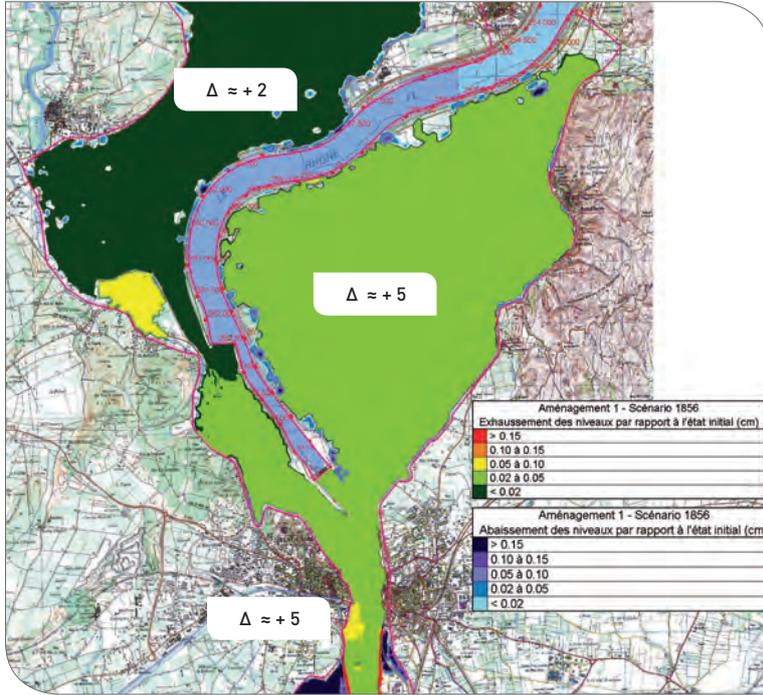
En amont la cartographie des impacts est la suivante :



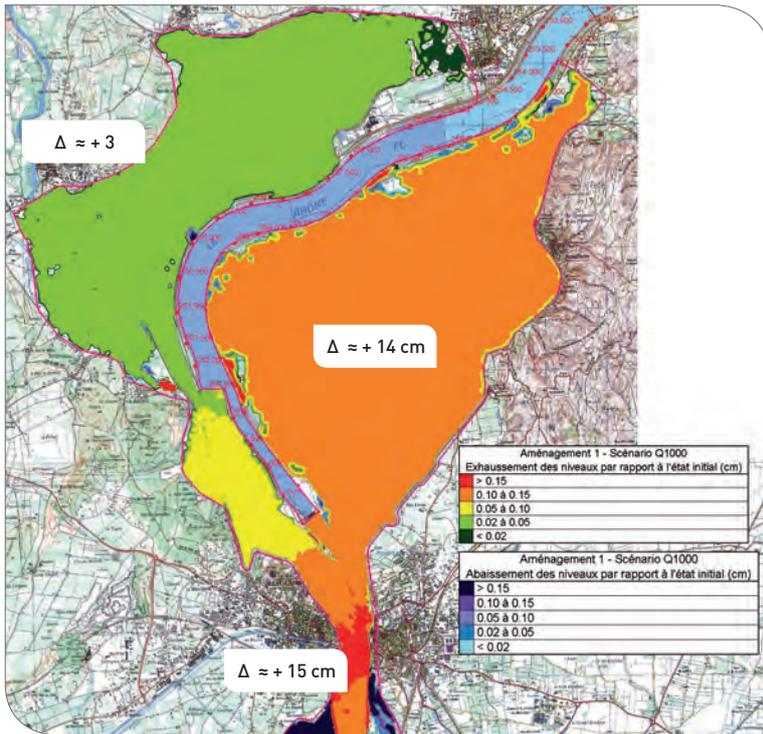
Impact en amont des travaux prévus entre Beaucaire et Arles (crue 10500) (CNR [R 16])



Impact en amont des travaux prévus entre Beaucaire et Arles (crue 11500) (CNR [R 16])



Impact en amont des travaux prévus entre Beaucaire et Arles (crue 12500) (CNR [R 16])



Impact en amont des travaux prévus entre Beaucaire et Arles (crue 14160) (CNR [R 16])

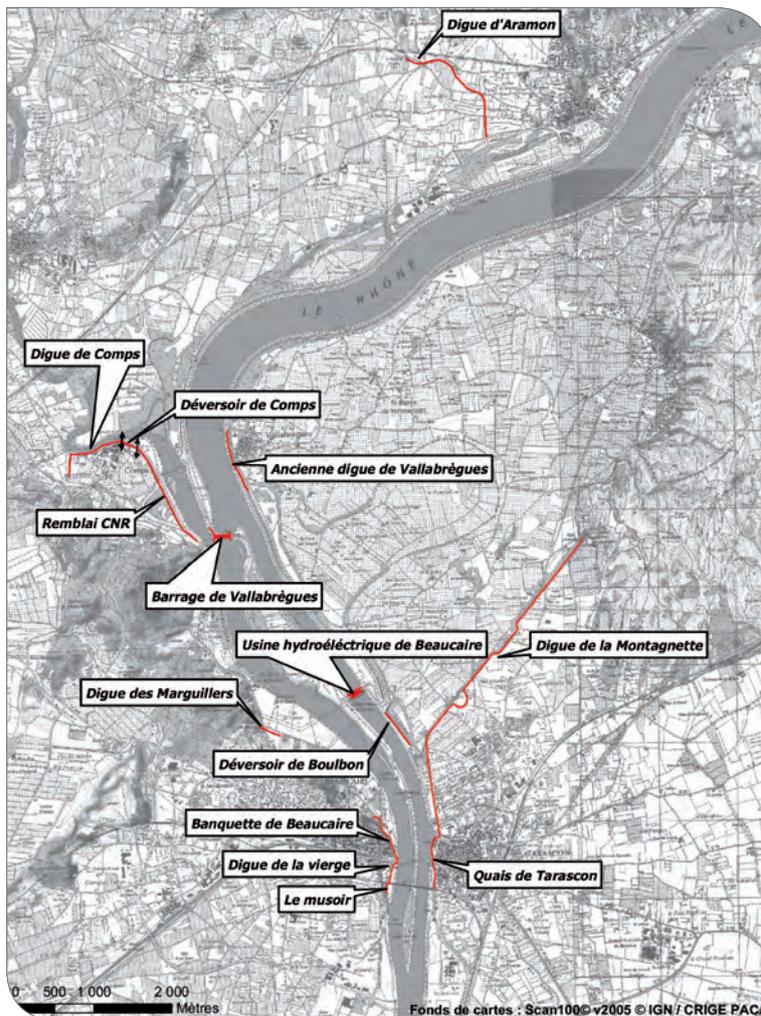
→ 10.7. ANALYSE DES INCIDENCES LIÉES À L'EXHAUSSEMENT DES LIGNES D'EAU EN AMONT DE BEUCAIRE/TARASCON

Les incidences liées à l'exhaussement des lignes d'eau en amont de Beaucaire/Tarascon concernent :

- Le fonctionnement des ouvrages hydrauliques concédés à la CNR,
- Les conditions d'inondabilité des espaces habités dans les plaines d'Aramon et de Boulbon,
- Les situations de charges appliquées aux ouvrages de protection contre les crues du Rhône.

10.7.1. RECENSEMENT DES PRINCIPAUX ENJEUX

La figure ci-après illustre les principaux enjeux situés en amont de Beaucaire/Tarascon.



Ouvrages hydrauliques et enjeux en amont de Beaucaire/Tarascon

La plaine d'Aramon est inondée par les débordements directs du Gardon ou par les inondations par remous du Rhône. Les principaux enjeux sont :

- Centre urbain d'Aramon (protégé par une digue rendue résistante à la surverse en 2003),
- Centre urbain de Comps (protégé par une digue communale et un déversoir concédé à la CNR rendu résistant à la surverse en 2005),
- Quartiers bas de Théziers (pas de protection particulière/inondation plaine),
- Quartiers bas de Montfrin (pas de protection particulière/inondation plaine),
- Habitats diffus dans la plaine d'Aramon/Montfrin (pas de protection particulière).

La plaine de Boulbon est inondée par remous du Rhône à partir des débordements sur le déversoir de Boulbon (inondation par remous du Rhône). Les principaux enjeux sont :

- Centre urbain de Vallabrègues,
- Centre urbain de Boulbon,
- Centre urbain de Saint Pierre de Mézoargues,
- Habitats diffus dans la plaine de Boulbon/Tarascon.

Les ouvrages concédés par l'État à la CNR sont :

- Barrage de Vallabrègues (Vieux Rhône),
- Usine Hydro-électrique de Beaucaire (Rhône dérivé).

En traversée de Beaucaire/Tarascon, les principaux enjeux sont :

- Centre urbain de Beaucaire (protégé par la digue de la banquette et digue de la vierge et plus en aval : la digue du musoir, la digue d'embouquement de l'écluse de Beaucaire, la digue des Italiens, le SIP de Beaucaire et la digue de Beaucaire/Fourques),
- Centre urbain de Tarascon (protégé par la digue CNR, le déversoir de Boulbon, la digue de la Montagnette, les quais de Tarascon et plus en aval, le SIP de Tarascon, rideau de palplanches Tembec, le remblai RFF),
- Quartier des Marguilliers (protégé par digue des Marguilliers).

10.7.2. INCIDENCES D'UN EXHAUSSEMENT DE LIGNE D'EAU SUR LE FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DES OUVRAGES CONCÉDÉS À LA CNR

Les contraintes ont été identifiées en collaboration avec la CNR. Il en ressort que :

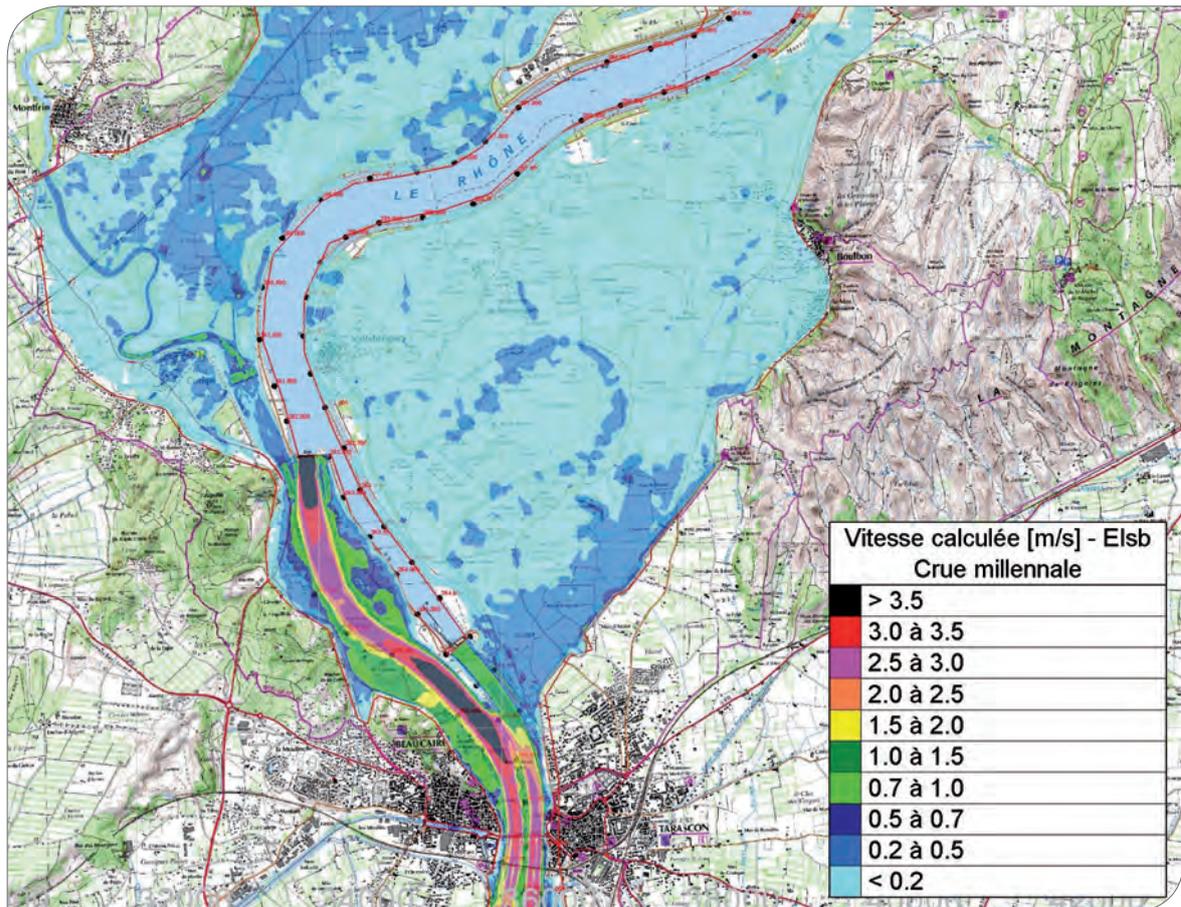
- Les contraintes hydrauliques en aval du barrage de Vallabrègues sont fortes (tout exhaussement de la ligne d'eau pour une crue exceptionnelle impliquerait de regarder les incidences en amont du barrage),
- Les contraintes hydrauliques en aval de l'usine hydro-électrique de Beaucaire sont faibles, compte tenu de ce que les aménagements hydrauliques de la CNR ont été dimensionnés pour la crue exceptionnelle en prenant en compte l'absence de transit dans l'usine.

10.7.3. INCIDENCE D'UN EXHAUSSEMENT DE LIGNE D'EAU SUR L'INONDABILITÉ DE SECTEURS À ENJEUX

Les zones à enjeux concernées par l'exhaussement de la ligne d'eau sont :

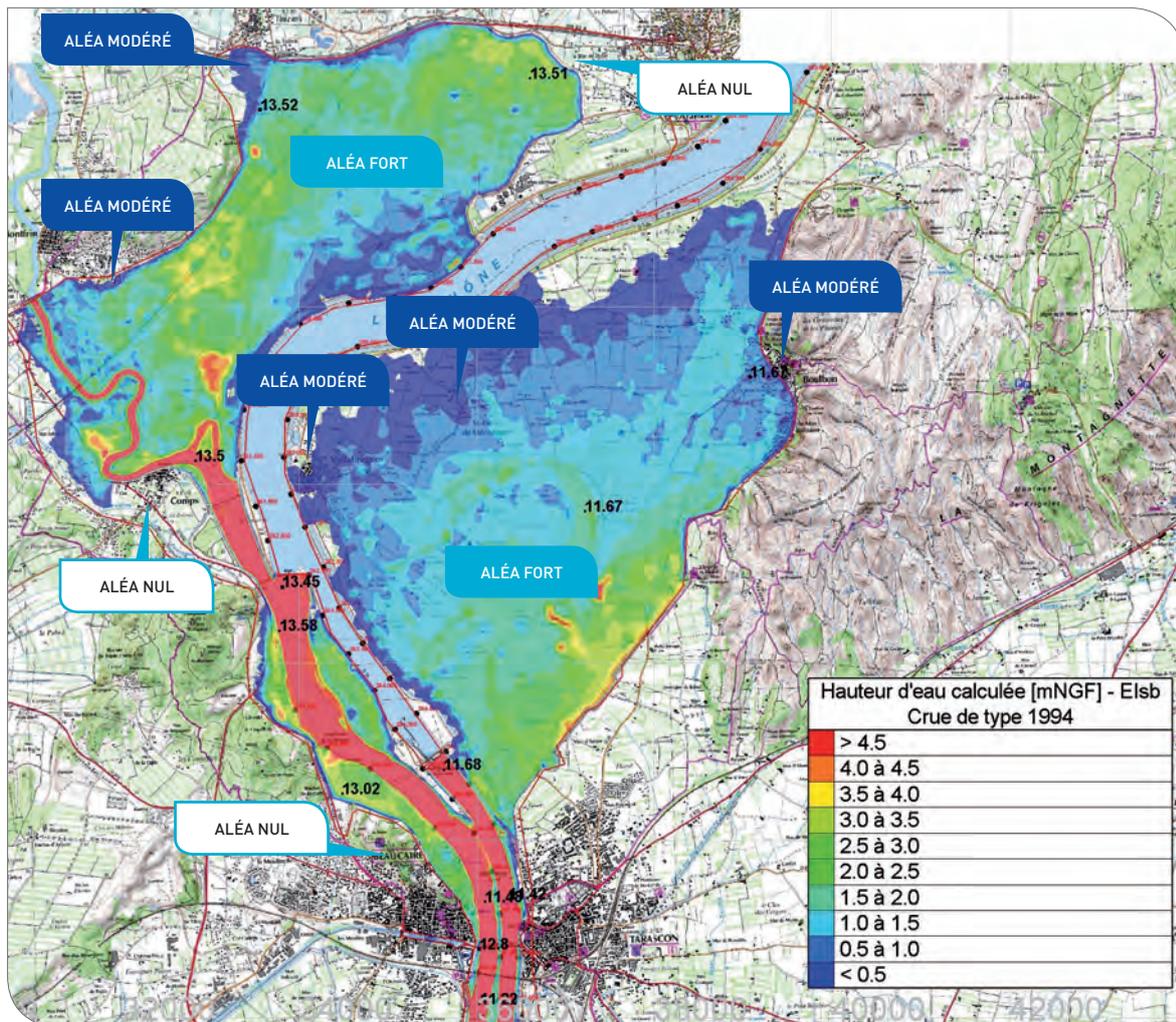
- Centre urbain de Vallabrègues,
- Centre urbain de Boulbon,
- Centre urbain de Saint Pierre de Mézoargues,
- Habitats diffus dans la plaine de Boulbon/Tarascon,
- Quartier des Marguilliers,
- Centre urbain d'Aramon,
- Centre urbain de Comps,
- Quartiers bas de Théziers,
- Quartiers bas de Montfrin,
- Habitats diffus dans la plaine d'Aramon/Montfrin.

Pour l'ensemble des crues étudiées, les vitesses dans les plaines respectivement d'Aramon et de Boulbon sont inférieures à 0,5 m/s, voire dans la majeure partie des cas, inférieures à 0,2 m/s. C'est donc la hauteur d'eau dans ces secteurs qui est le paramètre déterminant le risque au sens de la doctrine Rhône en matière de PPRI.



Vitesse des écoulements en Q_{1000} état initial (source CNR [R 16])

La figure ci-dessous illustre pour les 4 crues étudiées supérieures ou égales à 10500 m³/s, les hauteurs d'eau dans la plaine de Boulbon et plaine d'Aramon et la qualification de l'aléa suivant la doctrine Rhône en matière de PPRI.

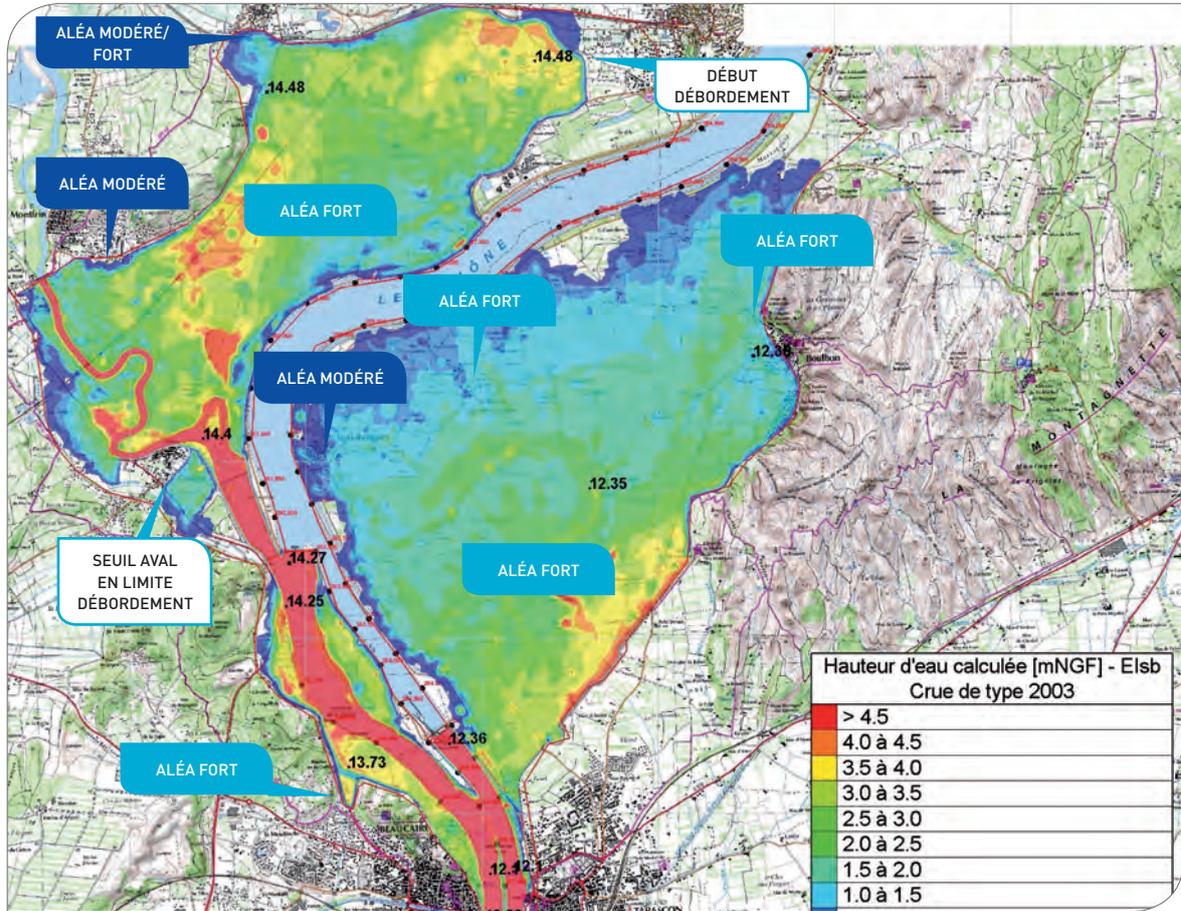


Aléa plaines de Boulbon et d'Aramon et quartier des Marguilliers – crue à 10500 m³/s (janvier 1994) – T= 50 ans (source CNR [R 16])

Pour la crue 10500 :

- Les centres urbains de Comps, d'Aramon et des Marguilliers sont en aléa nul,
- Les centres urbains de Vallabrègues, de Boulbon, et de Saint Pierre de Mézoargues, ainsi que les quartiers bas de Théziers et Montfrin sont en aléa modéré,
- Les habitats diffus dans les plaines respectives de Boulbon/Tarascon et d'Aramon/Montfrin sont en aléa fort.

Compte tenu de la qualification de l'aléa dans les zones à enjeux pour ce type de crue, tout exhaussement de ligne d'eau peut avoir des incidences fortes sur le risque (passage de zones en aléa modéré en zones en aléa fort).

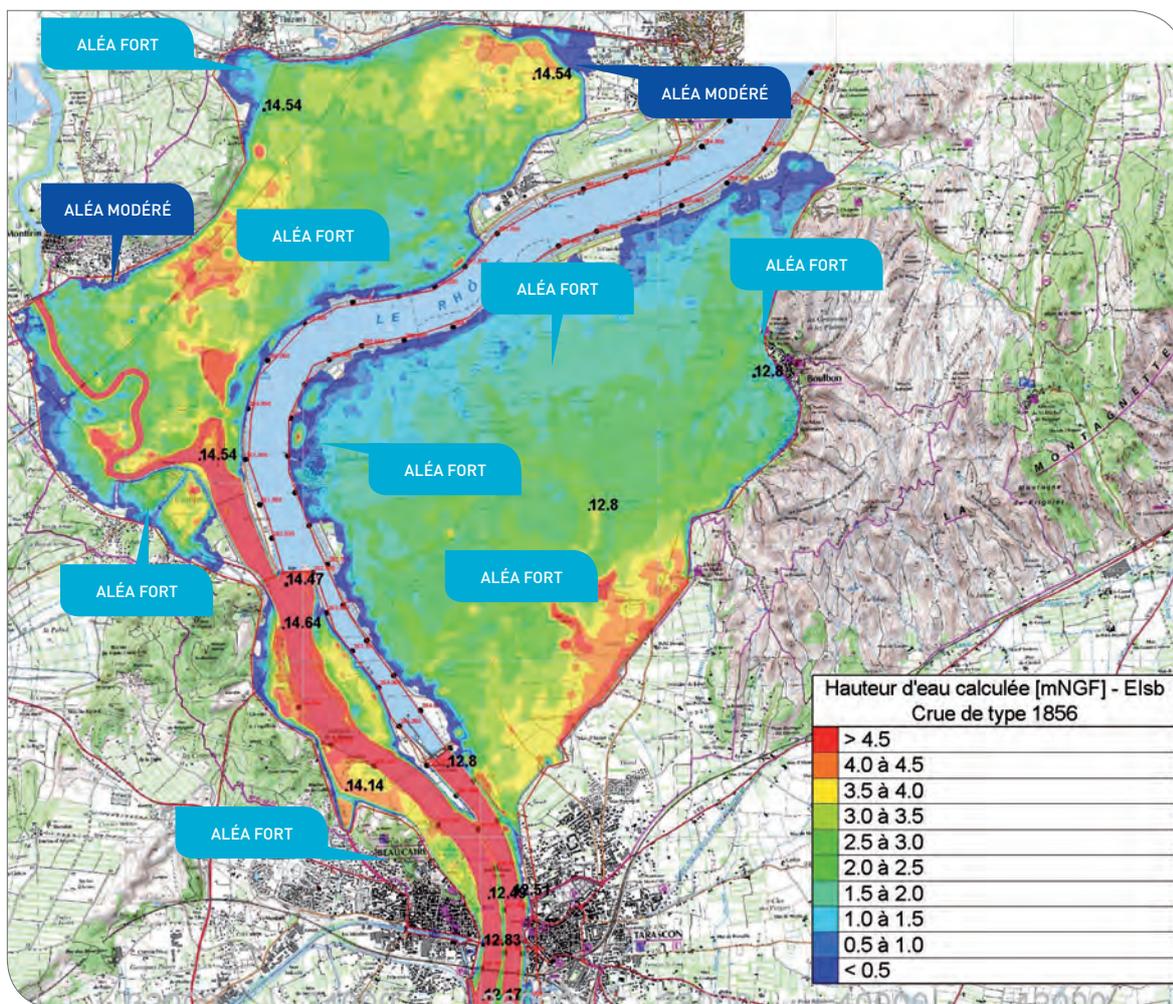


Aléa plaines de Boulbon et d'Aramon et quartier des Marguilliers – crue à 11500 m³/s (décembre 2003) – T= 100 ans (source CNR [R 16])

Pour la crue type décembre 2003 :

- Les centres urbains de Comps, d'Aramon sont en limite d'inondation par le Rhône,
- Les centres urbains de Boulbon, de Saint Pierre de Mézoargues et le quartier des marguilliers sont en aléa fort,
- Le centre urbain de Vallabrègues ainsi que les quartiers bas de Théziers et Montfrin sont en aléa modéré,
- Les habitats diffus dans les plaines respectives de Boulbon/Tarascon et d'Aramon/Montfrin sont en aléa fort.

Compte tenu de la qualification de l'aléa dans les zones à enjeux, tout exhaussement de ligne d'eau peut avoir des incidences fortes en matière de risque qu'on soit dans la plaine d'Aramon ou dans la plaine de Boulbon.



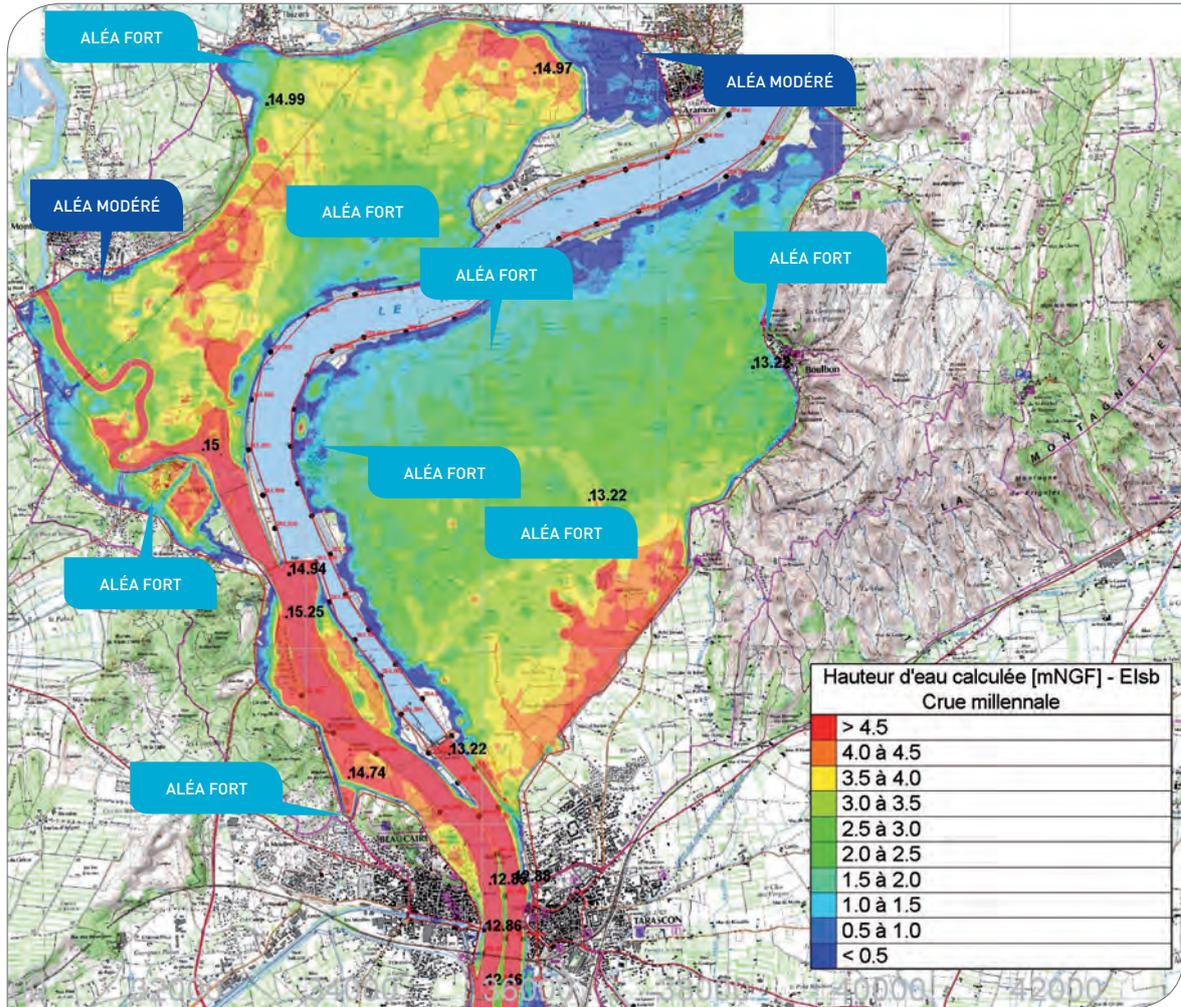
Aléa plaines de Boulbon et d'Aramon et quartier des Marguilliers – crue à 12500 m³/s (mai 1856) – T= 250 ans (source CNR [R 16])

Pour la crue type mai 1856 :

- Le centre urbain d'Aramon et les quartiers bas de Montfrin sont en aléa modéré,
- Les centres urbains de Boulbon, de Saint Pierre de Mézoargues, Vallabrègues, de Comps, les quartiers bas de Théziers et le quartier des marguilliers sont en aléa fort,
- Les habitats diffus dans les plaines respectives de Boulbon/Tarascon et d'Aramon/Montfrin sont en aléa fort.

Compte tenu de la qualification de l'aléa dans les zones à enjeux, tout exhaussement de ligne d'eau peut avoir des incidences fortes en matière de risque sur Aramon et les quartiers bas de Théziers. Dans le reste de la plaine d'Aramon, les incidences sur le risque sont faibles.

Dans la plaine de Boulbon, à l'exception du centre-ville de Vallabrègues, toute la plaine est en aléa fort. Tout exhaussement de ligne d'eau pour cette occurrence de crue a peu d'incidence en termes de risque.



Aléa plaines de Boulbon et d'Aramon et quartier des Marguilliers – crue à 14160 m³/s (exceptionnelle) – T= 1000 ans (source CNR [R 16])

Pour la crue exceptionnelle :

- toute la plaine de Boulbon est en aléa fort,
- le centre urbain d'Aramon et les quartiers bas de Théziers demeurent en aléa modéré.

Les incidences d'un exhaussement de ligne d'eau demeurent fortes pour la plaine d'Aramon mais sont faibles pour la plaine de Boulbon.

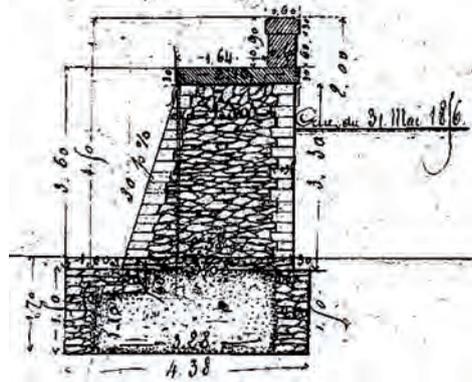
10.7.4. INCIDENCES D'UN EXHAUSSEMENT DE LIGNE D'EAU SUR LES OUVRAGES DE PROTECTION

Les ouvrages de protection concernés par l'exhaussement de la ligne d'eau sont :

- Digue de la montagnette (Tarascon),
- Quais de Tarascon (Tarascon),
- Digue de la banquette (Beucaire),
- Digue de la Vierge (Beucaire),
- Digue des Marguilliers (Beucaire),
- Digue d'Aramon (Aramon),
- Digue et déversoir de Comps (Comps).

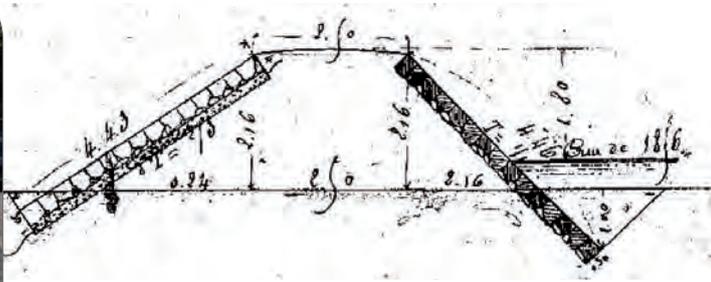
Les 4 premiers ouvrages cités ont été historiquement calés très haut. Il n'est pas prévu de rehausser ces ouvrages dans le programme de sécurisation.

La digue de la banquette a été calée 2,0 mètre au-dessus du niveau observé lors de la crue de mai 1856.



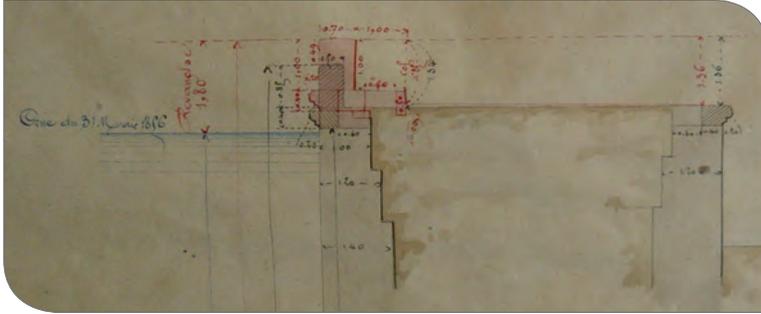
Digue de la banquette à Beaucaire (source Archives départementales du Vaucluse)

La digue de la vierge a été calée 1,80 mètre au-dessus du niveau observé lors de la crue de mai 1856.



Digue de la Vierge à Beaucaire (source Archives départementales du Vaucluse)

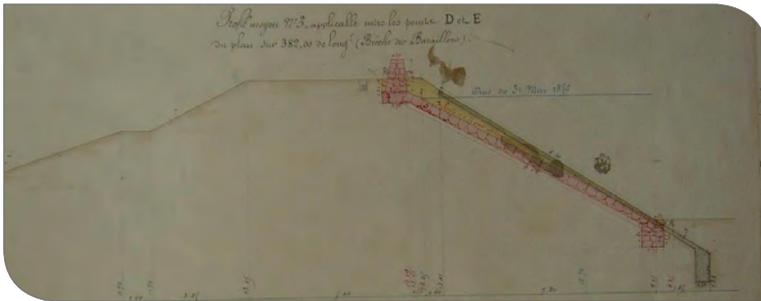
Les quais de Tarascon ont été historiquement calés 2,0 mètre au-dessus du niveau observé lors de la crue de mai 1856.



Quais à Tarascon (source Archives départementales du Vaucluse)



La digue de la montagnette a été confortée et rehaussée suite à la crue de 1840, calée 1,50 mètre au-dessus de la crue observé lors de la crue de novembre 1843. Suite à la crue de mai 1856, elle a fait l'objet de plusieurs projets de rehausse, qui ont été concrétisés par l'aménagement d'un parapet d'une hauteur de 0,60 m en 1872.



Digue de la montagnette à Tarascon (source Archives départementales du Vaucluse)



Les revanches de sécurité pour la crue exceptionnelle sont :

OUVRAGES HYDRAULIQUES	REVANCHE DE SÉCURITÉ POUR LA CRUE EXCEPTIONNELLE DU RHÔNE ÉTAT INITIAL	
	MOYENNE	MINIMALE
Digue de la banquette (Beaucaire)	1,0 mètre	0,3 mètre (parapet démol) 0,65 mètre (après traitement parapet)
Digue de la vierge (Beaucaire)	0,80 mètre	0,65 mètre
Digue de la Montagnette (Tarascon)	0,37 mètre	0,23 mètre (point bas parapet RD81a)
Quais (Tarascon)	1,05 mètre	0,15 mètre (ancienne pile de pont) 0,88 mètre (après traitement pile)

Revanche pour la crue exceptionnelle au droit des digues de Beaucaire et Tarascon

Ces ouvrages moyennant traitement localisé des points bas et rehaussement du parapet sur 100/200 mètres le long du RD81a, peuvent tolérer des exhaussements de la ligne d'eau de 15 cm, d'autant plus qu'ils seront confortés dans le cadre du Plan Rhône préalablement aux aménagements prévus entre Beaucaire et Arles et que les hypothèses retenues pour le dimensionnement des travaux seront les niveaux d'eau atteints par la crue exceptionnelle (crue de sûreté) après aménagements, soit en tenant compte de ces exhaussements de lignes d'eau.

Ce qui nous permet de conclure que les exhaussements de la ligne d'eau au droit de ces ouvrages de protection n'auront pas d'incidence sur les niveaux de sûreté.

En ce qui concerne la digue des Marguilliers et la digue de Comps, la cote du déversoir de sécurité est calée, soit en dessous du niveau d'eau atteint par une crue type décembre 2003, soit juste au-dessus. Au-delà des crues de protection de ces ouvrages, les zones protégées sont rapidement inondées avec des hauteurs d'eau supérieures à 4 m avec un équilibre des niveaux entre l'amont et l'aval, **ce qui nous permet de conclure en l'absence d'impact de cet exhaussement de la ligne d'eau sur la sécurité de ces ouvrages.**

En ce qui concerne la digue d'Aramon, la cote de la digue est calée juste en-dessous du niveau d'eau atteint par une crue type décembre 2003. Au-delà de cette crue, le village d'Aramon est lentement inondé. Un matelas d'eau est constitué en pied aval de la digue. L'exhaussement de la ligne d'eau a des incidences sur la qualification du risque mais aucune incidence sur la sécurité de l'ouvrage n'est perceptible.

→ 10.8. DÉTERMINATION ET JUSTIFICATION DES MESURES D'ANNULATION ET RÉDUCTION D'IMPACT HYDRAULIQUE

À partir de cette analyse, trois objectifs d'annulation et réduction de l'impact hydraulique ont été définis :

Objectif n°1 : annuler les impacts correspondant aux crues problématiques sur les secteurs à contraintes hydrauliques fortes, soit :

- Annuler les impacts hydrauliques en aval du barrage jusqu'à la crue exceptionnelle,
- Annuler tous les impacts jusqu'à la crue type décembre 2003 pour la plaine de Boulbon,
- Annuler tous les impacts jusqu'à la crue exceptionnelle pour la plaine d'Aramon,
- Conserver, moyennant traitement des points bas, une revanche de 40/50 cm pour la crue exceptionnelle en traversée de Beaucaire/Tarascon,
- Annuler pour le quartier des Marguilliers les impacts jusqu'à la crue de type décembre 2003 sans brèche.

Objectif n°2 : annuler tous les impacts jusqu'à la crue de référence sur tous les secteurs.

Objectif n°3 : annuler tous les impacts jusqu'à la crue exceptionnelle sur tous les secteurs.

Un autre objectif a également été de tendre dans la mesure du possible vers une harmonisation des cotes de protection des digues résistantes à la surverse de Vallabrègues à Arles.

Les moyens utilisés pour la détermination de ces mesures ont été les suivants :

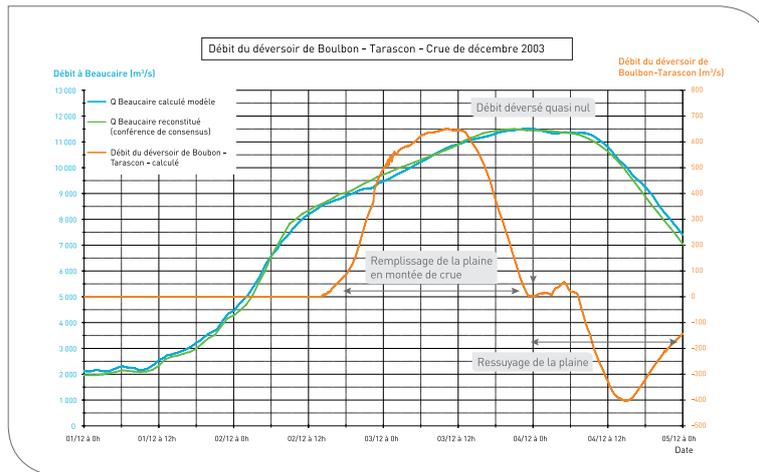
- Opérations du programme d'optimisation des Zones d'Expansions de Crues (ZEC) identifiées dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval entre le Barrage de Vallabrègues et Beaucaire/Tarascon,
- Élargissement de lit (recalibrage),
- Dragage du fond du lit.

Ces mesures hydrauliques une fois déterminées ont fait l'objet d'une analyse multicritères en prenant particulièrement en compte les enjeux environnementaux.

10.8.1. OPÉRATION DU PROGRAMME D'OPTIMISATION DES ZEC

L'inondation par le Rhône de la plaine de Boulbon est commandée par le déversoir de Boulbon, calé à la cote de 10,45 NGF. Le débit de mise en eau de cette ZEC a été estimé dans [R 16] à environ 8 500 m³/s à Beaucaire, ce qui est relativement tôt et correspond à un débit légèrement supérieur à la crue décennale.

La figure ci-après présente de manière synthétique le fonctionnement hydraulique de la plaine de Boulbon en décembre 2003.



Cinétique de remplissage de la plaine de Boulbon en décembre 2003 (source CNR [R 16])

La plaine commence à s'inonder à partir du 2 décembre 2003 à 15 h pour un débit à la station de Tarascon de 8700 m³/s. le débit maximum déversé est de 650 m³/s. À la pointe de crue (3 décembre 2003 à 21 h), le débit déversé vers la plaine de Boulbon est quasiment nul.

En retardant la mise en eau de cette ZEC, le débit à Tarascon est susceptible d'être réduit pour des crues importantes ; en contrepartie, les crues plus faibles (mais plus fréquentes) seront moins bien écrêtées et les niveaux seront alors globalement rehaussés.

La capacité d'écrêtement a été évaluée par la CNR_{ingénierie} de 33 millions de m³ (scénario 10 500) à 70 millions de m³ (scénario Q₁₀₀₀).

L'impact des rehausses successives de ce déversoir (10,85, 10,95, 11.25, 11.50 et 12.00 m NGF), a été évalué pour les 4 scénarios de crue sur :

- Les niveaux calculés dans le lit endigué,
- L'hydrogramme de déversement vers la ZEC de Boulbon + l'hydrogramme résultant à Beaucaire,
- Les volumes déversés en rives gauche et droite par les tronçons résistants à la surverse sur Beaucaire-Fourques/Tarascon-Arles.

Les résultats figurent dans le tableau suivant. De ces différents tests, il en ressort qu'au fur et à mesure de la hausse du déversoir de Boulbon, les exhaussements en amont sont réduits pour les trois crues les plus fortes (11 500, 12 500 et 14 160 m³/s). À l'inverse, les exhaussements sont augmentés pour la crue la plus faible (10 500 m³/s), qui est également la plus fréquente.

	SCÉNARIO	PL. ARAMON	AVAL BARRAGE	PL. BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE	BEAUCAIRE/ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
aménagement 1	10500	0	0	+ 0 à 2	+ 0 à 2	0	0	0	0	0
	11500	+ 0 à 2	+ 0 à 2	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 0 à 2	0	0	+ 0 à 2	0
	12500	+ 0 à 2	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 2 à 5	- 5 à 10	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 2 à 5
	14160	+ 2 à 5	+ 5 à 10	+ 10 à 15	sup à 15	- 5 à 10	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 5 à 10
aménagement 7	10500	+ 0 à 2	+ 0 à 2	- 10 à 15	0	- 0 à 2	- 0 à 2	- 0 à 2	- 0 à 2	- 0 à 2
	11500	0	0	+ 0 à 2	+ 0 à 2	0	0	0	0	0
	12500	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 2 à 5	- 5 à 10	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 2 à 5
	14160	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 10 à 15	sup à 15	- 5 à 10	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 5 à 10
aménagement 8 10.95 NGF	10500	+ 0 à 2	+ 0 à 2	- 10 à 15	0	- 0 à 2	- 0 à 2	- 0 à 2	- 0 à 2	- 0 à 2
	11500	0	0	+ 0 à 2	+ 0 à 2	0	0	0	0	0
	12500	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 2 à 5
	14160	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 10 à 15	sup à 15	- 5 à 10	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 5 à 10
aménagement 8.4 11.25 NGF	10500	+ 2 à 5	+ 2 à 5	- 50 à 100	+ 5 à 10	+ 5 à 10	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 2 à 5
	11500	- 0 à 2	- 2 à 5	- 0 à 2	- 2 à 5	- 2 à 5	- 2 à 5	- 2 à 5	- 2 à 5	- 2 à 5
	12500	+ 0 à 2	+ 0 à 2	+ 2 à 5	+ 2 à 5	- 5 à 10	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 2 à 5
	14160	+ 5 à 10	+ 2 à 5	+ 10 à 15	sup à 15	- 5 à 10	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 5 à 10
aménagement 8.2 11.50 NGF	10500	+ 5 à 10	+ 5 à 10	- 50 à 100	+ 10 à 15	+ 10 à 15	+ 5 à 10	+ 5 à 10	+ 10 à 15	+ 5 à 10
	11500	- 2 à 5	- 2 à 5	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10
	12500	0	0	+ 0 à 2	+ 2 à 5	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10
	14160	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 10 à 15	sup à 15	- 5 à 10	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 5 à 10
aménagement 8.3 12.00 NGF	10500	+ 10 à 15	+ 10 à 15	- 50 à 100	sup à 20	sup à 15	sup à 15	+ 10 à 15	sup à 15	+ 10 à 15
	11500	0	+ 2 à 5	inf à 100	+ 5 à 10	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 0 à 2	+ 2 à 5	+ 0 à 2
	12500	- 0 à 2	- 2 à 5	- 10 à 15	- 5 à 10	- 10 à 15	- 10 à 15	- 5 à 10	- 10 à 15	- 5 à 10
	14160	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 5 à 10	+ 10 à 15	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10

Impact hydraulique par tronçons hydrauliques homogènes de différents scénarios de hausse du déversoir de Boulbon (source CNR [R 16])

Considérant que l'objectif de cette mesure est d'abaisser les niveaux en amont par rapport au calage des aménagements entre Beaucaire et Arles, sans aggraver la situation sur le Petit Rhône pour une crue de type cinquantennal (scénario 10500), qui est la crue de submersion on déduit la synthèse suivante :

REHAUSSE DU DÉVERSOIR DE BOULBON	IMPACT AMONT DE BEAUCAIRE	IMPACT PETIT RHÔNE
+ 40 cm/50 cm	Abaisse ou n'aggrave pas les niveaux pour la crue Q_{50} et Q_{100} Sans effet sur Q_{250} et Q_{1000}	Abaisse ou n'aggrave pas les niveaux pour Q_{50} et Q_{100} Sans effet sur Q_{250} et Q_{1000}
+ 80 cm	Augmente les niveaux pour Q_{50} Abaisse les niveaux pour Q_{100} Sans effet sur Q_{250} et Q_{1000}	Augmente les niveaux pour Q_{50} Abaisse les niveaux pour Q_{100} Sans effet sur Q_{250} et Q_{1000}
+ 105 cm	Augmente les niveaux pour Q_{50} Abaisse les niveaux pour Q_{100} Abaisse légèrement les niveaux pour Q_{250} Sans effet Q_{1000}	Augmente les niveaux pour Q_{50} Abaisse les niveaux pour Q_{100} Sans effet sur Q_{250} et Q_{1000}
+ 155 cm	Augmente les niveaux pour Q_{50} Augmente les niveaux pour Q_{100} Abaisse les niveaux pour Q_{250} Abaisse légèrement les niveaux pour Q_{1000}	Augmente les niveaux pour Q_{50} Augmente les niveaux pour Q_{100} Abaisse les niveaux pour Q_{250} Abaisse les niveaux pour Q_{1000}

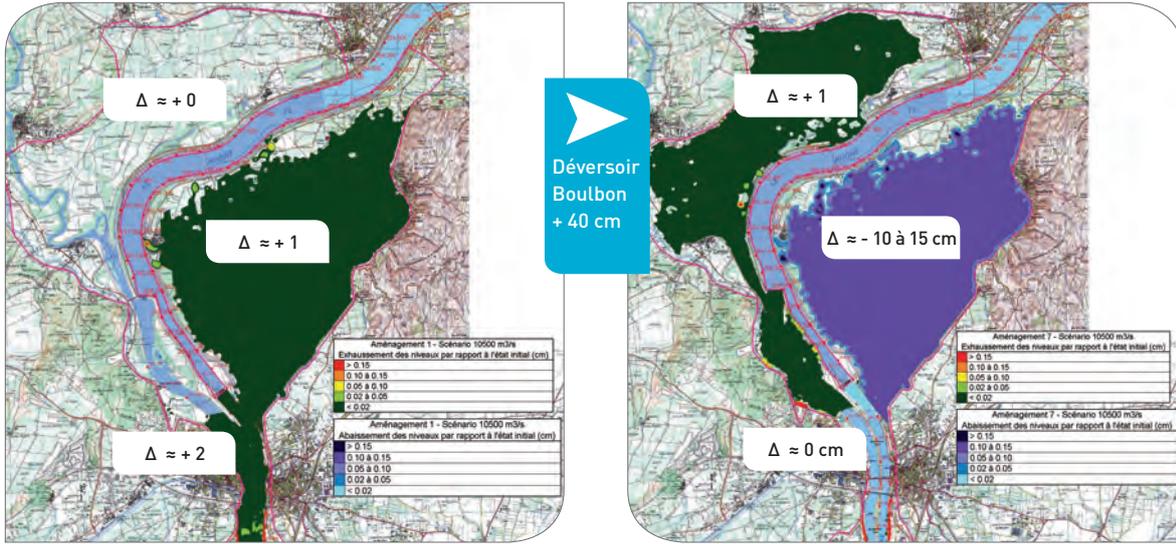
Augmentation/abaissement des lignes d'eau en fonction de la rehausse du déversoir de Boulbon

Le seul scénario qui n'aggrave pas la situation en aval pour une Q_{50} est le scénario correspondant à une rehausse de 40/50 cm du déversoir de Boulbon. Par précaution par rapport à l'aval (imprécision des calculs) et en conformité avec le programme d'optimisation des ZEC entre Viviers et Beaucaire, une rehausse de 40 cm du déversoir de Boulbon a été retenue.

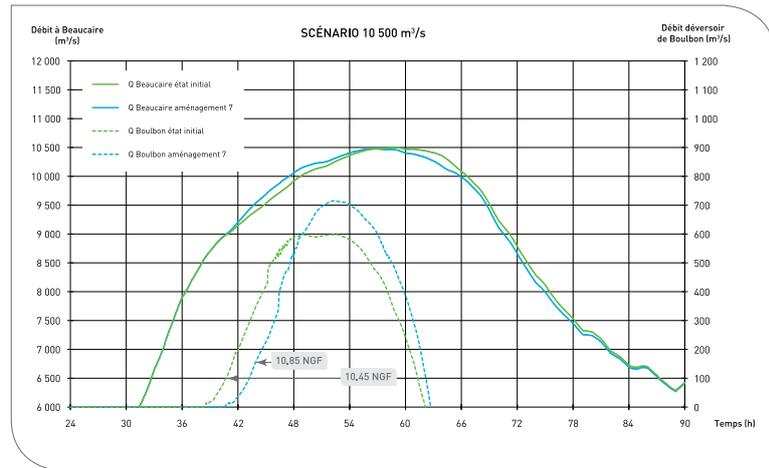
Cette mesure permet d'annuler dans la plaine de Boulbon, pour la crue cinquantennale et la crue centennale, l'impact lié à l'empiètement dans le ségonnal de la digue à l'ouest du remblai RFF et l'impact lié à l'absence de déversement au droit de la digue des italiens pour la crue centennale.

Compte tenu de ce que cette mesure n'a pas d'impact en amont du barrage de Vallabrègues, elle peut être réalisée indépendamment du programme d'optimisation des ZEC de Viviers à Beaucaire.

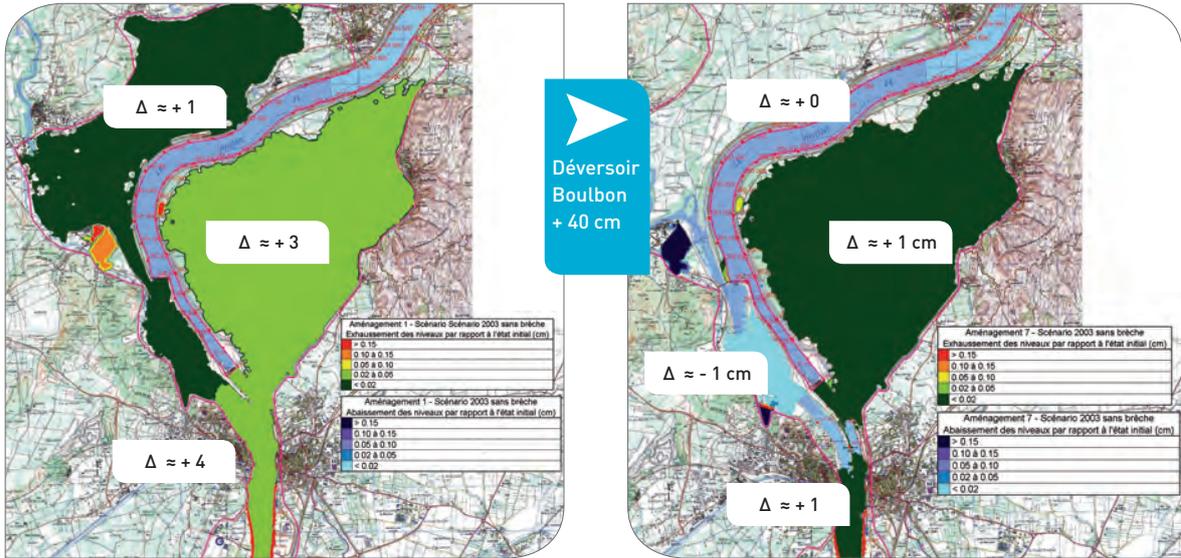
Le gain apporté par cette mesure est illustré dans les figures suivantes :



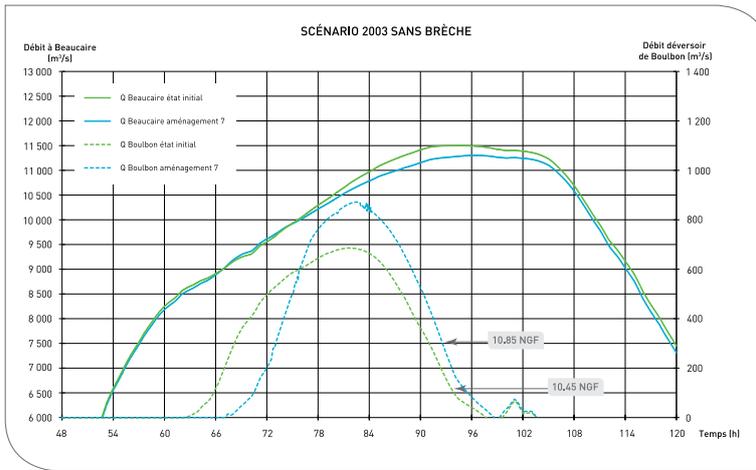
Impact de la rehausse de 40 cm du déversoir de Boulbon sur les niveaux d'eau atteint par une crue à 10 500 m³/s à Tarascon (source CNR [R 16])



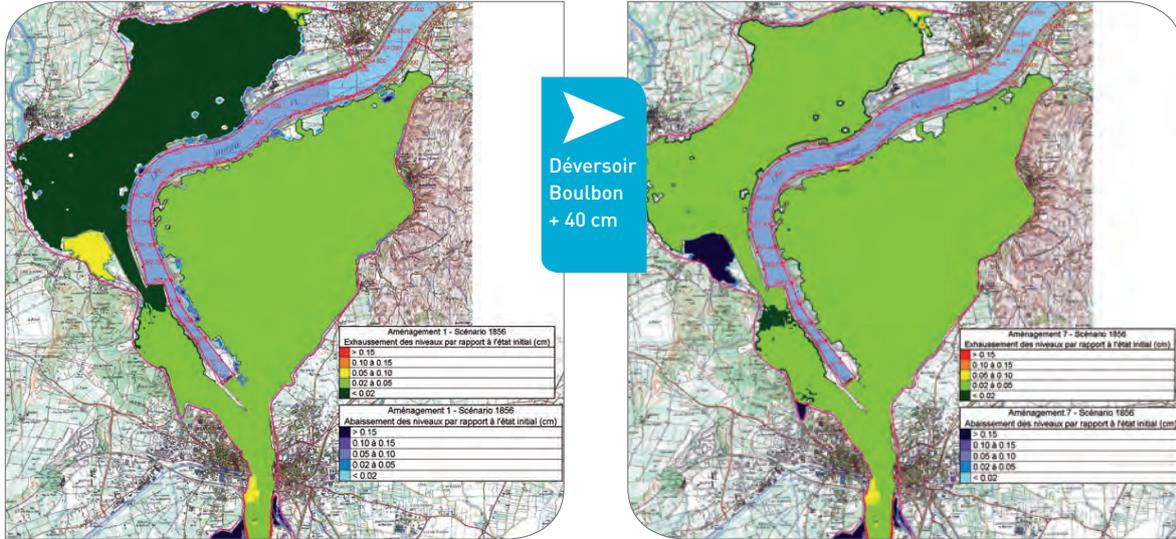
Impact de la rehausse de 40 cm du déversoir de Boulbon sur l'hydrogramme d'une crue à 10 500 m³/s à Tarascon (source CNR [R 16])



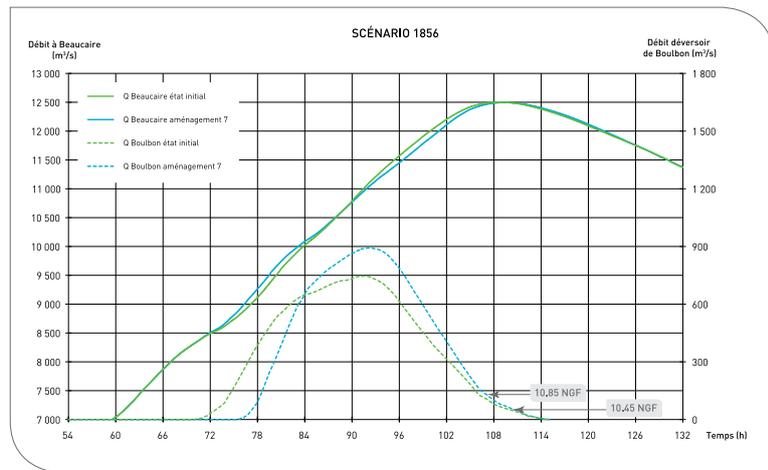
Impact de la rehausse de 40 cm du déversoir de Boulbon sur les niveaux d'eau atteint par une crue à 11 500 m³/s à Tarascon (source CNR [R16])



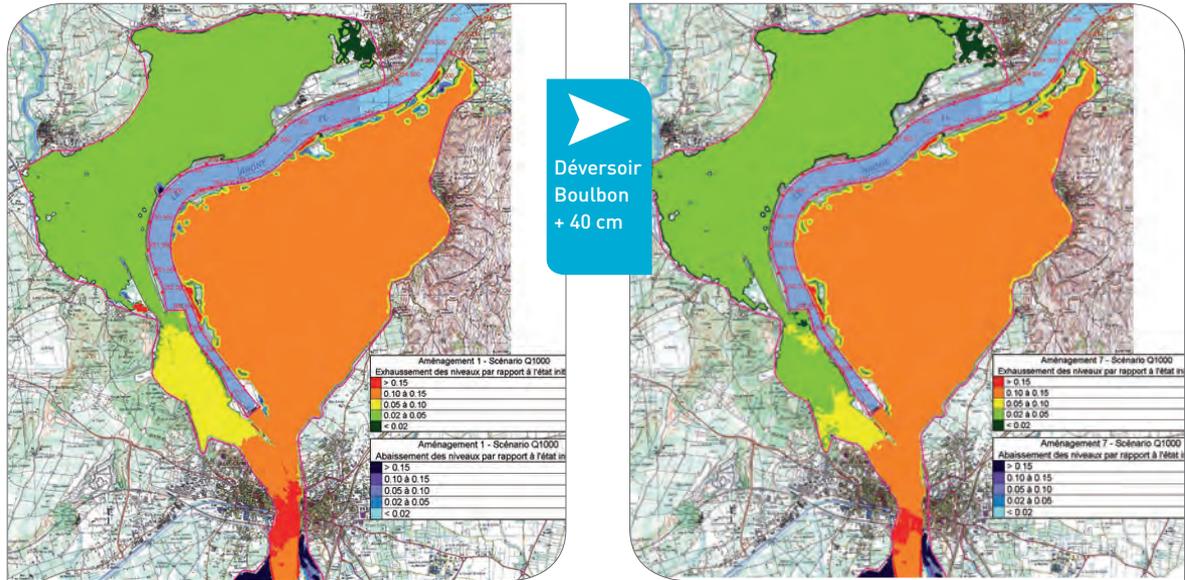
Impact de la rehausse de 40 cm du déversoir de Boulbon sur l'hydrogramme d'une crue à 11 500 m³/s à Tarascon (source CNR [R16])



Impact de la rehausse de 40 cm du déversoir de Boulbon sur les niveaux d'eau atteint par une crue à 12 500 m³/s à Tarascon (source CNR [R 16])



Impact de la rehausse de 40 cm du déversoir de Boulbon sur l'hydrogramme d'une crue à 12 500 m³/s à Tarascon (source CNR [R 16])



Impact de la rehausse de 40 cm du déversoir de Boulbon sur les niveaux d'eau atteint par une crue à 14 160 m³/s à Tarascon (source CNR [R16])

Cette mesure permet d'atteindre sur la plaine de Boulbon les objectifs n°1, à savoir ne pas aggraver les conditions d'inondabilité dans la plaine de Boulbon jusqu'à la crue Q_{100} . En outre, la rehausse permet de diminuer la fréquence des inondations par le Rhône dans ce secteur et d'améliorer pour les crues comprises entre Q_{10} et Q_{100} les conditions d'inondabilité dans la plaine avec une réduction progressive de cet impact positif jusqu'à la Q_{100} .

En revanche, cette mesure n'a pas d'incidence sur le Vieux Rhône et notamment sur l'aval du Barrage de Vallabrègues.

10.8.2. RECHERCHE DE SITE DE DRAGAGE OU D'ÉLARGISSEMENT DE LIT

Des mesures complémentaires pour abaisser les niveaux pour les crues Q_{250} et Q_{1000} ont été recherchées. Elles consistent en le dragage du lit ou des élargissements (recalibrage) du lit.

On notera qu'en termes de faisabilité technique, l'ensemble de ces mesures dépend des analyses chimiques des matériaux (PCB, radionucléides...).

Des sites ont été recherchés par la CNR_{ingénierie}. Ils sont présentés ci-après :

Atterrissement au droit de l'usine TEMBEC :

Dans le secteur de Tembec, le Rhône présente un atterrissement important en rive gauche. Ce secteur a fait l'objet d'un déboisement massif après décembre 2003.



Atterrissement au droit de l'usine Tembec (source CNR [R16])

Les terrains font parties du Domaine Public Fluvial.

Un dragage massif de ce secteur a été modélisé : la surface de déblai est d'environ 90 000 m² sur une épaisseur moyenne d'environ 7 m, soit un volume exploitable d'environ 600 000 m³.

Ce dragage permet d'abaisser les niveaux en traversée de Beaucaire/Tarascon et dans la plaine de Boulbon de 4 à 6 cm pour la crue exceptionnelle.

Le gain hydraulique est inférieur à 2 cm en amont (aval barrage de Vallabrègues + plaine d'Aramon).

En ce qui concerne la faisabilité technique de cette mesure, on note que le pied de l'atterrissement est protégé par des enrochements et qu'un port relié à l'usine Tembec y est également implanté. La suppression de l'atterrissement nécessite d'importants travaux connexes, à savoir :

- Reprise de la protection de pied,
- Reprise des réseaux,
- Reprise des ouvrages portuaires.

En termes de pérennité dans le temps, il semblerait que la présence de cet atterrissement soit "artificiel" et lié à la présence de réseaux en travers du lit qui permettrait le dépôt de limon.

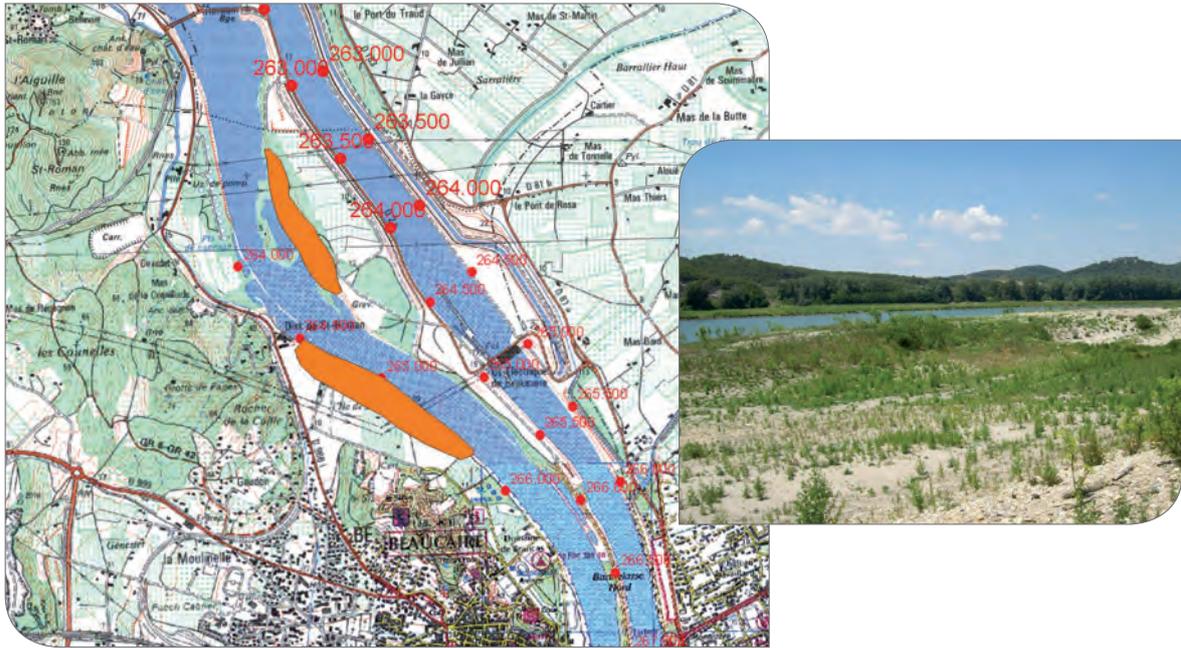
La suppression des éléments à l'origine de cet atterrissement (ancien épis, ouvrages portuaires, réseaux, prise d'eau) pourrait garantir la pérennité du dragage.

Sous réserve des résultats des analyses physico-chimique, les matériaux issus de ce dragage pourraient être réutilisés en matériaux de remblai de la digue à créer à l'ouest de la voie ferrée entre Tarascon et Arles.

Élargissement du Vieux Rhône en aval du barrage de Vallabrègues :

Deux possibilités ont été envisagées :

- L'élargissement de la rive gauche entre le PK 263,30 et PK 264,2,
- L'élargissement de la rive droite entre le PK 264,50 et 265,30.



Localisation des secteurs à recalibrer (source CNR [R 16])

En rive gauche, l'atterrissement a fait l'objet d'un déboisement massif après décembre 2003. L'atterrissement est constitué de, sable, limons et graviers. Les terrains font parties du Domaine Public Fluvial.

En rive droite, le secteur fait partie du domaine privé. On note la présence, à proximité de l'élargissement, d'un Mas : le domaine de Prémont.

En termes de faisabilité, l'élargissement du lit en rive gauche ne semble pas poser de problème de réalisation. Le secteur est largement anthropisé et les enjeux environnementaux (Natura 2000) sont faibles. Les matériaux ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques dans le cadre de l'opération de renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques et peuvent être valorisés lors de la réalisation des travaux de confortement des digues.

En rive droite, les travaux nécessiteront des déplacements de réseaux et des expropriations, Par ailleurs, des protections de berge seraient nécessaires vis-à-vis du Mas.

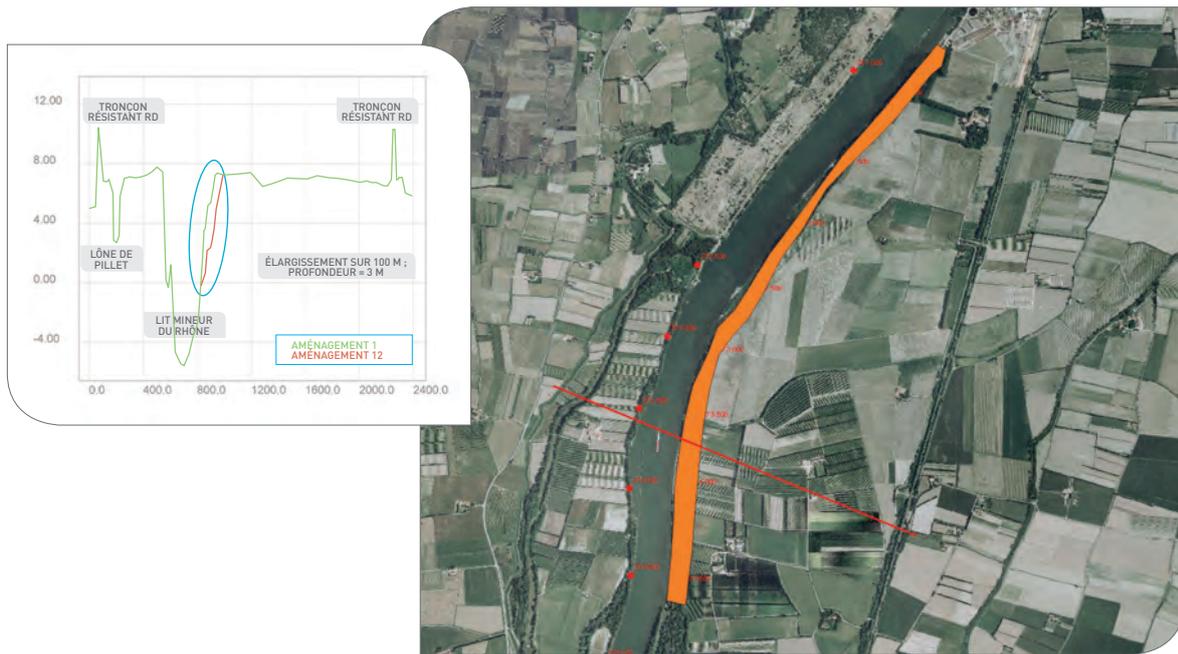
La pérennité de cette mesure ne semble pas poser de problèmes particuliers.

Élargissement massif du lit entre Beaucaire et Arles :

Les possibilités d'élargir le lit du Rhône entre Beaucaire et Arles ont également été étudiées.

Afin de gagner en efficacité hydraulique, l'élargissement doit se situer le plus en amont possible. Il semble difficile d'envisager tout élargissement en amont du PK 271.000 (SIP de Tarascon et Beaucaire, traversée de Beaucaire/Tarascon).

Aussi, l'élargissement envisagé se situe dans le ségonnal rive gauche entre Beaucaire et Arles entre les PK 271.000 et 274.500.



Élargissement du lit mineur du Rhône entre Beaucaire et Arles (source CNR [16])



Berges gauche du Rhône entre Beaucaire et Arles

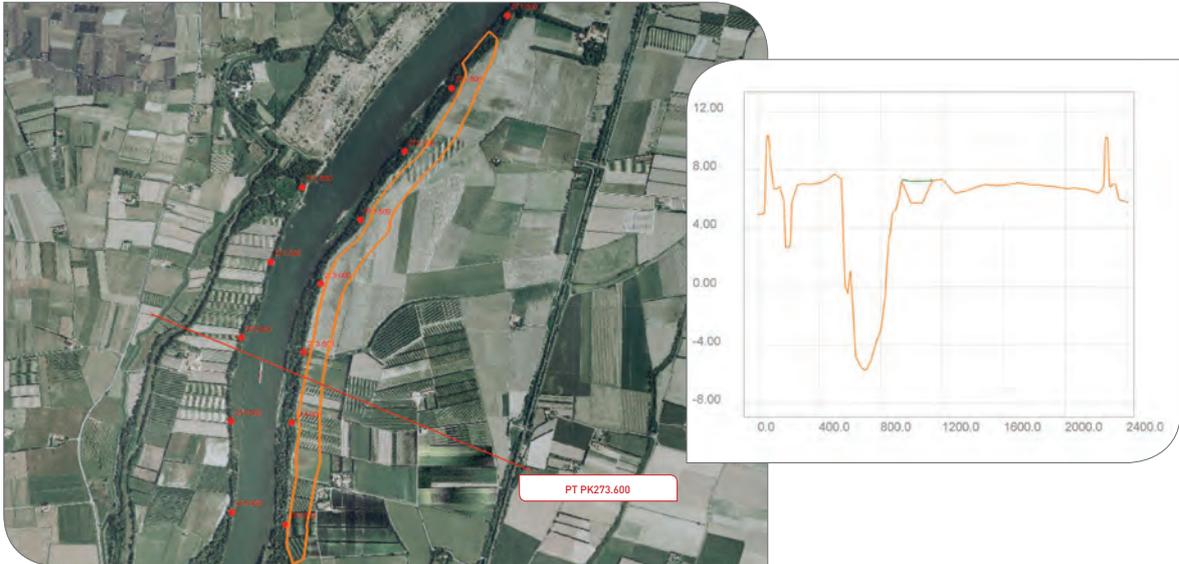


En termes de faisabilité technique, cette mesure a des conséquences importantes, puisqu'il s'agirait de supprimer 400 000 m² de ripisylve dans un secteur classé en zone Natura 2000. Des mesures compensatoires de grande ampleur seraient nécessaires.

Sur le plan morphodynamique. Le secteur est en accrétion forte, la question de la pérennité est donc posée. De la même façon en termes d'entretien, le maintien d'une végétation basse sur le long terme nécessiterait la mise en œuvre d'un suivi régulier.

Création d'une lône en rive gauche du Rhône :

Une autre possibilité a également été étudiée en rive gauche, elle consisterait à créer une lône derrière la ripisylve, ce qui permettrait d'éviter la suppression de cette dernière. Cette mesure nécessite des acquisitions foncières. Une section trapézoïdale a été saisie dans le modèle hydraulique. Cette section sera conçue pour renaturer ce site.



Localisation de la lône (source CNR [R 16])



Lône à créer entre Tarascon et Arles

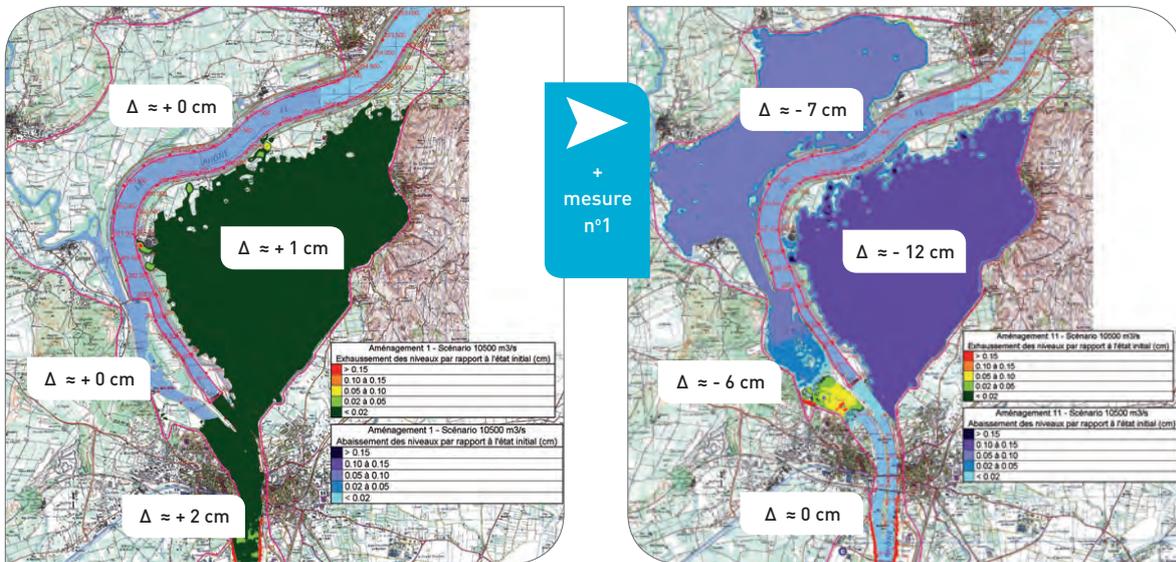
Les matériaux issus de ces travaux pourront être réutilisés en remblai pour la création de la digue à l'ouest de la voie ferrée Tarascon/Arles.

10.8.3. CONSISTANCE DE LA MESURE N°1

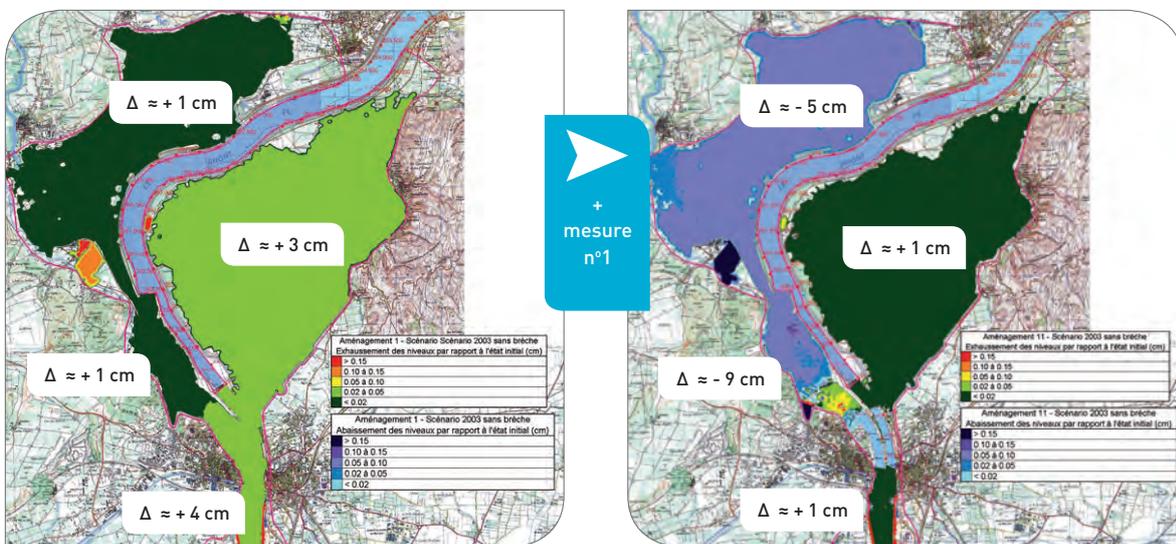
Au regard des mesures décrites ci-avant, **la mesure n°1 (aménagement 11 de l'étude de calage)** qui permet d'atteindre l'objectif n°1, comprend en sus des aménagements entre Beaucaire et Arles, les aménagements suivants :

- Rehaussement du déversoir de Boulbon de 10,45 NGF à 10,85 NGF,
- Rehaussement du déversoir de Comps de 14,1 NGF à 14,4 NGF,
- Rehaussement de la digue d'Aramon de 14,4 NGF à 14,5 NGF,
- Rehaussement de la digue des marguilliers de 13,0 NGF à 14,5 NGF avec un déversoir de sécurité à 14,0 NGF,
- Élargissement du lit en rives droite et gauche du Rhône en aval du barrage de 600 000 m³.

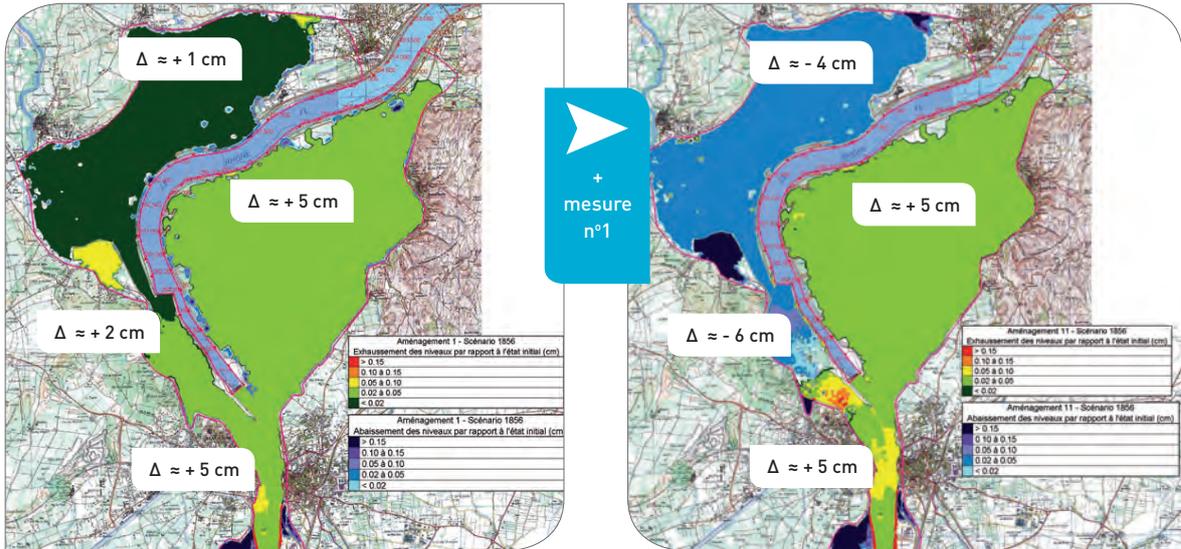
L'impact hydraulique de cette mesure a été estimé pour les 4 crues testées. Les résultats sont résumés ci-après.



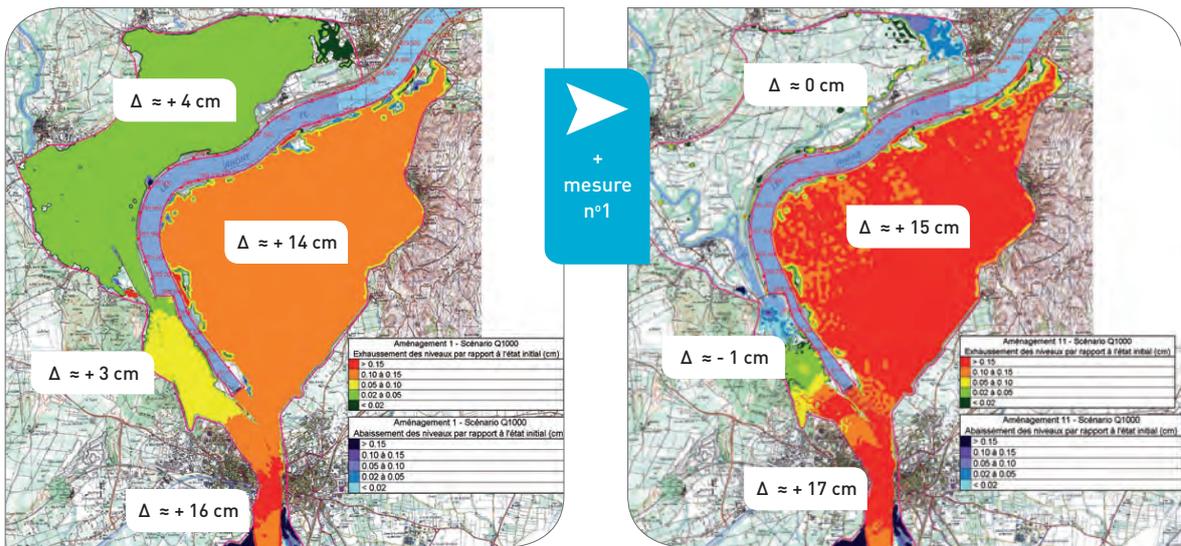
Impact en termes de niveau d'eau (en cm) du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles (à gauche) et des mesures n°1 de réduction et d'annulation d'impact (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue type janvier 1994 (10 500 m³/s à Tarascon) (source CNR [R 16])



Impact en termes de niveau d'eau (en cm) du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles (à gauche) et des mesures n°1 de réduction et d'annulation d'impact (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue type décembre 2003 sans brèche (11 500 m³/s à Tarascon) (source CNR [R 16])



Impact en termes de niveau d'eau (en cm) du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles (à gauche) et des mesures n°1 de réduction et d'annulation d'impact (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue type mai 1856 dans les conditions actuelles d'écoulement et sans brèche (12 500 m³/s à Tarascon) (source CNR [R 16])



Impact en termes de niveau d'eau (en cm) du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles (à gauche) et des mesures n°1 de réduction et d'annulation d'impact (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue exceptionnelle (14 160 m³/s à Tarascon) (source CNR [R 16])

La mesure n°1 :

- Améliore la situation dans la plaine d'Aramon et en aval du barrage de Vallabrègues pour toute la gamme de crues allant de la crue cinquantennale à la crue millénaire,
- Diminue la fréquence des inondations par le Rhône dans la plaine de Boulbon et diminue l'aléa dans la plaine de Boulbon jusqu'à la crue centennale,
- Présente des exhaussements de ligne d'eau dans la plaine de Boulbon pour les crues très rares et exceptionnelles (respectivement + 5 cm pour la crue type mai 1856 et + 14 cm pour la crue millénaire) sans modifier les conditions d'inondabilité (hauteur d'eau > 1 mètre) dans la plaine et sans incidence sur la sécurité des ouvrages (digue de la montagnette),

- N'a pas d'impact dans la traversée de Beaucaire/Tarascon pour les crues fréquentes et rares (respectivement crue cinquantennale et crue centennale),
- Présente des exhaussements de la ligne d'eau dans la traversée de Beaucaire/Tarascon pour les crues très rares et exceptionnelles (respectivement + 5 cm pour la crue type mai 1856 et + 17 cm pour la crue millénaire) sans incidence sur la sécurité des ouvrages de protection (digue de la banquette, digue de la Vierge, quais de Tarascon).

Cette mesure n'a pas d'incidence sur la répartition des volumes déversés entre Beaucaire et Arles.

SCÉNARIO	DÉBIT MAXI À BEAUCAIRE/TARASCON (M ³ /S)	AMÉNAGEMENT ENTRE BA AVANT MESURES DE RÉDUCTION ET D'ANNULATION D'IMPACT				AMÉNAGEMENT ENTRE BA + MESURES DE RÉDUCTION ET D'ANNULATION D'IMPACT N°1			
		DÉBIT MAXI DÉVERSÉ RG (M ³ /S)	VOLUME DÉVERSÉ RG (M M ³)	DÉBIT MAXI DÉVERSÉ RD (M ³ /S)	VOLUME DÉVERSÉ RD (M M ³)	DÉBIT MAXI DÉVERSÉ RG (M ³ /S)	VOLUME DÉVERSÉ RG (M M ³)	DÉBIT MAXI DÉVERSÉ RD (M ³ /S)	VOLUME DÉVERSÉ RD (M M ³)
10 500 m ³ /s	10 500	0	0	0	0	0	0	0	0
2003 sans brèche	11 500	0	0	0	0	0	0	0	0
Crue de référence	12 500	350	23.7	340	21.3	350	23.4	340	21.0
Crue exceptionnelle	14 160	1070	107.2	1130	109.2	1090	109.4	1150	111.7

Répartition des débits et volumes déversés entre B et A avant et après mesures d'annulation de réduction d'impact (mesure n°1)

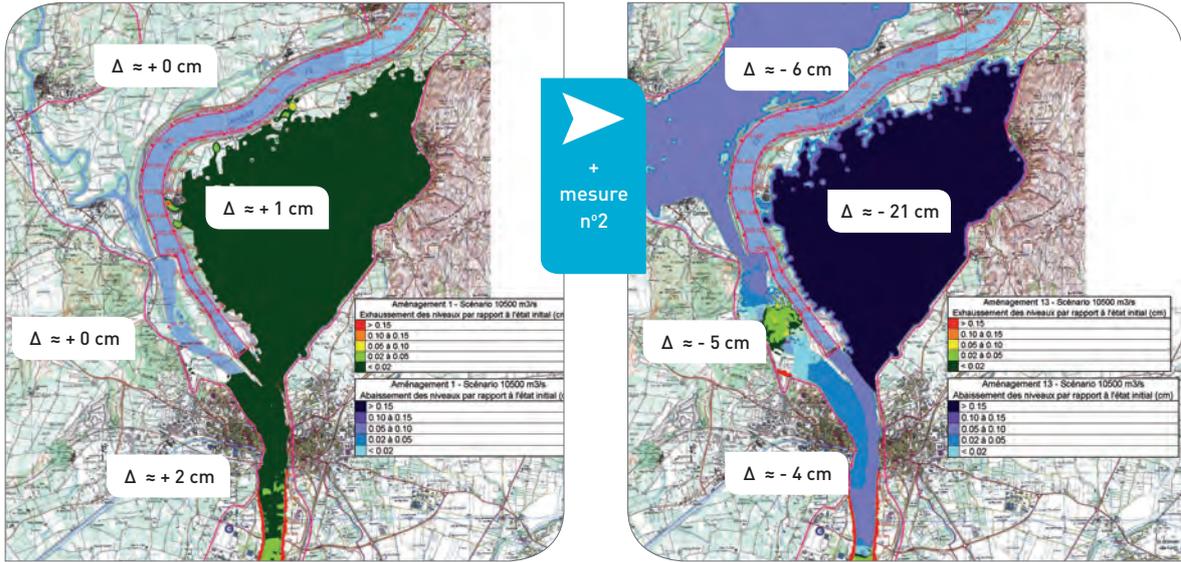
En outre, à l'exception du déversoir de Boulbon pour les raisons évoquées ci-avant, cette mesure permet d'harmoniser le niveau de protection des digues résistantes à la surverse (Comps, Aramon, Marguilliers et digue entre Beaucaire et Fourques et digue entre Tarascon et Arles).

10.8.4. CONSISTANCE DE LA MESURE N°2

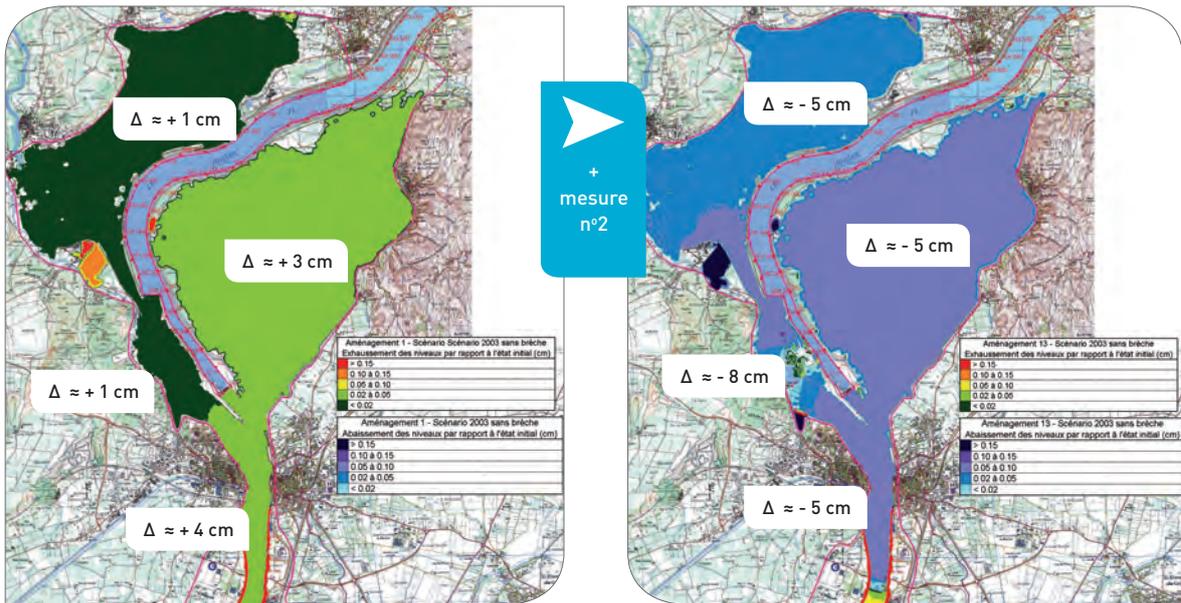
La mesure n°2 (aménagement 13 de l'étude de calage) permet d'atteindre l'objectif n°2. Elle comprend les aménagements suivants :

- Rehaussement du déversoir de Boulbon de 10,45 NGF à 10,85 NGF,
- Rehaussement du déversoir de Comps de 14,1 NGF à 14,4 NGF,
- Rehaussement de la digue d'Aramon de 14,4 NGF à 14,5 NGF,
- Rehaussement de la digue des Marguilliers de 13,0 NGF à 14,5 NGF avec un déversoir de sécurité à 14,0 NGF,
- Élargissement du lit en aval du barrage de 450 000 m³,
- Dragage dans le secteur de Tembec de 600 000 m³,
- Création d'une lône en rive gauche entre le PK271 et PK274,5 (volume à extraire de 570 000 m³).

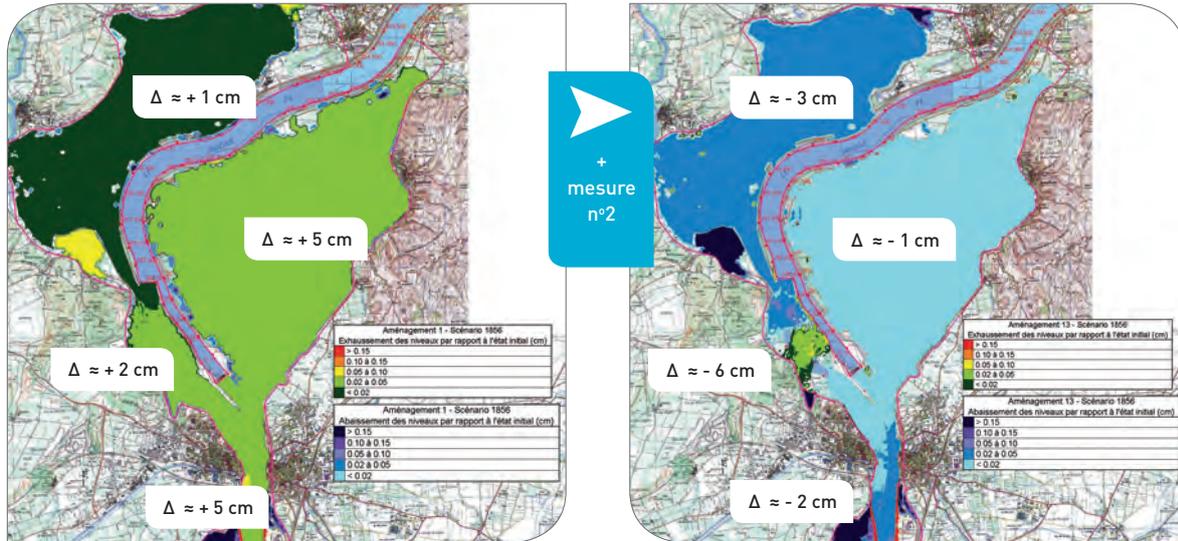
Les impacts de cette mesure pour les 4 scénarios de crue sont :



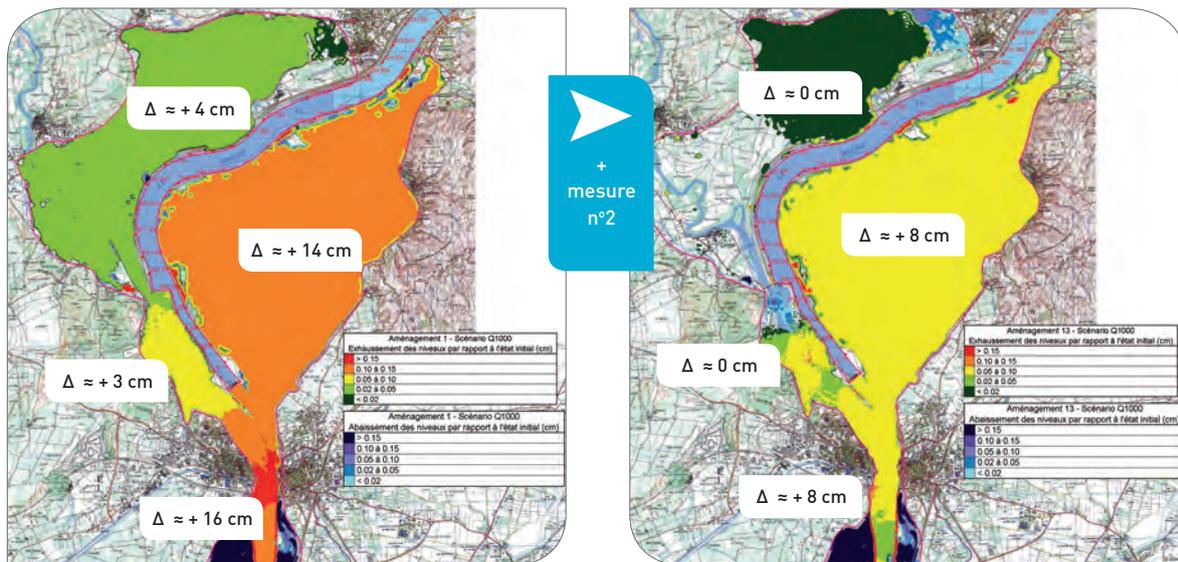
Impact en termes de niveau d'eau (en cm) du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles (à gauche) et des mesures n°2 de réduction et d'annulation d'impact (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue type janvier 1994 (10 500 m³/s à Tarascon) (source CNR [R16])



Impact en termes de niveau d'eau (en cm) du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles (à gauche) et des mesures n°2 de réduction et d'annulation d'impact (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue type décembre 2003 sans brèche (11 500 m³/s à Tarascon) (source CNR [R16])



Impact en termes de niveau d'eau (en cm) du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles (à gauche) et des mesures n°2 de réduction et d'annulation d'impact (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue type mai 1856 dans les conditions actuelles d'écoulement et sans brèche (12 500 m³/s à Tarascon) (source CNR [R 16])



Impact en termes de niveau d'eau (en cm) du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles (à gauche) et des mesures n°2 de réduction et d'annulation d'impact (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue exceptionnelle (14 160 m³/s à Tarascon) (source CNR [R 16])

La mesure n°2 :

- Améliore la situation dans la plaine d'Aramon et en aval du barrage de Vallabregues pour toute la gamme de crues allant de la crue cinquantennale à la crue millénaire,
- Améliore la situation dans la plaine de Boulbon jusqu'à la crue de référence (crue très rare),
- Présente des exhaussements de ligne d'eau dans la plaine de Boulbon pour la crue exceptionnelle (+ 8 cm) sans modifier les conditions d'inondabilité (hauteur d'eau > 1 mètre) dans la plaine et sans incidence sur la sécurité des ouvrages (digue de la Montagnette),

- Améliore la situation dans la traversée de Beaucaire/Tarascon jusqu'à la crue de référence (crue très rare),
- Présente des exhaussements de la ligne d'eau dans la traversée de Beaucaire/Tarascon pour la crue exceptionnelle (+ 8 cm) sans incidence sur la sécurité des ouvrages de protection (digue de la banquette, digue de la Vierge, quais de Tarascon).

Cette mesure n'a pas d'incidence sur la répartition des volumes déversés entre Beaucaire et Arles.

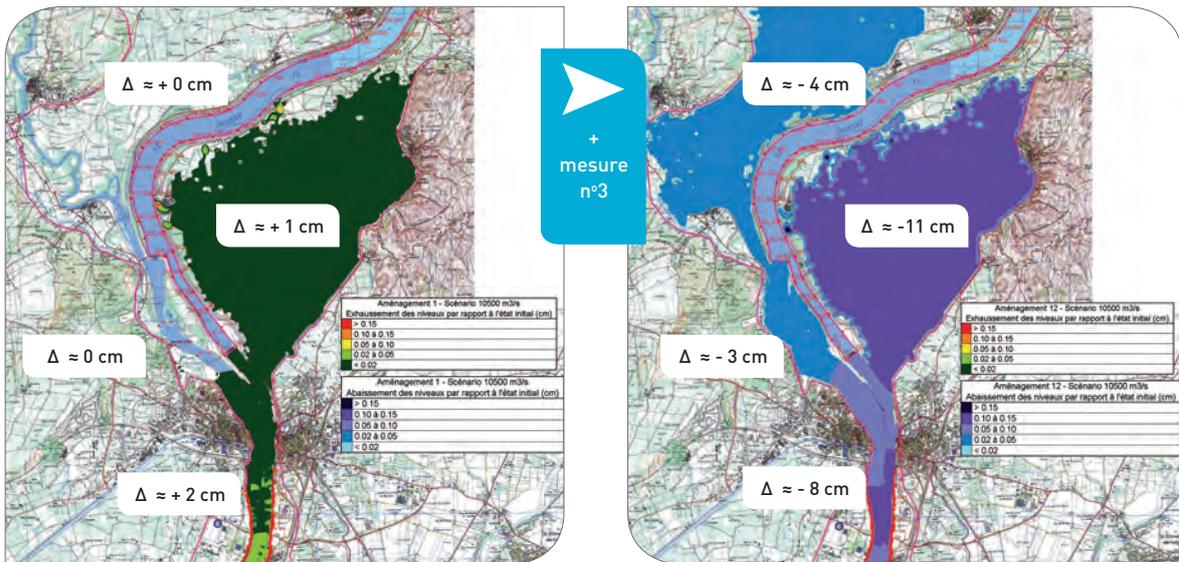
À l'instar de la mesure n°1, elle permet une harmonisation des niveaux de protection des digues résistantes à la surverse.

10.8.5. CONSISTANCE DE LA MESURE N°3

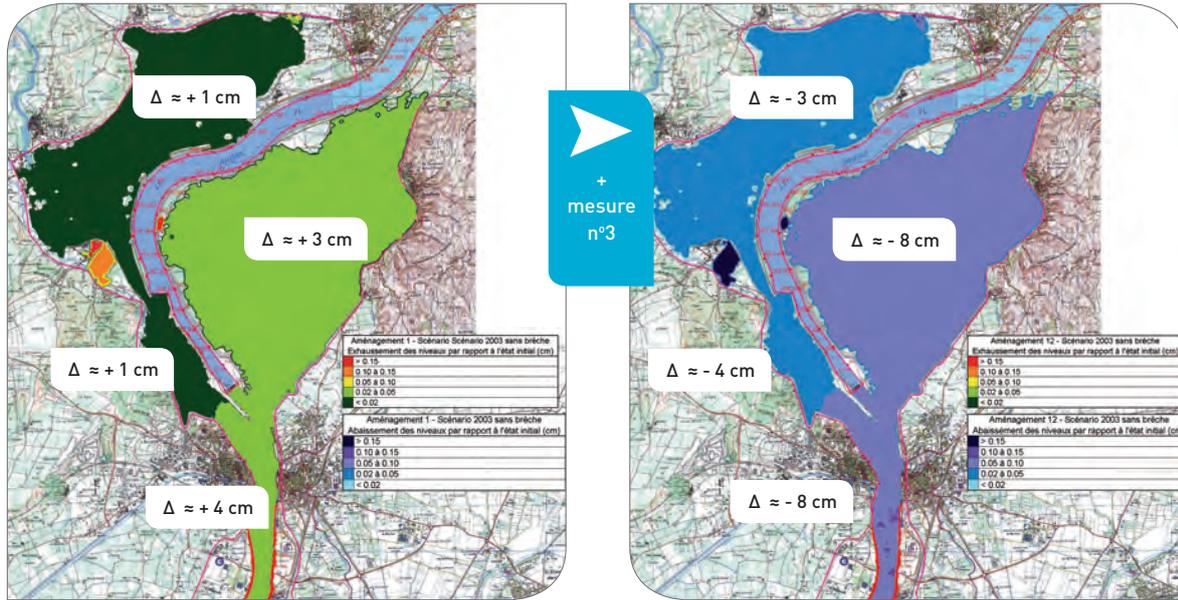
La mesure n°3 (aménagement 12 de l'étude de calage) permet d'atteindre l'objectif n°3. Elle comprend les aménagements suivants :

- Élargissement (recalibrage) du lit en rive gauche du Rhône de 1 200 000 m³,
- Suppression de 400 000 m² de ripisylve.

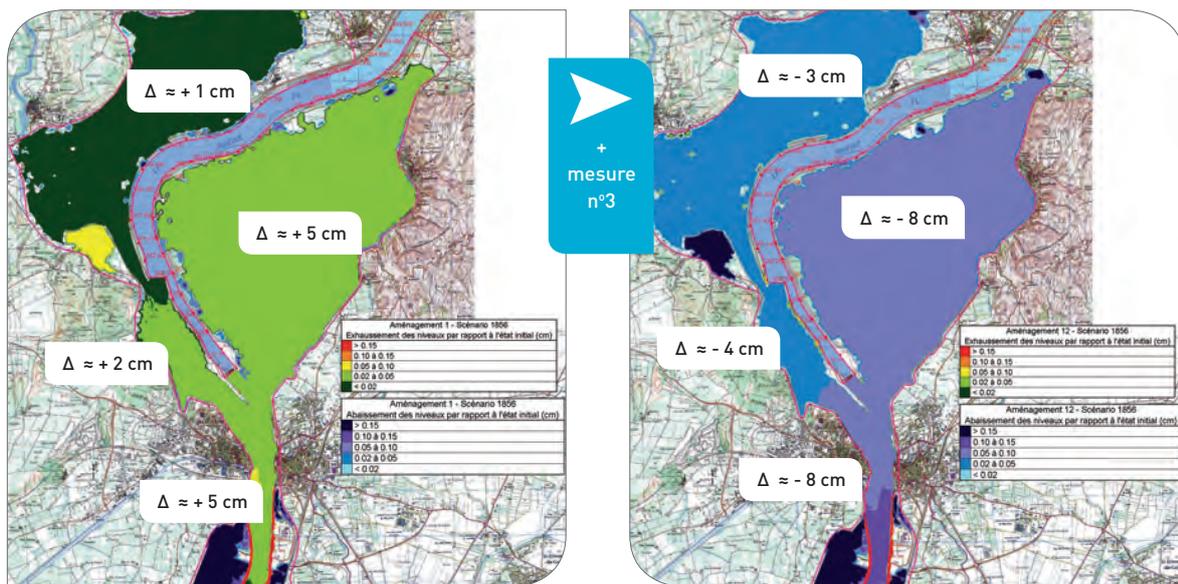
Les impacts de cette mesure sur les 4 crues étudiées sont :



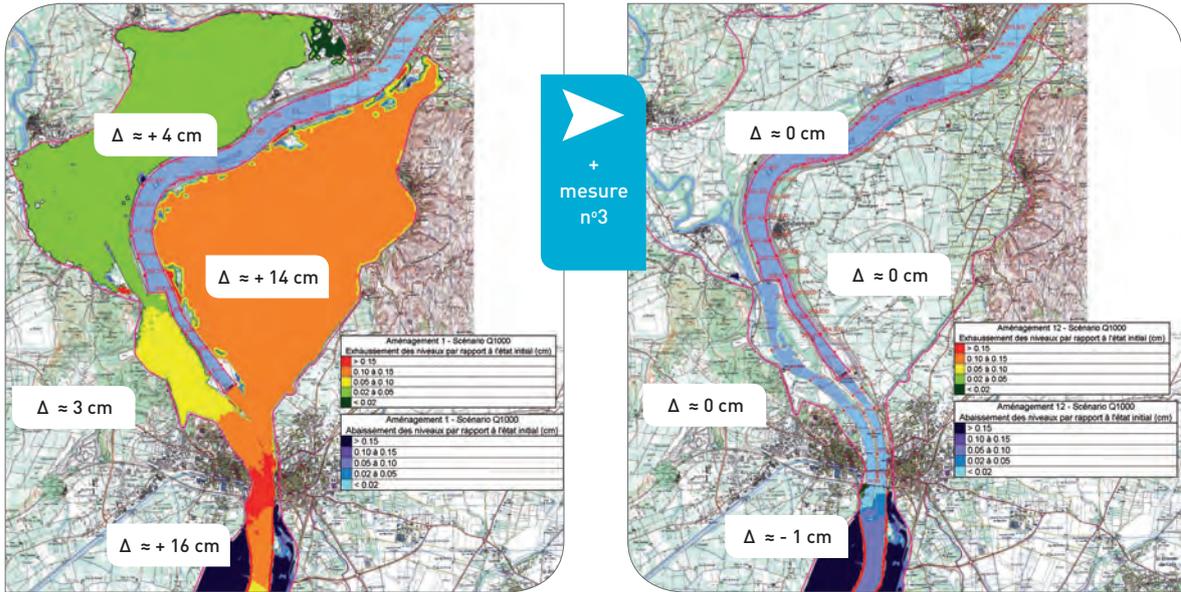
Impact en termes de niveau d'eau (en cm) du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles (à gauche) et des mesures n°3 de réduction et d'annulation d'impact (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue type janvier 1994 (10 500 m³/s à Tarascon) (source CNR [R 16])



Impact en termes de niveau d'eau (en cm) du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles (à gauche) et des mesures n°3 de réduction et d'annulation d'impact (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue type décembre 2003 sans brèche (11 500 m³/s à Tarascon) (source CNR [R 16])

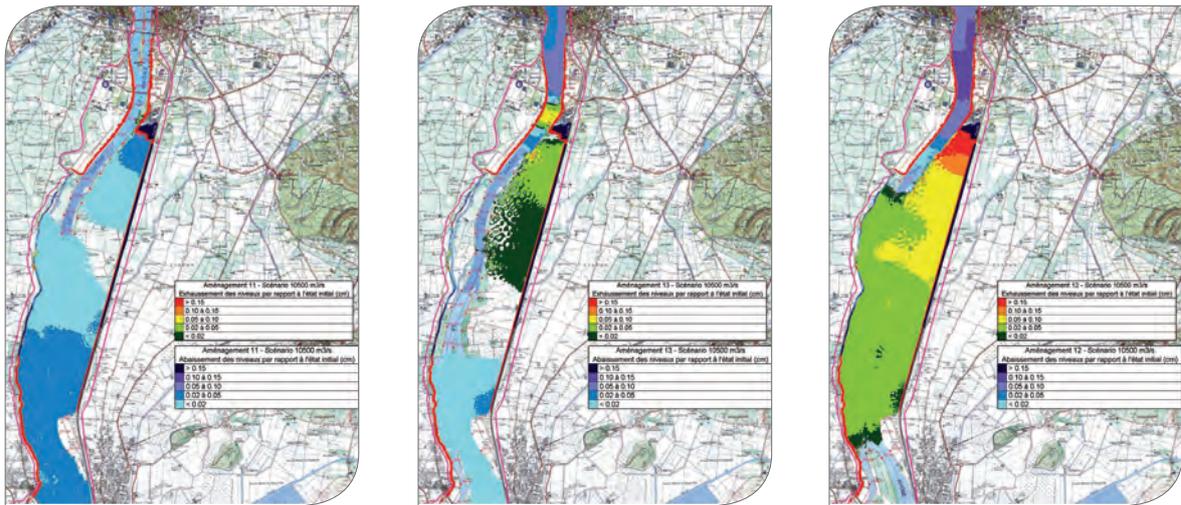


Impact en termes de niveau d'eau (en cm) du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles (à gauche) et des mesures n°3 de réduction et d'annulation d'impact (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue type mai 1856 dans les conditions actuelles d'écoulement et sans brèche (12 500 m³/s à Tarascon) (source CNR [R 16])

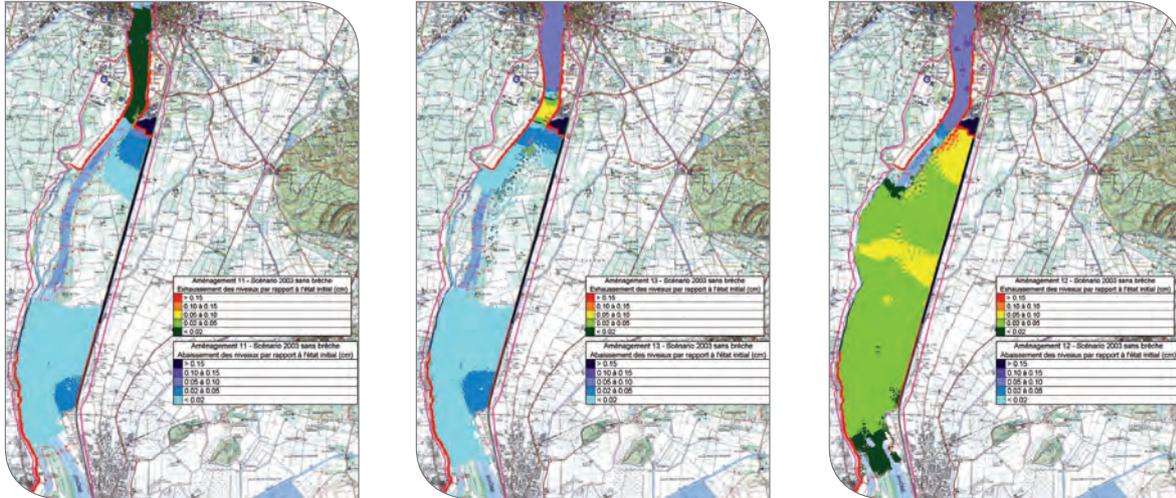


Impact en termes de niveau d'eau (en cm) du calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles (à gauche) et des mesures n°3 de réduction et d'annulation d'impact (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue exceptionnelle (14 160 m³/s à Tarascon) (source CNR [R] 16)

L'impact des 3 mesures sur le tronçon Beaucaire/Arles est comparé pour la crue 10500 et la crue de décembre 2003. Les résultats figurent ci-dessous :



Impact en termes de niveau d'eau (en cm) sur le tronçon Beaucaire/Arles des mesures de réduction et d'annulation d'impact n°1 (à gauche), n°2 (au centre) et n°3 (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue type 10500 (10 500 m³/s à Tarascon) (source CNR [R] 16)



Impact en termes de niveau d'eau (en cm) sur le tronçon Beaucaire/Arles des mesures de réduction et d'annulation d'impact n°1 (à gauche), n°2 (au centre) et n°3 (à droite) par rapport à l'état initial pour une crue type décembre 2003 (11 500 m³/s à Tarascon) (source CNR [R 16])

Pour la crue à 10 500 m³/s :

- Pour la mesure n°1, les mesures du programme d'optimisation des ZEC permettent d'abaisser légèrement les lignes d'eau.
- Pour la mesure n°2, la création d'une lône a pour effet d'exhausser la ligne d'eau, non compensée par l'optimisation des ZEC localement. Cet exhaussement n'est plus observable en aval.
- Pour la mesure n°3, l'élargissement massif exhausse significativement la ligne d'eau.

Pour la crue à 11 500 m³/s :

- On observe les mêmes effets avec une légère atténuation.

Pour la crue de référence et la crue exceptionnelle l'impact est identique pour les 3 mesures, compte tenu de ce que les niveaux sont "contrôlés" par les sections de digue résistantes à la surverse. La mesure n°3 a une incidence forte sur la répartition des volumes déversés et nécessite de recalculer les ouvrages résistants à la surverse en rives droite et gauche.

SCÉNARIO	DÉBIT MAXI À BEAUCAIRE/ TARASCON (M³/S)	AMÉNAGEMENT ENTRE BA AVANT MESURES DE RÉDUCTION ET D'ANNULATION D'IMPACT				AMÉNAGEMENT ENTRE BA + MESURES DE RÉDUCTION ET D'ANNULATION D'IMPACT N°1			
		DÉBIT MAXI DÉVERSÉ RG (M³/S)	VOLUME DÉVERSÉ RG (M M³)	DÉBIT MAXI DÉVERSÉ RD (M³/S)	VOLUME DÉVERSÉ RD (M M³)	DÉBIT MAXI DÉVERSÉ RG (M³/S)	VOLUME DÉVERSÉ RG (M M³)	DÉBIT MAXI DÉVERSÉ RD (M³/S)	VOLUME DÉVERSÉ RD (M M³)
10 500 m³/s	10 500	0	0	0	0	0	0	0	0
2003 sans brèche	11 500	0	0	0	0	0	0	0	0
Crue de référence	12 500	350	23.7	340	21.3	430	30.6	325	20.6
Crue exceptionnelle	14 160	1070	107.2	1130	109.2	1200	123.7	1100	106.1

Répartition des débits et volumes déversés avant et après réalisation de la mesure n°3 d'annulation de réduction d'impact

Elle présente également des incidences environnementales fortes, voire rédhibitoires sur un secteur classé en zone Natura 2000. Elle est située sur un secteur en forte accrétion sur un plan morphodynamique (déplacement en plan du Rhône de l'Est vers l'Ouest sur ce secteur). Dès lors, les questions de pérennité et de coût du maintien dans le temps de cette mesure sont posées.

10.8.6. ANALYSE DES DIFFÉRENTES MESURES

Une analyse multicritères a été réalisée. Les résultats de cette analyse figurent ci-après :

CRITÈRES	MESURES D'ANNULATION ET RÉDUCTION D'IMPACT		
	MESURE N°1 AMÉNAGEMENT 11	MESURE N°2 AMÉNAGEMENT 13	MESURE N°3 AMÉNAGEMENT 12
Impact lit endigué Q _{déc.} 2003			
- Aval barrage	- 9 cm	- 8 cm	- 4 cm
- Boulbon/Traversée Beaucaire	+ 1 cm	- 5 cm	- 8 cm
- Beaucaire/Arles	- 1 cm	- 1 cm	+ 4 cm
Impact lit endigué Q _{mai} 1856			
- Aval barrage	+ 6 cm	- 6 cm	- 8 cm
- Plaine Boulbon/Traversée Beaucaire	+ 5 cm	- 1 cm	- 1 cm
Impact lit endigué Q ₁₀₀₀			
- Aval barrage	+ 1 cm	0 cm	- 1 cm
- Plaine Boulbon/Traversée Beaucaire	+ 15/16 cm	+ 8 cm	0 cm
Impact fonctionnement des ouvrages entre Beaucaire et Arles	NON	NON	Nécessité de recalculer les digues entre Beaucaire et Arles
Faisabilité technique	Ouvrages hydrauliques en bon état ou quasi- neuf Élargissement sous réserve des analyses chimiques Expropriation néces- saire en RD en aval du barrage	Ouvrages hydrauliques en bon état ou quasiment neuf Élargissement sous réserve des analyses chimiques des sédiments Expropriation nécessaire en RG du Rhône Suppression atterrisse- ment Tembec nécessité travaux connexes	Élargissement sous réserve des analyses chimiques des sédiments Opération de grande ampleur
Impact environnemental	ripisylve (absente)	ripisylve (absente) création bras mort	ripisylve importante (natura 2000)
Coût de l'opération (hors ouvrages)	Terrassement : 5 M€ HT Ouvrage : 1 à 2 M€ HT	Terrassement : 11 M€ HT Ouvrage : 2 à 4 M€ HT	Entre 25 et 35 M€ HT
Gestion des ouvrages	Pérennité des déblais	Pérennité	Sensibilité calage des ouvrages Morphodynamique (accrétion) => pérennité

Analyse multicritères des mesures de réduction et d'annulation d'impact

10.8.7. CONCLUSIONS

On rappelle que :

Pour une durée de vie des ouvrages à construire estimée à 100 ans, **la probabilité** d'avoir, sur cette période, une crue supérieure à :

- La crue 10500 est de 87 %,
- La crue type décembre 2003 est de 63 %,
- La crue de référence (mai 1856) est de 33 %,
- La crue exceptionnelle est de 10 %.

En termes d'impact hydraulique :

La mesure n°1 annule les impacts dans tous les secteurs jusqu'à une crue de type décembre 2003 et jusqu'à la crue exceptionnelle en aval du barrage de Vallabrègues. Pour la crue de référence, il subsiste un impact de 5 cm dans la plaine de Boulbon. Pour la crue exceptionnelle, il subsiste un impact de 15 cm dans la plaine de Boulbon. Pour les raisons évoquées, cet impact résiduel n'a pas de conséquence sur la sécurité publique et les conditions d'inondabilité dans ce secteur.

La mesure n°2 annule les impacts dans tous les secteurs jusqu'à une crue référence et jusqu'à la crue exceptionnelle en aval du barrage de Vallabrègues. Pour la crue exceptionnelle, il subsiste un impact de 8 cm dans la plaine de Boulbon, sans conséquence.

La mesure n°3 annule les impacts dans tous les secteurs en amont de Beaucaire/Tarascon jusqu'à la crue exceptionnelle mais augmente la ligne d'eau pour les crues inférieures ou égales à la crue de type décembre 2003 entre Beaucaire et Arles. Cet exhaussement modifie la répartition des débits déversés entre Beaucaire et Arles.

En termes économiques :

La mesure n°1 est estimée à 5 millions d'euros, tout en sachant qu'une partie des déblais en aval du barrage de Vallabrègues est susceptible de pouvoir être réutilisée dans les travaux de renforcement de digues associées, ce qui permettrait de diminuer le coût relatif de cette mesure.

La mesure n°2 est estimée à 11 millions d'euros. Il est fort probable que les matériaux issus de la lône puissent être réutilisés pour la construction de la digue à créer entre Tarascon et Arles, ce qui viendrait diminuer le coût relatifs des travaux de 10 à 15 millions d'euros.

La mesure n°3 est estimée à 25 millions d'euros.

En termes d'impact environnemental :

- Les mesures n°1 et n°2 ont des impacts peu importants, voire positifs en terme de renaturation écologique.
- La mesure n°3 a des impacts environnementaux considérables.

Compte tenu de l'ensemble de ces paramètres, la mesure n°3 est écartée.

Compte tenu du gain économique (réutilisation des matériaux) et du gain environnemental lié à la création de la lône, la mesure n°2 a été retenue.

→ 10.9. IMPACT DU PROGRAMME SUR LE RHÔNE DU BARRAGE DE VALLABRÈGUES À ARLES

L'impact hydraulique du programme de sécurisation sur le tronçon du Rhône compris entre le barrage de Vallabrègues et Arles et comprenant les mesures d'annulation et réduction d'impact décrites ci-avant a été estimé en termes d'exhaussement ou d'abaissement de la ligne d'eau dans le lit endigué par rapport à l'état initial. Les résultats sont résumés ci-après.

10.9.1. IMPACT DES TRAVAUX DE SÉCURISATION DES DIGUES DU RHÔNE COMPRENANT LES MESURES (DITES N°2) D'ANNULATION ET RÉDUCTION D'IMPACT HYDRAULIQUE

L'impact des travaux de sécurisation des digues du Rhône a été estimé dans un 1^{er} temps dans le cadre de l'étude de calage [R 16] sans tenir compte des travaux de sécurisation des digues du Petit Rhône et du Grand Rhône. Le scénario 9500 a été modélisé dans le cadre des prestations complémentaires [R 26] confiées à la CNR_{ingénierie} de façon à compléter l'analyse des impacts hydraulique.

L'impact de ces travaux sur les niveaux d'eau figure dans le tableau ci-dessous :

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE								
DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE/ TARASCON	BEAUCAIRE/ ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
9500	25/30 ans	Nov. 2002	- 4	- 5	- 45	- 3	+ 2	+ 1	0	+ 1	+ 1
10500	50 ans	Janv. 1994	- 5	- 6	- 21	- 4	+ 1	- 1	0	0	0
11500	100 ans	Déc. 2003	- 5	- 5	- 6	- 5	- 1	- 1	0	0	- 1
12500	250 ans	Mai 1856	- 3	- 6	- 2	- 2	- 5	- 6	- 1 à 0	- 5	- 4 à 10
14160	1 000 ans	Millénaire	+ 1	0	+ 7	+ 9	- 7	- 8	- 2 à 0	- 5	- 6 à 0

Impact dans le lit endigué des aménagements prévus entre le Barrage de Vallabrègues et Arles (source données CNR [R 16] et [R 26])

On constate que :

- Pour la crue 9500 : un abaissement de la ligne d'eau en amont de Beaucaire/Tarascon ; un exhaussement localisé de la ligne d'eau sur l'amont du tronçon Beaucaire/Arles sans impact (cf. ci-après article "quid de l'impact résiduel") et un impact nul sur le Petit Rhône et Grand Rhône,
- Pour la crue 10500 : un abaissement de la ligne d'eau en amont de Beaucaire/Tarascon et un impact nul de Beaucaire à la Mer,
- Pour la crue type décembre 2003 : un abaissement de la ligne d'eau en amont de Beaucaire/Tarascon et un impact nul de Beaucaire à la Mer,
- Pour la crue de référence : un abaissement de la ligne d'eau du barrage de Vallabrègues à la Mer et un impact nul sur le Petit Rhône aval,

- Pour la crue exceptionnelle :
 - Un impact nul au Barrage de Vallabrègues,
 - Un exhaussement de la ligne d'eau inférieure à 10 cm dans la plaine de Boulbon, sans impact (cf. ci-après article "quid de l'impact résiduel") sur les conditions d'inondabilité (hauteur d'eau moyenne de 3 mètres dans la plaine et de 2 mètres dans les centres urbains et sans impact sur la sécurité des ouvrages hydrauliques (digue de la montagnette redimensionnée avec ces nouvelles hypothèses),
 - Un exhaussement de la ligne d'eau inférieure à 10 cm dans la traversée de Beaucaire/Tarascon, sans impact (cf. ci-après article "quid de l'impact résiduel") sur la sécurité des ouvrages hydrauliques (digue de la banquette, de la vierge, du musoir et des quais de Tarascon et digue de la montagnette redimensionnées avec ces nouvelles hypothèses),
 - Un abaissement de la ligne d'eau de Beaucaire/Tarascon à la Mer et un impact nul sur le Petit Rhône aval.

10.9.2. IMPACT DU PROGRAMME DE SÉCURISATION SUR LE RHÔNE

L'impact sur les écoulements dans le Rhône a été estimé dans un 2^{ème} temps en prenant en compte l'ensemble des travaux prévus dans le programme de sécurisation [R 26] y compris les travaux de sécurisation sur les digues du Petit Rhône et du Grand Rhône.

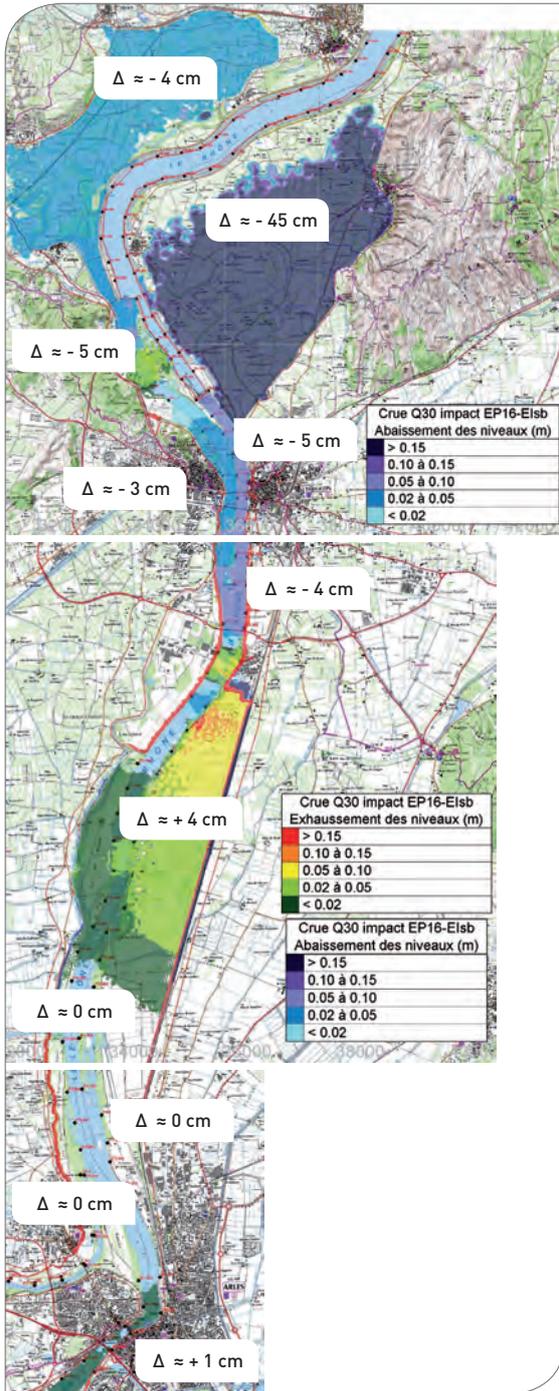
L'impact sur les niveaux d'eau figure dans le tableau ci-dessous :

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGENÈ						
DÉBIT MAX TARASCON (EN M³/S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE/ARLES	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
9500	25/30 ans	Nov. 2002	- 4	- 5	- 45	- 3 / - 5	0 / + 4	0	+ 1
10500	50 ans	Janv. 1994	- 6	- 6	- 21	- 4 / - 5	- 1 / + 1	- 1	0
11500	100 ans	Déc. 2003	- 5	- 5	- 5	- 6	- 1 / 0	- 1	+ 2
12500	250 ans	Mai 1856	- 3	- 2	- 2	- 2 / - 3	- 6 / - 8	- 6	- 2
14160	1 000 ans	Millénaire	+ 2	0	+ 7	+ 8 / + 9	- 8 / - 10	- 7	- 2

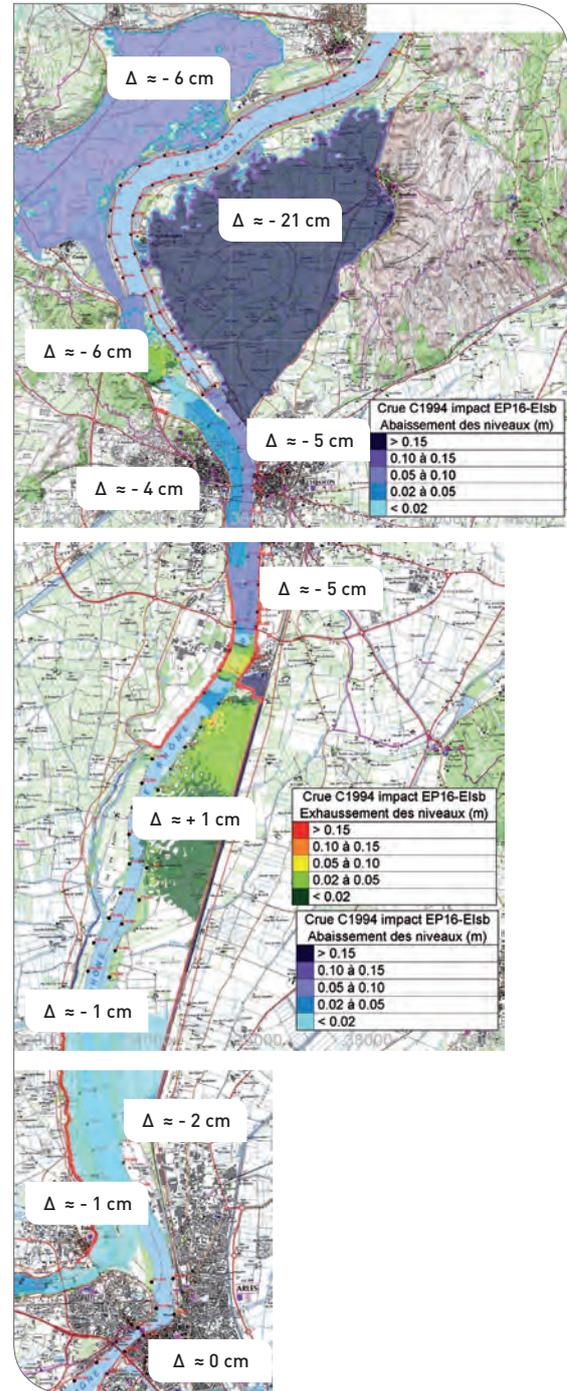
Impact dans le lit endigué du programme (source données CNR [R 26])

La conclusion de ces modélisations complémentaires portant sur l'ensemble du programme a été de montrer l'impact nul sur le tronçon Barrage de Vallabrègues/ Arles des travaux prévus sur le Petit et Grand Rhône.

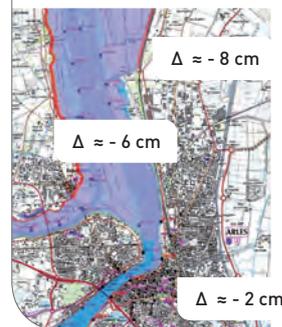
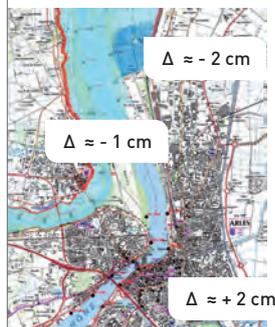
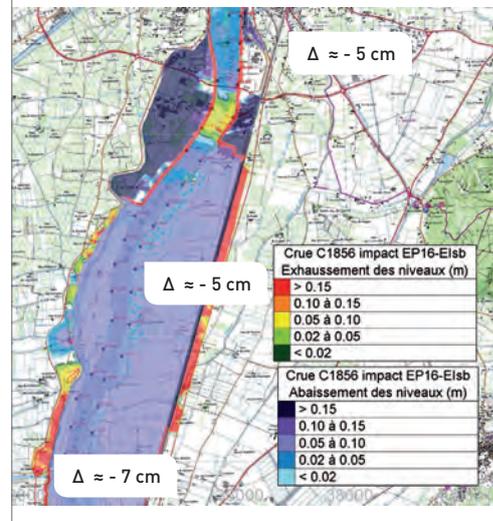
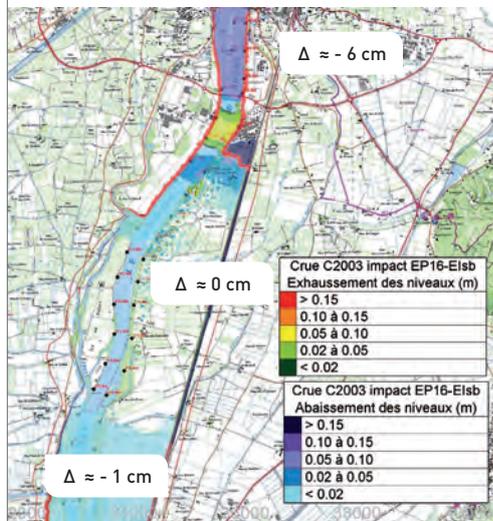
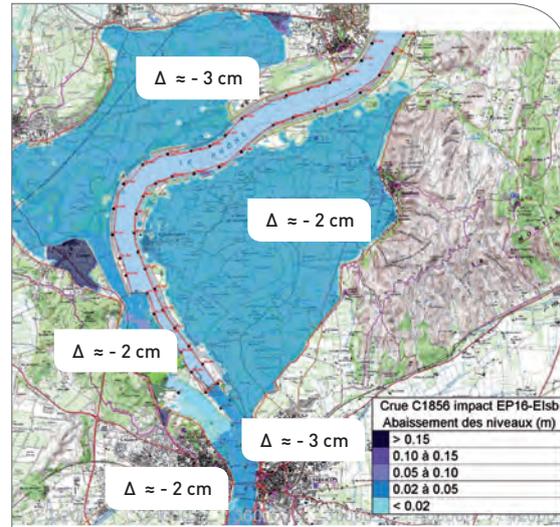
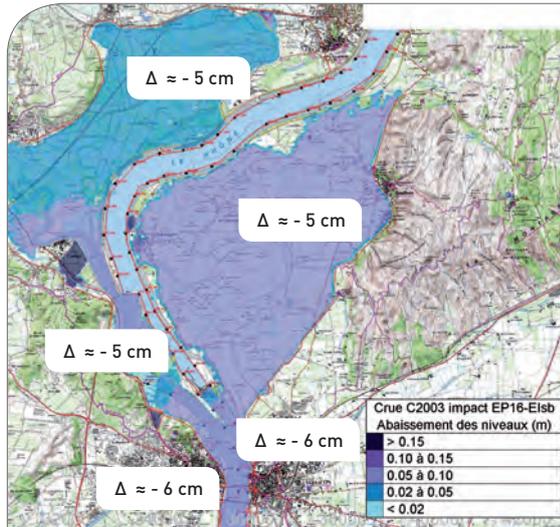
Les cartes des modélisations de l'impact hydraulique du programme sur le Rhône figurent en pages suivantes.



Impact du programme de sécurisation sur le Rhône – crue 9500 (source CNR [R26])

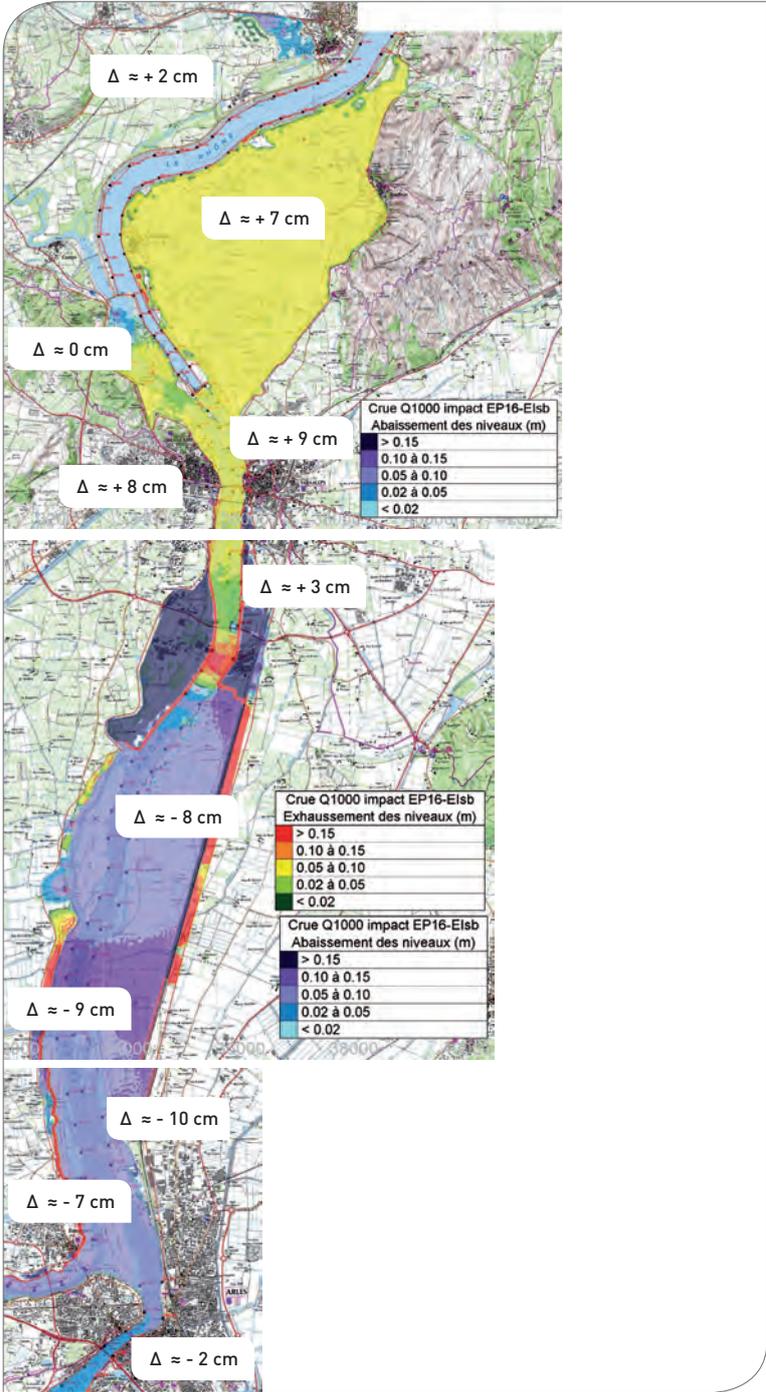


Impact du programme de sécurisation sur le Rhône – crue 10500 (source CNR [R26])



Impact du programme de sécurisation sur le Rhône – crue déc.2003 (source CNR [R 26])

Impact du programme de sécurisation sur le Rhône – crue mai 1856 (source CNR [R 26])

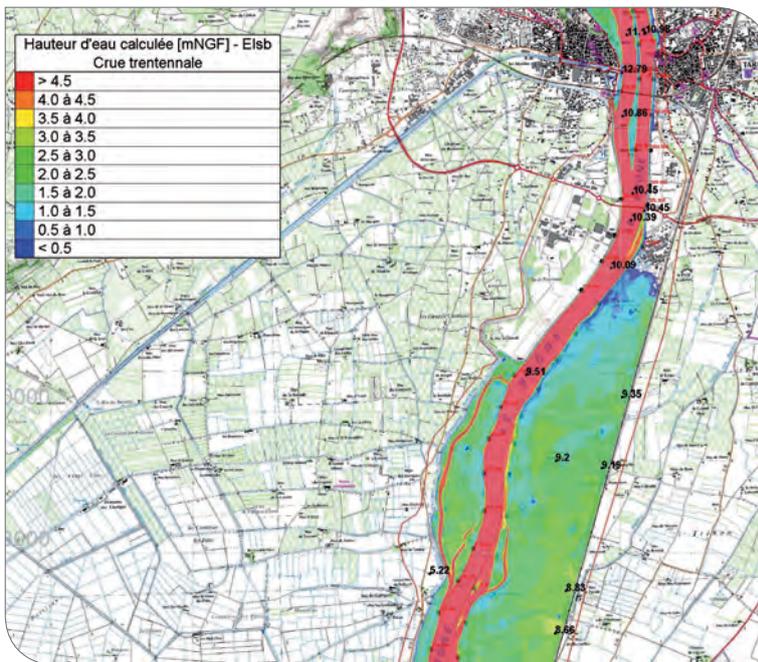


Impact du programme de sécurisation sur le Rhône – crue exceptionnelle (source CNR [R26])

10.9.3. QUID DE L'IMPACT HYDRAULIQUE RÉSIDUEL DU PROGRAMME SUR LE TRONÇON BARRAGE DE VALLABRÈGUES/ARLES

Globalement le programme de sécurisation après mise en œuvre des mesures d'annulation et réduction d'impacts hydrauliques abaisse de façon notable ou à défaut n'exhausse pas la ligne d'eau en aval du Barrage de Vallabrègues pour les crues respectivement cinquantennales, centennales et de référence, ce qui nous permet de conclure sur **l'impact positif du programme sur les écoulements en aval du barrage de Vallabrègues.**

Pour la crue trentennale, un exhaussement très localisé (+ 4 cm) de la ligne d'eau est observé en rive gauche du Rhône, juste en amont de l'usine Tembec. Il est dû à la fois au ralentissement des vitesses d'écoulement lié à la création de la lône et l'exhaussement du débit du Rhône pour cette gamme de crue lié au rehaussement du déversoir de Boulbon. Cet exhaussement localisé est sans impact sur la sécurité des ouvrages hydrauliques qui sont dimensionnés pour résister à la rupture jusqu'à la crue exceptionnelle et sur les conditions d'inondabilité dans le ségonnal (2 à 3 mètres) d'eau.



État initial – hauteurs d'eau entre Beaucaire et Arles – crue trentennale (source CNR [R 26])

Pour la crue exceptionnelle, le programme de sécurisation abaisse les lignes d'eau en aval de Beaucaire/Tarascon et a un impact nul pour le Barrage de Vallabrègues.

Les seuls exhaussements de lignes d'eau notables sont observés dans la traversée de Beaucaire/Tarascon et dans la plaine de Boulbon (entre 7 et 9 cm).

En aval de l'usine hydro-électrique, compte tenu de ce que cette dernière a été dimensionnée en prenant en compte l'absence de transit dans l'usine, on peut conclure que cet exhaussement de la ligne d'eau exclusivement pour la crue exceptionnelle n'a pas d'impact sur le fonctionnement de l'usine hydro-électrique.

Pour la plaine de Boulbon et le quartier des Marguilliers, la qualification de l'aléa (vitesse/hauteur) suivant la définition retenue dans la doctrine Rhône en matière de PPRI est la suivante :

ENJEUX	VITESSE (M/S)	HAUTEUR (M)	ALÉA
Centre urbain de Vallabrègues	< 0,5 m/s	1,5 à 2,5 m	FORT
Centre urbain de Boulbon	< 0,5 m/s	2,0 à 3,0 m	FORT
Centre urbain de Saint Pierre de Mézoargues	< 0,5 m/s	1,5 à 2,5 m	FORT
Habitats diffus dans la plaine de Boulbon/Tarascon	< 0,5 m/s	2,5 à 4,5 m	FORT
Quartier des Marguilliers	< 0,5 m/s	> 4,5 m	FORT

Aléa pour la crue exceptionnelle dans la plaine de Boulbon et quartier des Marguilliers

Ce qui nous permet de conclure sur le fait que l'exhaussement de la ligne d'eau de 8 cm pour la crue exceptionnelle ne modifie pas les conditions d'inondabilité au droit de ces enjeux pour cette crue.

Il faut également citer les impacts éventuels au droit de l'ancienne digue de Vallabrègues. Depuis la réalisation des aménagements de la CNR, cette dernière est mise en charge par le contre canal des digues CNR, alimenté, en période de crues, par remous depuis l'ouvrage de décharge situé en aval de l'usine hydro-électrique de Beaucaire. La digue peut être également mise en charge dans le sens inverse de son dimensionnement lors des inondations de la plaine de Boulbon par remous du Rhône.

En décembre 2003, les remontées du Rhône par le contre canal ont atteint le pied de la digue en maçonnerie, quand dans le même temps le village commençait à être inondé par remous du Rhône via le déversoir de Tarascon. Les niveaux maximum atteints dans le contre canal et dans la plaine de Vallabrègues ont été respectivement estimés à 12,3 NGF et 12,1 NGF (source CNR).

Le rehaussement du déversoir de Boulbon aura pour conséquence de diminuer l'inondation par remous du Rhône et donc d'accroître la pression du contre canal sur cet ouvrage. La stabilité de l'ouvrage et son confortement éventuel seront étudiés dans l'opération traitant du rehaussement du déversoir de Boulbon. Si un impact sur la sécurité de cet ouvrage était identifié, les travaux d'annulation d'impact seraient alors réalisés par le SYMADREM.

→ 10.10. IMPACT DU PROGRAMME SUR LE GRAND RHÔNE

Deux états sont considérés pour apprécier cet impact :

- L'impact des travaux de sécurisation des digues du Grand Rhône indépendamment des aménagements sur le Rhône et sur le Petit Rhône,
- L'impact global du programme comprenant l'ensemble des aménagements.

10.10.1. IMPACT DES TRAVAUX DE SÉCURISATION DES DIGUES DU GRAND RHÔNE

L'impact hydraulique dans le lit endigué du Grand Rhône lié au recalage des ouvrages de protection prévus sur le Grand Rhône a été modélisé, dans le cadre de l'étude de renforcement de la digue de Salin de Giraud [R 18], sur la base de l'état initial sans prendre en compte les aménagements entre le barrage de Vallabrègues et Arles et notamment l'abaissement de la ligne d'eau sur le Grand Rhône pour la crue type mai 1856 et crue exceptionnelle, due au calage des ouvrages entre le Beaucaire et Arles. Les résultats figurent dans le tableau ci-dessous :

SCÉNARIO DE CRUE				IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE				
TYPE CRUE	PÉRIODE DE RETOUR	DÉBIT MAX (M ³ /S)	NIVEAU MARIN (COTE NGF)	ARLES PK283	ARLES/ SEUIL DE TERRIN	SEUIL DE TERRIN/ PK 313	PK 313 À PK 316 (SDG RD)	PK 316 À LA MER (SDG RD ET PSL RG)
10500	50 ans	10 500	Marégramme janvier 1994	0	0	0	0 à - 2	- 2 à - 1
Déc. 2003	100 ans	11 500 ± 5 %	Marégramme 2003 (pic à 1 NGF)	0	0	0 à - 1	- 1 à - 4	- 4 à - 5
Mai 1856	250 ans	12 500	Marégramme 2003 translaté à 1,3 NGF	0 à 1	0	0	0 à - 5	- 5 à - 10
exceptionnelle Niv. marin bas	1 000 ans	14 160	0,5 NGF constant	+ 2 à 3	+ 2	+ 2 à 3	+ 3 à - 4	- 3 à - 1
exceptionnelle Niv. marin haut	> 1 000 ans	14 160	1,5 NGF constant	+ 2 à 3	+ 2	+ 2 à 3	+ 3 à - 4	- 4 à - 11

Impact dans le lit endigué du Grand Rhône des aménagements prévus sur Grand Rhône (source données CNR [R 18])

On constate :

Pour une crue type 10500 :

- Un impact nul en amont du lieu-dit "l'Amérique" au PK 313,
- Un impact quasiment nul du PK 313 à la Mer sur le tronçon de digue à renforcer prioritairement (Salin-de-Giraud et Port-Saint-Louis-du-Rhône).

Pour une crue type décembre 2003 :

- Un impact nul ou quasiment nul en amont du lieu-dit "l'Amérique" au PK 313,
- Un impact quasiment nul du PK 313 au PK 316,
- Un abaissement de la ligne d'eau du PK 316 (canal du Rhône à Fos) à la Mer.

Pour une crue type mai 1856 :

- Un impact nul ou quasiment nul en amont du lieu-dit "l'Amérique" au PK 313,
- Un abaissement de la ligne d'eau du PK 313 à la Mer.

Pour une crue exceptionnelle :

- Un exhaussement de 3 cm en aval d'Arles,
- Un impact quasiment nul entre Arles et le seuil de Terrin,
- Un exhaussement de 3 cm entre le seuil de Terrin et le canal du Rhône à Fos,
- Un abaissement de la ligne d'eau du canal du Rhône à Fos à la mer.

Globalement le recalage des digues du Grand Rhône, indépendamment des aménagements prévus sur le Rhône ou sur le Petit Rhône, est conforme au SDAGE. Il améliore les écoulements ou n'a pas d'impact jusqu'à la crue de référence. Pour la crue exceptionnelle, un léger exhaussement de 3 cm est observable et très localement de 4 cm. Compte tenu des travaux de carrossabilité réalisés sur cette partie du Rhône en 2010, on peut considérer que le gain lié à la sécurisation des interventions en période de crues permet de compenser ce léger exhaussement de ligne d'eau.

10.10.2. IMPACT DU PROGRAMME SUR LE GRAND RHÔNE

L'impact du programme global de sécurisation a été modélisé ensuite dans le cadre des modélisations complémentaires confiées à la CNR_{ingénierie} [R26]. Les résultats figurent ci-dessous :

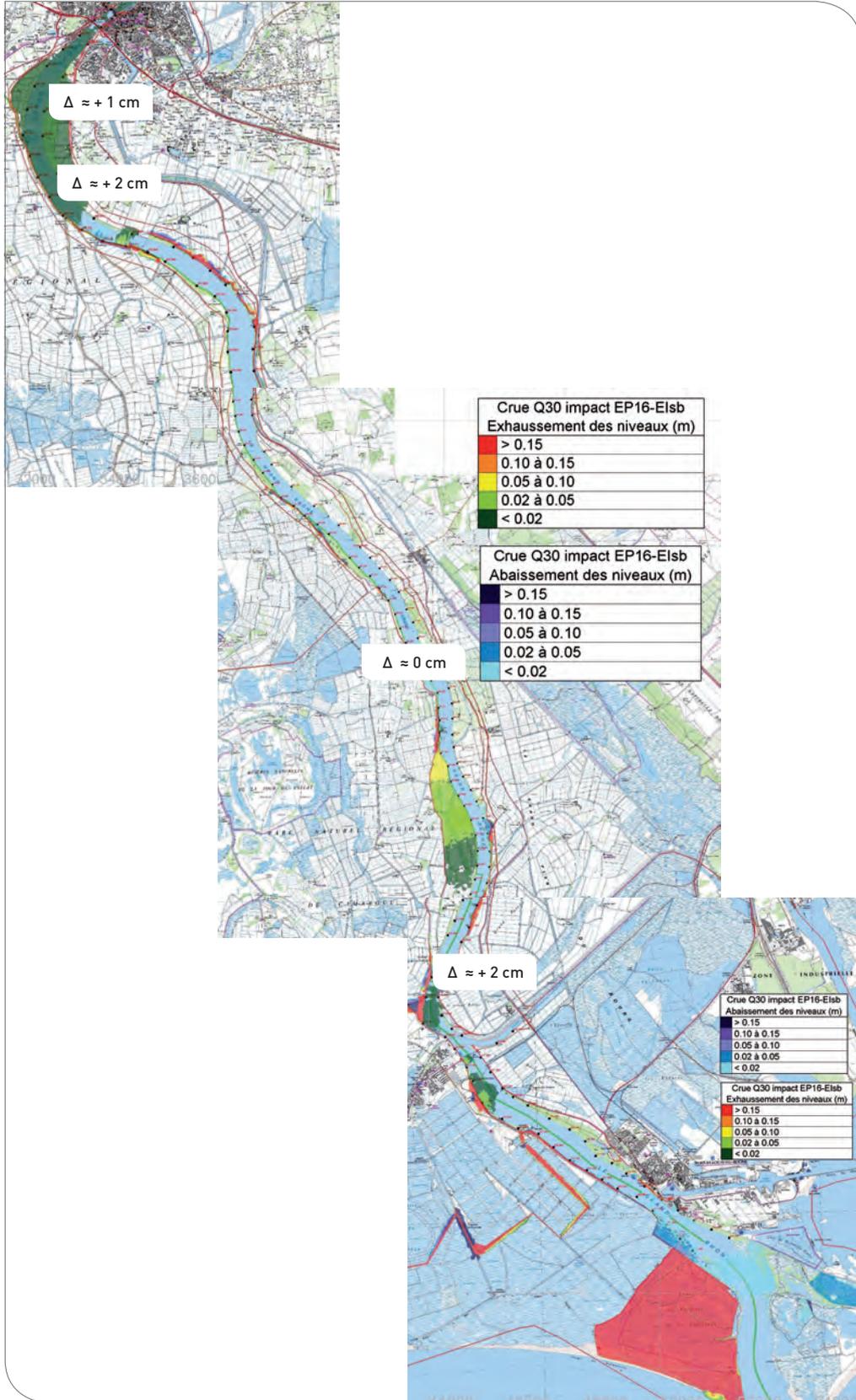
TYPE CRUE	PÉRIODE DE RETOUR	DÉBIT MAX (M ³ /S)	ARLES - PK281 MONTLONG (PK 289)	MONTLONG TOURTOULEN (PK300)	TOURTOULEN CHAMONE (PK 315)	CHAMONE ESQUINEAU (PK 319)	ESQUINEAU À LA MER
9500	25/30 ans	9 500	+ 1	0	0	0 / + 2	0 / - 1
10500	50 ans	10 500	0	- 1	- 1 / + 1	- 2 / + 1	- 2
Déc. 2003	100 ans	11 500 ± 5 %	0	0	0 / + 1	- 4 / - 5	- 2 / - 5
Mai 1856	250 ans	12 500	- 4 à - 2	- 3	- 1 / + 2	- 5	- 6
exceptionnelle Niveau marin haut	> 1 000 ans	14 160	- 5 à - 2	+ 4 / - 2	0 / + 3	- 4 / - 5	0 / - 4

Impact dans le lit endigué du Grand Rhône du programme de sécurisation (source données CNR [R26])

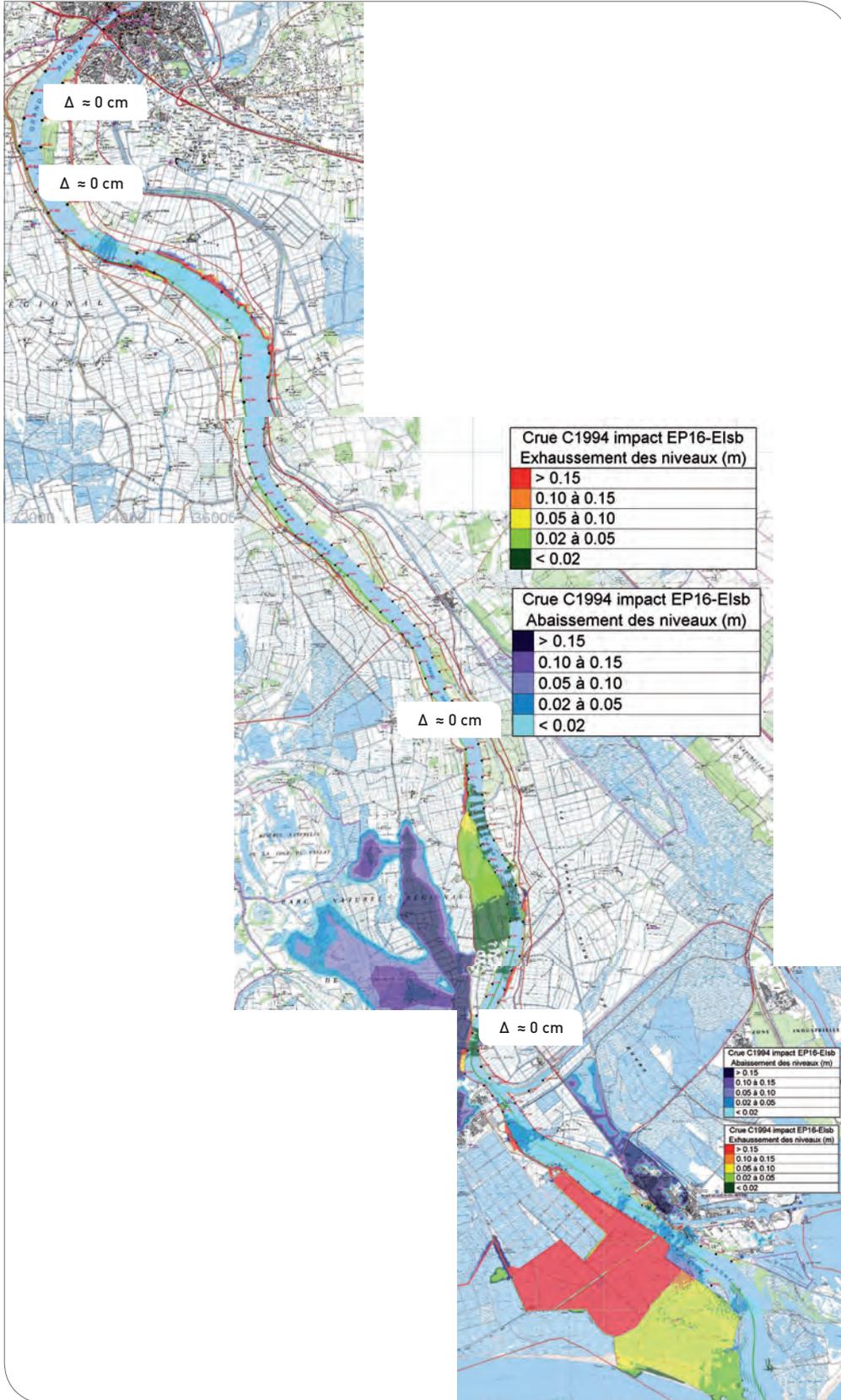
Les aménagements prévus sur le Rhône et le Petit Rhône n'ont pas d'impact hydraulique sur le Grand Rhône, jusqu'à la crue type mai 1856. Pour la crue type mai 1856 et la crue exceptionnelle, ils abaissent la ligne d'eau sur le Grand Rhône et améliore les écoulements.

L'exhaussement localisé de ligne d'eau pour la crue exceptionnelle entre Tourtoulon et Chamone peut être considéré comme sans incidence sur la sécurité des ouvrages hydrauliques pour les raisons évoquées à l'article précédent.

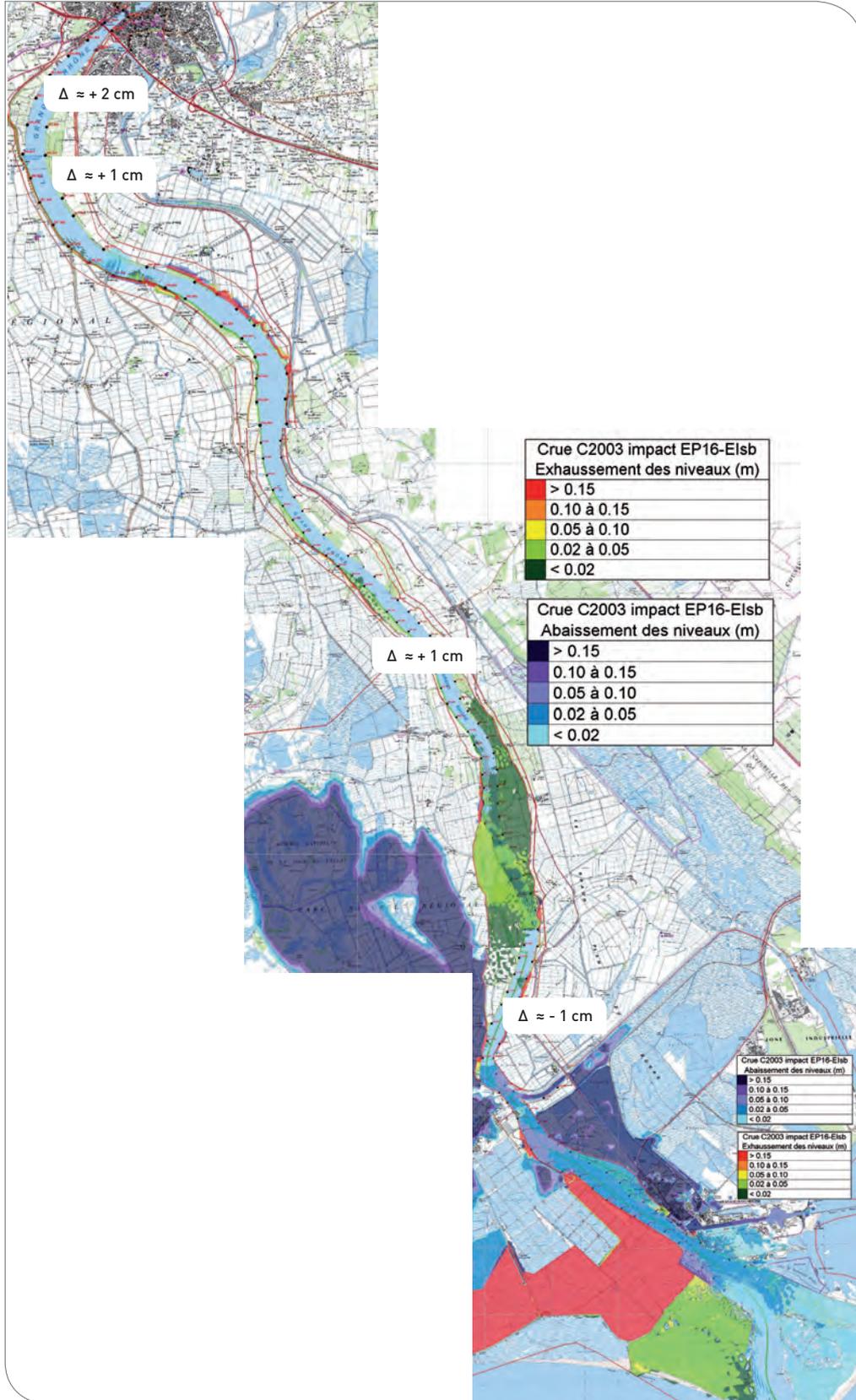
Les cartes des modélisations de l'impact hydraulique du programme sur le Rhône figurent en pages suivantes.



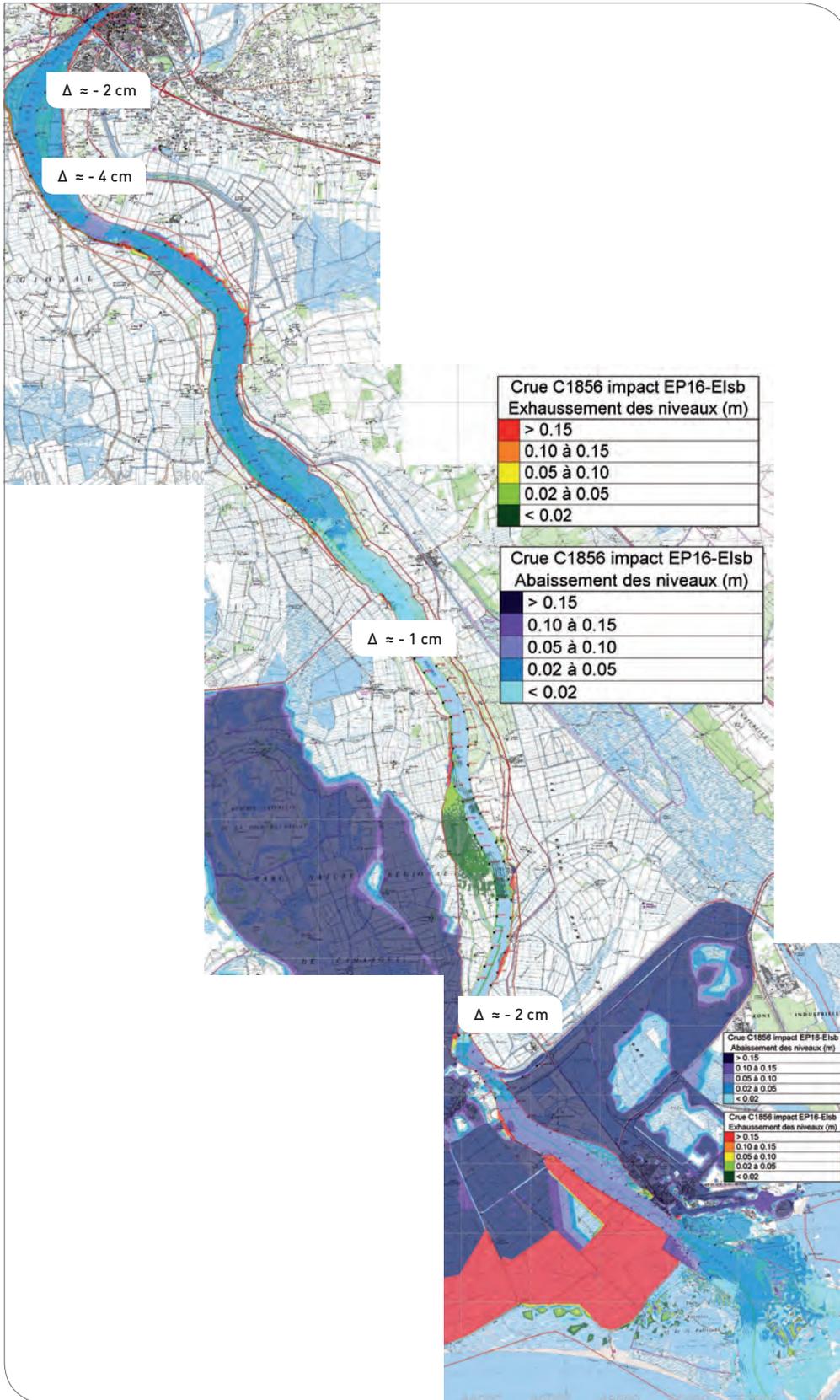
Impact du programme de sécurisation sur le Grand Rhône – crue 9500 (source CNR [126])



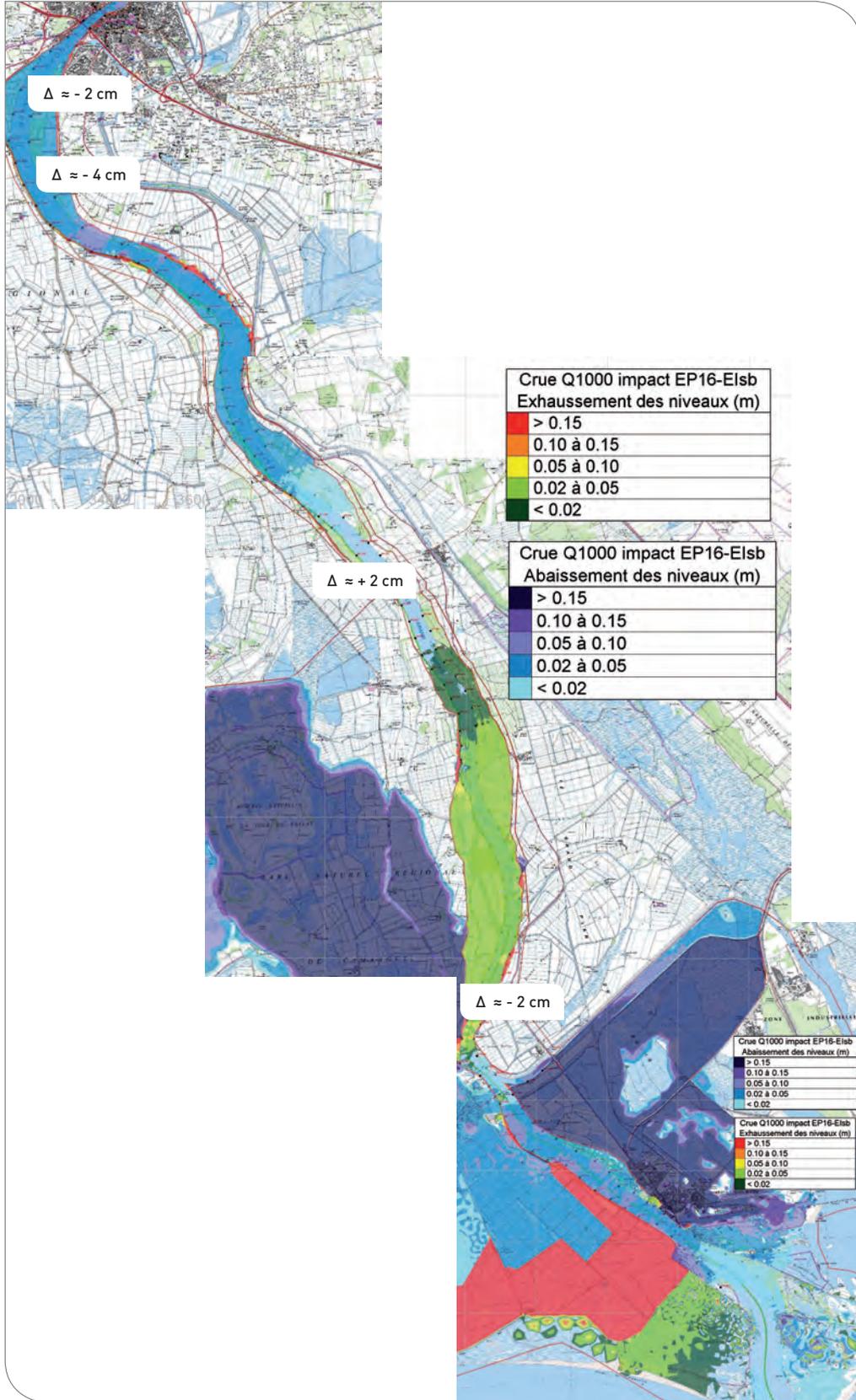
Impact du programme de sécurisation sur le Grand Rhône – crue 10500 (source CNR [R]26)



Impact du programme de sécurisation sur le Grand Rhône – crue déc. 2003 (source CNR [R 26])



Impact du programme de sécurisation sur le Grand Rhône – crue mai 1856 (source CNR [R 26])



Impact du programme de sécurisation sur le Grand Rhône – crue exceptionnelle (source CNR [26])

→ 10.11. IMPACT DU PROGRAMME SUR LE PETIT RHÔNE

Deux états sont considérés pour apprécier cet impact :

- L'impact des travaux de sécurisation des digues du Petit Rhône indépendamment des aménagements sur le Rhône et sur le Grand Rhône,
- L'impact global du programme comprenant l'ensemble des aménagements.

10.11.1. IMPACT DES TRAVAUX DE SÉCURISATION DES DIGUES DU PETIT RHÔNE

L'impact hydraulique dans le lit endigué du Petit Rhône lié au recalage des ouvrages de protection prévus sur le Petit Rhône a été modélisé, dans le cadre de l'étude de renforcement des digues du Petit Rhône [R 17] sur la base de l'état initial sans prendre en compte les aménagements entre le barrage de Vallabrègues et Arles et notamment l'abaissement de la ligne d'eau sur le Petit Rhône pour la crue type mai 1856 et crue exceptionnelle, due au calage des ouvrages entre le Beaucaire et Arles. Les résultats figurent dans le tableau ci-dessous :

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE							
DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PONT SUSPENDU A54	A54 PONT CAVALÈS	PONT CAVALÈS PONT ST GILLES	PONT ST GILLES AVAL DÉVER-SEMENT	AVAL DÉVER-SEMENT COUDE CAPETTE	COUDE CAPETTE PONT SYLVÉRÉAL	PONT SYLVÉRÉAL BAC SAUVAGE	BAC SAUVAGE AVAL DU BAC DU SAUVAGE
10500	50 ans	Janv. 1994	- 5 à - 13	- 8 à - 15	- 14 à - 18	- 3 à - 17	- 8 à - 2	- 4 à + 4	- 2 à + 5	- 4 à + 2
11500	100 ans	Déc. 2003	- 6 à - 16	- 10 à - 21	- 21 à - 27	- 8 à - 27	- 10 à - 2	- 5 à + 3	- 2 à + 5	- 4 à + 2
12500	250 ans	Mai 1856	- 8 à - 19	- 12 à - 24	- 24 à - 31	- 8 à - 30	- 10 à - 1	- 5 à + 3	- 2 à + 5	- 4 à + 2
14160	1 000 ans	Millénaire	- 6 à - 16	- 10 à - 24	- 23 à - 32	- 9 à - 31	- 13 à - 1	- 5 à + 3	- 2 à + 5	- 4 à + 3

Impact dans le lit endigué du Petit Rhône des aménagements du Petit Rhône (source données EGISeau [R 17])

Le calage des digues du Petit Rhône a globalement pour effet d'abaisser la ligne d'eau au droit et en amont des digues résistantes à la surverse. En aval des digues résistantes à la surverse, l'impact est globalement quasi nul avec des impacts localement notables de 3 à 5 cm. Compte tenu des travaux de carrossabilité réalisé en 2010 sur ces tronçons de digue, on peut considérer que ces surcotes locales dues au recul des digues, qui a pour effet d'abaisser les vitesses et exhausser les niveaux, sont compensés par l'augmentation de la capacité d'interventions en périodes de crues sur ces tronçons rendus carrossables.

10.11.2. IMPACT DU PROGRAMME SUR LE PETIT RHÔNE

L'impact du programme global de sécurisation a été modélisé par EGISeau [R 18] à partir des hydrogrammes calculés par la CNR_{ingénierie} [R 26]. Les résultats figurent page suivante.

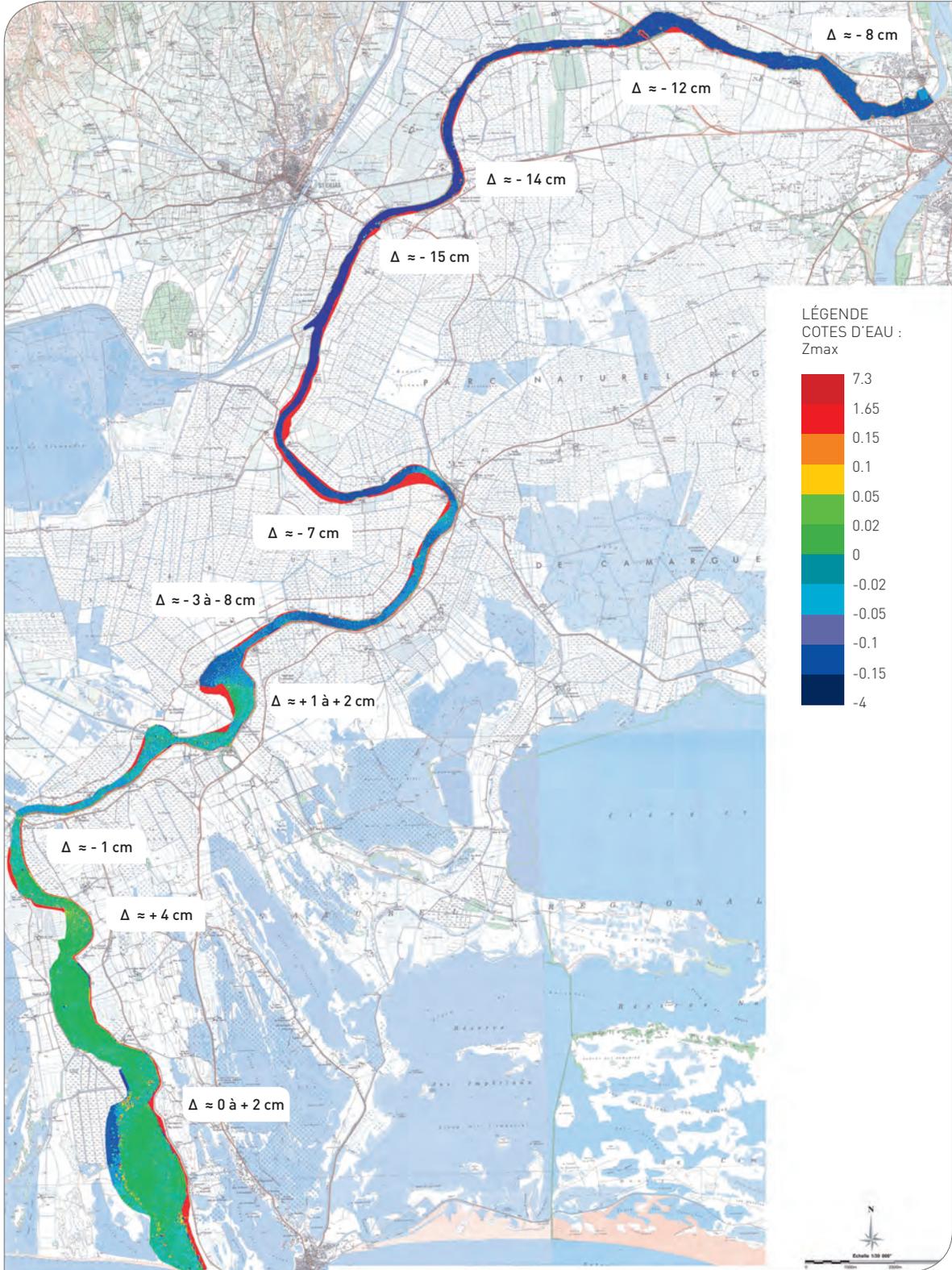
On constate que les aménagements prévus sur le Rhône et le Grand Rhône n'ont pas d'impact hydraulique négatif sur le Petit Rhône. Pour la crue type mai 1856 et la crue exceptionnelle, "l'écrêtement" du aux déversements entre Beaucaire et Arles a pour conséquence de réduire les débits sur le Petit Rhône et contribue à l'abaissement des niveaux sur le Petit Rhône amont. En aval du Pont de Saint Gilles, cet effet n'est plus observable.

SCÉNARIO DE CRUE IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGENÈ

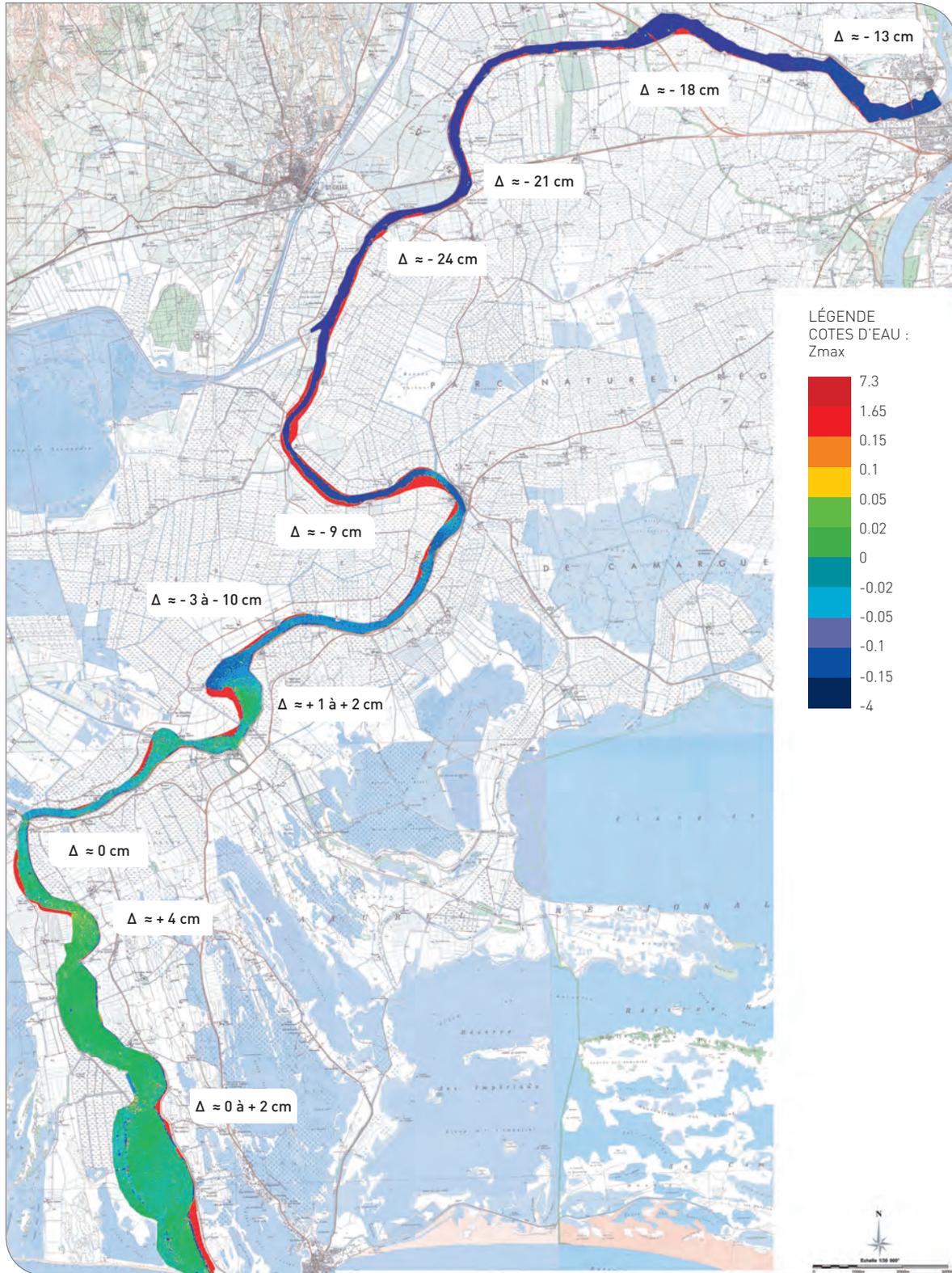
DÉBIT MAX TARASCON (EN M³/S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PONT SUSPENDU	A54	PONT CAVALÈS	PONT ST GILLES	AVAL DÉVER-SEMENT	COUDE CAPETTE	PONT SYLVÉRÉAL	BAC SAUVAGE
			A54	PONT CAVALÈS	PONT ST GILLES	AVAL DÉVER-SEMENT	COUDE CAPETTE	PONT SYLVÉRÉAL	BAC SAUVAGE	AVAL DU BAC DU SAUVAGE
10500	50 ans	Janv. 1994	- 7 à - 14	- 7 à - 16	- 15 à - 19	- 7 à - 20	- 10 à + 1	- 4 à + 4	- 3 à + 5	- 4 à + 1
11500	100 ans	Déc. 2003	- 13 à - 20	- 14 à - 23	- 22 à - 28	- 9 à - 28	- 13 à - 3	- 4 à + 4	- 2 à + 5	- 4 à + 2
12500	250 ans	Mai 1856	- 20 à - 28	- 20 à - 29	- 27 à - 33	- 10 à - 32	- 14 à - 2	- 4 à + 4	- 2 à + 5	- 6 à + 3
14160	1 000 ans	Millénaire	- 21 à - 27	- 20 à - 29	- 27 à - 34	- 12 à - 33	- 16 à - 3	- 5 à + 4	- 1 à + 4	- 4 à + 4

Impact dans le lit endigué du Petit Rhône du programme de sécurisation (source données EGISeau [R17])

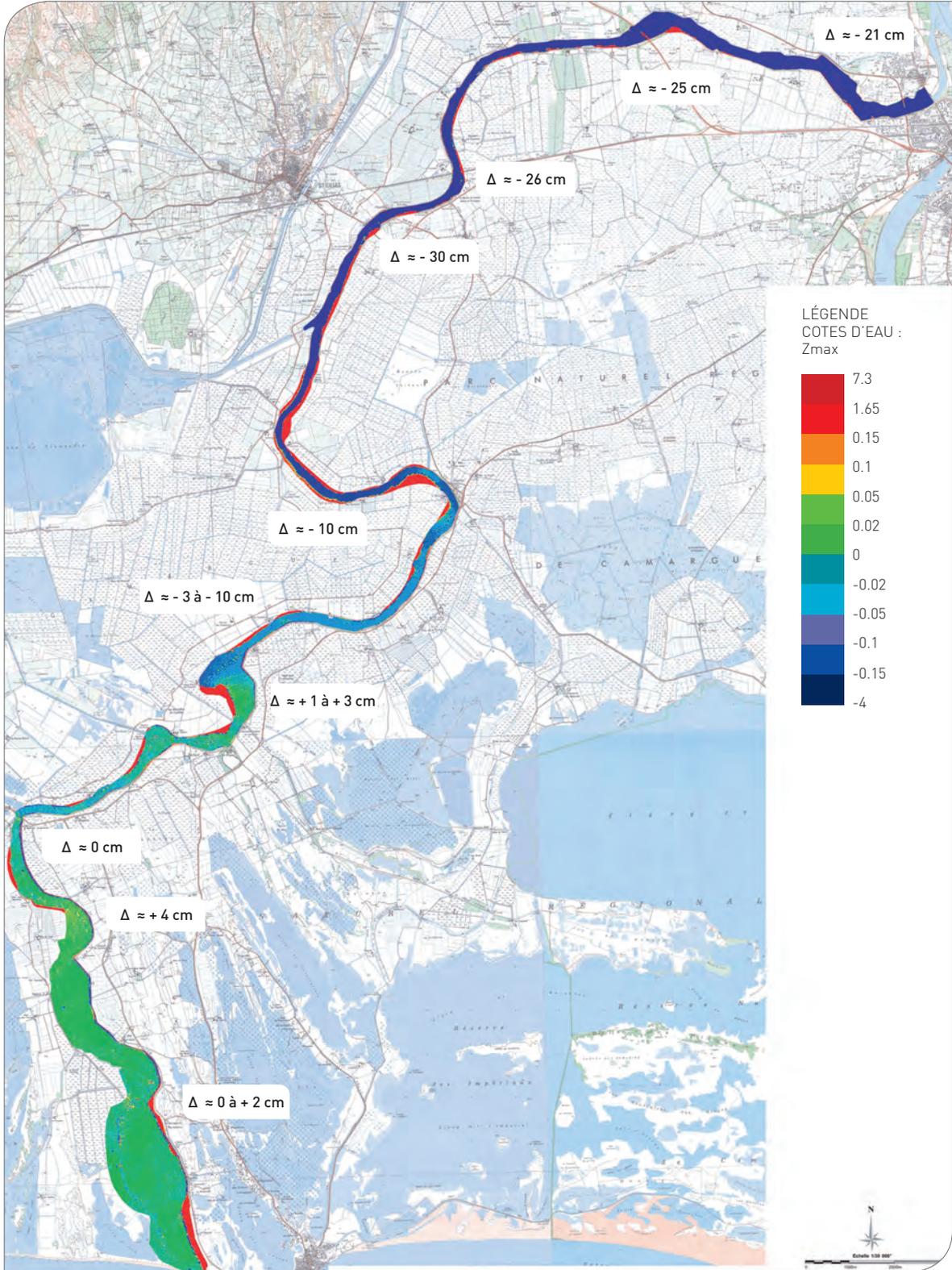
Les cartes des modélisations de l'impact hydraulique du programme sur le Petit Rhône figurent en pages suivantes.



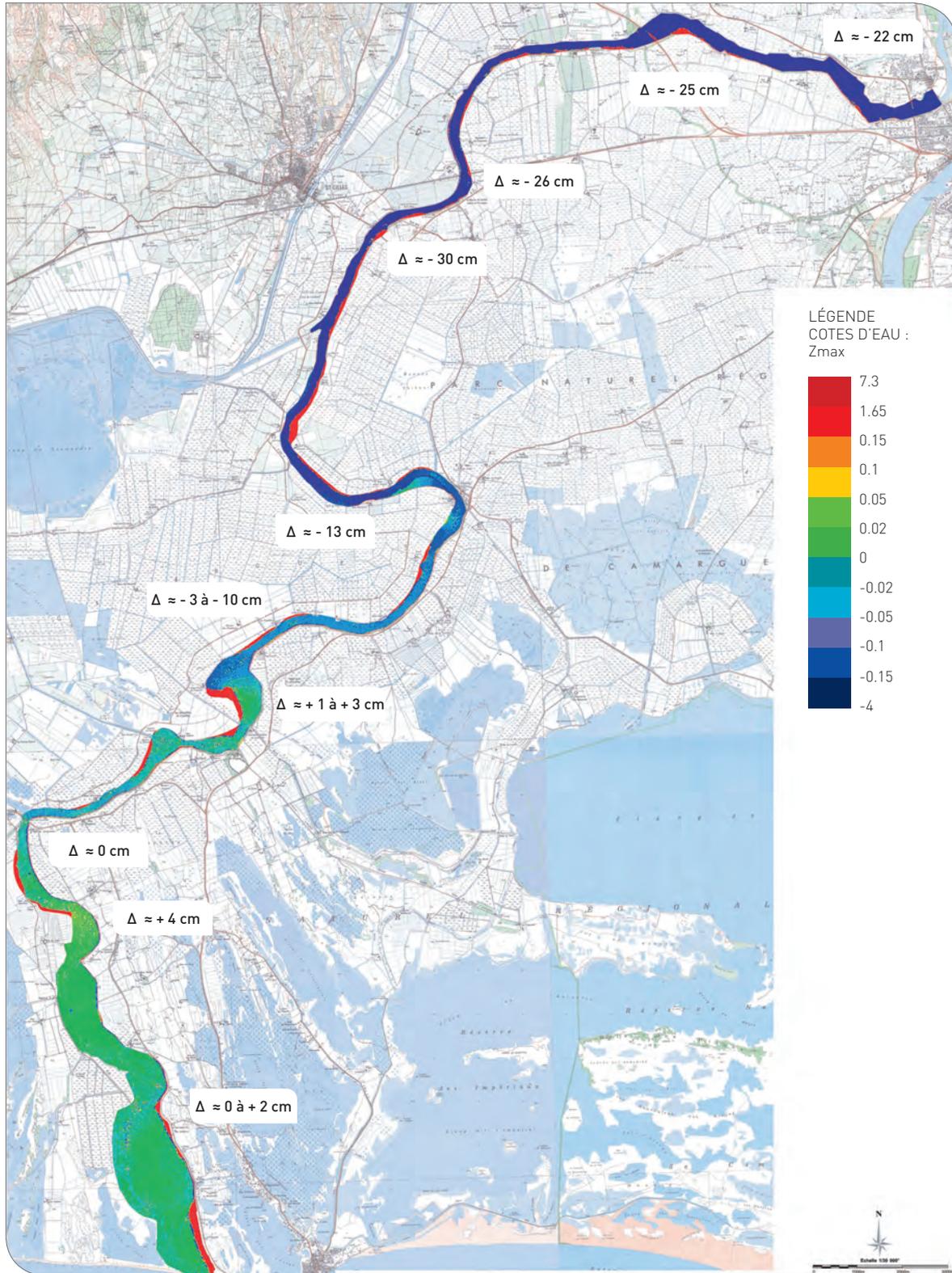
Impact du programme sur le Petit Rhône (scénario 10500) (source EGISEau [R 17])



Impact du programme sur le Petit Rhône (scénario 11500) (source EGISeau [R 17])



Impact du programme sur le Petit Rhône (scénario 12500) (source EGISEau [R 17])



Impact du programme sur le Petit Rhône (scénario 14160) (source EGISeau [R 17])

→ 10.12. IMPACT SUR LES DÉBITS ET LA RÉPARTITION PETIT RHÔNE/GRAND RHÔNE

Ces données sont extraites des modélisations complémentaires réalisées par la CNR_{ingénierie} [R26].

Elles concernent les débits de pointe des 5 scénarios étudiés aux points suivants :

- Station de Beaucaire/Tarascon sur le Rhône,
- À la diffluence,
- Station d'Arles sur le Grand Rhône,
- Station de Fourques sur le Petit Rhône.

La répartition Petit Rhône/Grand Rhône en % figure également.

L'aménagement 13 concerne l'ensemble des travaux de sécurisation du Barrage de Vallabrègues à Arles prévu dans le programme. L'aménagement 16 concerne l'ensemble des travaux du programme de sécurisation y compris le recul limité des digues du Petit Rhône et du Grand Rhône.

On constate que globalement pour l'ensemble des crues, la répartition des débits entre le Petit Rhône et le Grand Rhône est peu impactée de l'ordre de 0,1 à 0,2 %. Cette modification est liée d'une part au recul des digues sur le Petit Rhône et le Grand Rhône pour les crues 9500, 10500 et 11500 et aux déversements entre Beaucaire et Arles pour les crues 12500 et 14160. Cette modification de la répartition des débits entre le petit et le grand Rhône demeure négligeable au vue des variations enregistrées tout au long de la montée de la crue et de la décrue.

LOCALISATION	ÉTAT INITIAL	AMÉNAGEMENT 13	AMÉNAGEMENT 16
Rhône à Beaucaire/Tarascon (m ³ /s)	9 650	9 662	9 672
Rhône à la diffluence (m ³ /s)	9 387	9 400	9 401
Grand Rhône à Arles (m ³ /s)	8 328	8 339	8 326
Petit Rhône à Fourques (m ³ /s)	1 061	1 063	1 077
Répartition PR/GR (en %)	11,3	11,3	11,4

Crue 9500 – débits de pointe dans le Grand Delta du Rhône et répartition Petit Rhône/Grand Rhône

LOCALISATION	ÉTAT INITIAL	AMÉNAGEMENT 13	AMÉNAGEMENT 16
Rhône à Beaucaire/Tarascon (m ³ /s)	10 436	10 432	10 431
Rhône à la diffluence (m ³ /s)	10 107	10 110	10 108
Grand Rhône à Arles (m ³ /s)	8 934	8 935	8 918
Petit Rhône à Fourques (m ³ /s)	1 178	1 178	1 192
Répartition PR/GR (en %)	11,6	11,6	11,8

Crue 10500 – débits de pointe dans le Grand Delta du Rhône et répartition Petit Rhône/Grand Rhône

LOCALISATION	ÉTAT INITIAL	AMÉNAGEMENT 13	AMÉNAGEMENT 16
Rhône à Beaucaire/Tarascon (m ³ /s)	11 619	11 579	11 577
Rhône à la diffluence (m ³ /s)	11 328	11 288	11 285
Grand Rhône à Arles (m ³ /s)	9 951	9 918	9 901
Petit Rhône à Fourques (m ³ /s)	1 378	1 371	1 385
Répartition PR/GR (en %)	12,2	12,1	12,3

Crue type décembre 2003 – débits de pointe dans le Grand Delta du Rhône et répartition Petit Rhône/Grand Rhône

LOCALISATION	ÉTAT INITIAL	AMÉNAGEMENT 13	AMÉNAGEMENT 16
Rhône à Beaucaire/Tarascon (m ³ /s)	12 600	12 715	12 715
Rhône à la diffluence (m ³ /s)	12 015	11 849	11 838
Grand Rhône à Arles (m ³ /s)	10 495	10 365	10 345
Petit Rhône à Fourques (m ³ /s)	1 521	1 485	1 493
Répartition PR/GR (en %)	12,7	12,5	12,6

Crue type mai 1856 – débits de pointe dans le Grand Delta du Rhône et répartition Petit Rhône/Grand Rhône

LOCALISATION	ÉTAT INITIAL	AMÉNAGEMENT 13	AMÉNAGEMENT 16
Rhône à Beaucaire/Tarascon (m ³ /s)	14 139	14 333	14 333
Rhône à la diffluence (m ³ /s)	12 383	12 150	12 130
Grand Rhône à Arles (m ³ /s)	10 777	10 600	10 576
Petit Rhône à Fourques (m ³ /s)	1 606	1 550	1 555
Répartition PR/GR (en %)	13	12,8	12,8

Crue exceptionnelle – débits de pointe dans le Grand Delta du Rhône et répartition Petit Rhône/Grand Rhône

→ 10.13. VOLUME SOUSTRAIT OU GAGNÉ AUX CAPACITÉS D'EXPANSION DES CRUES

Les digues actuelles sont mises en charge pour un débit estimé à la station de Beaucaire/Tarascon compris entre 6000 et 7000 m³/s, soit pour une crue dont la période de retour est comprise entre 2 et 5 ans. Les déversements sur les digues débutent sur le Petit Rhône et Grand Rhône pour une crue de période de retour 50 ans et sur le Rhône pour une crue de période de retour 100 ans.

Compte tenu des objectifs de sécurisation et de conception des ouvrages et des objectifs environnementaux qui sont d'adapter le tracé des ouvrages pour éviter au maximum la réalisation de protection lourdes ou de détruire des zones humides ou de la ripisylve, on estime suivant les opérations les surfaces soustraites (moins) ou gagnées (plus) suivantes (à 20 % près) :

- BA1 : Digue Beaucaire/Fourques
≈ 0
- BA2 : Digue Tarascon/Arles
≈ - 50 ha
- PR1-1 : Dignes Petit Rhône
≈ + 200/250 ha
- GR2-1 : Digue Grand Rhône 1^{ère} priorité (Salin-de-Giraud)
≈ + 5/15 ha
- GR2-2 : Digue Grand Rhône 1^{ère} priorité (Sud d'Arles)
≈ + 5/15 ha
- GR2-3 : Dignes Grand Rhône 2^{ème} priorité
≈ + 25/35 ha

Globalement le programme de sécurisation, compte tenu des objectifs précités d'adaptation de tracé des futurs ouvrages, libère aux capacités d'expansion de crues une surface estimée comprise entre 200 et 250 ha.

Compte tenu du planning prévisionnel du programme, qui est le suivant :

- BA1 : Digue Beaucaire/Fourques
≈ 2013 à 2016 (0 ha)
- GR2-2 : Digue Grand Rhône 1^{ère} priorité (Sud d'Arles)
≈ 2013 à 2015 (+5/15 ha)
- GR2-1 : Digue Grand Rhône 1^{ère} priorité (Salin-de-Giraud)
≈ 2013 à 2016 (+5/15 ha)
- PR1-1 : Dignes Petit Rhône
≈ 2015 à 2018 (+200/250 ha)
- BA2 : Digue Tarascon/Arles
≈ 2015 à 2018 (-50 ha)
- GR2-3 : Dignes Grand Rhône 2^{ème} priorité
≈ après 2018 (+25/35 ha)

On peut considérer que le gain de surface/volumes sur la capacité d'expansion des crues sera nul en début d'exécution du programme et deviendra, au fur et à mesure des réalisations, positif. À aucun moment, il ne sera négatif.

→ 10.14. IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Les ouvrages du SYMADREM traversent des milieux particulièrement riches écologiquement. Les aménagements prévus sont susceptibles d'entraîner diverses incidences sur les milieux naturels, que ce soit lié à l'emprise des futurs ouvrages (élargissement systématique ou déplacement des digues), aux solutions techniques retenues (solutions de confortement type enrochement, mesures compensatoires hydrauliques, etc.) ou encore à la mise en œuvre des chantiers. Cette importance écologique a été identifiée très tôt dans la définition du programme. Les mesures de réduction des incidences environnementales ont été prévues à trois niveaux d'interventions :

- Dès la conception des aménagements, les enjeux environnementaux ont été intégrés dans les paramètres de conception des ouvrages,
- En parallèle à l'opération, avec des mesures permettant de réduire au maximum les impacts des aménagements et des travaux,
- Enfin en complément de l'opération, avec des mesures visant à restaurer des habitats et espèces.

Le présent article aborde les impacts environnementaux de manière globale. Les enjeux environnementaux sont évalués de la manière suivante :

- Sources bibliographiques et réglementaires,
- Synthèse des prospections effectuées sur les diverses opérations,
- Appréciation des impacts cumulés du programme et des mesures associées.

Chaque opération du présent programme abordera les impacts environnementaux de l'opération en elle-même, suivant la méthodologie ci-dessus :

- Études bibliographiques et réglementaires,
- Prospections de terrain adaptées au secteur et aux enjeux :
 - Recherche systématique des habitats d'espèces et des milieux susceptibles d'abriter des espèces patrimoniales,
 - Recherche des espèces patrimoniales suivant des techniques propres à chaque espèce, basées sur leur biologie et leur comportement.
- Appréciation des impacts de l'opération et proposition précise et chiffrée des mesures d'accompagnements et compensatoires associées.

10.14.1. CONTEXTE JURIDIQUE ET RÉGLEMENTAIRE

Les communes du territoire sont concernées par plusieurs périmètres d'inventaires et de protection, à savoir :

- Les périmètres inventoriés ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique),
- Les périmètres réglementaires Natura 2000 (ZPS, SIC, ...) désignés respectivement au titre de la Directive Oiseaux, et de la Directive Habitats-Faune-Flore,
- Parc Naturel Régional de Camargue,
- Réserve Nationale de Camargue,
- Réserve Départementale des Impériaux.

10.14.1.1. PÉRIMÈTRES D'INVENTAIRES - ZNIEFF

Le Delta du Rhône est un secteur particulièrement riche écologiquement. De nombreuses zones ZNIEFF y sont inventoriées. Le tableau ci-dessous recense les zones ZNIEFF dont le périmètre interfère directement avec les ouvrages du SYMADREM.

ZNIEFF	CODE	COMMUNE	PROXIMITÉ DES OUVRAGES
Canal de Canon et Lône de Pillet	3027-2001	Beaucaire	Proche
Camargue Gardoise	3025-0000	Communes du Gard	Proche
Le Rhône et ses canaux	3027-0000	Communes du Gard	Proche
They de la Palissade	13-136-154	Arles	Proche
Bois de Tourtoulon, de Beaujeu et d'Azegat	13-138-160	Arles	Proche
They de la Gracieuse - They de Roustan	13-100-153	Arles / Port-Saint-Louis-du-Rhône	Proche
Étangs des Salins - pointe de Beauduc	13-136-155	Saintes-Maries-de-la-Mer	Proche
Étangs et dunes de Petite Camargue	13-136-157	Saintes-Maries-de-la-Mer	Proche
Île de Saxy	13-138-159	Tarascon / Arles	Proche
Camargue fluvio-lacustre et laguno-marine	13-136-100	Saintes-Maries-de-la-Mer / Arles	Proche
Le Rhône	13-138-100	Tarascon / Arles / Port-Saint-Louis-du-Rhône	Proche

Zones ZNIEFF dans le Grand Delta du Rhône

10.14.1.2. PÉRIMÈTRES RÉGLEMENTAIRES – NATURA 2000

Les digues et les plaines du Rhône sont concernées par les 10 sites du réseau Natura 2000 listés dans le tableau ci-dessous. Les ouvrages du SYMADREM interfèrent directement avec 5 de ces sites.

ZONE NATURA 2000	CODE	STATUT*	COMMUNES	PROXIMITÉ DES OUVRAGES
LE PETIT RHÔNE	FR9101405	SIC/pSIC	ARLES/FOURQUES/ SAINT-GILLES/ VAUVERT/ SAINTES-MARIES-DE-LA-MER	Proche
CAMARGUE	FR9301592	SIC/pSIC	ARLES/SAINTES-MARIES-DE-LA-MER/ PORT-SAINT-LOUIS-DU-RHÔNE	Proche
CAMARGUE	FR9310019	ZPS	ARLES/SAINTES-MARIES-DE-LA-MER/ PORT-SAINT-LOUIS-DU-RHÔNE	Proche
LE RHÔNE AVAL	FR9301590	SIC/pSIC	BEAUCAIRE/TARASCON/ ARLES/FOURQUES/ PORT-SAINT-LOUIS-DU-RHÔNE	Proche
PETITE CAMARGUE	FR9101406	SIC/pSIC	SAINT-GILLES/VAUVERT/ SAINT-LAURENT-D'AIGOUZE/ AIGUES-MORTES/LE GRAU-DU-ROI/ SAINTES-MARIES-DE-LA-MER	Proche
PETITE CAMARGUE LAGUNO-MARINE	FR9112013	ZPS	SAINT-LAURENT-D'AIGOUZE/ AIGUES-MORTES/LE GRAU-DU-ROI/ SAINTES-MARIES-DE-LA-MER	Proche
CAMARGUE GARDOISE FLUVIO-LACUSTRE	FR9112001	ZPS	VAUVERT	Proche
CRAU CENTRALE - CRAU SÈCHE	FR9301595	SIC/pSIC	ARLES	Proche
MARAIS DE LA VALLÉE DES BAUX ET MARAIS D'ARLES	FR9301596	SIC/pSIC	ARLES	Proche
CRAU	FR9310064	ZPS	ARLES	Proche

*ZPS : Zone de Protection Spéciale / SIC/pSIC : Site ou proposition de Site d'Importance Communautaire
Zones Natura 2000 dans le Grand Delta du Rhône

10.14.1.3. AUTRES PÉRIMÈTRES DE PROTECTION

- Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC),
- Site RAMSAR "Camargue",
- Réserve Naturelle Nationale de Camargue,
- Réserve Naturelle Nationale des Coussouls de Crau,
- Réserve Naturelle Régionale de la Tour du Valat,
- Réserve Départementale des Impériaux,
- Réserve de Biosphère Camargue.

Hormis le PNRC, ces sites sont éloignés des ouvrages du SYMADREM. Le territoire du PNRC quant à lui, recoupe de nombreux sites ZNIEFF et Natura 2000 cités ci-dessus.

10.14.2. ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX – ÉTAT INITIAL

10.14.2.1. PATRIMOINE ÉCOLOGIQUE DE LA ZONE / HABITATS ET ESPÈCES REMARQUABLES

Dans chaque opération, les habitats et espèces recensés sont classés selon une grille d'évaluation patrimoniale qui repose sur la valeur écologique propre à chaque espèce. Elle prend en compte :

- Son statut juridique de protection,
- Son état de conservation à l'échelle de l'aire d'étude,
- Son intérêt patrimonial (à l'échelle locale et globale),
- Sa capacité de résilience/adaptation vis-à-vis de l'aménagement.

Les habitats et espèces listés ici sont ceux dont les enjeux locaux de conservation sont les plus forts.

La Flore et les Habitats naturels :

Les ouvrages étant situés en bordure du Rhône, de nombreux habitats d'intérêt communautaire s'y développent. Il s'agit notamment de :

- Forêts alluviales à *Alnus glutinosa* et *Fraxinus excelsior* : Habitat prioritaire,
- Forêts galeries à *Salix alba* et *Populus alba*,
- Forêts mixtes de Chênes d'ormes et de Frênes des grands fleuves,
- Rivières avec berges vaseuses avec végétation du *Chenopodium rubri p.p.* et du *Bidention p.p.*,
- Galeries riveraines à Tamaris,
- Peupleraies blanches,
- Prés salés méditerranéens des hauts niveaux,
- Sansouires (Fourrés de marais salés méditerranéens),
- Fourrés halophiles méditerranéens et thermo-atlantiques (*Sarcocornietea fruticosi*),
- Vases salées à végétation halophile annuelle,
- Dunes grises.



Habitats naturels digue de Beaucaire/Fourques, ©photo G.Aubin, Naturalia

La Faune :

Les cortèges faunistiques recensés dans l'aire d'étude sont diversifiés. Les habitats naturels, bien que souvent marqués par l'emprise humaine, notamment au Nord du territoire du SYMADREM, demeurent relativement variés.

Les espèces présentes s'apparentent pour l'essentiel aux groupements faunistiques caractéristiques des fleuves du nord de la méditerranée. Toutefois, certaines espèces se singularisent par des aires de répartition plus discontinues et/ou par un mauvais état de conservation à différentes échelles géographiques.

Les espèces remarquables appartiennent à différentes catégories faunistiques :

- **Les Oiseaux** : Espèces des formations ripisylvatiques essentiellement (Rollier d'Europe, le Blongios nain, Milan noir, Faucon hobereau...).
- **Les Reptiles** : Cistude d'Europe, Lézard ocellé.
- **Les Amphibiens** : Pélobate cultripède Crapaud calamite. Le Triton crêté, même si sa présence n'est pas avérée à proximité des ouvrages (une dizaine de stations est connue dans le Delta du Rhône), les nombreuses mares qui les longent et la rareté de l'espèce en font un enjeu important de la zone.
- **Les Insectes** : Les espèces à enjeu réglementaire sont peu nombreuses mais on relèvera les effectifs importants de la Diane – papillon largement répandu sur les ouvrages même qui habitent sa plante hôte (Aristolochie) – ainsi que la présence du Criquet des Dunes, du Criquet Tricolore et du Cordulie à corps fin.
- **Les mammifères** : La diversité spécifique est notable ce qui témoigne d'une mosaïque d'habitats encore intéressante. La plupart ne présente pas d'enjeux de conservation mais les berges et la ripisylve du Rhône sont l'habitat privilégié de certaines espèces patrimoniales :
 - Castor d'Europe,
 - Genette d'Europe,
 - Loutre d'Europe (non avérée),
 - les Chiroptères : Le peuplement de chauves-souris est quant à lui représentatif des zones boisées camarguaises en périphérie de cours d'eau. 16 espèces au total ont été identifiées dans l'aire d'étude dont trois sont d'intérêt patrimonial fort :
 - Le Grand Rhinolophe,
 - Le Murin à oreilles échanquées,
 - Le Minioptère de Schreibers.



Milan Noir, Grand Rhinolophe, Diane, ©photo Naturalia

10.14.2.2. PATRIMOINE ÉCOLOGIQUE DE LA ZONE / MILIEU AQUATIQUE

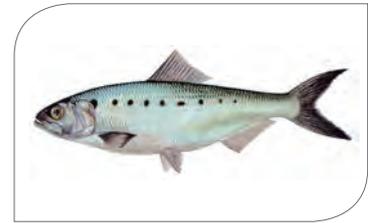
Dans le Rhône, 37 espèces de poissons ont été recensées entre le barrage de Vallabrègues et l'exutoire du fleuve dans la mer. Le Rhône est classé sur ce linéaire en deuxième catégorie piscicole.

La diversité d'espèces piscicoles s'explique d'une part par le faible taux d'aménagement sur le delta rhodanien permettant ainsi la migration des espèces marines, et d'autre part, par la présence de frayères constituées par les îles artificielles générées par les casiers de sédimentations.

Les espèces patrimoniales du Rhône sont notamment :

- L'anguille, fragilisée par les aménagements le long du fleuve – le Rhône fait l'objet d'une déclinaison locale du plan de gestion national de l'anguille,
- L'alose feinte, dont des frayères ont été recensées dans le fleuve, inscrite aux annexes II et V de la Directive Habitat,
- Le spirilin présente dans le petit Rhône. Cette espèce est en général associée à une bonne qualité des eaux et est sensible aux aménagements et aux réductions qualitatives de son habitat.

D'autres espèces citées sur les sites Natura 2000 sont présentes dans les eaux du Rhône comme par exemple : la bouvière Rhodeus, la Lamproie de rivière, la Lamproie marine, la Loche épineuse, le Toxostome Chondrostoma.



Alose Feinte

10.14.3. MESURES D'INTÉGRATION DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX DANS LA CONCEPTION DES AMÉNAGEMENTS

Divers enjeux environnementaux ont été identifiés dès les premières réflexions sur les aménagements et ont été intégrés dans la conception des aménagements. Les principales mesures concernent :

- La prise en compte des enjeux environnementaux dans le tracé des futurs ouvrages,
- La prise en compte des enjeux environnementaux dans la détermination des mesures d'annulation et réduction d'impact hydrauliques.

10.14.3.1. ADAPTATION DU TRACÉ DES FUTURS OUVRAGES

La prise en compte des enjeux environnementaux comme critère prioritaire a conduit à écarter ou à fortement limiter, en cas d'impossibilité technique, lors de la phase de diagnostic certaines variantes de tracé ou de solutions techniques. La méthodologie de l'analyse conduite fait l'objet du chapitre suivant.

Sur le linéaire du Petit Rhône et du Grand Rhône, il s'agit souvent de zones particulièrement riches et à fort enjeu patrimonial. Les milieux bordant les digues du Rhône entre Beaucaire-Tarascon et Fourques-Arles sont souvent plus artificialisés et moins riches.

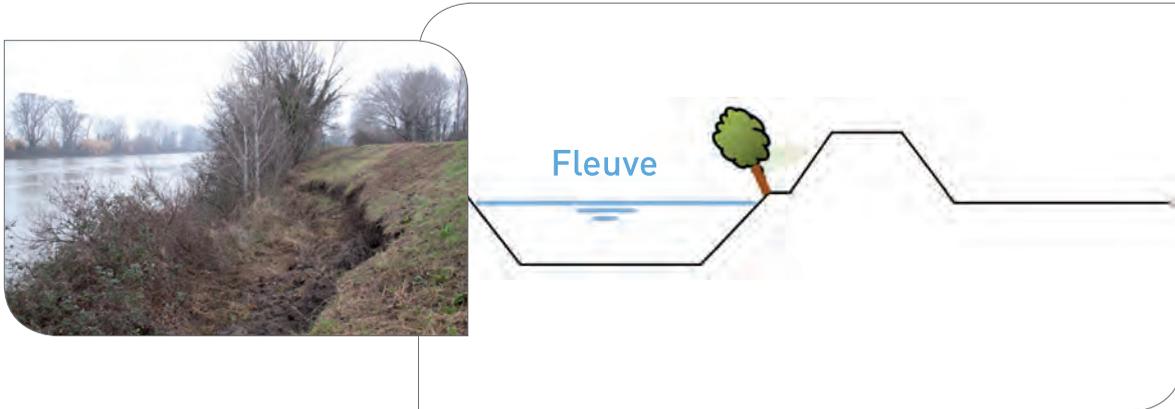
En pied d'ouvrage, on trouve principalement côté fleuve des ripisylves plus ou moins bien conservées et quelques fois côté terre des roselières et autres zones humides (anciennes caisse d'emprunt formées lors de la construction des digues, aujourd'hui en eau de manière permanente et abritant parfois des espèces patrimoniales).

Il est également possible de trouver à proximité ou dans le corps même des digues actuelles, des anciens bâtis abritant aujourd'hui des espèces de chiroptères à forts enjeux.

Trois situations sont aujourd'hui rencontrées le long du Rhône.

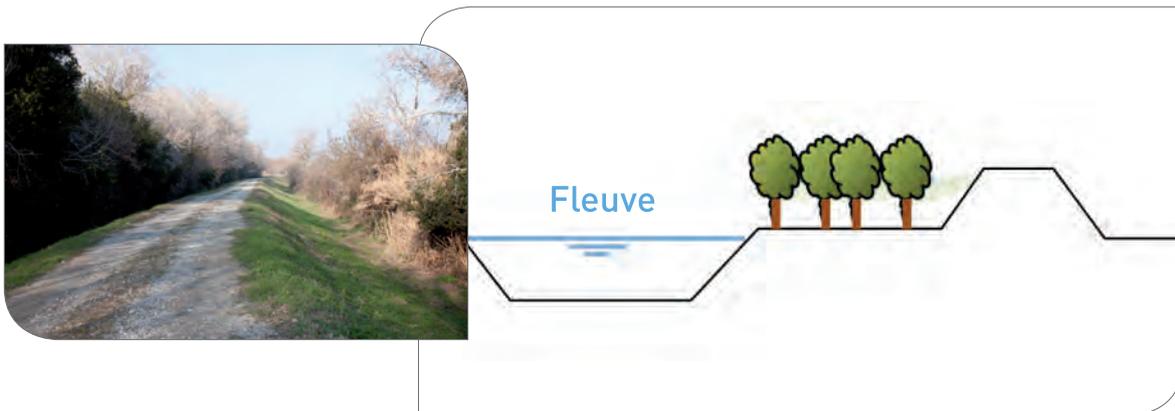
1°) Des digues proches du fleuve et dont la berge est soumise à affouillement externe

C'est fréquemment le cas le long du Petit Rhône.



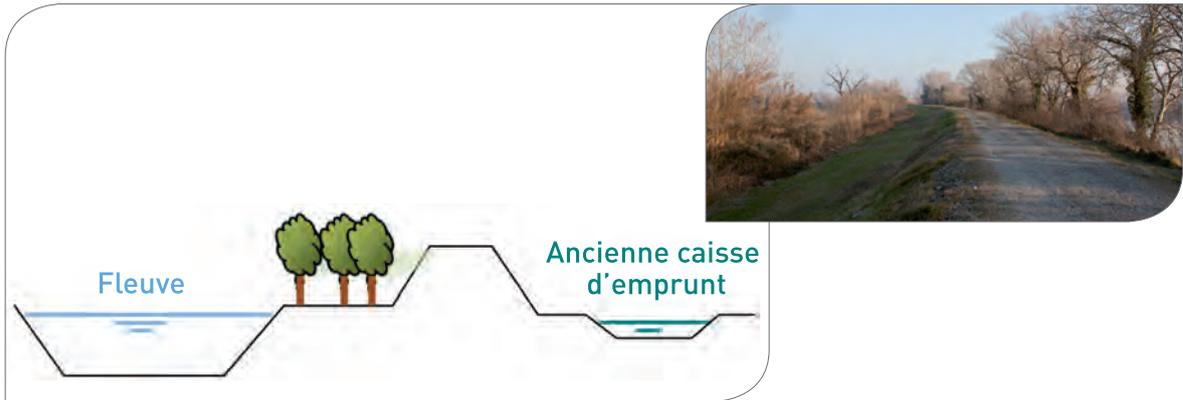
État initial : digue proche du fleuve avec berge exposée à l'affouillement externe

2°) Des digues éloignées du fleuve avec présence de ripisylve en pied de digue



État initial : digue éloignée du fleuve avec ripisylve en pied de digue

3°) Des digues éloignés du fleuve avec présence de ripisylve et caisses d'emprunt en pied de digue



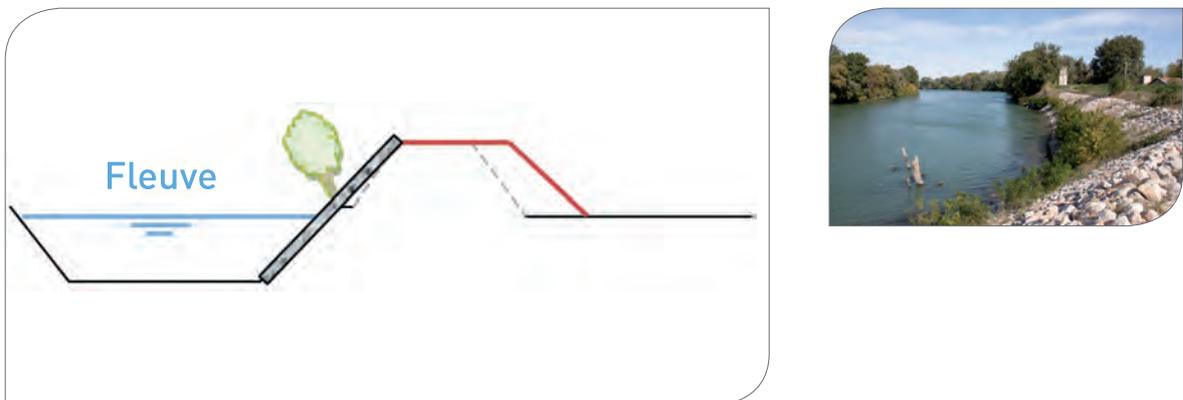
État initial : digue avec ripisylve et caisse d'emprunt en pieds

Le gabarit (pentes et épaisseur) actuel des digues est insuffisant et ne permet pas de garantir la stabilité en période de crue. Par ailleurs, la proximité du Rhône en pied de digue conduit à des érosions importantes des berges pouvant engendrer des glissements de talus en période courante, aggravés en période de crue.

Si l'on conserve le tracé actuel des digues, les travaux de sécurisation, suivant les recommandations actuelles en matière de conception de digue, se traduisent par :

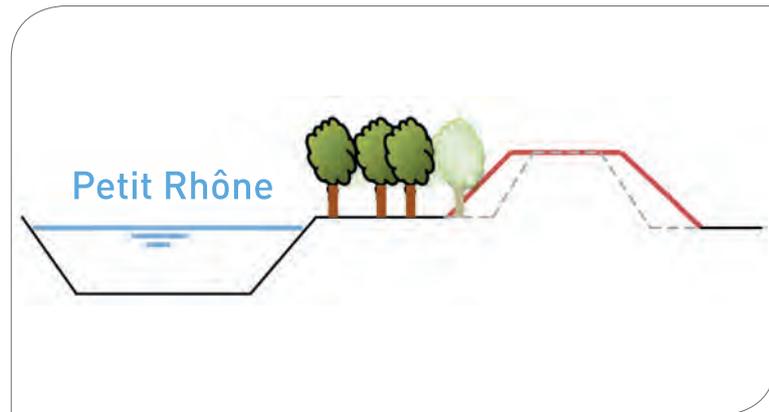
- Un épaissement de l'ouvrage (adoucissement des pentes et aménagement en crête et en pied de digue de pistes d'exploitation) dans tous les cas de figure, qui se traduit par a minima la suppression des caisses d'emprunt et éventuellement la ripisylve avoisinante,
- Et si le risque d'affouillement externe est avéré par une protection du talus de la digue et de la berge, ce qui se traduit quelle que soit la technique utilisée (le plus souvent une technique lourde) par une suppression de la ripisylve.

Ainsi dans le 1^{er} cas de figure exposé ci-avant, les travaux de sécurisation rendent nécessaires la réalisation d'une protection lourde en génie civil et la suppression définitive de la ripisylve :



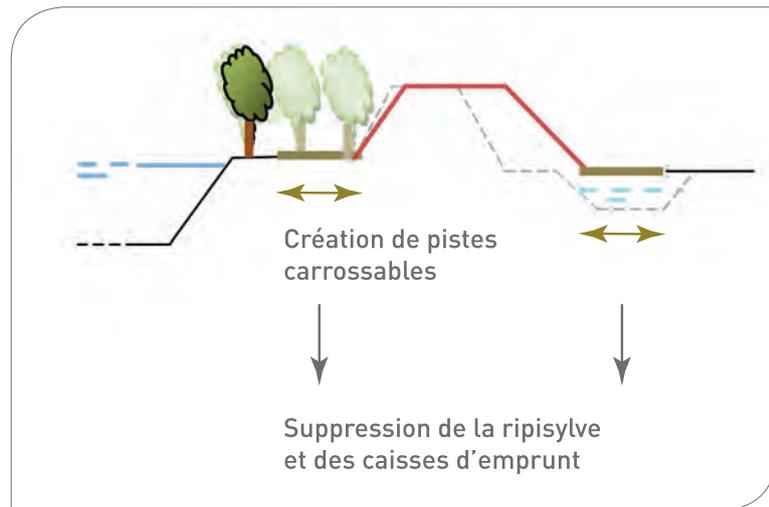
Conséquences environnementales d'un confortement sur place d'une digue proche du fleuve avec berge exposée à l'affouillement externe

Dans le 2^{ème} cas de figure exposé, l'élargissement de l'ouvrage impose la destruction d'une partie de la ripisylve :



Conséquences environnementales d'un confortement sur place d'une digue éloignée du fleuve avec ripisylve en pied de digue

Dans le 3^{ème} cas de figure exposé, l'élargissement de l'ouvrage impose la destruction de la ripisylve avoisinante et le comblement des caisses d'emprunt.

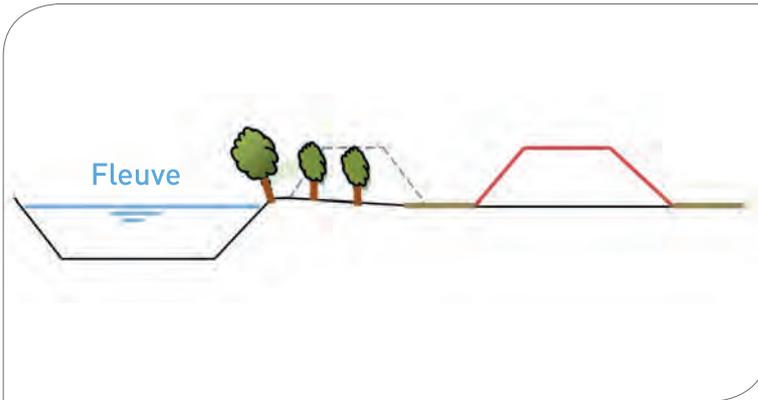


Conséquences environnementales d'un confortement sur place d'une digue avec ripisylve et caisse d'emprunt en pied

Afin d'éviter la suppression de ripisylve, le comblement de caisses d'emprunt aujourd'hui considérés comme des zones humides et la réalisation de protection de berges qui supprimerait définitivement la ripisylve le long des tronçons concernés, le SYMADREM a pris le parti de démonter les ouvrages actuels et les reconstruire dans les règles de l'art sur des terrains de moindre intérêt écologique tout en limitant l'impact sur les terres agricoles bordant également le fleuve.

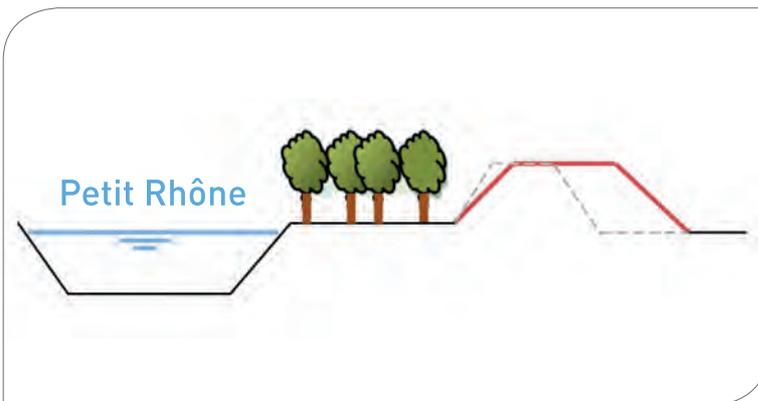
Ainsi afin de réduire au maximum l'impact environnemental des travaux de sécurisation, **la solution retenue par le SYMADREM est de déplacer les digues tout en limitant les impacts sur l'agriculture.** Cette solution est illustrée pour les trois cas de figure précités.

1^{er} cas de figure : la digue est démontée et reconstruite en recul ; un ségonnal est créé ; une ripisylve peut progressivement s'implanter.



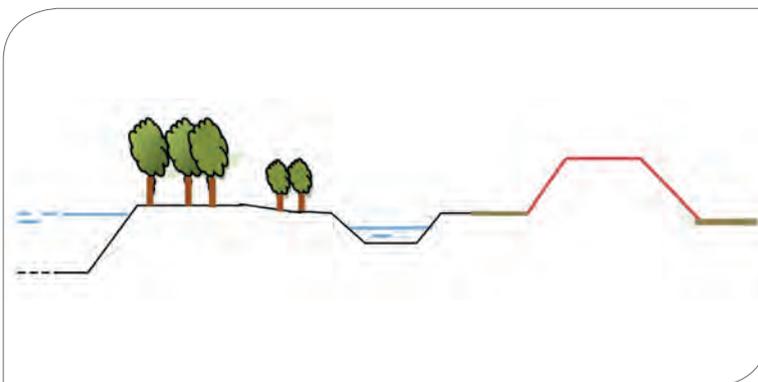
Solution retenue dans le cas d'une digue proche du fleuve avec berge exposée à l'affouillement externe

2^{ème} cas de figure : la digue est maintenue en place, mais confortée côté terre pour éviter la ripisylve.



Solution retenue dans le cas d'une digue éloignée du fleuve avec ripisylve en pied de digue

3^{ème} cas de figure : la digue est démontée et reconstruite de l'autre côté des caisses d'emprunt, le ségonnal est créé ou agrandi ; la ripisylve peut se développer.



Solution retenue dans le cas d'une digue avec ripisylve et caisse d'emprunt en pieds

En complément, lorsque des milieux importants ont été détectés en pied de digue côté terre ou dans le corps de digues, comme c'est notamment le cas sur le Petit Rhône, il a été choisi de déplacer l'ouvrage de manière à s'affranchir des impacts sur ces milieux.

Ainsi, à chaque fois que cela est possible, le tracé de la digue contourne les zones humides et les gîtes à chauve-souris. L'exemple du bâti (ouvrage traversant) abritant une population de Grand Rhinolophe au droit du Mas de Vert en rive gauche du Petit Rhône peut être cité. Cet ouvrage étant à l'origine d'une fragilisation de la digue, il était prévu initialement de le détruire et de conforter la digue côté terre. Le site ayant été identifié comme un site de reproduction pour cette famille de chiroptère, le programme propose de déplacer la digue vers la plaine afin de maintenir le bâti.

Ces adaptations de tracé permettent ainsi de préserver des milieux remarquables situés à proximité immédiates des digues, mais également de créer (cas du petit Rhône) ou d'élargir le ségonnal, ce qui permettra d'établir une **véritable trame verte** bordant le fleuve de la diffluence à la mer.

Par ailleurs, il convient de préciser qu'à l'exception de tronçons très limités (exemple du mas de Vert ci-dessus), **l'ancienne digue sera systématiquement démontée** pour les raisons suivantes :

- Sécurité publique : le maintien d'un remblai exposé au risque de brèches en amont de la nouvelle digue pourrait accroître en cas de rupture le risque sur le nouvel ouvrage. Ce risque pourrait être sensiblement réduit en créant des ouvertures régulières favorisant le remplissage progressif de cette zone inter-remblais. Néanmoins, le maintien de cet ouvrage poserait d'autres problèmes,
- Hydraulique : l'abaissement de la ligne d'eau lié au recul des digues, même s'il est limité à quelques centimètres, ne serait plus opérant ; la vitesse des écoulements dans ces zones inter-remblais étant presque nulle,
- Environnementale : la présence de ces remblais dans les ségonnaux ainsi créés ne permettrait pas la création d'une véritable trame verte souhaitée par les pouvoirs publics et plus particulièrement par le Parc Naturel Régional de Camargue,
- Économique : La sécurisation des digues impose de disposer de volumes de matériaux très importants. La réutilisation des matériaux des anciennes digues est un critère environnemental et économique primordiale pris en compte dans la conception des nouveaux ouvrages pour limiter le transport de matériaux et le coût des ouvrages.

Les caisses d'emprunt aujourd'hui dans la zone protégée verront leur situation modifiée et devraient à terme se combler progressivement. On estime néanmoins que le gain environnemental lié à la création d'une trame verte sera nettement supérieur au comblement progressif de ces roselières. En cas de présence de mares présentant un intérêt écologique remarquable (ex. bois de Lauricet), une analyse "coût/bénéfice environnementale" sera menée pour statuer sur le recul ou le maintien en place des ouvrages de protection.

Cette solution est également portée par le Parc Naturel Régional de Camargue. Une convention de partenariat a été passée entre le SYMADREM et le Parc pour la gestion des futures ségonnaux.

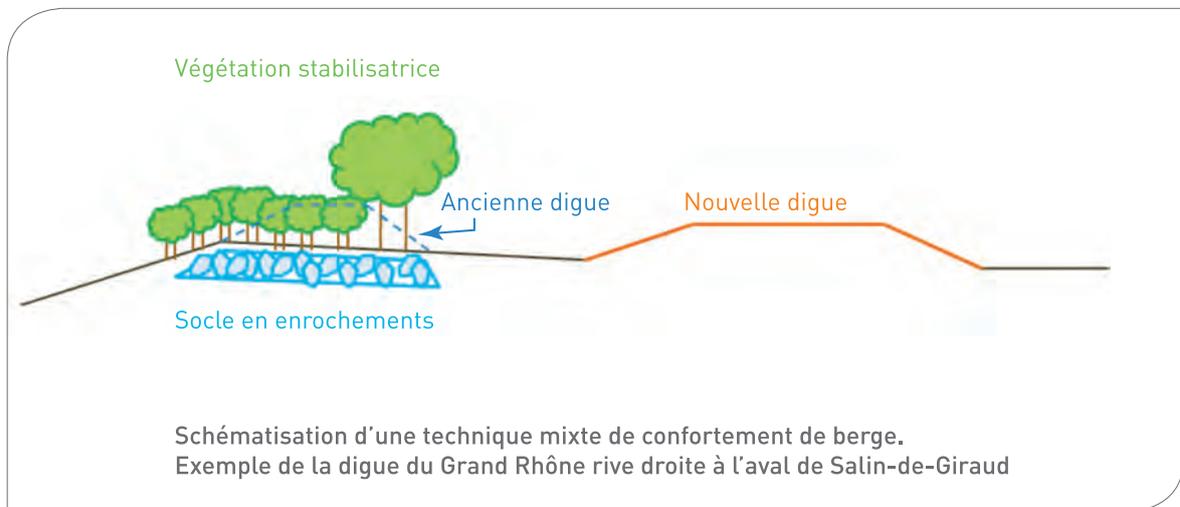
Zone où le recul est limité :

Sur les zones où le recul est limité ou impossible (par exemple du fait de la présence d'habitation en pied de digue côté terre) et où l'érosion par le fleuve restera menaçante, des interventions sur la berge seront nécessaires.

Sur ces zones en contact avec le fleuve, une attention particulière est portée aux solutions retenues. Ainsi sur certains secteurs où l'érosion est lente aucune intervention technique ne sera faite mais une surveillance accrue et un suivi de l'évolution de la berge seront mis en place.

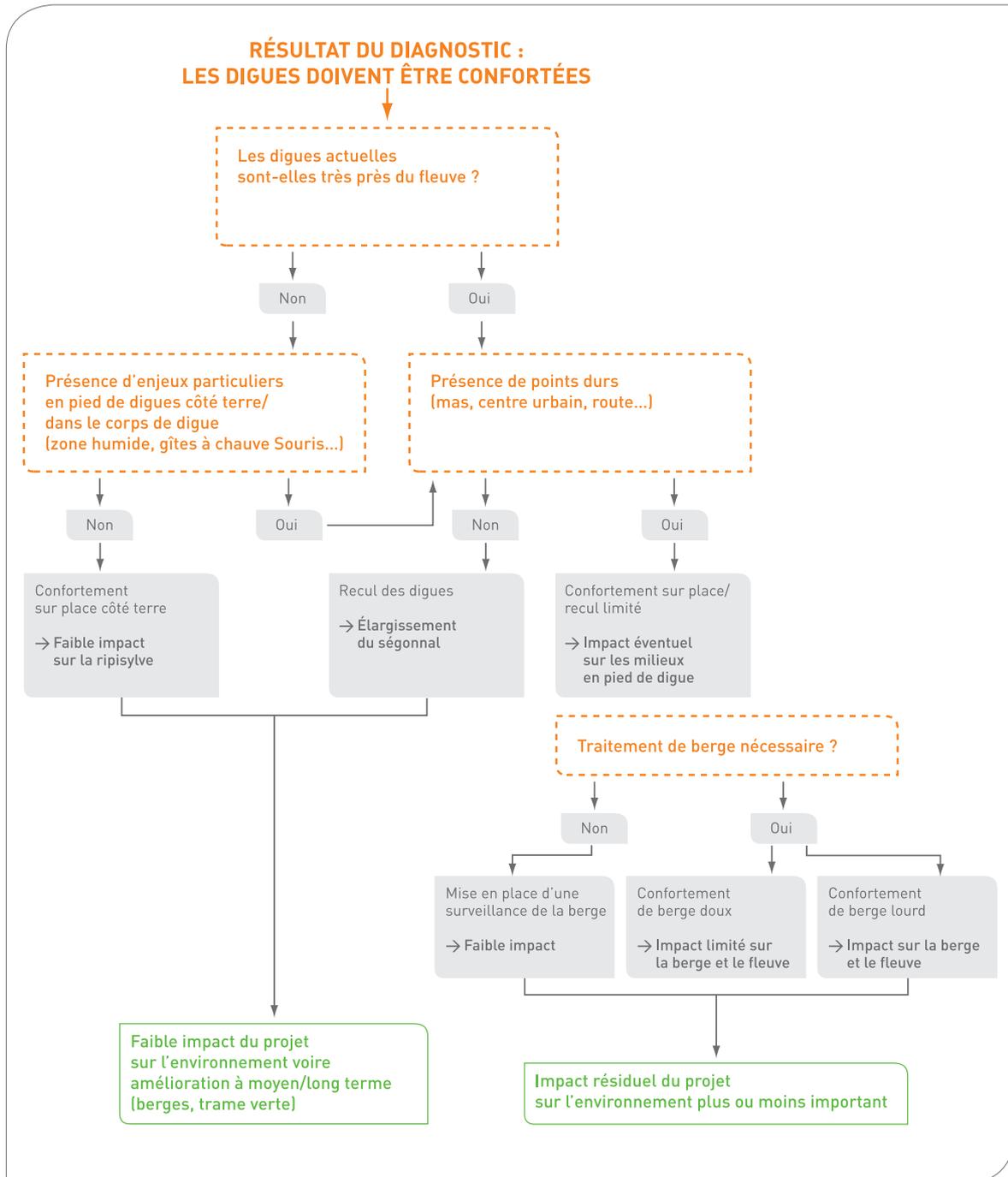
Si l'érosion est trop forte on privilégiera des solutions douces aux solutions lourdes type enrochements ou palplanches. Ainsi des techniques végétales sont à l'étude afin d'installer un couvert participant au maintien de la berge.

Lorsque des solutions plus lourdes seront incontournables, on veillera à établir des solutions mixtes comme l'enfouissement d'enrochement ou de palplanche et installation d'un couvert végétal résistant à l'érosion.



Technique mixte lorsque les risques d'affouillement externe sont importants et le recul de la digue insuffisant [R 88]

Le processus de décision établi par le SYMADREM lors de la conception des aménagements est synthétisé dans le synoptique environnemental ci-dessous :



Définition du tracé des digues à conforter – synoptique environnemental

Les études préliminaires réalisées à la date du 1^{er} janvier 2011 prévoient que :

- Les confortements sur place de digue représente 50 % du linéaire concerné par le programme,
- Les reculs de digue concernent entre 40 % du linéaire concerné par le programme,
- Les confortements sur place avec présence de points durs et avec un impact éventuel sur l'environnement concernent 10 % du linéaire concerné par le programme.

10.14.3.2. MESURES D'ANNULATION ET RÉDUCTION D'IMPACTS

HYDRAULIQUES

Les aménagements retenus dans le programme de sécurisation conduisent à mettre en place des mesures d'annulation et réduction d'impacts hydrauliques afin de corriger les exhaussements de ligne d'eau provoqués en amont de Beaucaire/Tarascon par le calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles ; les aménagements prévus sur le Petit Rhône et Grand Rhône n'occasionnant pas d'impacts hydrauliques négatifs.

Ces mesures consistent essentiellement en des interventions dans le lit endigué (dragages, reprofilage). Lors des études hydrauliques, plusieurs variantes ont été étudiées, permettant l'annulation de tout ou partie des impacts. L'étude de ces différentes mesures est décrite dans ce chapitre à l'article intitulé "Détermination et justification des mesures d'annulation et réduction d'impact hydraulique". La solution de base permettant d'annuler tous les impacts jusqu'à la crue exceptionnelle consistait en un élargissement massif du fleuve entre Tarascon et Arles. Cette mesure entraînait la destruction de 400 000 m² de ripisylve dans la zone Natura 2000 du Rhône aval. Cette solution n'était pas acceptable sur le plan environnemental et a été écarté par le SYMADREM.

Le SYMADREM a préféré privilégier la mise en place de plusieurs "petites" mesures. C'est ainsi que des sites largement anthropisés (atterrissement Tembec et île du comte) ont été identifiés pour déterminer cette compensation hydraulique. Par ailleurs, la création d'une lône en bordure de la zone Natura 2000 en rive gauche du Rhône a également été identifiée comme une mesure hydraulique environnementale, qui permet d'éviter tout impact sur la ripisylve en place et pourra permettre le développement de futures zones humides. De plus la création de cette lône va permettre de restaurer une continuité écologique dans des zones d'inventaire ZNIEFF (canal du Canon et Lône du Pillet, ainsi que Île de Saxy) particulièrement riches en espèces des zones humides et dans un état de conservation faible.

Ces mesures permettent d'atteindre les prescriptions du SDAGE BRM 2010-2015, à savoir l'annulation des impacts jusqu'à la crue de référence. Elles feront l'objet d'études environnementales poussées dans chaque étude opérationnelle correspondante.

Les matériaux issus de ces travaux seront réutilisés pour le confortement des digues et notamment pour la création de la digue de 1^{er} rang à l'ouest de la voie ferrée entre Tarascon et Arles.

Ainsi ces mesures hydrauliques permettront de :

- Limiter l'impact sur l'environnement en privilégiant des sites anthropisées,
- Favoriser l'extension de zones humides en créant une lône de plusieurs kilomètres,
- Favoriser l'utilisation d'emprunts locaux pour le confortement ou la création de digue.

10.14.4. MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS

Les adaptations du projet prévues ci-dessus ne sont pas suffisantes pour garantir l'absence d'impact sur les milieux.

En effet, la création d'emprise supplémentaire, le remaniement des digues actuelles (habitat de la Diane notamment) et la mise en œuvre du chantier sont susceptibles d'affecter des milieux sensibles, en particulier dans des zones où l'adaptation du projet a été limitée (notamment par la présence d'habitations ou de routes en pied de digue qui contraignent le tracé).

Les impacts potentiels des aménagements sont :

- La destruction d'habitats d'espèces protégées par la réglementation,
- La consommation d'habitats naturels,
- La destruction d'individus (notamment en période de reproduction),
- Le dérangement en période de reproduction.

Des mesures visant à réduire ces impacts sont à inclure dans le projet, opération par opération. Elles seront détaillées et adaptées dans les dossiers propres à chaque opération. Nous en donnons une approche globale ci-après. Il s'agira notamment de :

- Mettre en place un **phasage des travaux** compatible avec les périodes de reproduction des espèces, mais aussi avec les aléas climatiques (crue, fortes pluies) auxquels un chantier de digue est fortement sensible.
- Réaliser un **suivi de qualité environnementale** des travaux, avec notamment une assistance à maîtrise d'ouvrage environnementale qui interviendra tant dans la rédaction du Dossier de Consultation des Entreprises, dans le choix des entreprises qu'au cours du chantier (suivi et contrôle), ainsi que l'obligation pour les entreprises de mettre en place un Plan de Respect de l'Environnement. On peut noter que **ce type de suivi a déjà été mis en œuvre avec succès par le SYMADREM lors des travaux de carrossabilité des digues (2010) en permettant de sauvegarder un gîte potentiel de reproduction du Grand Rhinolophe.**
- **Prendre en compte des espèces arboricoles** en phase de chantier, notamment pour les espaces boisés de la zone d'emprise qui n'auront pas pu être évités. Il s'agira de recenser de manière exhaustive et de marquer les arbres sensibles, d'installer des gîtes de substitution et d'abattre les arbres selon des méthodes douces, hors des périodes d'hivernage et de mises-bas.
- Mettre en œuvre **des campagnes de sauvegarde** des espèces sensibles – effectuées par des écologues disposant des autorisations ministérielles de déplacement, comme la Diane par exemple (collecte des espèces et plantes

hôtes, récréation de l'habitat en dehors de la zone de travaux et réinstallation de l'espèce).

- Prévoir et réaliser un **suivi post-chantier** pour l'ensemble des espèces concernées par ces mesures.

10.14.5. MESURES COMPENSATOIRES

Pour chacune des opérations, pour les espèces et les habitats qui n'auraient pas pu faire l'objet d'une mesure de réduction d'impact, des mesures complémentaires seront prévues. Il s'agira de recréer des milieux naturels aptes à accueillir les espèces aux abords des nouveaux ouvrages (création de mares temporaires, restauration d'habitats terrestres et de lien écologique entre les sites de reproduction connus...).

Ces mesures concerneront éventuellement les zones humides que le projet n'aura pas pu éviter et ponctuellement des ripisylves.

Pour les opérations où le gain environnemental est avéré par la création d'une trame verte ou d'une lône (ex. digues du Petit Rhône, digue Tarascon/Arles), il n'est pas proposé de mesures compensatoires.

10.14.6. QUALITÉ DES EAUX ET SÉDIMENTS – ORGANISATION DES CHANTIERS

Les impacts liés à l'organisation des chantiers (qualité de l'eau et de l'air, commodités de voisinage, sécurité, sédiments) sont abordés dans les dossiers particuliers de chaque opération.

On peut néanmoins à ce stade affirmer que l'impact sur la qualité des eaux est très faible, compte tenu de ce que les travaux sont réalisés dans la majeure partie des cas, dans le lit majeur actif ou inactif, soit hors d'eau. Seuls les travaux réalisés dans le lit mineur peuvent avoir un impact sur la qualité des eaux. Ces travaux sont limités au tronçon de digue nécessitant un traitement de la berge. Les mesures visant à se prémunir de pollutions accidentelles seront prévues dans les dossiers particuliers de chaque opération. À titre d'exemple, dans le cas du renforcement des quais d'Arles et plus particulièrement des perrés inférieurs, des caissons en palplanches ont été réalisés de façon à travailler hors d'eau et à piéger toute pollution éventuelle.

L'impact sur les sédiments concerne essentiellement le transport solide et la pollution des sédiments par les PCB ou autres éléments. Le programme comprend des mesures dans le lit du fleuve où le problème de pollution des sédiments par les PCB ou autres éléments peut se poser :

1. L'élargissement de la rive gauche du Rhône en aval du barrage de Vallabrègues,
2. La création d'une lône entre Tarascon et Arles,
3. La suppression de l'atterrissement au droit de l'usine TEMBEC,
4. Le décaissement de ségonnaux le long des digues du Petit Rhône et du Grand Rhône dans le cadre du décorsetage limité.

Pour la 1^{ère} mesure, une étude de pollution des matériaux a été réalisée. Les analyses physico-chimiques réalisées sur l'île du Comte (opération Beaucaire/Fourques) ont montré des valeurs inférieures aux seuils en vigueur et ont confirmé la faisabilité des travaux d'élargissement du lit et ont conclu en la possibilité de réutiliser les matériaux.

Pour la 2^{ème} et 4^{ème} mesure, les ségonnaux sont constitués de matériaux d'apports anciens, en place depuis plus de cinquante ans. La constitution de ces matériaux est en particulier antérieure aux épisodes de pollution des sédiments du Rhône par les Poly-Chloro-Biphényles (PCB). Il n'y a donc pas lieu de suspecter qu'ils soient pollués. Ils feront néanmoins l'objet d'analyses physico-chimiques en cas de suspicion même faible d'un risque de pollution.

Pour la 3^{ème} mesure qui concerne des matériaux plus récents et n'ayant pas fait l'objet d'étude de pollution des matériaux, il est envisagé en cas d'impossibilité de réaliser des travaux sur ce site, l'élargissement de la rive droite du fleuve en aval du barrage de Vallabrègues (cf. ci-avant article "recherche de sites de dragage et d'élargissement du lit"). Les terrains concernés par cette mesure alternative sont des ségonnaux constitués d'apports anciens.

En ce qui concerne le transport solide, les conditions d'écoulements et plus particulièrement les vitesses sont très peu impactées par les aménagements. En conséquence l'impact sur le transport solide devrait être très faible.

Chaque dossier particulier prendra en considération les éventuels autres chantiers du SYMADREM qui se dérouleraient pendant la même période et sur le même secteur, pour apprécier les impacts des travaux et proposer une organisation adaptée.

10.14.7. CONCLUSION SUR L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU PROGRAMME

Les impacts environnementaux du programme seront pour la majeure partie supprimés ou réduits par l'intégration de ces enjeux dans la conception-même des aménagements.

Les impacts résiduels concerneront des espèces particulièrement sensibles comme le triton crêté, bien que sa présence ne soit pas avérée sur l'emprise du projet.

Chaque opération comportera un dossier d'étude environnementale précis faisant le bilan des espèces et habitats présents ainsi que des impacts de l'opération en elle-même.

Les espèces à portée réglementaire nationale, comme la Diane, feront l'objet de dossiers de demande de dérogation exceptionnelle de destruction et/ou de déplacement d'espèces protégées. L'analyse du programme dans son ensemble permet une approche plus globale de l'effet du projet sur l'environnement. Elle a permis de s'intéresser aux impacts cumulés de toutes les opérations.

Des habitats tels que les zones humides ou les ripisylves s'avèrent faire partie de réseaux écologiques particulièrement importants en Camargue. Les mesures d'intégration de ces enjeux dans la conception sont donc les plus efficaces pour limiter les impacts environnementaux. Ainsi, ces mesures vont permettre la recréation d'une trame verte le long du Petit Rhône grâce à une ripisylve conséquente mais aussi une meilleure continuité dans les zones humides avec notamment la création de la lône en rive gauche du Rhône.

En déconnectant les berges des digues de protection et en créant des trames

vertes actuellement absente du petit Rhône, le programme de sécurisation permet d'obtenir un impact positif sur le moyen/long terme et des conditions d'amélioration des écosystèmes à l'échelle globale du Delta du Rhône.

Les impacts résiduels locaux de chacune des opérations seront ainsi très limités, à la fois en terme de répartition et d'espèces concernées. La recréation de continuums écologiques permettra à ces espèces de recoloniser des espaces aujourd'hui pauvres en biodiversité. Des éventuelles mesures compensatoires liées à ces impacts résiduels se révèlent ainsi peu pertinentes au regard des effets cumulés positifs du programme.

→ 10.15. IMPACT PAYSAGER

Le programme de sécurisation ne prévoit pas de création de nouvelles digues, à l'exception de la digue entre Tarascon et Arles, la digue nord d'Arles et la digue Sud de Salin-de-Giraud, l'impact paysager du programme est donc très faible.

En ce qui concerne la digue à créer entre Tarascon et Arles, cette dernière étant parallèle au remblai ferroviaire, l'impact paysager de l'ouvrage final (digue + remblai ferroviaire) sera très limité par rapport à la situation existante.

L'impact paysager de la digue au Nord d'Arles a été traité dans le dossier d'autorisation de l'ouvrage.

En ce qui concerne la digue au Sud de Salin-de-Giraud, les digues à proximité de l'embouchure ont des hauteurs limitées (hauteur d'environ 1,5 m), l'impact paysager de l'ouvrage sera donc très faible. Il convient également de souligner qu'une digue route (ouvrage de 1^{er} rang) sera réalisée en aval de l'estacade de l'Esquineau et permettra de confondre les deux ouvrages actuels (la digue et la route sont parallèles) en un ouvrage unique réduisant l'impact paysager de ces infrastructures.

Pour le reste du linéaire, le déplacement des digues, ainsi que le réglage des crêtes est peu perceptibles sous l'angle du paysage. Les talus sont engazonnés (y compris les sections résistantes à la surverse). L'impact paysager des ouvrages de protection est donc inchangé par rapport à la situation existante.

La création d'une trame verte permettra l'implantation d'espèces boisées, qui sur le moyen/long terme, améliorera la situation existante.

→ 10.16. CONFORMITÉ AVEC LE SDAGE BRM 2010-2015

Sur les 8 grandes orientations fondamentales, définies dans le Schéma Directeur d'Aménagement et Gestion des eaux Bassin Rhône Méditerranée 2010-2015, le programme de sécurisation permet d'intervenir sur 5 grandes orientations fondamentales :

- Concrétiser la mise en œuvre du principe de non dégradation des milieux aquatiques (orientation fondamentale n°2),
- Intégrer les dimensions sociales et économiques dans la mise en œuvre des objectifs environnementaux (orientation fondamentale n°3),
- Renforcer la gestion locale de l'eau et assurer la cohérence entre aménagement du territoire et gestion de l'eau (orientation fondamentale n°4),
- Agir sur la morphologie et le décroisement pour préserver et restaurer les milieux aquatiques (orientation fondamentale n°6),

- Gérer les risques inondations en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d'eau (orientation fondamentale n°8).

10.16.1. ORIENTATION FONDAMENTALE N° 2 : CONCRÉTISER LA MISE EN ŒUVRE DU PRINCIPE DE NON DÉGRADATION DES MILIEUX AQUATIQUES

En définissant dès la conception des ouvrages, des objectifs environnementaux concrets à savoir :

- Déconnecter les digues de protection, des berges du fleuve et donc du fleuve,
- Absence d'intervention sur la ripisylve et milieux humides avoisinant les digues,
- Favoriser l'utilisation d'emprunts locaux dans la réalisation des ouvrages de façon à réduire les transports de matériaux,
- Adapter le tracé des nouveaux ouvrages en fonction de critères environnementaux, économiques et sociaux.

Le SYMADREM met en œuvre les dispositions 2-01 et 2-02 de l'orientation susvisée à savoir :

- 2-01 - Élaborer chaque projet en visant la meilleure option environnementale compatible avec les exigences de développement durable,
- 2-02 - Évaluer la compatibilité des projets avec l'objectif de non dégradation en tenant compte des autres milieux aquatiques dont dépendent les masses d'eau.

10.16.2. ORIENTATION FONDAMENTALE N° 3 : INTÉGRER LES DIMENSIONS SOCIALES ET ÉCONOMIQUES DANS LA MISE EN ŒUVRE DES OBJECTIFS ENVIRONNEMENTAUX

En :

- Intégrant dans toutes les études de renforcement de digue, des études d'enjeux poussées,
- Menant des analyses économiques de type Analyse Coût Bénéfice (ACB) pour chaque opération,
- Commandant une étude spécifique sur les enjeux agricoles à la chambre d'agriculture du Gard pour la définition de matrices de dommages intégrant notamment les dommages indirects, non pris en compte à ce jour dans les études d'enjeux menées sur le Rhône,

Le SYMADREM met en œuvre les dispositions 3-01, 3-02 et 3-03 de l'orientation susvisée à savoir :

- 3-01 - Rassembler et structurer les données pertinentes pour mener des analyses économiques ;
- 3-02 - Développer et promouvoir les méthodes d'analyse économique,
- 3-03 - Développer des analyses économiques dans les projets.

10.16.3. ORIENTATION FONDAMENTALE N° 4 : RENFORCER LA GESTION LOCALE DE L'EAU ET ASSURER LA COHÉRENCE ENTRE AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET GESTION DE L'EAU

En déterminant clairement :

- Les objectifs de protection et objectifs de sécurité à mettre en œuvre sur les ouvrages de protection contre les crues du Rhône depuis le barrage de Vallabrègues jusqu'à la mer,
- Le principe, le calage, le tracé et le fonctionnement de ces mêmes ouvrages au regard des objectifs précités.

En :

- Passant des accords avec la CNR, RFF et le Parc Naturel Régional de Camargue,
- Et en préparant de futurs accords à passer avec VNF et la Conseil Général des Bouches-du-Rhône pour atteindre l'objectif d'avoir un gestionnaire unique des ouvrages de protection contre les crues du Rhône depuis Beaucaire/Tarascon jusqu'à la mer.

En :

- Mettant en place un mode de gouvernance alliant efficacité et concertation (cf. chapitre relatif à la concertation et l'information du public) au travers de Comités de pilotage regroupant l'ensemble des partenaires publics et privés directement impactés par l'action du SYMADREM et en organisant régulièrement des réunions publiques d'information.

Le SYMADREM met en œuvre les dispositions 4-01, 4-02 et 4-04 de l'orientation susvisée à savoir :

- 4-01 - Privilégier des périmètres d'interventions opérationnels,
- 4-02 - Conforter la place des structures de gestion par bassin dans le paysage institutionnel et assurer leur pérennité,
- 4-04 - Mettre en place une gestion locale et concertée sur les secteurs prioritaires par l'implication conjointe de tous les partenaires.

10.16.4. ORIENTATION FONDAMENTALE N° 6 : AGIR SUR LA MORPHOLOGIE ET LE DÉCLOISONNEMENT POUR PRÉSERVER ET RESTAURER LES MILIEUX AQUATIQUES

En :

- Éloignant les digues du petit Rhône actuellement très proches du fleuve,
- Adaptant le tracé des futurs ouvrages en fonction de la présence de ripisylve ou caisses d'emprunts,
- Passant un accord de partenariat avec le Parc Naturel Régional de Camargue pour la gestion des ségonnaux qui seront créés suite au recul des digues,
- Intégrant des objectifs environnementaux dès la conception des ouvrages,
- En créant une lône de plusieurs kilomètres en rive gauche du Rhône.

Le SYMADREM met en œuvre ou contribue à la mise en œuvre des dispositions 6A-01, 6A-02, 6A-09, 6B-03, 6B-07, 6B-08, 6C-03 et 6C-04 de l'orientation susvisée à savoir :

- 6A-01 - Préserver et/ou restaurer l'espace de bon fonctionnement des milieux aquatiques,
- 6A-02 - Préserver et restaurer les bords de cours d'eau et les boisements alluviaux,
- 6A-09 - Maîtriser les impacts des nouveaux ouvrages et aménagements,
- 6B-03 - Assurer la cohérence des financements publics avec l'objectif de préservation des zones humides,
- 6B-07 - Mettre en place des plans de gestion des zones humides,
- 6B-08 - Reconquérir les zones humides,
- 6C-03 - Contribuer à la constitution de la trame verte et bleue,
- 6C-04 - Préserver et poursuivre l'identification des réservoirs biologiques.

10.16.5. ORIENTATION FONDAMENTALE N° 8 : GÉRER LES RISQUES INONDATIONS EN TENANT COMPTE DU FONCTIONNEMENT NATUREL DES COURS D'EAU

En :

- Définissant le présent programme de sécurisation,
- Mettant en œuvre des opérations de renforcement d'ouvrages de protection calées pour ne pas aggraver, voire améliorer les écoulements jusqu'à la crue de référence,
- Reculant les digues trop proches du fleuve et favorisant l'expansion des crues,
- Mettant en œuvre des actions innovantes pour améliorer et sécuriser la gestion des ouvrages en période de crues.

Le SYMADREM met en œuvre les dispositions 8-02, 8-05 et 8-06 de l'orientation susvisée à savoir :

- 8-02 - Contrôler les remblais en zone inondable,
- 8-05 - Améliorer la gestion des ouvrages de protection,
- 8-06 - Favoriser le transit des crues en redonnant aux cours d'eau leur espace de mobilité et fiabiliser la gestion de l'équilibre sédimentaire ainsi que de la ripisylve.

→ 10.17. CONCLUSION SUR L'IMPACT GÉNÉRAL DU PROGRAMME

En réduisant sensiblement le risque de formation de brèches jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône, dont la période de retour est estimé à 1000 ans, et en intégrant dès la conception des ouvrages les contraintes environnementales et contraintes socio-économiques, le programme de sécurisation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône permet de :

- Réduire sensiblement le risque inondation par le Rhône (volumes de déversement divisés pour les crues débordantes par 5 à 30 entre l'état initial et l'état après aménagements) dans la zone protégée du Grand Delta du Rhône où vivent environ 110 000 personnes,
- Accroître sensiblement le niveau de sûreté d'ouvrages classés par l'État en catégories A et B au titre du décret du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques,
- Apporter une réponse solidaire sur le plan hydraulique et territorial en harmonisant les objectifs de protection entre les rives des différents bras du Rhône et en contractualisant des partenariats avec la CNR, RFF et le Parc Naturel Régional de Camargue,
- Améliorer globalement les écoulements en crue dans le lit endigué à l'exception de la plaine de Boulbon où demeure un impact hydraulique sans incidence sur la sécurité publique et sur les conditions d'inondabilité, pour la crue exceptionnelle et compensé par une diminution en fréquence des inondations dans ce secteur,
- Limiter à court terme l'impact environnemental des ouvrages (berges et ripisylve faiblement impactés),
- Améliorer à long terme l'environnement en créant notamment une trame verte sur le Petit Rhône et Grand Rhône et une lône en rive gauche du Rhône,
- Optimiser le coût économique et environnemental des ouvrages proposés (investissement et fonctionnement) en déconnectant la digue de la berge et en favorisant l'utilisation d'emprunts locaux.

11 PHASAGE ET PLANNING OPÉRATIONNEL

Compte tenu de l'ampleur du programme de sécurisation, dont le montant actualisé à la date du mois de janvier 2011 est estimé à 400 millions d'euros et du montant contractualisé dans le CPIER PLAN RHONE 2007/2013 (182 millions d'euros HT) pour la réalisation des ouvrages de protection et de resuyage après inondation définis dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval, un phasage opérationnel du programme et plus particulièrement du CPIER Plan Rhône 2007/2013, a été rendu nécessaire.

Il a été réalisé un trois étapes :

- Dans une 1^{ère} étape, une typologie des travaux de sécurisation a été établie,
- Dans une 2^{ème} étape, des critères techniques, économiques et réglementaires ont été établis pour scinder le programme en opérations,
- Dans une 3^{ème} étape, une programmation a ensuite été définie en fonction de ces critères.

Ces différentes étapes sont explicitées ci-après.

→ 11.1. TYPOLOGIE DES TRAVAUX

Un premier découpage du programme a été réalisé entre :

- Les tronçons de digues pouvant faire l'objet de travaux de sécurisation dans le cadre du CPIER Plan Rhône 2007/2013,
- Et les tronçons de digue ne pouvant pas faire l'objet de travaux de sécurisation.

Ce premier découpage s'est inspiré de la hiérarchisation en tranches de travaux définie dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval.

Dans un deuxième temps, à partir des données suivantes :

- Objectifs de sécurisation du programme,
- Estimation sommaire de la cote de sûreté des ouvrages actuels,
- Calage des digues à renforcer ou à aménager suivant les objectifs précités,
- Contraintes réglementaires en termes de construction ou confortement de digue (régime des autorisations/déclarations ou travaux de grosses réparations/entretien).

Les catégories de travaux suivantes ont été définies :

- Pas d'intervention a priori à réaliser (niveau de sûreté millénaire),
- Grosses réparations sans modification de géométrie ou d'altimétrie,
- Renforcement/confortement avec modification du tracé et/ou géométrie et/ou altimétrie,
- Mise à la cote d'ouvrage conforté après 1994,
- Création d'ouvrage de protection rapprochée,
- Carrossabilité des digues.

Certains secteurs ne nécessitent **aucune intervention**, car ils ont été confortés récemment et la cote des ouvrages est, ou sera après aménagements, située 50 cm au-dessus du niveau atteint par la crue exceptionnelle. On peut donc estimer sommairement que la cote de sécurité de ces ouvrages est conforme aux objectifs du programme. Les secteurs concernés sont :

- La digue du défluent confortée en 2000,
- La digue du Grand Rhône rive droite de Emmaüs à Petit Montlong (PK 284,25) au PK 289,
- La digue du Petit Rhône d'Albaron (tronçon aval),
- La digue du Petit Rhône rive droite du Mas du Village à l'écluse de Saint-Gilles confortée en 2007 (PK 297 à 299).

Le niveau de sûreté de ces ouvrages sera précisé dans le cadre des obligations réglementaires et notamment dans les revues de sûreté et études de dangers prévues par le décret de 2007 [R 511].

Les travaux de **grosses réparations sans modification de géométrie ou d'altimétrie**, concernent :

- Les digues du centre-ville de Beaucaire (Banquette, Vierge),
- Les digues du centre-ville de Tarascon (quais, Montagnette),
- Les quais du Rhône en traversée d'Arles (8 mai 1945, roquette, Saint Pierre, trinquetaille, gabelle, partie basse du quai de la gare maritime),
- La digue des papeteries Étienne à Arles.

Ces ouvrages sont historiquement calés très hauts et leur cote altimétrique est au-dessus de la cote visée par le présent programme. Néanmoins, ils sont anciens et des travaux de réparations s'avèrent nécessaire pour atteindre les objectifs du programme.

Les travaux de **renforcement/confortement** sont des travaux de renforcement de digue consistant en une rénovation complète de l'ouvrage comprenant notamment un **déplacement** de l'ouvrage pour avoir le recul nécessaire pour éviter les risques d'affouillement externe sur la durée de vie de l'ouvrage (100 ans) et pour limiter les contraintes sur le milieu environnant (ripisylve, rose-lières...), et une **modification du profil en long** suite au recalage des digues. Ces travaux soumis à autorisation concernent :

- Les ouvrages de protection du Rhône entre Beaucaire et Fourques du Viaduc ferroviaire à la station de Tourettes,

- Les ouvrages de protection du Rhône entre Tarascon et Arles du Viaduc ferroviaire de Tarascon au quai de la roquette,
- Les digues du Petit Rhône rive gauche (PK281 à 307 et du PK329,5 au 336,5),
- Les digues du Petit Rhône rive droite (PK300 au 315,5),
- Les digues du Grand Rhône rive gauche (PK286,5 au PK 293,0),
- Les digues du Grand Rhône rive droite (PK289 au PK 297 et PK313 au PK 324).

Les travaux de **mise à la cote** concernent des tronçons de digue ayant fait l'objet d'un confortement récent mais qui nécessite un recalage altimétrique de façon à avoir une cote de sûreté conforme aux objectifs du présent programme. Ces travaux sont intégrés dans les dossiers d'autorisation des opérations de renforcement attenant à ces ouvrages. Ils concernent :

- La digue du Petit Rhône de la station de la Tourette au Mas du village (PK 284,0 au PK 297),
- La digue du Grand Rhône rive gauche de Barriol comprenant également le remblai de l'IRPA et l'embouquement de l'écluse d'Arles (PK 283,0 au PK 286,5),
- La digue du Grand Rhône rive gauche de Port-Saint-Louis-du-Rhône, comprenant la mise à la cote des berges au droit du centre-ville (du PK316 au PK 323).

Les travaux de **création d'ouvrage de protection rapprochée** concernent des travaux rendus nécessaires compte tenu de la densité des enjeux (quartier nord d'Arles, village de Salin-de-Giraud) et du niveau de protection insuffisant, même après sécurisation de la digue de 1er rang. Ils concernent :

- La digue nord d'Arles,
- La digue sud de Salin-de-Giraud.

Les travaux de **carrossabilité des digues** concernent les digues sur lesquelles des travaux de confortement ne pourront pas être envisagés dans le cadre du CPIER Plan Rhône 2007/2013 (essentiellement 3^{ème} et 4^{ème} tranche du schéma de gestion des inondations du Rhône aval). Les tronçons concernés sont :

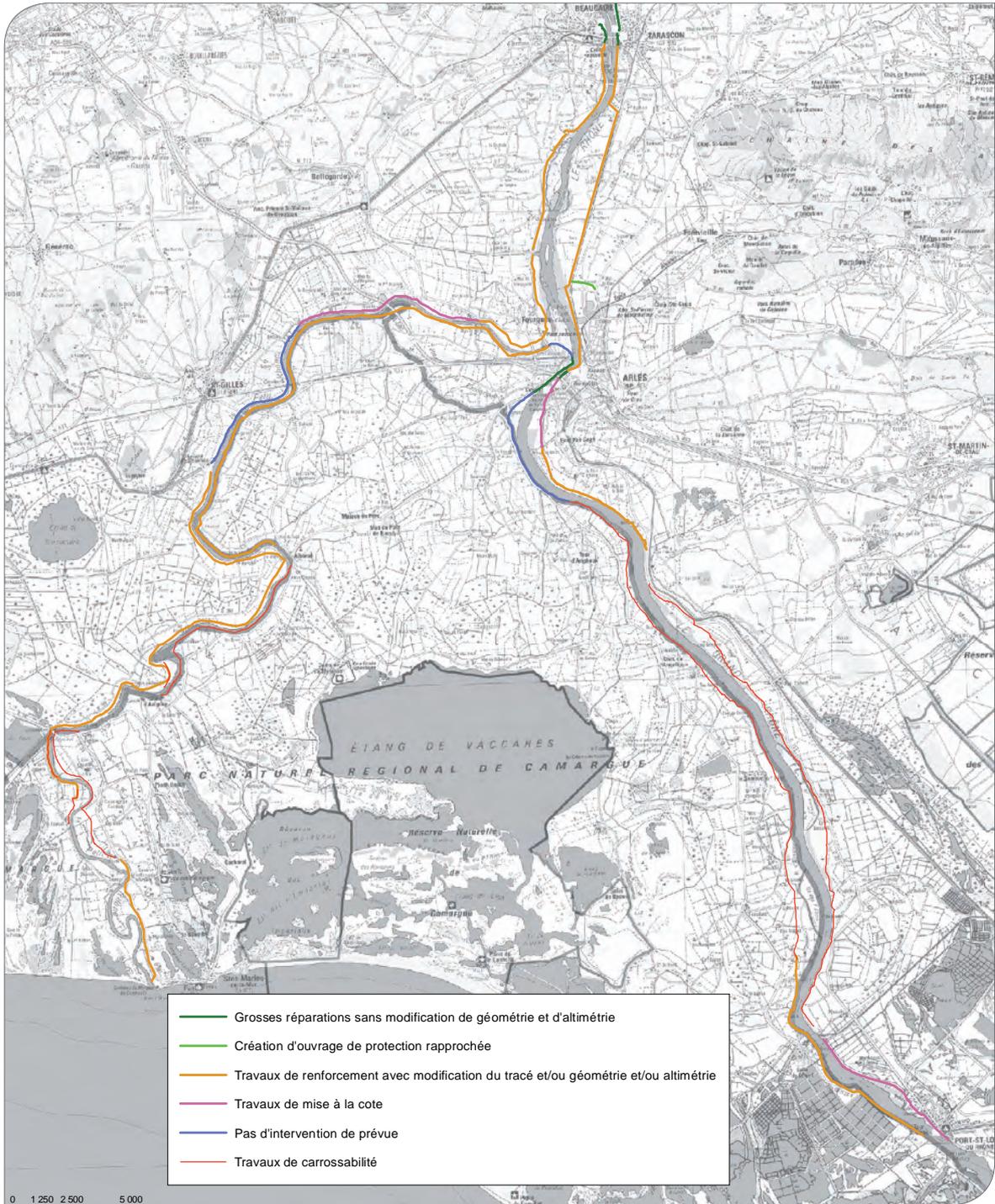
- La digue rive droite du Petit Rhône du PK 315, 5 au PK 327,0,
- La digue rive gauche du Petit Rhône du PK 307,5 au PK 329,5,
- La digue rive droite du Grand Rhône du PK 289,0 au PK 313,0,
- La digue rive gauche du Grand Rhône du PK 294,5 au PK 316,5.

La figure en page suivante localise cette typologie d'intervention.

→ 11.2. CRITÈRES DE DÉCOUPAGE DU PROGRAMME EN OPÉRATIONS

Le présent programme de sécurisation a été scindé en opérations de travaux, dont la consistance a été définie suivant les critères suivants :

- Contraintes financières,
- Contraintes réglementaires liées aux travaux,



Typologie des travaux à réaliser dans le cadre du CPIER Plan Rhône 2007/2013

- Ouvrages actuels exposés au risque de brèches ou exposés à des déversements sans brèches,
- Présence de zones urbanisées dans la bande de sécurité des digues,
- Présence d'enjeux sensibles dans la zone protégée,
- Impact d'une brèche dans la zone protégée,

- Aggravation du risque au regard de l'impact hydraulique dans le lit endigué en amont ou en aval du tronçon sécurisé et sur la rive opposée au tronçon sécurisé,
- Typologie et consistance des travaux.

Contraintes financières :

Le financement du programme est aujourd'hui partiellement assuré. Cela a été exposé à l'article précédent. Un premier découpage du programme a été réalisé entre les tronçons de digues pouvant faire l'objet de travaux de sécurisation dans le cadre du CPIER Plan Rhône 2007/2013 et les tronçons de digue ne pouvant pas faire l'objet de travaux de sécurisation.

Cette séparation en 2 grandes catégories de travaux a été faite suivant la hiérarchisation en tranches de travaux définie dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval ; les travaux de carrossabilité correspondant aux 3^{ème} et 4^{ème} tranches du schéma de gestion. Cette hiérarchisation ayant été faite suivant une logique d'intervention amont/aval et présence d'enjeux bordant la digue.

Contraintes réglementaires liées aux travaux :

Afin de démarrer des travaux de sécurisation le plus rapidement possible et le plus souvent au droit des centres villes, le découpage du programme en opérations a tenu compte des contraintes réglementaires liées aux travaux à réaliser. En effet, suivant leur consistance, les travaux sont, soit soumis au régime des déclarations/autorisations, soit sont assimilés à des travaux de grosses réparations. Par ailleurs, ces travaux de grosses réparations ne nécessitent, le plus souvent, pas d'acquisitions foncières.

Ces travaux de grosses réparations font l'objet d'un porté à connaissance conformément à l'article 214-18 du code de l'environnement, soumis aux préfets respectifs qui ont, jusqu'à aujourd'hui, pris acte de ces travaux.

Ces travaux de grosses réparations concernent :

- Une partie des ouvrages en traversée d'Arles (GR1-1), les ouvrages en traversée de Beaucaire (BA6) et Tarascon (BA7), la digue des papeteries Étienne (GR1-2),
- Les travaux de carrossabilité des digues qui sont réalisés à la cote identique (PGOPC-1).

Ouvrages actuels exposés au risque de brèches ou exposés à des déversements sans brèche :

Cette distinction concerne principalement les digues du SYMADREM, les digues VNF ou le remblai ferroviaire Tarascon/Arles qui sont fortement exposées aux risques de brèches et les remblais de la CNR (Sites-Industrialo-Portuaires de Beaucaire, Arles et Tarascon qui sont des remblais d'une grande largeur exposé aux débordements mais sans risque avéré de brèches. Il convient par ailleurs de souligner que ces remblais n'ont pas été classés par l'État au titre du décret de 2007 [R 511].

Présence de zones urbanisées dans la bande de sécurité des digues :

L'analyse de risque concerne à la fois les victimes potentielles et les dommages. Le risque de victimes est plus grand pour les brèches occasionnées au droit de zones urbanisées bordant la digue que pour les brèches au droit de zones peu habitées pour lesquelles les secours disposent encore d'un temps réduit pour évacuer les personnes des centres urbains et autres. Les tronçons de digue prioritaires suivant ce critère sont les digues au droit du :

- Centre-ville de Beaucaire,
- Centre-ville de Tarascon,
- Centre-ville d'Arles,
- Centre-ville de Fourques,
- Centre village de Salin-de-Giraud,
- Centre-ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône.

Présence d'enjeux sensibles dans la zone protégée :

Le Grand Delta est composée de 4 zones protégée (cf. chapitre relatif à la présentation des ouvrages et de la zone protégée). La répartition géographique des enjeux peut être différente suivant ces zones.

Dans la zone protégée en rive droite, les enjeux sensibles en termes de zones urbanisées sont localisés dans la plaine de Beaucaire, le couloir de Saint-Gilles et à l'extrémité ouest de la Camargue Gardoise (Aigues-Mortes, Grau du Roi,...), soit à chaque extrémité de la zone.

Dans la zone protégée en rive gauche, les enjeux sont essentiellement situés de Tarascon jusqu'au sud d'Arles (Barriol) et en aval (Port-Saint-Louis).

Dans l'Île de Camargue, les enjeux sont situés en tête de delta (trinquetaille) et en aval (Saintes-Maries-de-la-Mer, Salin-de-Giraud).

La prise en compte de l'inondabilité de ces zones les plus sensibles a également été un critère dans le découpage des opérations.

Impact de la brèche pour la zone protégée :

Compte tenu de la hauteur des digues, qui décroît de l'amont vers l'aval, les brèches en tête de delta génèrent des volumes de déversement plus importants que les brèches en aval du delta. Par ailleurs, même si les brèches en aval peuvent générer des inondations du Rhône par remous importantes, compte tenu de la topographie, l'inondation reste néanmoins en deçà d'une inondation provoquée par une brèche occasionnée en amont.

Aggravation du risque et impact hydraulique d'une ou plusieurs opérations :

La question posée concerne l'aggravation du risque sur les ouvrages non sécurisés liée au phasage du programme. Cette question ne concerne pas uniquement le phasage entre la rive droite (digue Beaucaire/Fourques) et la rive gauche (remblai ferroviaire Tarascon/Arles) du Rhône mais l'ensemble du système de protection. L'état initial (cf. §.10.1) défini par les services de l'État demande à ce que les lignes d'eau dans le lit endigué puissent correspondre à des états sans brèche pour disposer pour une crue donnée de la ligne d'eau maximum.

Le niveau de sûreté d'un ouvrage est donc déterminé par rapport à un état sans brèche. En effet, il serait dangereux pour la sécurité des personnes d'établir un niveau de sécurité en retenant l'hypothèse de ruptures sur des ouvrages situés en amont, en aval ou sur la rive opposée.

Sur la base de l'état initial déterminé par les services de l'État, **les opérations susceptibles d'avoir un impact hydraulique ont donc été construites de manière à ce qu'il n'y ait aucun impact notable durant la phase intermédiaire de réalisation en aval, en amont ou sur la rive opposée. En cas d'impact notable, les incidences sur la sécurité publique sont vérifiées.**

Typologie et consistance des opérations :

Suivant la typologie des travaux ou le contexte administratif, la consistance des opérations peut être plus ou moins complexe.

Ainsi la sécurisation de la rive gauche entre Tarascon et Arles, compte tenu de la présence du remblai ferroviaire et de la nécessité de réaliser des ouvrages de transparence importants, des responsabilités des différentes parties, est une opération beaucoup plus complexe à monter que l'opération de sécurisation de la rive droite.

Par ailleurs, pour les opérations entre Beaucaire et Arles qui nécessitent des mesures d'annulation et réduction d'impacts hydrauliques conséquentes, la balance des matériaux à extraire du lit et les besoins en matériaux pour les opérations concernées a également été un critère de choix dans le découpage du programme en opérations.

→ 11.3. DÉCOUPAGE ET PHASAGE DES OPÉRATIONS

Suivant les critères précités, le programme a été découpé en 6 groupes d'opérations :

1. Les opérations dites de "grosses réparations" sans impact hydraulique, situées au droit de zone à fort enjeux (à l'exception des travaux de carrossabilité). Ces opérations peuvent être réalisées de manière indépendante,
2. Les opérations entre Beaucaire et Arles avec impact hydraulique. Ces opérations prennent également en compte les mesures d'annulation et réduction d'impact hydraulique en amont de Beaucaire,
3. Les opérations sur le Grand Rhône avec ou sans impact hydraulique, qui peuvent être réalisées indépendamment des opérations sur le Rhône ou Petit Rhône,
4. L'opération sur le petit Rhône avec ou sans impact hydraulique, qui peut être réalisée indépendamment des opérations sur le Rhône ou Grand Rhône.
5. Les opérations de protection rapprochée, qui compte tenu des écoulements dénoyés n'ont pas d'impact dans le lit endigué et peuvent également être réalisées indépendamment les unes des autres.
6. Les opérations de sécurisation du Plan de gestion des Ouvrages en périodes de crues.

11.3.1. LES OPÉRATIONS DITES DE GROSSES RÉPARATIONS

Ce groupe d'opérations est constitué des opérations suivantes :

- **GRI-1** : Grosses réparations des quais d'Arles (tranches 1 à 4) comprenant les ouvrages suivants :
 - Le quai du 8 mai 1945 à Arles,
 - Le quai de la roquette à Arles,
 - Le quai Saint Pierre à Arles,
 - Le quai Trinquetaille à Arles,
 - Le quai de la gabelle à Arles.

- **BA6** : Confortement des digues de Beaucaire comprenant les ouvrages suivants :
 - Digue de la Banquette,
 - Digue de la Vierge,
 - Digue du Musoir.
- **BA7** : Confortement des digues de Tarascon comprenant les ouvrages suivants :
 - Digue de la Montagnette,
 - Quais de Tarascon.
- **PGOPC-1** : Sécurisation des interventions en période de crue et suppression de 50 ouvrages traversants hors service, comprenant :
 - Les travaux de carrossabilité sur 79 km de digues et suppression de 50 ouvrages traversants hors service identifiés lors des Visites Techniques Approfondies.

Ces opérations peuvent être réalisées indépendamment les unes des autres et d'une manière générale, indépendamment de toutes les opérations du programme.

11.3.2. LES OPÉRATIONS ENTRE BEUCAIRE ET ARLES

Ce groupe d'opérations est constitué des opérations suivantes :

- **GRI-2** : Grosses réparations des quais d'Arles (tranches 5 à 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais comprenant les ouvrages suivants :
 - Le quai de la gare maritime,
 - La digue des papeteries Étienne,
 - Le SIP d'ARLES et remblai RFF entre le SIP d'Arles et le pont des Lions à Arles,
 - Le quai Marx Dormoy,
 - Le remblai de l'IRPA,
 - L'embouquement VNF de l'écluse d'Arles,
 - La digue de Barriol.
- **BA1** : Renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques (sans le SIP de Beaucaire), y compris l'élargissement du fleuve en aval du barrage de Vallabrègues.
- **BA2** : Création d'une digue à l'ouest de la voie ferrée Tarascon/Arles (sans le SIP de Tarascon), y compris :
 - L'optimisation des ZEC de Boulbon, Aramon, Comps et des Marguilliers et la création d'une île en rive gauche du Rhône,
 - Les mesures de gestion et ressuyage des eaux déversées en rive gauche.
- **BA8** : Rehaussement des SIP de Beaucaire et Tarascon, y compris la suppression de l'atterrissement au droit de l'usine de Tembec.

L'opération GRI-2 (cf. chapitre relatif aux opérations) **n'a pas d'impact hydraulique** jusqu'à la crue exceptionnelle, bien que la géométrie des ouvrages soit modifiée. Elle peut donc être **réalisée indépendamment des trois autres opérations**.

Des différentes études hydrauliques réalisées et plus particulièrement de l'étude de calage, il en ressort que le calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles n'a pas d'impact (en phases finale et intermédiaires) sur l'aval d'Arles pour les crues non débordantes ($\leq Q_{100}$) et améliore les écoulements en aval d'Arles pour les crues débordantes ($> Q_{100}$) compte tenu de ce que le calage des ouvrages en rive droite a été fait sur les points bas et qu'en rive gauche l'obstacle hydraulique constitué par le ballast a été pris en compte dans l'état initial.

Par ailleurs, le calage des ouvrages sur le Petit Rhône et Grand Rhône a été déterminé pour n'avoir aucun impact notable dans l'état final et dans l'état intermédiaire, jusqu'à la crue de référence (Q_{250}) en traversée d'Arles et jusqu'à la crue millénaire en traversée de Fourques/trinquetaille.

Ce qui nous permet de conclure que les opérations entre Beaucaire et Arles peuvent se faire indépendamment des opérations prévues sur le Grand Rhône ou le Petit Rhône et les opérations prévues sur le Grand Rhône et Petit Rhône, peuvent être également réalisées, indépendamment des opérations prévues sur le Rhône.

L'opération de rehaussement des SIP (BA8), bien que ces derniers supportent des enjeux économiques très importants, est jugée comme moins prioritaire, compte tenu de ce que les remblais actuels ne sont pas exposés au risque de brèches et que le rehaussement de ces derniers occasionne des impacts hydrauliques notables pour le barrage de Vallabrègues et les autres enjeux situés en amont. En conséquence, la réalisation de cette opération sera opérée dans un dernier temps mais en organisant le phasage des travaux pour qu'il n'y ait aucun impact hydraulique au droit des SIP durant les étapes intermédiaires de réalisation.

Le montage administratif et financier de l'opération de sécurisation de la rive gauche (BA2) a été très complexe à monter en comparaison avec la rive droite (BA1) ; RFF refusant, compte tenu de ses missions, d'assurer la maîtrise d'ouvrage et le financement de la création de l'ouvrage de protection destiné à se substituer au remblai ferroviaire. Un accord a été signé le 25 février 2011 avec l'État, RFF et le SYMADREM. Le planning de réalisation de ces 2 opérations présente aujourd'hui un décalage estimé à 2 ans.

Sur la base des conclusions de la mission d'expertise du Plan Rhône [R 34] et des résultats de l'étude réalisée par ISL [R 60], on estime aujourd'hui que le remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles et la digue entre Beaucaire et Fourques présentent un niveau de sûreté quasiment équivalent.

Compte tenu de ce qu'un accord technique et financier a été trouvé entre le SYMADREM, l'État et RFF garantissant la réalisation de l'opération en rive gauche et du faible décalage dans le temps des deux opérations, **le SYMADREM a pris la décision de réaliser l'opération de sécurisation en rive droite avant la rive gauche et a construit les 2 opérations, de manière à ce qu'il n'y ait aucun impact hydraulique au droit du remblai ferroviaire et des SIP de Beaucaire et Tarascon, durant cette phase intermédiaire d'aménagement.**

Le phasage retenu entre Beaucaire et Arles, indépendamment des opérations prévues sur le Petit Rhône et Grand Rhône, est donc le suivant :

- Phase indépendante : GR1-2
- 1^{ère} phase : BA1
- 2^{ème} phase : BA2
- 3^{ème} phase : BA8

Les justifications hydrauliques de ce découpage figurent, de manière détaillée, dans les articles relatifs à ces opérations.

Les impacts hydrauliques durant ces différentes phases d'aménagement figurent ci-après :

Première phase de sécurisation : État initial + BA1

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGENÈ								
DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE / ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
10500	50 ans	Janv. 1994	- 5	- 4	0	0	0	0	0	0	0
11500	100 ans	Déc. 2003	- 2	- 4	0	0	0	+ 1	+ 1	0	0
12500	250 ans	Mai 1856	- 2	- 2	+ 2 à 3	+ 2 à 3	- 3	- 2	- 0 à 2	- 1	- 0 à 2
14160	1000 ans	Millénaire	0	0	+ 7	+ 9	- 5	- 2	- 0 à 2	- 2	- 2 à 5

Après réalisation de cette opération (BA1), l'impact résiduel en amont est inférieur à l'impact résiduel du programme. Un impact de 3 cm pour la crue de référence est observé en amont de Beaucaire. Cet impact est supérieur de 1 cm au seuil de qualification de l'impact comme impact quasiment nul. Compte tenu de ce qu'il s'agit d'un état intermédiaire, cet impact provisoire est jugé comme recevable. L'impact au droit du remblai ferroviaire et des SIP de Beaucaire et Tarascon est nul (crues non débordantes) ou positif (crues débordantes).

Deuxième phase de sécurisation : État initial + BA1 + BA2

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGENÈ								
DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE / ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
10500	50 ans	Janv. 1994	- 4	- 4	- 16	- 1	0	- 1	0	- 1	- 0 à 2
11500	100 ans	Déc. 2003	- 3	- 5/6	- 0 à 2	- 2	0	0	0	0	0
12500	250 ans	Mai 1856	- 1	- 4	+ 2	+ 1	- 7	- 7	- 2 à 5	- 5	- 2 à 5
14160	1000 ans	Millénaire	0	- 1	+ 5	+ 7	- 12	- 10	- 5 à 10	- 8	- 5 à 10

Après réalisation de cette opération (BA2), l'impact résiduel en amont est inférieur à l'impact résiduel du programme. Un impact quasiment nul est observé en amont de Beaucaire. L'impact au droit du remblai ferroviaire et des SIP de Beaucaire et Tarascon est nul (crues non débordantes) ou positif (crues débordantes).

Dernière phase de sécurisation : État initial + BA1 + BA2 + BA8

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGENÈ								
DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE / ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
10500	50 ans	Janv. 1994	- 6	- 5	- 21	- 4	0	0	0	0	0
11500	100 ans	Déc. 2003	- 5	- 8	- 5	- 5	- 1	0	0	0	0
12500	250 ans	Mai 1856	- 3	- 6	- 1	- 2	- 6	- 6	- 2 à 5	- 5	- 2 à 5
14160	1 000 ans	Millénaire	+ 0 à 2	0	+ 8	+ 9	- 9	- 7	- 2 à 5	- 6	- 5 à 10

Phases successives de sécurisation des ouvrages entre Beaucaire et Arles et impact des états intermédiaires

11.3.3. LES OPÉRATIONS SUR LE GRAND RHÔNE

Ce groupe d'opérations est constitué des opérations suivantes :

- **GR2-1** : Renforcement des digues de Salin-de-Giraud et Port-Saint-Louis comprenant les ouvrages suivants :
 - La digue du Grand Rhône rive droite du PK 313 au PK 324,5,
 - La création d'une digue de protection rapprochée au sud du village de Salin-de-Giraud et des secteurs vulnérables de la Compagnie des Salins du Midi,
 - La digue du Grand Rhône rive gauche du PK 316,5 au PK 323.
- **GR2-2** : Digue sud d'Arles comprenant les ouvrages suivants :
 - La digue du Grand Rhône rive gauche du PK 286,5 au PK 293.
- **GR2-3** : Renforcement des digues du Grand Rhône 2^{ème} priorité (rendues carrossables en 2010).

Les opérations GR2-1 et GR2-2 sont réalisées dans le cadre du CPIER Plan Rhône 2007/2013.

Les modifications de géométrie des opérations GR2-2 et GR2-3 portent exclusivement sur l'implantation en plan de la digue et sont sans impact notable sur les lignes d'eau [R26]. Les modifications d'altimétrie sont limitées à garantir une revanche de 50 cm pour la crue exceptionnelle et sont donc sans incidence pour les gammes des crues considérées.

La seule opération ayant des incidences sur les écoulements est l'opération GR2-1.

On rappelle que les aménagements sur le Grand Rhône n'ont pas d'incidences en traversée d'Arles jusqu'à la crue de référence, ce qui nous permet de conclure sur une réalisation des opérations sur le Grand Rhône, indépendamment des opérations sur les autres tronçons du Rhône. Le phasage retenu sur le Grand Rhône est en conséquence le suivant :

- 1^{ère} phase : GR2-1 ou GR2-2
- 2^{ème} phase : GR2-2 ou GR2-1
- 3^{ème} phase : GR2-3

Les seuls impacts à considérer sont de vérifier si les recalages des digues de l'opération GR2-1 peuvent avoir un impact sur la sécurité des tronçons de digue en amont.

L'impact de l'opération GR2-1 en amont est nul ou positif jusqu'à la crue de référence. Pour la crue exceptionnelle (non réglementaire), il est légèrement négatif au droit des digues de l'opération GR2-3 (+3 cm) et quasiment nul au droit l'opération GR2-2.

Compte tenu de ce que les digues de l'opération GR2-3 ont été rendues carrossables. On estime que cet exhaussement pour la crue exceptionnelle et son impact sur la sécurité de l'ouvrage est compensé par l'augmentation de la capacité d'intervention du SYMADREM en cas de détection de désordres sur ce tronçon et qu'il est en conséquence acceptable.

Ce qui nous permet de conclure que le phasage envisagé sur le Grand Rhône est aujourd'hui le meilleur optimum entre impact hydraulique/sécurité des ouvrages hydrauliques et prise en compte du risque (enjeux).

SCÉNARIO DE CRUE

IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE
D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON
HYDRAULIQUE HOMOGÈNE

TYPE DE CRUE	PÉRIODE DE RETOUR	DÉBIT MAX (M ³ /S)	NIVEAU MARIN (COTE NGF)	ARLES PK283	ARLES / SEUIL DE TERRIN	SEUIL DE TERRIN/ PK 313	PK 313 À PK 316 (SDG RD)	PK 316 À LA MER (SDG RD ET PSL RG)
10500	50 ans	10 500	Marégramme janvier 1994	0	0	0	0 à - 2	-2 à - 1
Déc. 2003	100 ans	11 500 ± 5 %	Marégramme 2003 (pic à 1 NGF)	0	0	0 à - 1	-1 à - 4	-4 à - 5
Mai 1856	250 ans	12 500	Marégramme 2003 translaté à 1,3 NGF	0 à 1	0	0	0 à - 5	-5 à - 10
exceptionnelle Niv. marin bas	1000 ans	14 160	0,5 NGF constant	+ 2 à 3	+ 2	+ 2 à 3	+ 3 à - 4	- 3 à - 1
exceptionnelle Niv. marin haut	> 1000 ans	14 160	1,5 NGF constant	+ 2 à 3	+ 2	+ 2 à 3	+ 3 à - 4	-4 à - 11

Impact dans le lit endigué des aménagements sur le Grand Rhône indépendamment des autres travaux.

11.3.4. LES OPÉRATIONS SUR LE PETIT RHÔNE

Ce groupe d'opérations est constitué des opérations suivantes :

- **PR1** : Renforcement des digues du Petit Rhône – 1^{ère} priorité comprenant les ouvrages suivants :
 - La digue du Petit Rhône rive droite du PK 284 au PK 292,5 (mise à la cote)
 - La digue du Petit Rhône rive droite du PK 300 au PK 326
 - La digue du Petit Rhône rive gauche du PK 281,0 au PK 306,5
 - La digue du Petit Rhône rive gauche du PK 329,5 au PK 336,5
- **PR1-2** : Renforcement des digues du Petit Rhône – 2^{ème} priorité (rendues carrossables en 2010).

L'opération PR1 est réalisée dans le cadre du CPIER Plan Rhône 2007/2013. Les modifications géométriques de l'opération PR1-2 sont limitées à un recalage altimétrique permettant de garantir une revanche de 50 cm pour la crue exceptionnelle (les digues PR1-2 sont déjà calées au-dessus de la crue exceptionnelle) et sont donc sans incidence pour les gammes des crues considérées.

Les incidences sur les écoulements sont uniquement dues à l'opération PR1.

On rappelle que les aménagements sur le Petit Rhône abaissent la ligne d'eau en amont, ce qui nous permet de conclure sur une réalisation des opérations sur le Petit Rhône, indépendamment des opérations sur les autres tronçons du Rhône. Le phasage retenu sur le Petit Rhône est en conséquence le suivant :

- 1^{ère} phase : PR1
- 2^{ème} phase : PR1-2

Les seuls impacts à considérer sont de voir si le recalage des digues de l'opération PR1 peut avoir un impact sur la sécurité des tronçons de digue en aval (PR1-2).

SCÉNARIO DE CRUE IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGENÈ

DÉBIT MAX TARASCON (EN M³/S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PONT SUSPENDU	A54	PONT CAVALÈS	PONT ST GILLES	AVAL DÉVER-SEMENT	COUDE CAPETTE	PONT SYLVÉRÉAL	BAC SAUVAGE
			A54	PONT CAVALÈS	PONT ST GILLES	AVAL DÉVER-SEMENT	COUDE CAPETTE	PONT SYLVÉRÉAL	BAC SAUVAGE	AVAL DU BAC DU SAUVAGE
10500	50 ans	Janv. 1994	-5 à -13	-8 à -15	-14 à -18	-3 à -17	-8 à +2	-4 à +4	-2 à +5	-4 à +2
11500	100 ans	Déc. 2003	-6 à -16	-10 à -21	-21 à -27	-8 à -27	-10 à -2	-5 à +3	-2 à +5	-4 à +2
12500	250 ans	Mai 1856	-8 à -19	-12 à -24	-24 à -31	-8 à -30	-10 à -1	-5 à +3	-2 à +5	-4 à +2
14160	1 000 ans	Millénaire	-6 à -16	-10 à -24	-23 à -32	-9 à -31	-13 à -1	-5 à +3	-2 à +5	-4 à +3

Impact dans le lit endigué des aménagements du Petit Rhône

L'impact en aval de l'opération PR1 est quasiment nul et très localement de 3 à 4 cm. Compte tenu de ce que les digues de l'opération PR1-2 ont été rendues carrossables. On estime que l'impact sur la sécurité de l'ouvrage est compensé par l'augmentation de la capacité d'intervention du SYMADREM en cas de détection de désordres, ce qui le rend acceptable et nous permet de conclure que le phasage envisagé sur le Petit Rhône est aujourd'hui le meilleur optimum entre impact hydraulique/sécurité des ouvrages hydrauliques et prise en compte du risque.

11.3.5. LES OPÉRATIONS DE PROTECTION RAPPROCHÉE

Ce groupe d'opérations est constitué des opérations suivantes :

- **BA4** : Création d'une digue au nord d'Arles.
- **GR2-1** : Création d'une digue de protection rapprochée au sud de Salin-de-Giraud.

Compte tenu de ce que ces opérations sont situées dans le lit protégé, leur réalisation n'a pas d'impact sur les écoulements dans le lit endigué. Les seuls impacts à vérifier sont locaux.

Les impacts liés à la digue nord ont été traités dans l'opération autorisée.

La digue sud de Salin-de-Giraud, compte tenu de son caractère indissociable des travaux de création de la digue résistante à la surverse en aval de l'esquinneau, a été intégrée dans l'opération de sécurisation des digues de 1^{er} rang.

11.3.6. LES OPÉRATIONS DE SÉCURISATION DU PLAN DE GESTION DES OUVRAGES EN PÉRIODES DE CRUES

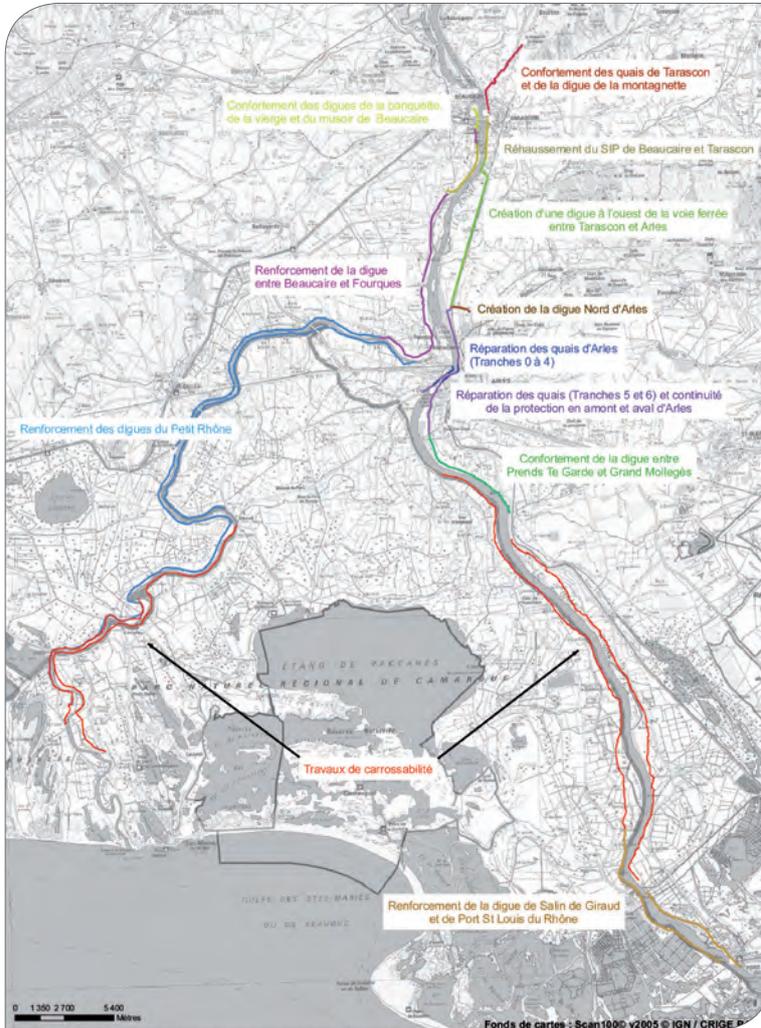
Ce groupe d'opérations est constitué des opérations suivantes :

- **PGOPC-2** : Sécurisation du Plan de Gestion des Ouvrages - 1^{ère} phase, comprenant :
 - Les travaux de bornage et signalétique sur les digues, la réalisation d'aires de stockage pour les interventions en période de crues, l'aménagement de certains accès et l'expertise et l'amélioration du plan de gestion des ouvrages en période de crues sur l'ensemble des ouvrages du SYMADREM.

- **PGOPC-3** : Sécurisation du Plan de Gestion des Ouvrages - 2^{ème} phase, comprenant :
 - La mise en place d'un système radio-numérique pour sécuriser les communications en période de crues entre les équipes de surveillance, les gardes digues et le poste de commandement du SYMADREM.

Ces opérations ne sont pas des opérations de travaux et peuvent donc être réalisées de façon indépendante.

La figure ci-dessous localise les opérations :



CPIER Plan Rhône 2007/2013 – découpage opérationnel des travaux

→ 11.4. PLANNING PRÉVISIONNEL DES OPÉRATIONS

Le planning des travaux, tel qu'il résulte du découpage opérationnel, des contraintes réglementaires et financières et de la complexité du montage des opérations, figure ci-après.

CODE SYMADREM	LOCALISATION	LIBELLÉ SIMPLIFIÉ DES OPÉRATIONS	CLASSEMENT	TYPE DE TRAVAUX	ACTIONS	RÉALISATION	ANNÉE 2008	
							sem. 1	sem. 2
BA6	RD	Digues de Beaucaire	A	Grosses réparations	Diagnostic approfondi	X		
		Digue de la Banquette			Etudes d'avant projet	X		
		Digue de la Vierge			Etude de projet	X		
		Digue du musoir			Porté à connaissance	15 janv. 2008		
		PK 267 à 268,1			Travaux	X		
BA7	RG	Quais de Tarascon et de la digue de la Montagnette	A	Grosses réparations	Diagnostic approfondi	X		
		Quais de Tarascon			Etudes d'avant projet	X		
		Digue de la Montagnette			Etude de projet			
		PK 263 à 268			Porté à connaissance	10 fév. 2012		
					Travaux			
BA1	RD	Digue de Beaucaire à Fourques	A	Renforcement / confortement	Diagnostic approfondi	X		
		Embouquement Écluse, Digue des Italiens			Etudes d'avant projet - projet (dim.)	X		
		PK 268,1 à 268,9			Etude de projet			
		PK 272,5 à 284,5			Demande d'autorisation + DUP + DIG	4 avril 2011		
					Travaux			
BA2	RG	Digue de Tarascon à Arles + gestion eaux déversées rive gauche	A	Création d'ouvrage	Etudes préliminaires	X		
		PK 269,6 à 278,9			Etudes d'avant projet - projet (dim.)			
					Etude de projet			
					Demande d'autorisation + DUP + DIG			
					Travaux			
BA8	RD et RG	Rehaussement SIP Beaucaire et Tarascon	A	Création d'ouvrage	Etudes d'avant projet - projet (dim.)			
		SIP Beaucaire			Etude de projet			
		RD : 268,9 à 272,5			Procédures d'autorisation			
		SIP Tarascon			Travaux			
		RG : 268,0 à 269,6						
BA4	RG	Création d'une digue au nord d'Arles	non classé	Digue de protection rapprochée	Etudes préliminaires	X		
					Etudes d'avant projet	X		
					Etude de projet	X		
					Arrêté d'autorisation + DUP	08 nov.2007		
					Travaux	X		
GR1	GRG et GRD	Quais d'Arles (tranches 0 à 4)	A	Grosses réparations	Diagnostic approfondi	X		
		Quai 8 mai 1945 et quai de la roquette			Etudes d'avant projet			
		PK 281,8 à 282,0 et PK 282,35 à 283,0			Etude de projet	X		
		Quais St Pierre, Trinquetaille et gabelle			Porté à connaissance	17 mars 2008		
		PK 281,8 à 282,5 et PK 283,25 à 283,45			Travaux			
GR1	GRD	Quais d'Arles (tranches [5 et 6] + continuité amont/aval)	B	Grosses réparations	Diagnostic approfondi	X		
		Quai de la gare maritime (partie basse)			Etudes d'avant projet	X		
		Digue papeteries Etienne			Etude de projet	X		
		PK 282,5 à 283,25 et PK 283,45 à 284,5			Porté à connaissance	24 janv. 2011		
		Quai bas marx dormoy + amont Pont des Lions			Etudes d'avant projet	X		
GR1	GRG	PK 278,9 à 281,8 et PK 282,0 à 282,35	A	Renforcement / mise à la cote	Etude de projet	X		
		Remblai IRPA, Embouquement Écluse, Digue de Barriol			Demande d'autorisation, DUP, DIG	1 juil. 2011		
		PK 283,0 à 286,5			Travaux			
PR1	PRD	Digues du Petit Rhône	A	Mise à la cote	Diagnostic approfondi	X		
		Digue de Fourques à Grand Cabanne			Etudes d'avant projet - projet (dim.)			
		(PK 284,5 à 291) + extension PK 292,5			Etude de projet			
		Digue Écluse St Gilles à Sylvérial - PK 300 à 322			Porté à connaissance (mise à la cote)			
		Digue de Sylvérial à Mas du Juge (PK 322 à 326)			Travaux mise à la cote			
PR1	PRG	Digue Arles à Albaron et Saintes-Maries	B	Renforcement / confortement	Demande d'autorisation, DUP, DIG			
		(PK 281 à 307 et PK 329,5 à 336,5)			Travaux renforcement			
GR2.1	GRD	Digues de Salin-de-Giraud et Port Saint Louis du Rhône	B	Renforcement / confortement	Diagnostic approfondi	X		
		Digue de Salin-de-Giraud + protection rapprochée			Etudes d'avant projet - projet (dim.)			
		(PK 313 à 324,5)			Etude de projet			
		Digue de Port Saint Louis du Rhône			Procédures d'autorisation			
		(PK 316,5 à 323)			Travaux			
GR2.2	GRG	Digue de Prends-té-Garde à Grand Mollégès	non classé (a priori B)	Renforcement / confortement	Diagnostic approfondi		partiel	
		(PK 286,5 à 293)			Etudes d'avant projet - projet (dim.)		partiel	
					Etude de projet			
					Porté à connaissance			
					Travaux			
CARROS	PR et GR	Carrossabilité et suppression des Ouvrages Traversants Hors Service	A, B et non classé	Carrossabilité	Etudes d'avant projet	X		
		PRD : PK 315,5 à 327,0			Etude de projet	X		
		PRG : PK 307,5 à 329,5			Porté à connaissance	30 sept. 2009		
		GRD : PK 297,0 à 313 GRG : PK 294,5 à 316,5			Travaux	X		
PR1-2 GR2-3	PR et GR	Digues du Petit Rhône et Grand Rhône 2ème priorité			Diagnostic approfondi			

12 CONCERTATION ET INFORMATION DU PUBLIC

De la crue de décembre 2003 à l'élaboration du présent programme de sécurisation, on distingue trois étapes dans la concertation et l'information du public menées par l'ensemble des pouvoirs publics :

- Une 1^{ère} phase dédiée exclusivement à la concertation de mars 2005 (date du 1^{er} comité territorial de concertation) à juillet 2006 (date de validation du Pré-Schéma Sud par le comité de pilotage du Plan Rhône),
- Une 2^{ème} phase dédiée également à la concertation et à l'information du public, compte tenu de la construction progressive du programme de sécurisation et des choix d'aménagement. Cette période s'est étalée de juillet 2006 à juillet 2009 (date de validation de l'étude de calage successivement par le comité de pilotage de l'étude, le comité syndical du SYMADREM et le comité de pilotage du Plan Rhône),
- Une 3^{ème} phase dédiée principalement à l'information du public sur les opérations du présent programme, même si des éléments issus des réunions publiques ont amené le SYMADREM à proposer de légères adaptations par rapport au schéma de gestion des inondations du Rhône aval. Cette période est en cours actuellement.

→ 12.1. ANNÉES 2005/2006 : MISE EN PLACE DES COMITÉS TERRITORIAUX DE CONCERTATION ET ÉLABORATION DU PRÉ-SCHÉMA SUD

Dans le cadre de la mise en œuvre du Plan Rhône une gouvernance a été mise en place. Parmi les différentes instances, le Comité Territorial de Concertation (CTC) organisé par la DREAL de bassin et présidé par un(e) élu(e) du Comité de Bassin Rhône Méditerranée et un(e) représentant de l'État, est l'instance dédiée à la concertation.

Sur le Rhône aval, un 1^{er} CTC a été organisé le 3 mars 2005 à Nîmes, il avait pour objectif de décrire les enseignements de la crue de 2003, de présenter le fonctionnement du Rhône et des digues de protection. Ce CTC a été l'occasion d'avoir une présentation par le CEMAGREF des déversoirs de sécurité sur les digues.

Le 2^{ème} CTC organisé le 2 juin 2005 à Arles a été l'occasion d'une présentation du fonctionnement hydraulique du Rhône par la société EGISeau (ex. BCEOM), qui avait notamment réalisé les études hydrauliques dans le Grand Delta, lors de l'étude globale Rhône.

Le 3^{ème} CTC a été organisé à Nîmes, le 4 novembre 2005. Les résultats de la conférence de consensus pour la détermination du débit de pointe de la crue de décembre 2003 ont été présentés. C'est lors de ce CTC, que les réflexions sur le Pré-Schéma Sud ont été présentées au public par la DREAL Rhône Alpes.

Le 4^{ème} CTC a été organisé le 20 juin 2006 à Arles. La société SOGREAH, assistant technique de la DREAL de Bassin a présenté l'état d'avancement du Pré-Schéma Sud et notamment le principe et calage des aménagements.

Le Pré-Schéma Sud a été présenté et validé le 7 juillet 2006 par le Comité de Pilotage du Plan Rhône.

Cette validation a permis d'arrêter le principe des aménagements et les objectifs de protection repris dans le chapitre relatif aux "objectifs et description du programme de sécurisation".

→ 12.2. ANNÉES 2007/2009 : LES ÉTUDES DU SYMADREM SONT ENGAGÉES, LA CONCERTATION SE POURSUIT

12.2.1. CONTINUATION DES CTC

Suite à la validation du Pré-Schéma Sud et du schéma de gestion des inondations du Rhône aval, par le comité de pilotage du Plan Rhône, le préfet coordonnateur de bassin a sollicité le SYMADREM pour que ce dernier puisse assurer la maîtrise d'ouvrage des actions du pré-schéma sud sur son périmètre de compétences.

Par délibération du 17 novembre 2006, le comité syndical a accepté de porter la maîtrise d'ouvrage des actions du Plan Rhône identifiées sur son périmètre de compétence.

En octobre 2007, l'étude de calage précis entre Beaucaire et Arles, première action du Pré-Schéma Sud a été confiée par le SYMADREM au bureau d'étude de la CNR.

En parallèle, la concertation s'est poursuivie dans le cadre du Plan Rhône, avec un 5^{ème} CTC, le 23 janvier 2007 à Nîmes et un 6^{ème} CTC le 7 décembre 2007 à Avignon ; seul le programme d'optimisation des ZEC entre Viviers et Beaucaire a été présenté, lors de ces deux assemblées.

12.2.2. MISE EN PLACE DE LA GOUVERNANCE DES OPÉRATIONS DU SYMADREM

Suite à l'acceptation de la maîtrise d'ouvrage, le SYMADREM a mis en place un mode de gouvernance pour la mise en œuvre des actions du schéma de gestion des inondations, reposant sur 3 niveaux d'interventions et un seul objectif : **allier efficacité et concertation.**

Le comité de suivi technique est réduit (efficacité). Il a pour objectifs de valider techniquement des études opérationnelles. Il est composé des techniciens du SYMADREM, de la DREAL de Bassin, des bureaux d'étude et suivant la consistance des opérations d'un collège de cinq experts composé de :

- 2 experts hydrauliciens, respectivement du CEMAGREF de Lyon et du CETE Méditerranée,
- 1 expert géomorphologue du CEREGE d'Aix-en-Provence,
- 2 experts en ouvrages hydrauliques, respectivement du CEMAGREF d'Aix-en-Provence et du Centre d'Ingénierie Hydraulique d'EDF

Le comité de pilotage est élargi (concertation avec les acteurs du territoire). Son rôle est de valider les études. Il est présidé par le président ou les vice-présidents du SYMADREM. Il regroupe les élus et techniciens du SYMADREM, les grandes collectivités (Conseils Régionaux et Généraux), les communes directement concernées ou impactées par les opérations, les autres maîtres d'ouvrages du schéma de gestion des inondations du Rhône aval, les services de l'État (préfecture, sous-préfecture, DREAL, SNRS, DDTM, DRAAF), les chambres consulaires (agriculture, commerce et industrie, métiers), les gestionnaires du territoire (Parc Naturel régional de Camargue...), les gestionnaires des ouvrages non inclus dans le périmètre de compétence du SYMADREM, mais impactés par les ouvrages (CNR, RFF, Compagnie des Salins du Midi...).

Enfin des réunions publiques dans les communes concernées par les travaux sont organisées. Le principe est d'organiser 3 réunions :

- Une réunion au démarrage de l'étude,
- Une réunion à mi-parcours de l'étude,
- Une réunion en fin d'étude.

Des réunions sont également organisées avec les propriétaires riverains directement impactés par les travaux. Ces réunions sont organisées au démarrage de l'étude et en fin d'étude.

12.2.3. LE CANAL DE CONTOURNEMENT D'ARLES

Le 23 mai 2007 à Fontvieille et le 12 juin 2007 à Arles, deux réunions publiques ont été organisées concernant la digue nord. Les grandes orientations du pré-schéma sud ont été présentées.

Une opposition au Plan Rhône s'est mise en place et a cristallisé ses revendications sur les déversements entre Beaucaire et Arles et la participation de la Camargue à la solidarité amont/aval.

Un projet alternatif a été alors monté par quelques associations assistées d'un expert hydraulicien néerlandais : le projet du canal de contournement d'Arles. L'objectif était de supprimer le verrou hydraulique constitué par la traversée d'Arles et abaisser suffisamment la ligne d'eau pour éviter les déversements entre Beaucaire et Arles jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône.

Compte tenu de la demande motivée des associations et considérant que cette problématique n'avait pas été traitée lors des CTC, le SYMADREM a proposé aux associations, de modéliser dans le cadre de l'étude de calage, deux scénarios alternatifs [R 35] définis par les associations, assistées de leur expert.

En parallèle, une mission d'expertise organisée par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM) a été diligentée pour examiner le projet de canal de contournement d'Arles et la sécurisation du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles.

L'analyse des 2 scénarii hydrauliques a montré que le canal de contournement et l'inondation de la Camargue ne permettaient pas d'éviter les déversements entre Beaucaire et Arles pour une crue de type mai 1856 et supérieure ; confirmant la nécessité de renforcer les digues pour résister à un déversement sans rupture.

Le 1^{er} avril 2009 à Arles, lors du 7^{ème} CTC, la mission d'expertise du schéma de protection contre les crues du secteur Tarascon-Arles" a présenté ses conclusions, à savoir la non pertinence hydraulique du canal de contournement.

Ce 7^{ème} CTC a également été l'occasion pour le SYMADREM de présenter les résultats de l'étude de calage.

Le calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles a été approuvé le 7 juillet 2009 par le Comité de Pilotage du Plan Rhône et préalablement approuvé par le Comité de pilotage de l'étude le 28 mai 2009 et par le comité syndical du SYMADREM le 25 juin 2009.

→ 12.3. ANNÉES 2009/2010 : RÉUNIONS PUBLIQUES ET DÉCISIONS

Le calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles approuvé, le canal de contournement d'Arles abandonné. L'été 2009 a été l'occasion de passer de la phase de concertation à une phase d'information du public avec la nécessité de mettre en place des outils d'information et des outils pédagogiques.

Le 8^{ème} CTC, organisée le 11 décembre 2009 à Fourques a permis au SYMADREM de faire une première présentation du "programme de sécurisation", initialement intitulé "schéma d'aménagement".

Le 9^{ème} CTC organisée le 20 décembre 2010 à Tarascon a permis au SYMADREM de présenter un état d'avancement des opérations et un bilan des réunions publiques ainsi qu'une présentation du plan de gestion des ouvrages en périodes de crues.

12.3.1. LES RÉUNIONS PUBLIQUES ORGANISÉES PAR LE SYMADREM

Depuis 2007, le SYMADREM a organisé 12 réunions publiques, soit une moyenne de 3 réunions par an.

En 2007, deux réunions publiques concernant la digue nord ont été respectivement organisées le 23 mai 2007 à Fontvieille et le 12 juin 2007 à Arles.

En 2008, une réunion publique a été organisée le 1^{er} juillet 2008 à Arles concernant le démarrage du programme de réparation des quais d'Arles.

En 2009, cinq réunions publiques ont été organisées :

- Une réunion le 29 janvier 2009 à Arles, concernant les quais d'Arles,
- Une réunion le 24 mars 2009 dans le village de Salin-de-Giraud pour le démarrage des études de renforcement de la digue de Salin-de-Giraud,
- Trois réunions avec les riverains du Petit Rhône, les 13 mai 2009 aux Saintes-Maries-de-la-Mer, 14 mai 2009 à Saliers et 3 juin 2009 à Saint-Gilles, lors du démarrage des études de renforcement des digues du Petit Rhône.

En 2010, quatre réunions publiques ont été organisées :

- Deux réunions concernant la présentation des travaux de renforcement de la digue du Rhône entre Beaucaire et Fourques, respectivement le 4 février 2010 à Fourques et le 24 juin 2010 à Bellegarde,
- Une réunion à mi-parcours, de présentation des résultats du calage de la digue de Salin-de-Giraud et de la digue de Port-Saint-Louis-du-Rhône, le 22 juin 2010 à Salin-de-Giraud,
- Une réunion de présentation du programme de sécurisation avec un zoom sur la plaine de Boulbon et la rive gauche entre Tarascon et Arles le 14 décembre 2010 à Boulbon.

En 2011, quatre réunions publiques ont été organisées :

- Une réunion, au casino de Beaucaire le 20 juin 2011, organisée avec les chambres d'agriculture des Bouches-du-Rhône et du Gard à l'attention de l'ensemble de la profession agricole dans le Grand Delta du Rhône. Elle a eu pour objet de présenter le programme de sécurisation.
- Deux réunions de présentation des travaux de renforcement de la digue de Salin-de-Giraud et mise à la cote de la digue de Port-Saint-Louis-du-Rhône respectivement le 14 septembre 2011 avec l'ensemble de la population et le 12 décembre 2011 avec les propriétaires riverains.
- Une réunion le 14 novembre 2011 au théâtre d'Arles pour la présentation des 5^{ème} et 6^{ème} tranches de travaux de réparations des quais d'Arles.



Réunion publique à Salin-de-Giraud le 22 juin 2010



Réunion publique à l'auditorium de Fourques le 4 février 2010



Réunion publique à Beaucaire le 20 juin 2011 co-organisée avec les chambres d'agriculture du Gard et des Bouches-du-Rhône et la DREAL Rhône Alpes



Réunion publique au théâtre d'Arles le 14 novembre 2011

Des plaquettes pédagogiques d'information ont diffusées lors de ces réunions.



Exemples de plaquette d'information

12.3.2. BILAN DES RÉUNIONS PUBLIQUES ET DE LA CONCERTATION LOCALE

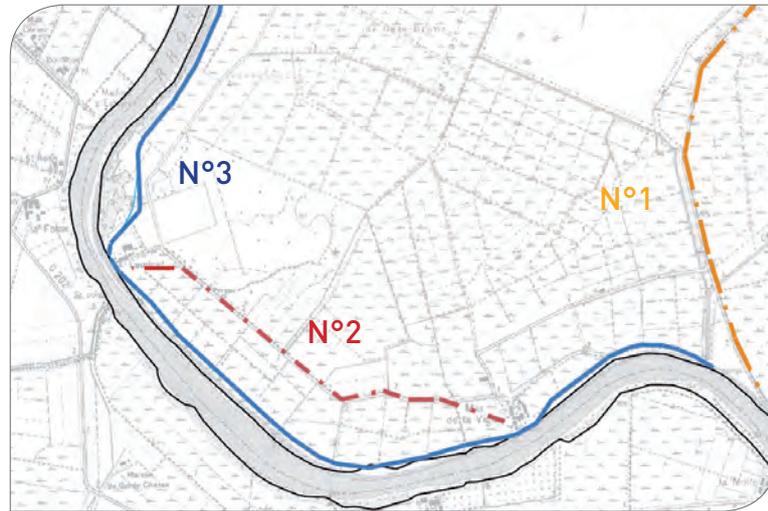
De ces réunions publiques et de la concertation locale mise en œuvre par le SYMADREM, il en est ressorti, les évolutions suivantes par rapport aux actions définies dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval.

Les digues de 2^{ème} rang dans la plaine de Beaucaire ont été abandonnées. 3 ouvrages étaient prévus dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval :

- La digue de 2^{ème} rang de Bellegarde,
- La digue de 2^{ème} rang de Fourques,
- La digue de 2^{ème} rang de Saint-Gilles en amont de l'A54

La pertinence économique et hydraulique de ces ouvrages n'étant pas avérée et ses ouvrages étant très mal perçus par la profession agricole, le comité syndical, après avis du comité de pilotage, a abandonné leur réalisation par délibération du 6 novembre 2009.

Sur le **Petit Rhône**, la concertation dans le cadre de l'élaboration du pré-schéma sud avait abouti à l'abandon du décorsetage large du Petit Rhône (tracé n°1 ci-dessous) au profit d'un décorsetage limité (tracé n°2). Ce décorsetage limité est apparu encore trop contraignant pour l'agriculture. Après réalisation des études et notamment des études morphologiques, c'est le tracé n°3 jugé le moins contraignant qui a été retenu par le SYMADREM.

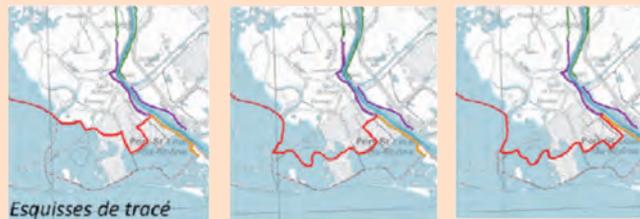


Évolution du tracé des digues projetées du Petit Rhône suite aux étapes successives de concertation

Sur **Salin-de-Giraud**, le niveau de protection dans le village après sécurisation et recalage de la digue de 1^{er} rang a été jugé comme non acceptable socialement par les habitants du village, ce qui a amené le SYMADREM à prévoir une digue de 2^{ème} rang au sud du village, non prévue initialement dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval.

RÉFLEXIONS SUR LA PROTECTION SUD DE SALIN-DE-GIRAUD

Groupes de travail avec la Compagnie des Salins du Midi (dirigeants et personnel) suite à la réunion publique du 22 juin 2010.



Synthèse des réflexions conduites sur le sud de Salin-de-Giraud

12.3.3. DÉCISIONS CONCERNANT LES CHOIX DES AMÉNAGEMENTS

Le calage des aménagements a été validé successivement par :

- Le comité syndical du 25 juin 2009, en ce qui concerne les ouvrages prévus sur le Rhône entre Beaucaire et Arles,
- Le comité syndical du 7 octobre 2010, en ce qui concerne les ouvrages prévus sur le Grand Rhône entre Arles à la mer,
- Le comité syndical du 14 décembre 2010, en ce qui concerne les ouvrages prévus sur le Petit Rhône entre Fourques/Arles et la mer et le présent programme de sécurisation.

Ces validations ont fait l'objet d'une validation préalable par les comités de pilotage respectifs des études.

12.3.4. DÉCISIONS CONCERNANT L'ORGANISATION DE LA MAÎTRISE D'OUVRAGE

L'organisation de la maîtrise d'ouvrage des travaux et l'exploitation des ouvrages après travaux, des ouvrages situés hors du périmètre de compétence du SYMADREM, ont fait l'objet de décisions successives du comité syndical du SYMADREM rappelées ci-dessous :

- Le 25 janvier 2009 en ce qui concerne la continuité en amont et en aval des quais d'Arles (remblai IRPA, embouquement VNF de l'écluse d'Arles, SIP d'Arles, remblai RFF en centre-ville d'Arles),
- Le 6 novembre 2009 en ce qui concerne l'embouquement VNF de l'écluse de Beaucaire et la digue des Italiens comprise entre l'embouquement précité et le SIP de Beaucaire,
- Le 25 février 2010 en ce qui concerne le rehaussement des SIP de Beaucaire et de Tarascon et le rehaussement du déversoir de Boulbon (accord-cadre avec la CNR),
- Le 24 juin 2010, en ce qui concerne notamment l'entretien des ségonnaux créés dans le cadre des opérations de recul (accord-cadre avec le PNRC),
- Le 7 octobre 2010, en ce qui concerne la digue de 1^{er} rang à créer en rive gauche du Rhône entre Tarascon et Arles,
- Le 12 mai 2011, en ce qui concerne la maîtrise d'ouvrage des travaux de renforcement et rehaussement de la prise d'eau BRL sur le Rhône, de la prise d'eau du canal des Italiens sur le Rhône, des murs et portes de l'écluse de Beaucaire,
- Le 22 juin 2011, en ce qui concerne la maîtrise d'ouvrage des travaux de renforcement et rehaussement des murs et portes de l'écluse d'Arles.

→ 12.4. LETTRE D'INFORMATION, SITE INTERNET

En parallèle de ces réunions publiques d'information, le SYMADREM publie depuis 2009 une lettre d'information semestrielle diffusée notamment dans les 15 communes membres du SYMADREM.



Lettre semestrielle d'information du SYMADREM

Cette lettre permet d'informer la population de l'état d'avancement des opérations.

Le SYMADREM a également en 2010 rénové son site internet pour le rendre plus attractif et également plus pédagogique. L'état d'avancement des opérations est régulièrement mis à jour.

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

PLAN DU SITE CONTACT

Actualités Espace presse Actualités Web Textes / Réglementation Mémoires / Publications Médias / Photos Recherche

SYMADREM

Du barrage de Vallabrègues à la Mer,
LES GRANDES OPÉRATIONS DU SYMADREM

LE SYMADREM LE RHÔNE LE PLAN RHÔNE LITTORAL SURVEILLANCE ET ENTRETIEN

EVÈNEMENT

Le Lycée agricole de Fontlongue au Symadrem
Le Lycée Agricole de FONTLONGUE situé à Miramas avait rendez vous avec le Symadrem et la Ville d'Arles pour une visite avec les étudiants en BTS Gestion et Maîtrise de l'Eau. L'objet de cette visite était de permettre aux étudiants de comprendre.....

EVÈNEMENT

FORUM MONDIAL DE L'EAU
Du 12 au 16 mars 2012 s'est tenu à Marseille le 6^{ème} Forum Mondial de l'Eau. A cette occasion Monsieur Hervé SCHIAVETTI Maire d'Arles et Président du Symadrem...

EVÈNEMENT

RECHARGEMENT DE LA PLAGE EST DES SAINTES-MARIES-DE-LA-MER
La plage est des Saintes-Maries-de-la-Mer est devenue depuis cette dernière décennie, un secteur préoccupant : l'érosion est forte et provoque d'importants désordres qui se traduisent par un recul du trait de côte (près de 60 mètres en 14 ans).....

DÉBIT DU RHÔNE À LA STATION DE BEAUCAIRE-TARASCON

ACTUALITÉS

VOEUX SYMADREM 2012

Invitation : Réunion d'information 14 novembre 2011

LE SYMADREM PRESENT A LA FÊTE DES PARCS NATURELS REGIONAUX

Réunion d'information : aménagements de lutte contre les inondations du Rhône

Hervé SCHIAVETTI réélu Président du SYMADREM

Protection de la rive gauche du Rhône entre Tarascon et Arles

Travaux de sécurisation des digues en Camargue

Salle comble à Fourques pour la présentation du projet de renforcement de la digue gardoise

Visite technique approfondie des digues

Partenariat entre le SYMADREM et la CNR

Site internet du SYMADREM – page d'accueil du 18 février 2011

13 MAÎTRISE D'OUVRAGE DES TRAVAUX ET EXPLOITATION DES OUVRAGES APRÈS TRAVAUX

→ 13.1. PRINCIPE GÉNÉRAL DE RÉPARTITION DE LA MAÎTRISE D'OUVRAGE

Les missions du SYMADREM consistent en :

- L'exploitation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône et contre les incursions marines situés dans son périmètre de compétences,
- La maîtrise d'ouvrage des études et des travaux de renforcement des ouvrages situés dans son périmètre de compétences.

Comme on a pu le voir au chapitre “ouvrages de protection et zone protégée”, certains ouvrages hydrauliques situés hors du périmètre de compétences du SYMADREM assurent une protection contre les crues du Rhône, même si elle n'est pas leur fonction principale.

L'objectif du programme de sécurisation est d'avoir un gestionnaire unique des ouvrages de protection contre les crues du Rhône dans le Grand Delta.

Certaines opérations nécessitent la réalisation de mesures d'annulation et réduction d'impact dans le lit du fleuve. Il n'est pas la vocation du SYMADREM d'entretenir le fleuve, qui relève actuellement en ce qui concerne le Rhône et le Grand Rhône de la CNR et en ce qui concerne le Petit Rhône de VNF.

Certaines opérations nécessitent la réalisation d'ouvrages connexes indispensables au bon fonctionnement hydraulique des ouvrages en périodes de crues. Il s'agit notamment des ouvrages de transparence hydraulique à réaliser dans le remblai ferroviaire. Il n'est pas la vocation du SYMADREM de réaliser et d'exploiter ce type d'ouvrages.

Certaines opérations nécessitent d'éloigner les digues du fleuve, notamment le long du Petit Rhône. Sur ces secteurs, il est créé un ségonnal pouvant être valorisé suivant les cas de multiples façons (environnement, agriculture). Il n'est pas de la vocation du SYMADREM d'entretenir les ségonnaux créés dans le cadre de travaux de confortement.

Sur la base de ces principes, la répartition de maîtrise d'ouvrage des opérations, à laquelle il faut associer l'exploitation des ouvrages après travaux a été actée dans sept conventions passées à ce jour avec respectivement la Compagnie Nationale du Rhône, Réseau Ferré de France et le Parc Naturel Régional de Camargue, Voies Navigables de France, BRL et l'ASA du Nourriguier.

D'autres conventions sont prévues en 2013, notamment avec le Conseil Général des Bouches-du-Rhône et Voies Navigables de France.

→ 13.2. RÉPARTITION DE LA MAÎTRISE D'OUVRAGE

Le SYMADREM assure la maîtrise d'ouvrage des travaux de protection contre les crues du Rhône et des mesures d'annulation et réduction d'impacts, à l'exception des travaux suivants :

- La transparence hydraulique du remblai ferroviaire,
- Le rehaussement des écluses d'Arles, Beaucaire et éventuellement Saint-Gilles,
- Le rehaussement de la prise d'eau de la station BRL sur le Rhône,
- Le rehaussement de la prise d'eau du canal des Italiens,
- Le rehaussement des ouvrages hydrauliques (à l'instar des prises d'eau précitées) situés sur la ligne de protection contre les crues et constituant une interruption nette de la digue.

→ 13.3. EXPLOITATION DES OUVRAGES APRÈS TRAVAUX

L'exploitation des ouvrages de protection, dont la maîtrise d'ouvrage a été assurée par le SYMADREM est assurée par ce dernier, à l'exception de :

- La digue d'Aramon,
- Le déversoir de Comps,
- Éventuellement de l'ancienne digue de Vallabrègues, si des travaux sont à réaliser.

Les statuts du SYMADREM ont été modifiés par arrêté préfectoral pour permettre un transfert progressif d'exploitation au fur et à mesure de l'obtention des autorisations administratives et du financement nécessaire aux travaux.

L'exploitation des ouvrages en périodes de crues fait l'objet d'un Plan de Gestion des Ouvrages en Périodes des Crues (P.G.O.C.).

L'exploitation des ouvrages hors période de crues fait l'objet d'un Règlement d'Exploitation des Ouvrages (R.E.O.).

L'exploitation du lit du Rhône et notamment des mesures de réduction et d'annulation d'impact réalisées par le SYMADREM dans le lit est assurée par la Compagnie Nationale du Rhône.

L'exploitation des ouvrages de transparence du remblai ferroviaire est assurée par Réseau Ferré de France.

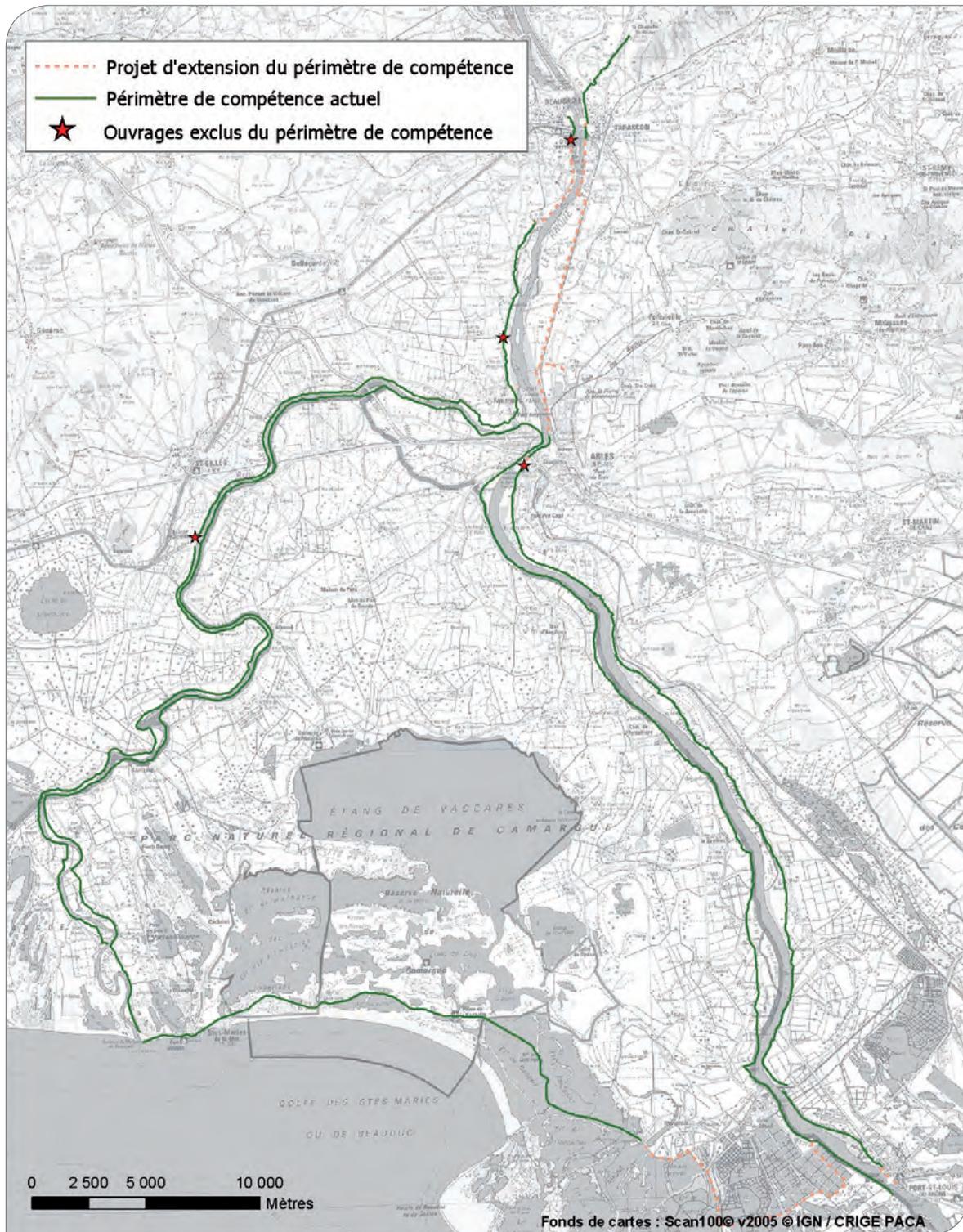
L'exploitation des écluses (murs et portes) est assurée par Voies Navigables de France.

L'exploitation de la prise d'eau d'eau sur le Rhône est assurée par BRL.

L'exploitation de la digue d'Aramon est assurée par la commune d'Aramon.

L'exploitation du déversoir de Comps est assurée par la CNR.

Sur les routes départementales faisant office d'ouvrages de protection, des conventions de superposition d'affectation sont signées avec le Conseil Général des Bouches-du-Rhône.



Annexe à la délibération 2011-43 approuvant la modification des statuts

13.3.1. ACCORD CADRE AVEC LA CNR

L'accord-cadre signé le 17 février 2010 référencé. Cet accord stipule notamment que :

- Le SYMADREM assure la Maîtrise d'Ouvrage des études et travaux de l'ensemble des ouvrages de protection sur le Domaine Public Fluvial et à l'intérieur du périmètre des dépendances immobilières de la concession situé entre le barrage de Vallabrègues et la mer. Il assure la Maîtrise d'Ouvrage des travaux destinés à supprimer ou réduire les impacts hydrauliques des ouvrages.
- Le SYMADREM assure, en tant que Maître d'Ouvrage, l'entretien et l'exploitation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône réalisées y compris sur les dépendances immobilières de la concession CNR.
- La CNR assure l'entretien du lit du Rhône, conformément à ses cahiers des charges de concession, y compris les secteurs qui auront fait l'objet de la part du Symadrem de travaux fluviaux d'annulation et réduction d'impact.
- Le SYMADREM a en charge de monter le plan de financement des opérations.
- La CNR s'engage à participer au financement des travaux du programme de sécurisation dans le périmètre de sa concession à hauteur d'un montant total plafonné à 5 millions d'euros.

L'accord cadre précise que des conventions d'application seront réalisées pour chaque opération.

La participation financière de la CNR pourra être variable d'une opération à l'autre selon les besoins et en accord avec le SYMADREM. Lorsqu'elle sera effective cette participation sera fixée par la convention d'application suivant un taux pouvant varier de 25 % à 80 % du montant Hors Taxe.

13.3.2. CONVENTION TRIPARTITE ENTRE L'ÉTAT, LE SYMADREM ET RFF

La convention a été signée le 25 février 2011. Elle concerne la protection contre les crues du Rhône entre Tarascon et Arles.

L'objet de la convention est de :

- Définir avec précision l'opération,
- Répartir les maîtrises d'ouvrage nécessaires à la réalisation de l'opération,
- Établir le plan de financement de l'opération,
- Définir le cadre d'exploitation des ouvrages après leur réalisation,

Le SYMADREM assure la maîtrise d'ouvrage des études et travaux de création d'une digue de 1^{er} rang à l'ouest de la voie ferrée Tarascon et Arles, ainsi que les travaux d'annulation et de réduction d'impacts associés à la réalisation de la digue.

RFF assure la maîtrise d'ouvrage des études et travaux de transparence hydraulique du remblai ferroviaire.

Après réception de l'ensemble des travaux:

- le SYMADREM assure l'exploitation de la digue de 1er rang à l'ouest de la voie ferrée entre Tarascon et Arles.
- en ce qui concerne les ouvrages créés dans le cadre des mesures d'accompagnement, de réduction et d'annulation d'impact de la digue, le SYMADREM exploite les ouvrages réalisés ou conventionne, notamment pour les ouvrages situés hors de son champ de compétence, avec d'autres gestionnaires (Accord Cadre avec la CNR...).
- RFF assure la maintenance des ouvrages de transparence créés et des ouvrages connexes (entonnement, dissipation aval).

13.3.3. CONVENTION AVEC LE PARC NATUREL RÉGIONAL DE CAMARGUE

Cette convention avec le Parc Naturel Régional de Camargue a été signée le 26 juin 2010. Elle instaure un partenariat entre le Parc Naturel Régional de Camargue et le SYMADREM. Ce partenariat vise à permettre l'établissement de relations privilégiées et une meilleure prise en compte, en amont des phases de travaux et de gestion des ouvrages, des questions socio-économiques et environnementales et à favoriser l'instruction des dossiers ainsi que la valorisation des actions conduites.

Cette convention précise notamment la mise en œuvre des plans de gestion et documents d'objectifs sur le lit mineur du fleuve, les ségonnaux du Grand Rhône et Petit Rhône.

13.3.4. CONVENTIONS AVEC VNF

Deux conventions ont été signées avec VNF : une convention concernant l'écluse de Beaucaire et sa digue Ouest d'embouquement le 10 août 2011 et une convention concernant l'écluse d'Arles et sa digue Est d'embouquement le 15 février 2012. Les termes de la convention sont résumés dans le tableau ci-après.

	DIGUE D'EMBOUQUEMENT DE L'ÉCLUSE	ÉCLUSE (MURS DE TÊTE ET PORTES)
Maîtrise d'ouvrage Études et Travaux	SYMADREM	VNF
Dossiers réglementaires	Procédure conjointe Mandataire des autorisations : SYMADREM	
Financement des Travaux	SYMADREM	VNF
Exploitation des ouvrages AVANT travaux	VNF	VNF
Exploitation des ouvrages APRÈS travaux	SYMADREM	VNF
Propriétaire des ouvrages	SYMADREM	VNF

Synthèse des termes figurant dans la convention SYMADREM/VNF

En ce qui concerne l'écluse d'Arles, les portes de l'écluse sont calées en dessous du niveau atteint par la crue millénaire. La convention prévoit que VNF vérifie, la stabilité des portes, avec la prise en compte de déversement par des vagues, jusqu'à la cote dite de "danger de rupture", située 50 cm au-dessus de la cote

atteinte par la crue de sûreté, soit 7,80 NGF. Si la stabilité n'est pas vérifiée, VNF intervient pour assurer cette stabilité et profite de cette opération pour mettre également à la cote de 7,30 NGF, les portes de l'écluse. Si la stabilité des portes et des murs de tête est vérifiée pour 7,80 NGF, le SYMADREM étudie et réalise en concertation avec VNF sur la base de l'étude de stabilité réalisée par VNF, le dispositif de rehausse des portes à la cote de 7,30 NGF.

Il est également prévu de passer une convention pour le traitement de l'écluse Saint-Gilles suivant un principe identique d'intervention.

13.3.5. CONVENTION AVEC BRL ET L'ASA DU NOURRIGUIER

Les conventions signées avec BRL et l'ASA du Nourriguier (avec BRL en appui technique) ont été signées le 1er juin 2011. Elles traitent de prises d'eau sur le Rhône gérées respectivement par la société BRL et l'ASA du Nourriguier et localisée sur la ligne de défense contre les crues. Les termes de la convention sont résumés dans le tableau ci-après :

	TRAVAUX DE JONCTION ENTRE LA PRISE D'EAU ET LA DIGUE	REHAUSSEMENT PRISE D'EAU
Maîtrise d'ouvrage Études et Travaux	SYMADREM	BRL/ASA
Dossiers réglementaires	Procédure conjointe Mandataire des autorisations : SYMADREM	
Financement des Travaux	CPIER Plan Rhône	CPIER Plan Rhône
Exploitation des ouvrages AVANT travaux	SYMADREM	BRL/ASA
Exploitation des ouvrages APRES travaux	SYMADREM	BRL/ASA

Synthèse des termes figurant dans la convention SYMADREM/BRL

13.3.6. CONVENTION AVEC LE CONSEIL GÉNÉRAL DES BOUCHES DU RHÔNE

Cette convention en cours d'établissement concerne les ouvrages suivants :

- RD35 sur le Grand Rhône rive gauche entre les PK 293,1 et PK 294,6,
- RD36d sur le Grand Rhône rive droite en aval de l'Estacade de l'Esquineau (PK 322 à PK 324,5),
- RD85 au droit de Pin Fourcat,
- Rocade au Nord d'Arles comprise entre les digues du Vigueirat et le barreau Nord.

Elle traite de la superposition d'affectation entre la partie d'ouvrage affectée à la protection contre les crues et la partie d'ouvrage affectée à la voirie routière.

Le tableau en page suivante résume l'organisation administrative de la maîtrise d'ouvrage des travaux du programme de sécurisation et l'exploitation des ouvrages après travaux sur les ouvrages hydrauliques actuellement en dehors du périmètre de compétence du SYMADREM.

OUVRAGES HYDRAULIQUES	RESPONSABLE ACTUEL	OUVRAGES À RÉALISER	MAÎTRISE D'OUVRAGE ÉTUDES	MOA DOSSIER D'AUTORISATION	BÉNÉFICIAIRE AUTORISATION	MAÎTRISE D'OUVRAGE TRAVAUX	EXPLOITATION DES OUVRAGES	CONVENTION
Rive droite								
Écluse de Beaucaire	VNF	Création parapet	VNF	SYMADREM	VNF	VNF	VNF	Signée le 10 août 2011
Embouquement Écluse Beaucaire	VNF	Rehaussement	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	
Digue des Italiens	CNR	Rehaussement	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	Signée le 17 fév. 2010
SIP de Beaucaire	CNR	Création digue	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	
Station BRL	BRL	Création parapet	BRL	SYMADREM	BRL	BRL	BRL	Signée le 1 ^{er} juin 2011
Écluse Saint-Gilles	VNF	A voir par vnf	VNF	SYMADREM	VNF	VNF	VNF	À établir
Embouquement Écluse Saint-Gilles	VNF	Diagnostic de sûreté	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	
Rive gauche								
SIP de Tarascon	CNR	Création digue	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	Signée le 17 fév. 2010
Remblai ferroviaire	RFF	Création digue à l'ouest	SYMADREM	SYMADREM / RFF	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	Signée le 25 fév. R 2011
		Ouvrages transparence	RFF	SYMADREM / RFF	RFF	RFF	RFF	
Digues de protection des trémies	RFF/SCNF	Création digue à l'ouest	SYMADREM	SYMADREM / RFF	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	Signée le 17 fév. 2010
Digue mas mollin	CNR	Rehaussement	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	
SIP d'Arles	CNR	Création digue	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	À établir
Remblai ferroviaire aval/Chemin ségonnaux	RFF/commune	Création digue	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	
Quai du 8 mai 1945	VNF	Confortement réalisé en 2007					VNF/SYMADREM	À établir
Remblai IRPA	CG13/commune/VNF	Création digue	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	À établir
Écluse d'Arles	VNF	Création parapet	VNF	SYMADREM	VNF	VNF	VNF	Signée le 15 fév. 2012
Embouquement Écluse Arles	VNF	Rehaussement	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	
RD35a	CG13	Diagnostic de sûreté	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM/CG13	À établir
Mesures d'annulation et réduction d'impacts								
Déversoir de Boulbon	CNR/SITHB	Rehaussement	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	Signée le 17 fév. 2010
Déversoir de Comps	CNR	Rehaussement	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	CNR	
Digue des Marguilliers	Commune Beaucaire	Rehaussement	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	Modification statuts
Digue d'Aramon	Commune Aramon	Rehaussement	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	Commune Aramon	À établir
Élargissement lit aval Barrage	Domaine Publique Fluvial	Reprofilage	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	CNR	Accord Cadre CNR
Création bras mort	Privé	Création bras mort	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	CNR	
Atterrissement Tembec	Domaine Publique Fluvial	Dragage	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	CNR	
Autres Ouvrages								
Quai de la gare maritime	VNF / RFF	Rehaussement	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	SYMADREM	À établir

Maîtrise d'ouvrage des travaux et exploitation des ouvrages après travaux

→ 13.4. CONSISTANCE DES MISSIONS D'EXPLOITATION DES OUVRAGES

La politique de prévention et de surveillance mise en place par le SYMADREM conformément à la réglementation repose sur deux documents :

- Le Règlement d'Exploitation des Ouvrages (REO) qui s'applique hors périodes de crues,
- Le Plan de Gestion des Ouvrages en Période de Crue, qui s'applique en périodes de crues (PGOPC).

13.4.1. RÈGLEMENT D'EXPLOITATION DES OUVRAGES

Ce document a pour objet de formaliser le mode opératoire de l'exploitation des ouvrages du SYMADREM, en propriété ou en gestion. Il comporte deux grandes parties :

- La gestion et la surveillance des ouvrages,
- L'entretien des ouvrages.

La gestion et la surveillance des ouvrages comprend :

- La saisie de données et les requêtes relatives aux ouvrages dans le Système d'Informations à Références Spatiales (SIRS) pour la tenue à jour du dossier d'ouvrage,
- La surveillance continue des ouvrages, effectuée par les visites de surveillance programmées, exécutées par les gardes digues du SYMADREM. Ces visites font l'objet de comptes rendus,
- Des visites techniques approfondies exécutées une fois par an, par un ingénieur du SYMADREM et deux gardes digues. Ces visites font l'objet d'un compte-rendu annuel,
- La programmation et la planification des travaux d'entretien en entreprise et en régie, à partir des résultats des visites de surveillance programmées et visites techniques approfondies,
- La maîtrise d'œuvre des travaux d'entretien,
- La gestion courante du matériel,
- La gestion budgétaire des travaux d'entretien,
- La gestion foncière des ouvrages,
- L'instruction des Autorisations Temporaires d'Occupation (AOT) pour les ouvrages hydrauliques de tiers traversant la digue,
- Le contrôle des ouvrages hydrauliques traversants de tiers,
- Les relations avec les propriétaires riverains, les autorisations de piégeage et la louveterie, la garderie.

L'entretien des ouvrages est exécuté soit par le groupement d'entreprises titulaire du marché d'entretien, soit en régie par les gardes digues.

Les travaux d'entretien en entreprise portent sur :

- Le débroussaillage complet des digues, trois fois par an,
- L'exécution des travaux de petits terrassements,

- Le comblement de terriers d'animaux fouisseurs,
- La fourniture et la pose d'enrochements,
- La réalisation et la réfection des pistes de service,
- La fourniture et pose d'accessoires (barrières métalliques, fermetures à câbles).

Les travaux d'entretien en régie portent sur :

- Le piégeage des animaux fouisseurs,
- Le débroussaillage ponctuel et le traitement des canniers,
- Le désherbage des quais et ouvrages en maçonnerie,
- Le bûcheronnage,
- L'entretien des accessoires.

13.4.2. PLAN DE GESTION DES OUVRAGES EN PÉRIODE DE CRUE

La gestion des ouvrages de protection en périodes de crues est réglementée par deux textes :

- Décret n°2005-1157 du 13 septembre 2005 pris en application de la loi du 13 août 2004 dite de modernisation de la sécurité civile, qui prévoit que "toute personne publique ou privée concourant à la protection générale des populations,... est en mesure d'assurer en permanence les missions qui lui sont dévolues, ... prépare sa propre organisation de gestion de l'évènement...". En outre cette loi prescrit les obligations faites au maire des communes (Plans communaux de Sauvegarde) et aux Préfets (plan ORSEC, de zones) ;
- Décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques, qui exige des gestionnaires de digues notamment l'élaboration "des consignes écrites dans lesquelles sont fixées les instructions de surveillance de l'ouvrage en toutes circonstances ainsi que celles concernant son exploitation en période de crue. ...".

Les digues de Camargue ont été construites dans la deuxième moitié du XIX^e siècle après les grandes crues de 1840 et 1856. Elles ont été construites en lieu et place d'autres ouvrages plus anciens.

Compte tenu de leur mode de réalisation (compactage avec des dames de 15 kg) et de leur composition très hétérogène (alternance limons/sables), les digues de Camargue sont exposées en période de crues, au risque de brèches. La probabilité d'apparition de désordre existe dès les premières sollicitations par le fleuve et s'amplifie avec l'augmentation du débit et la durée de la crue.

Les crues de 1993, 1994, 2002 et 2003 ont montré que les digues pouvaient céder bien avant que l'eau atteigne la crête.

Dans ces conditions, tout désordre qui n'est pas détecté rapidement et traité dans les plus brefs délais, peut s'aggraver rapidement et entraîner la rupture de l'ouvrage et l'inondation de la zone protégée.

Pour pallier cette insuffisance, un plan de gestion des ouvrages en période de crues a été mis en place (appelé PGOPC).

Quatre niveaux d'alerte, fonction du débit du Rhône à la station de Beaucaire / Tarascon, ont été définis :

- La pré-alerte,
- L'alerte 1,
- L'alerte 2,
- L'alerte 3,
- L'alerte 4.

Les débits correspondant à ces niveaux d'alerte peuvent être différents suivant les ouvrages. Ils tiennent compte de la localisation de l'ouvrage, du niveau de sûreté de l'ouvrage, du seuil de mise en eau...

Pour chaque niveau d'alerte, un plan d'actions correspondant aux risques encourus est défini. Les différents organismes intervenant dans ce plan sont :

- Le SYMADREM,
- Les communes,
- Les entreprises de travaux publics,
- Le service de prévision des crues,
- Les préfetures,
- L'État Major de zone.

Le poste de commandement de la surveillance des ouvrages (PCSO) est installé dans les locaux du SYMADREM.

Pour les deux premiers niveaux d'alerte (pré-alerte et alerte n°1), les digues du SYMADREM ne sont pas directement sollicitées par les eaux du Rhône, à l'exception de points particuliers. La surveillance des ouvrages est assurée par les gardes digues du SYMADREM.

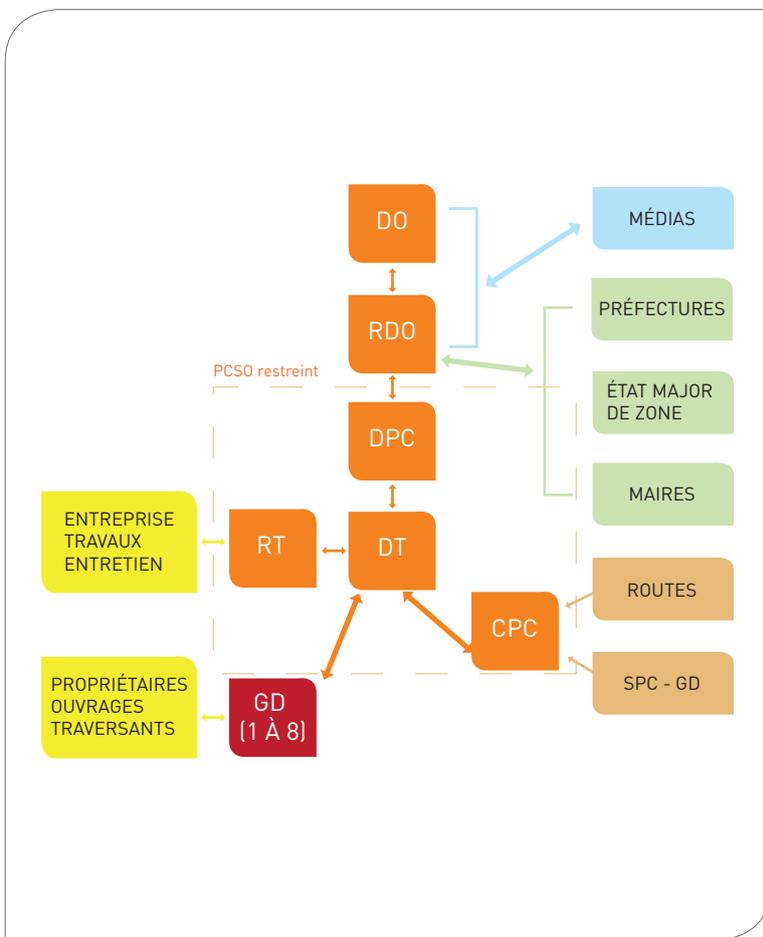
Les travaux de réparation des désordres (la plupart du temps des terriers de blaireaux) sont exécutés par les entreprises en charge des travaux d'entretien courant des ouvrages. C'est également durant ces phases que les vannes des ouvrages hydrauliques traversants sont fermées par leurs propriétaires et les barrières fermant l'accès aux digues : ouvertes.

Durant ces deux phases, le poste de commandement (PCSO) est restreint. Les différents acteurs sont :

- Le directeur des opérations (DO) du SYMADREM, qui est le président du SYMADREM ou son représentant (RDO), le vice-président délégué aux travaux. Il s'assure du bon déroulement des opérations, prend les décisions importantes et informe les médias.
- Le directeur du poste de commandement (DPC) qui est le directeur général du SYMADREM. Il supervise l'ensemble des opérations et déclenche les différents seuils d'alerte. Il est en lien direct avec le directeur des opérations, les maires, les préfetures et l'État major de Zone. Il peut également assister aux réunions de gestion de crise en préfecture.
- le directeur technique (DT) du SYMADREM, qui met en œuvre les actions correspondantes aux différents seuils d'alerte. Il informe également les communes, et coordonne les opérations.

- Le correspondant prévision des crues (CPC), qui suit l'évolution des crues et informe le DT et DPC.
- Les gardes digues (GD) qui se chargent de visiter les points fragiles, d'ouvrir l'ensemble des accès aux digues et demandent aux propriétaires des ouvrages hydrauliques traversants, la fermeture de leurs ouvrages.
- Le responsable travaux (RT) qui s'assure de la sécurisation des grands travaux en cours, de l'achèvement des travaux d'entretien courant (débroussaillage...) et du traitement éventuel des points fragiles par les entreprises.

Le tableau synoptique de l'organisation mise en place pour ces deux phases est :



Pré-alerte et alerte 1 : plan de gestion des ouvrages en périodes de crues

Pour les deux derniers niveaux d'alerte, les ouvrages du SYMADREM sont sollicités par les eaux du Rhône. La surveillance linéaire des ouvrages est mise en place. En état d'alerte 2, la surveillance est exécutée de jour. En état d'alerte 3, la surveillance est exécutée 24h sur 24.

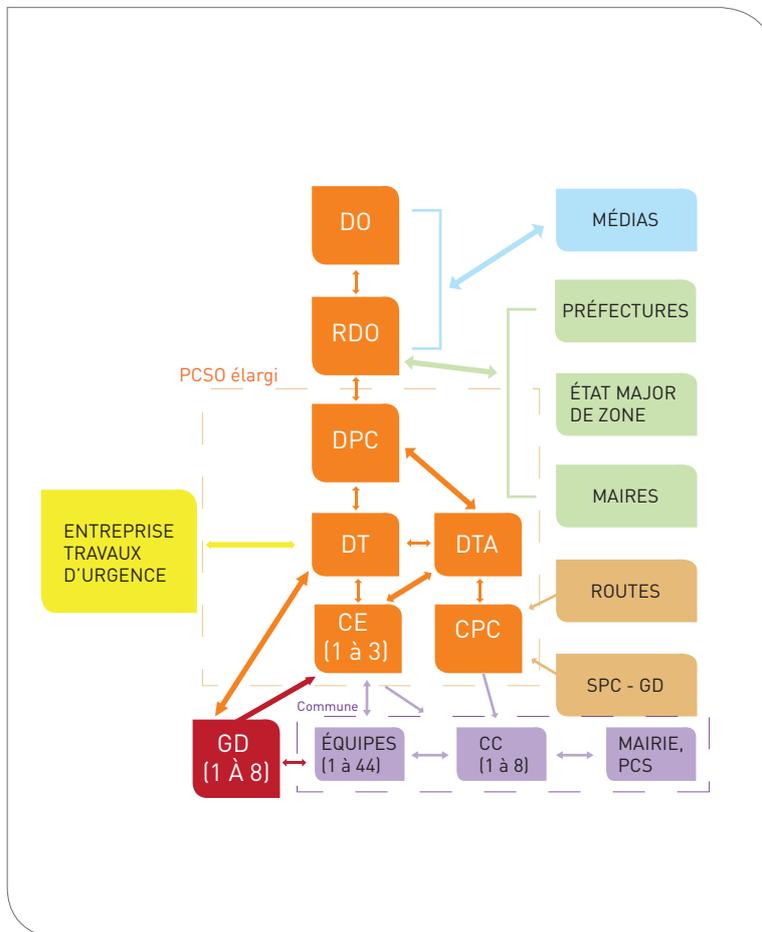
Le PCSO est élargi. Les acteurs complétant le dispositif sont :

- Le directeur technique adjoint (DTA) qui assure le relais du directeur technique. Il coordonne les opérations et supervise les correspondants équipes,
- Les correspondants équipes (CE) du SYMADREM qui assurent le lien entre les communes et le SYMADREM,

- Les 8 correspondants communaux (CC). Nommés par les maires, ils sont chargés de la constitution et de la gestion des équipes de surveillance (matériel, transport...),
- Les 44 équipes de surveillance linéaire constituées d'agents communaux ou de volontaires issus de réserves communales de sécurité civile. Ces équipes sont sous l'autorité hiérarchique du maire et passent sous l'autorité fonctionnelle du SYMADREM dès qu'elles sont sur les digues.

Le directeur technique, prend de son côté, la direction des interventions de terrain.

Le tableau synoptique de l'organisation mise en place pour ces deux phases est :



Alerte 2 et alerte 3 : plan de gestion des ouvrages en périodes de crues

Interventions d'urgence

Dès qu'un désordre est détecté par une équipe de surveillance, une évaluation de la gravité du désordre est faite par le garde digue du SYMADREM en relation avec le poste de commandement.

En cas de désordre grave, le directeur technique et l'entreprise titulaire du marché d'interventions d'urgence, se rendent sur les lieux du désordre et prescrivent, le cas échéant, l'exécution des travaux nécessaires. Des aires de stockage de matériaux (laitier, enrochements, limons) régulièrement implantées le long des digues, permettent un approvisionnement rapide des matériaux sur le lieu du désordre.

Les flux d'information sont réalisés par téléphone, doublés par des emails et des télécopies. Des fiches opérationnelles définissent les actions à réaliser et les actions réalisées (la traçabilité des procédures est conservée par l'établissement de mains courantes).

Le plan de gestion comporte également les dispositions suivantes :

- Interruption de la surveillance des ouvrages et des interventions en cas de mise en danger des agents et volontaires,
- L'information des communes, préfectures et État major de zone en cas de péril imminent et rupture d'ouvrage,
- Dispositions post-événement,
- Formation et exercices de simulation,
- Mise à disposition du matériel de surveillance (gilets de sauvetage, lampes),
- Mise en place d'un système de repères,
- Signalisation des accès aux digues

Les améliorations envisagées dans les prochaines années sont :

- Multiplication des aires de stockage des matériaux
- Aménagement d'accès supplémentaires
- Sécurisation des communications (système radio-numérique)
- Sécurisation des alimentations électriques
- Mise en place d'un système automatique d'appel téléphonique
- Géolocalisation des désordres
- Mise en place d'un dispositif d'auscultation continue thermométrie à base de fibre optique sur certaines digues.

14 FINANCEMENT DES OPÉRATIONS

→ 14.1. CLÉS DE FINANCEMENT

Le plan de financement des ouvrages réalisés sous maîtrise d'ouvrage du SYMADREM est, conformément à ces statuts, le suivant :

- État : 40 %
- Conseils Régionaux : 30 %
- Conseils Généraux : 25 %
- Communes : 5 %

Le financement des opérations par l'État et les Conseils Régionaux a été contractualisé dans le cadre du CPIER Plan Rhône 2007/2013.

Les opérations financées par le POP FEDER font l'objet du plan de financement suivant :

- FEDER : 50 %
- État : 30 % ou 20 %
- Autofinancement : 20 % ou 30 %

→ 14.2. MONTANT GLOBAL DU PROGRAMME DE SÉCURISATION

Les études d'avant-projet en cours de réalisation ou achevées permettent d'avoir une estimation plus précise du montant des travaux nécessaires à la sécurisation complète des digues du Grand Delta du Rhône.

Au 2 novembre 2010, le montant global du programme de sécurisation est estimé à 400 millions d'euros Hors Taxe. Ce montant ne comprend pas les opérations de ressuyage réalisées sous maîtrise d'ouvrage du :

- Syndicat Intercommunal d'Assainissement Agricole de la Région du Canal de la Navigation,
- Syndicat Mixte de la Camargue Gardoise,
- Parc Naturel Régional de Camargue.

On rappelle que le montant du schéma de gestion des inondations du Rhône aval, comprenant les ouvrages de protection et de ressuyage a été estimé en juillet 2006 à 311 millions d'euros Hors Taxe.

Le détail estimatif des opérations du programme figure page suivant.

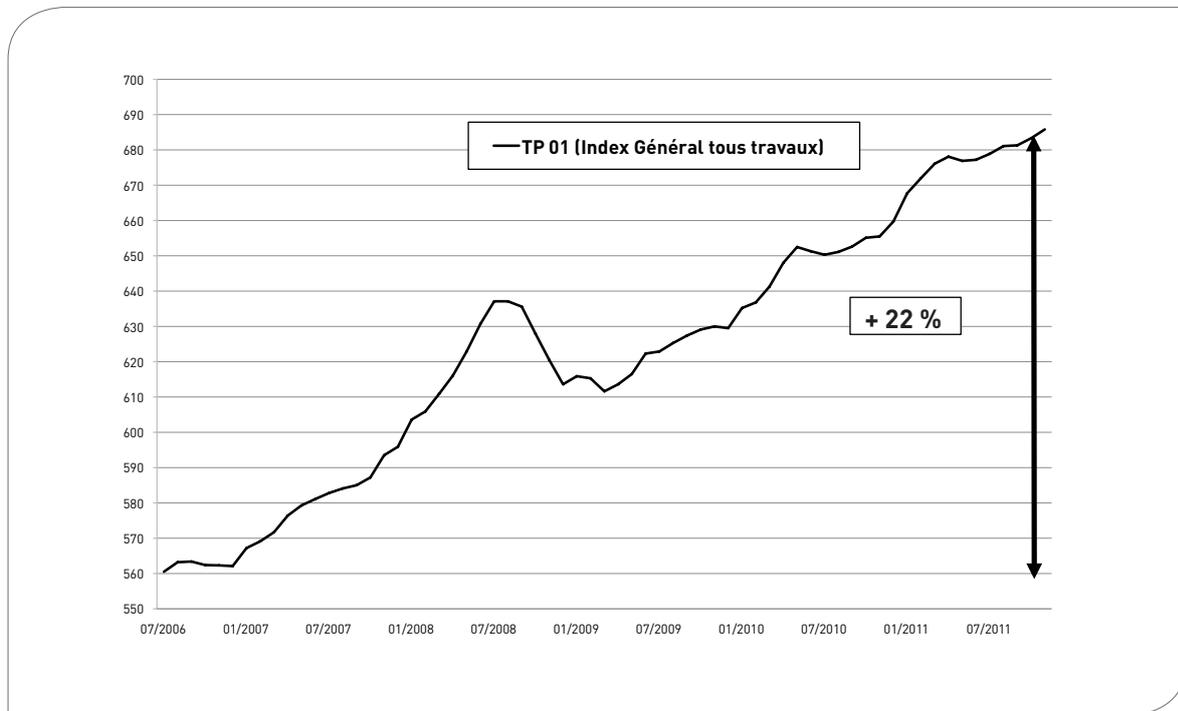
CODE PROG	LOCALISATION	LIBELLÉ DE L'OPÉRATION
TOPO	Delta	Levés topographiques des digues fluviales par technique laser aéroporté
BA0	Delta	Étude de calage précis entre Beaucaire et Arles
BA1	Rhône rive droite	Renforcement de la digue du Rhône rive droite entre Beaucaire et Fourques <ul style="list-style-type: none"> - Étude de diagnostic et d'avant-projet - Étude de vulnérabilité et de dommage et dossiers réglementaires - Travaux, y compris maîtrise d'œuvre, coordination sécurité et foncier
BA2	Rhône rive gauche	Création d'une digue à l'ouest de la voie ferrée entre Tarascon et Arles <ul style="list-style-type: none"> - AMO, Maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires et foncier - Travaux, y compris maîtrise d'œuvre et coordination sécurité
BA8	Rhône	Rehaussement des SIP de Beaucaire et Tarascon <ul style="list-style-type: none"> - AMO, MOE et Travaux, y compris maîtrise d'œuvre et coordination sécurité
BA4a+c	Rhône rive gauche	Création d'une digue au Nord d'Arles <ul style="list-style-type: none"> - Étude de diagnostic et d'avant-projet - dossiers réglementaires - Travaux digue + mesures compensatoires, y compris maîtrise d'œuvre, coordination sécurité et foncier - Travaux siphon de transfert sous le Vigueirat
BA4n	Rhône rive gauche	Gestion et ressuyage des eaux déversées entre Tarascon et Arles protection sud Tarascon, ressuyage Trébon, franchissement Vigueirat ressuyage des anciens marais d'Arles et Vallée des Baux protection de Fourchon <ul style="list-style-type: none"> - AMO et études hydrauliques, avant-projet et diagnostic - Travaux d'amélioration du ressuyage du Trébon - Travaux de sécurisation du franchissement du Vigueirat - Travaux d'amélioration du ressuyage vallée des Baux - Travaux digue en amont de Fourchon
BA6	Rhône rive droite	Confortement de la digue de Beaucaire <ul style="list-style-type: none"> - Travaux tranche 1 : digue de la Banquette - Travaux tranche 2 : digue de la Vierge et musoir
BA7	Rhône rive gauche	Confortement des quais de Tarascon et de la digue de la Montagnette <ul style="list-style-type: none"> - Étude de confortement et étude de dangers - Travaux, y compris maîtrise d'œuvre et coordination sécurité
GR1	Grand Rhône rives droite et gauche	Réparation des quais d'Arles <ul style="list-style-type: none"> - AMO et Maîtrise d'œuvre des tranches 1 à 4 - Travaux tranche 1 - Travaux tranche 2 - Travaux tranches 3 et 4 - Travaux tranches 5 et 6 + continuité de protection amont et aval quais + confortement digue des papeteries Étienne, y compris maîtrise d'œuvre et dossiers réglementaires
GR2-1	Grand Rhône rives droite et gauche	Renforcement des digues du Grand Rhône - 1^{ère} priorité - digue de Salin de-Giraud et Mise à la cote de la digue de Port-Saint-Louis-du-Rhône <ul style="list-style-type: none"> - Études et dossiers réglementaires - Étude complémentaire (esquiveau à palissade) - Travaux, y compris maîtrise d'œuvre, coordination sécurité et foncier
GR2-2	Grand Rhône rive gauche	Renforcement des digues du Grand Rhône - 1^{ère} priorité - digue de Prends-té-Garde à Grand Mollegès <ul style="list-style-type: none"> - Travaux, y compris maîtrise d'œuvre et coordination sécurité
GR2-3	Grand Rhône rive droite	Renforcement des digues du Grand Rhône - 2^{ème} priorité <ul style="list-style-type: none"> - Études et dossiers réglementaires - Travaux, y compris maîtrise d'œuvre et coordination sécurité
PR1-1	Petit Rhône rives droite et gauche	Renforcement des digues du Petit Rhône - 1^{ère} priorité <ul style="list-style-type: none"> - Études et dossiers réglementaires - Travaux, y compris maîtrise d'œuvre, coordination sécurité et foncier
PR1-2	Petit Rhône rives droite et gauche	Renforcement des digues du Petit Rhône - 2^{ème} priorité <ul style="list-style-type: none"> - Études et dossiers réglementaires - Travaux, y compris maîtrise d'œuvre, coordination sécurité et foncier
DELTA1	Petit Rhône et Grand Rhône	Sécurisation de la surveillance et des interventions en période de crue et suppression des ouvrages hydrauliques traversants hors service (carrossabilité) <ul style="list-style-type: none"> - Travaux, y compris maîtrise d'œuvre, coordination sécurité
PR4	Petit Rhône et Grand Rhône	Adaptation partielle du puits de la comtesse - ressuyage des terres inondées
PG0PC2	Delta	Sécurisation du PG0PC : 1^{ère} phase - signalisation des accès, bornage, zones de stockage, sécurisation des accès
PG0PC3	Delta	Sécurisation du PG0PC : 2^{ème} phase - système de communication radio-électrique
SIRS	Delta	Développement du SIRS 2^{ème} génération
MONTANT TOTAL (Euros HT)		

Montant total des opérations du programme de sécurisation

CPIER PLAN RHÔNE 2007/2013 DEMANDE DE FINANCEMENT AU 1/03/2012	CPIER PLAN RHÔNE 2007/2013 DEMANDE DE FINANCEMENT 2012	CPIER PLAN RHÔNE 2007/2013 DEMANDE DE FINANCEMENT 2013	TRAVAUX HORS CPIER PLAN RHÔNE 2007/2013
400 000,00			
180 000,00			
640 000,00			
260 000,00			
43 000 000,00			
2 000 000,00			
		58 000 000,00	
		7 000 000,00	
350 000,00			
5 419 400,00			
1 880 000,00			
400 000,00			
		2 200 000,00	
		11 000 000,00	
		6 000 000,00	
		3 000 000,00	
500 000,00			
290 000,00			
124 000,00			
10 930 000,00			
650 000,00			
3 000 000,00			
3 000 000,00			
6 700 000,00			
12 700 000,00			
370 000,00			
50 000,00			
27 280 000,00			
12 500 000,00			
			70 000 000,00
2 336 580,00			
	70 000 000,00		
			30 000 000,00
4 850 000,00			
88 000,00			
1 620 000,00			
1 700 000,00			
150 000,00			
143 367 980,00	70 000 000,00	87 200 000,00	100 000 000,00
			400 567 980,00

→ 14.3. CPIER PLAN RHÔNE 2007/2013

Le montant contractualisé dans le cadre du CPIER Plan Rhône 2007/2013 pour les ouvrages situés en aval de Beaucaire est de 182 millions d'euros HT. Ce montant correspond aux 2 premières tranches du schéma de gestion des inondations du Rhône aval, estimé à partir de ratios et suivant les conditions économiques de juillet 2006. L'évolution de l'index TP01 depuis juillet 2006 montre une évolution de + 22 % dans les prix, soit environ 40 millions d'euros HT.



Évolution de l'Index TP01 de juillet 2006 à novembre 2011

Par ailleurs, ces deux tranches ne comprenaient pas :

- Le confortement des digues de Beaucaire,
- Le confortement de la digue de la Montagnette et les quais de Tarascon,
- Le rehaussement des SIP de Beaucaire et Tarascon,
- Les mesures d'annulation et réduction d'impact identifiées dans le cadre des aménagements prévus entre Beaucaire et Arles, notamment :
 - Rehaussement du déversoir de Boulbon de 10,45 NGF à 10,85 NGF,
 - Rehaussement du déversoir de Comps de 14,1 NGF à 14,4 NGF,
 - Rehaussement de la digue d'Aramon de 14,4 NGF à 14,5 NGF,
 - Rehaussement de la digue des marguilliers de 13,0 NGF à 14,5 NGF avec un déversoir de sécurité à 14,0 NGF,
 - Élargissement du lit en aval du barrage de Vallabrègues de 450 000 m³,
 - Dragage dans le secteur de l'usine Tembec de 600 000 m³,
 - Création d'une lône en rive gauche entre le PK271 et PK274,5 (volume à extraire de 570 000 m³)

Le montant actualisé au 1^{er} mars 2012 des opérations réalisées sous maîtrise d'ouvrage du SYMADREM, pouvant être engagées avant mars 2013, est estimé à environ 260 millions d'euros Hors Taxe, ce qui nécessiterait une révision de la maquette financière du CPIER Plan Rhône 2007/2013.

Par ailleurs, il convient de souligner que les ouvrages de transparence du remblai ferroviaire, dont le montant est estimé à 70 millions d'euros Hors Taxe, est financé par RFF sur ses fonds propres, hors cadre CPIER Plan Rhône 2007/2013.

14.3.1. FINANCEMENT CNR

Le SYMADREM et la CNR ont signé le 17 février 2010 un accord cadre, qui prévoit que la CNR participera, sur des opérations liées à sa concession avec l'État à hauteur d'un taux variant de 40 à 80 % pour un montant plafonné de 5 millions d'euros HT.

Ce montant de 5 millions d'euros pourra venir en déduction des 287 millions d'euros.

14.3.2. AUTRES FINANCEMENTS

Certaines opérations du programme de sécurisation ne pourront être engagées qu'après 2013. Il s'agit notamment de :

- Renforcement des digues du Grand Rhône - 2^{ème} priorité,
- Renforcement des digues du Petit Rhône - 2^{ème} priorité.

Le financement de ces ouvrages devra être assuré soit dans nouveau Contrat de Projet Interrégional Plan Rhône, soit dans le cadre du Plan de Submersion Rapide (PSR).

15 JUSTIFICATION DU CALAGE DES OUVRAGES DE PROTECTION

Le présent chapitre a pour objet de justifier les calages retenus dans le présent programme de sécurisation.

La justification des mesures d'annulation et réduction de l'impact hydraulique figure dans le chapitre "impacts et mesures du programme".

Le calage des ouvrages de protection entre le barrage de Vallabrègues et la mer a été réalisé suivant les étapes suivantes :

- Calage des ouvrages entre Beaucaire et Arles et vérification des impacts en amont et en aval du tronçon Beaucaire/Arles,
- Constat d'impacts notables en amont de Beaucaire/Tarascon et détermination de mesures d'annulation et réduction d'impacts notables comprenant notamment le recalage des ouvrages de protection situés entre le barrage de Vallabrègues et Arles,
- Constat de l'absence d'impact négatif en aval du tronçon Beaucaire/Arles
- Calage des ouvrages du Grand Rhône entre Arles et la mer et vérification de l'absence d'impact en amont de la traversée d'Arles,
- Calage des ouvrages sur le Petit Rhône entre Arles/Fourques et la mer et vérification de l'absence d'impact en amont de la traversée de Fourques,
- Vérification de l'impact global du programme et du calage de l'ensemble des ouvrages.

→ 15.1. JUSTIFICATION DU CALAGE DES OUVRAGES ENTRE BEUCAIRE ET ARLES : EXAMEN DES DIFFÉRENTES SOLUTIONS

15.1.1. PRINCIPES ET OBJECTIFS DE CALAGE

Les objectifs de l'étude de calage précis entre Beaucaire et Arles ont été :

- Le maintien à la cote identique des quais en traversée d'Arles, de la digue de la Banquette et digue de la Vierge à Beaucaire, des quais et digue de la Montagnette à Tarascon (moyennant traitement localisé de points bas),
- Éviter tout débordement entre Beaucaire et Arles pour une crue type décembre 2003 sans brèche,

- Au-delà d'une crue type décembre 2003 sans brèche, organiser des déversements sans rupture par l'aménagement de tronçons de digue résistants à la surverse de façon à :
 - Limiter le niveau en traversée d'Arles pour une crue exceptionnelle au niveau maximum acceptable,
 - Assurer une répartition égale des débits déversés en rives gauche et droite du Rhône,
 - Garantir l'absence d'incidences dans la traversée de Beaucaire/Tarascon.

Ces objectifs ont impliqué de :

- Mettre les ouvrages non renforcés au déversement situés en amont et en aval de ces tronçons résistants à la surverse à une cote dite millénaire pour éviter tout risque de contournement,
- De vérifier que la revanche au droit des ouvrages maçonnés dont la cote ne pouvait être modifiée était admissible (quais d'Arles, digue de la Banquette et digue de la Vierge à Beaucaire, quais de Tarascon, digue de la Montagnette).

15.1.2. MÉTHODOLOGIE DE CALAGE

Le calage des digues résistantes à la surverse a porté sur trois paramètres :

- L'implantation,
- La longueur de déversement,
- La cote de protection (calage altimétrique des digues résistantes à la surverse).

La méthodologie utilisée pour le calage des ouvrages a suivi le cheminement suivant :

- Identification des points bas sur les ouvrages en "dur" dans les traversées d'Arles, Tarascon et Beaucaire,
- Détermination du niveau maximum acceptable en traversée d'Arles,
- Détermination provisoire des longueurs, cote et implantation des sections déversantes,
- Test de sensibilité du calage des ouvrages déversants au regard des paramètres suivant : coefficient de débit, influence du niveau marin, gradient de crue
- Vérification des revanches sur les ouvrages maçonnés en traversée de Beaucaire/Tarascon,
- Modélisation des différentes hypothèses d'aménagement en termes d'implantation,
- Calage définitif des ouvrages.

Le détail de ces différentes étapes figure dans rapport final de l'étude de calage [R16].

15.1.3. IDENTIFICATION DES POINTS BAS ET DÉTERMINATION DE LA REVANCHE

Préalablement au calage des ouvrages, l'ensemble des points bas en traversée d'Arles a été identifié par la CNR dans le cadre de l'étude de calage. Cette analyse a été complétée par le SYMADREM pour les ouvrages en maçonnerie de Beaucaire et Tarascon.

L'identification de ces points bas figure dans le chapitre relatif à la description des opérations du programme de sécurisation.

15.1.4. CALAGE PROVISOIRE DES OUVRAGES

Une première phase de calage provisoire des ouvrages a été opérée. Elle a porté essentiellement sur la détermination de la longueur à renforcer au déversement et au calage de la cote de protection.

Dans cette phase de calage provisoire, il n'a pas été tenu compte de l'empiètement des ouvrages à l'ouest du remblai RFF.

15.1.4.1. HYPOTHÈSES RETENUES

Les tronçons de digue en amont et en aval des sections résistantes à la surverse ont été calés au-dessus de la crue exceptionnelle pour éviter tout biais dans les calculs.

Le calage des digues résistantes à la surverse à Z = décembre 2003 sans brèche a été testé.

15.1.4.2. DÉTERMINATION DES LONGUEURS DE DÉVERSEMENT

Trois scénarios ont été étudiés :

- Longueur déversante de 3000 m,
- Longueur déversante de 4000 m,
- Longueur déversante de 5000 m.

Les résultats de ces modélisations figurent ci-dessous :

Impact de l'état projet (en cm) Calage sur la ligne d'eau 2003 sans brèche			Crue de référence = 12 500 m ³ /s			Crue exceptionnelle = 14 160 m ³ /s		
			Longueur déversante =			Longueur déversante =		
			3 000 m	4 000 m	5 000 m	3 000 m	4 000 m	5 000 m
Secteurs en amont des tronçons déversants	Rhône dérivé	Tarascon	+3	+1	0	+15	+11	+10
		Boulbon	+2	0	0	+14	+10	+10
		Canal de fuite	+2	0	0	+13	+10	+9
	Vieux Rhône	Aramon	+1	0	0	+3	+3	+2
		Coms	+1	0	0	+4	+2	+2
		Beaucaire	+2	0	0	+14	+10	+10
		Aval barrage	0	0	0	+4	+3	+3
Secteurs des tronçons déversants	Rhône	Aval SIP	-5	-9	-10	+3	-6	-7
	Rhône	Beaucaire						
Secteurs en aval des tronçons déversants	Grand Rhône	BRL	-9	-12	-14	-6	-12	-16
		Port d'Arles	-8	-12	-13	-4	-10	-13
	Petit Rhône	IRPA	-5	-8	-9	-3	-7	-10
		Fourques	-8	-11	-12	-6	-12	-15

Synthèse des impacts du projet selon la longueur des tronçons résistants à la surverse (calage sur la ligne d'eau 2003 sans brèche) (source CNR [16])

Il en ressort que :

- Compte tenu de ce que le débit en aval des tronçons renforcés est "contrôlé" par le goulet d'étranglement constitué par la traversée d'Arles et calibre de ce fait le débit en traversée d'Arles, la réduction du linéaire de déversement a pour conséquence de rehausser la ligne d'eau en amont des sections renforcées (à débit de déversement constant, la diminution de la longueur de déversement implique l'augmentation de la lame d'eau déversante),

- L'augmentation des longueurs déversantes de 3000 à 5000 mètres a pour conséquences de d'augmenter de 10% le débit de déversement,
- Pour la crue de référence, avec un linéaire déversant de 5000 m, on n'observe aucun exhaussement de la ligne d'eau en amont et des abaissements de ligne d'eau en aval de Beaucaire,
- Pour la crue exceptionnelle, on observe un exhaussement de la ligne d'eau de + 15 cm et + 10 cm pour des longueurs déversantes respectivement de 3 km et 5 km.

Dans un 2^{ème} temps, la cote des digues résistantes à la surverse a été calée à **Z = décembre 2003 sans brèche + 10 cm**.

Des analyses, il en ressort que :

- Les volumes déversés pour une crue type 1856 sont réduits par rive de 30 Mm³ à 20 Mm³ et pour une Q₁₀₀₀ de 110 Mm³ à 90 Mm³,
- L'impact en amont par rapport au calage précédent est aggravé de +1 à +3 cm,
- L'impact en aval est de + 6 à + 9 cm.

Impact de l'état projet (en cm) Calage sur la ligne d'eau 2003 sans brèche+ 10 cm			Crue de référence = 12 500 m ³ /s			Crue exceptionnelle = 14 160 m ³ /s		
			Longueur déversante =			Longueur déversante =		
			3 000 m	4 000 m	5 000 m	3 000 m	4 000 m	5 000 m
Secteurs en amont des tronçons déversants	Rhône dérivé	Tarascon	+5	+4	+3	+18	+14	+14
		Boulbon	+4	+3	+3	+17	+13	+13
		Canal de fuite	+5	+3	+3	+16	+13	+12
	Vieux Rhône	Aramon	+2	+1	+1	+4	+3	+3
		Comps	+2	+1	+1	+4	+3	+3
		Beaucaire	+4	+3	+3	+16	+13	+13
		Aval barrage	+1	+1	+1	+5	+4	+4
Secteurs des tronçons déversants	Rhône	Aval SIP	0	-3	-4	+9	+1	0
	Rhône	BRL	-2	-5	-6	+1	-4	-7
Secteurs en aval des tronçons déversants	Grand Rhône	Port d'Arles	-2	-4	-5	+3	-2	-5
		IRPA	-1	-2	-3	+2	-1	-3
	Petit Rhône	Fourques	-2	-4	-5	+1	-3	-6

Synthèse des impacts du projet selon la longueur des tronçons résistants à la surverse (calage sur la ligne d'eau 2003 sans brèche + 10 cm) (source CNR [R 16])

Lors du comité de pilotage de l'étude de calage en date du 4 novembre 2008, il a été demandé qu'une analyse multicritères soit réalisée par le SYMADREM pour arrêter le choix entre l'aménagement de linéaires de renforcement "court" ou "long".

Le 13 novembre 2008, lors d'une réunion de coordination entre le SYMADREM et RFF, il a été acté que :

- La solution "déversoirs longs" qui accroît le débit de déversement pour la crue exceptionnelle de 10 % par rapport à la solution "déversoir court", ne modifiait par la faisabilité technique du projet étudié par RFF ; cette marge de 10% se situant dans les fourchettes de précisions des calculs de dimensionnement.
- Conjointement avec RFF et les bureaux d'études que l'implantation de l'ouvrage de protection à l'ouest du remblai RFF consisterait en :
 - Un tronçon de digue résistant à la surverse (emprise estimée à 35 mètres) éloigné de 15 mètres du pied du remblai RFF, empiétant ainsi de 50 mètres dans le ségonnal,
 - Un tronçon de digue non renforcé à la surverse implanté de pied à pied et de fait séparé du remblai, avec une emprise au sol de 40 mètres environ.

Cette implantation montre que les déversoirs “courts” ne réduisent l’empiètement des ouvrages dans le ségonnal que 10 mètres.

L’empiètement de cet ouvrage a été modélisé par la CNR en phase 4 de l’étude de calage. L’impact est de + 5 cm en aval du barrage de Vallabrègues pour la crue exceptionnelle et de + 14 cm dans la plaine de Vallabrègues/Boulbon) ; ce qui nous permet de conclure que : **L’empiètement de la digue à créer à l’ouest de la voie ferrée Tarascon/Arles a pour conséquence d’augmenter les niveaux pour une crue exceptionnelle de + 4 cm dans la plaine de Vallabrègues et de + 2 cm en aval du barrage.**

Ces modélisations ont permis de conclure que l’impact lié à l’empiètement de la digue à créer à l’ouest de la voie ferrée Tarascon/Arles était quasiment-identique pour les solutions “déversoir court” ou “déversoir long”.

Ces résultats ont confirmé de façon qualitative que c’est bien la solution “déversoir long” qui présentait le minimum d’impact dans le lit endigué.

À la demande du comité de pilotage de l’étude, une analyse multicritères a été menée. Les contraintes ont été évaluées suivant le code suivant :

Contrainte faible
Contrainte moyenne
Contrainte forte

L’analyse multicritères est résumée ci-dessous :

CRITÈRES	LIGNÉAIRE À RENFORCER AU DÉVERSEMENT	
	COURT (3 KM)	LONG (5 KM)
Empiètement ségonnal	31 hectares	33 hectares
Impact lit endigué en amont de Beaucaire/Tarascon	Exhaussement supplémentaire (+ 5 cm) plaine de Boulbon (+ 4 cm en traversée de Beaucaire/Tarascon)	Limite au maximum l’exhaussement de la ligne d’eau en amont
Volumes déversés pour Q1000 p.m. État initial : entre 500 et 2500 Mm ³	Environ 100 Mm ³	Environ 110 Mm ³
Faisabilité technique des ouvrages de gestion et ressuyage des volumes déversés	équivalente	équivalente
Débit déversé pour Q1000 p.m. État initial : entre 2700 et 6000 m ³ /s	Environ 900 m ³ /s	Environ 1000 m ³ /s
Faisabilité technique des ouvrages de transparence en rive gauche	équivalente	équivalente
Coût de l’opération	Accroissement du coût des mesures d’annulation et réduction d’impact en amont	coût du renforcement au déversement et ouvrages de transparence (+10 %)
Impact aménagement du territoire Acceptabilité sociale	Perception de concentration des écoulements	“Petite lame d’eau déversante pour tout le monde”

Analyse multicritères sur le choix des longueurs de déversement

La solution du linéaire de déversement de 5 km a été validée par le comité de pilotage de l’étude de calage en date du 28 mai 2009.

15.1.5. CALAGE DÉFINITIF DES OUVRAGES

La phase de calage définitif des ouvrages a permis de caler la cote de protection et d'implanter les tronçons de digue résistants à la surverse.

15.1.5.1. COTE DE PROTECTION

Les tronçons de digue résistants à la surverse ont été calés de manière à éviter tout débordement jusqu'à la crue de décembre 2003 sans brèche augmenté de 5 à 10 cm et garantir une répartition 50/50% des débits et volumes déversés en rive gauche et rive droite pour la crue de 1856 et la crue exceptionnelle.

15.1.5.2. IMPLANTATION DES DIGUES RÉSISTANTES À LA SURVERSE

L'implantation des tronçons de digue résistant à la surverse a été conduite en considérant que ces tronçons :

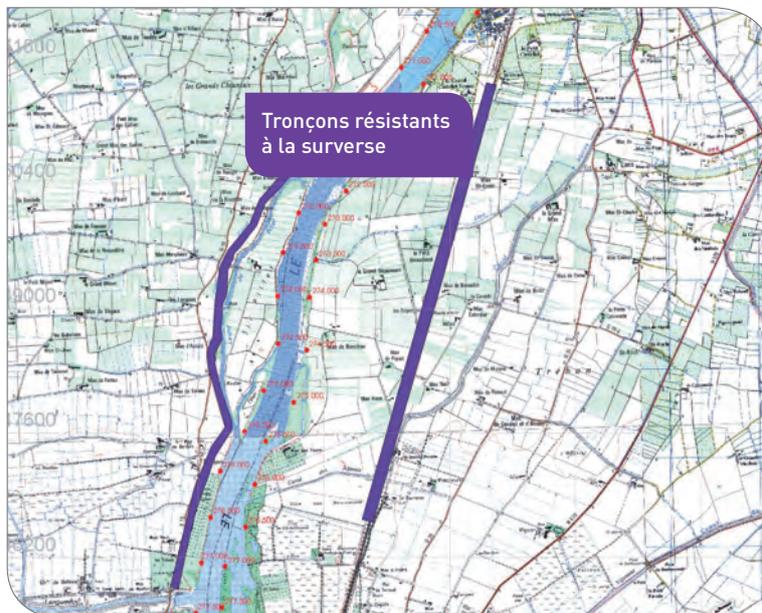
- Correspondaient aux points bas actuels du système de protection et étaient par conséquent les plus exposés dans l'état actuel au risque de rupture par surverse,
- Étaient situés en termes de sécurité au droit des secteurs les moins urbanisés.

Par ailleurs, la présence de points "durs" comme la station BRL en rive droite permettant de raccorder les tronçons de digue résistants à la surverse avec les tronçons non déversants a également été un facteur de choix.

En rive gauche l'implantation a été définie en fonction des enjeux en aval et de l'implantation de la digue nord.

L'implantation des tronçons résistants à la surverse s'étend :

- En rive droite : du PK 272.500 (aval SIP de Beaucaire) jusqu'au PK 277.300 (station BRL)
- En rive gauche : du PK 270.750 jusqu'au PK 275.800



Localisation des tronçons résistants à la surverse (source CNR[R 16])

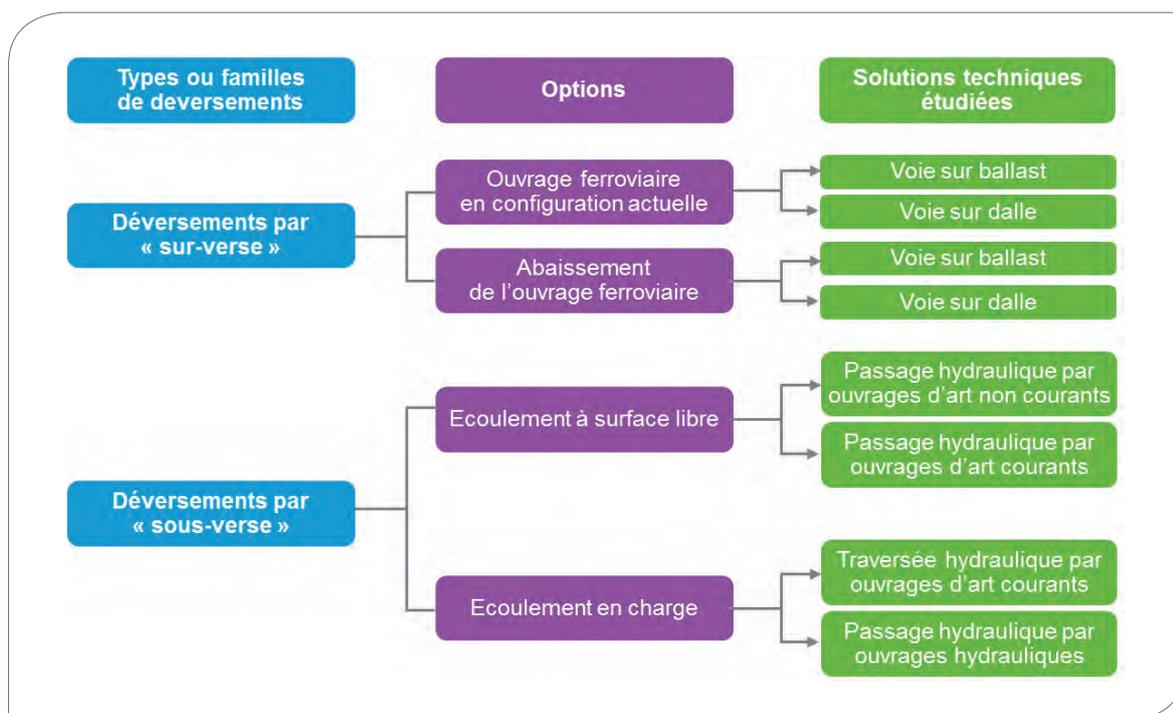
15.1.5.3. IMPLANTATION DE LA PROTECTION EN RIVE GAUCHE AU DROIT DU REMBLAI FERROVIAIRE

4 types d'ouvrages ont été envisagés dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval pour la sécurisation du remblai RFF, qui concerne un linéaire à aménager de 7 km :

1. Transparence du remblai ferroviaire et réalisation d'une digue séparée à l'ouest du remblai (en amont),
2. Transparence du remblai ferroviaire et réalisation d'une digue séparée à l'est du remblai (en aval),
3. Réalisation d'une digue accolée au remblai ferroviaire et passage en surverse des eaux de déversement,
4. Réalisation d'une digue accolée au remblai ferroviaire et passage en sous-verse des eaux de déversement.

Par lettre en date du 7 novembre 2006, le ministère des transports a demandé à RFF d'engager les études préliminaires et d'avant-projet de la solution digue accolée au remblai ferroviaire.

Plusieurs familles de solutions techniques ont été étudiées par RFF. Elles sont résumées ci-dessous :



Famille de solutions étudiées par RFF (source INEXIA/Coyne et Bellier [R 64])

Les conclusions des études préliminaires menées par RFF [R 64] ont conclu de la manière suivante :

“Les solutions étudiées de la famille de “déversement par surverse” ne permettent pas de répondre à l’ensemble des objectifs et principes retenus dans le pré-schéma Sud et validé par le COPIL du Plan Rhône en juillet 2006. Elles ne peuvent donc pas être retenues comme des solutions favorables à la poursuite des études d’avant-projet.

Concernant les solutions étudiées de la famille “déversement par sous-verse”, celles-ci permettent toutes de répondre aux objectifs fixés. Toutefois :

La solution “écoulement à surface libre — grands ouvrages de traversée” ne permet pas de garantir le fonctionnement hydraulique attendu. De plus, si ce transit des eaux au travers du remblai ferroviaire ne s’effectue pas correctement, il y a risque de montée des eaux dans l’interface Digue / Remblai ce qui peut avoir des conséquences négatives sur les circulations ferroviaires.

La solution “écoulement en charge — traversée par ouvrages hydrauliques forcés” comporte de nombreux risques : pendant la réalisation des travaux sur l’ouvrage ferroviaire et sur le maintien des circulations, mais aussi ultérieurement sur l’entretien et la maintenance du remblai ferroviaire.

Il reste donc les deux solutions de la variante “déversement par sous-verse” avec traversée de l’ouvrage ferroviaire par ouvrages d’art courants soit en écoulement à surface libre soit en écoulement en charge :

“Écoulement en charge — OA courants” : en termes de risques et donc d’incidences éventuelles futures, cette est plus contraignante du fait de la mise en œuvre d’une imperméabilisation sur le remblai ferroviaire. Tout défaut de mise en œuvre ou d’entretien sur ce dispositif peut avoir des conséquences, en cas de crue, sur la tenue du remblai ferroviaire et plus particulièrement sur les supports caténaux et l’alimentation électrique de la ligne existante. Enfin, l’entretien et la maintenance sont plus délicats et plus complexes du fait du positionnement des ouvrages sous nappe, de la rétention d’eau au droit des traversées et des fines et autres matériaux qui pourront s’y être déposés.

Par contre, dans cette solution, les écoulements ne sont pas chenalisés. L’évacuation du débit de projet au travers du remblai ferroviaire a lieu de manière “passive”, en fonction de la seule différence de cote entre l’amont et l’aval. Le fonctionnement hydraulique de cette solution est plus simple et donc plus favorable au respect de l’objectif avec une meilleure aptitude à s’adapter à une crue plus importante que la crue de dimensionnement.

Enfin, le coût de réalisation de cette solution est moins onéreux de l’ordre de -30%.

“Écoulement à surface libre — OA courants” : Cette solution ne nécessite pas d’impermeabilisation de l’ouvrage ferroviaire ce qui limite le risque de dégradation éventuelles sur ce remblai en cas de crue et de défaut d’impermeabilisation. L’écoulement à surface libre a donc moins d’incidence sur l’ouvrage ferroviaire.

Par ailleurs, les ouvrages d’art de traversée sont calés plus haut et par la mise en vitesse des eaux peu de dépôt sont à attendre dans ces ouvrages. Ceux-ci pourront donc être visités et entretenus de façon plus aisée.

Les études préliminaires réalisées par RFF ont montré que la solution “surverse” était techniquement très complexe à réaliser et de ce fait très coûteuse. Cette solution a été écartée.

Le linéaire de déversement ayant été fixé à 5 km, la digue résistante à la surverse était de fait séparée du remblai ferroviaire pour l’organisation des débordements en sous-verse au droit du remblai RFF. La seule différence entre les solutions 1 et 4 portait uniquement sur un linéaire de 2 km avec une digue accolée dans l’option 4 et une digue légèrement séparée dans l’option 1.

La mission d’expertise du schéma d’aménagement entre Tarascon et Arles [R 34] a recommandé que le SYMADREM assure la gestion de l’ouvrage de protection et RFF la gestion de l’ouvrage de transparence. Afin de réduire les

contraintes liées à la superposition de gestion qu'aurait occasionnée la réalisation d'un ouvrage accolé. **Elle a recommandée la réalisation d'un ouvrage de protection séparé sur l'ensemble du linéaire du remblai ferroviaire.**

Par courrier du 13 février 2009, le MEEDDM a retenu les recommandations de la mission d'expertise. Ces conclusions ont été présentées au comité de suivi technique du Plan Rhône en date du 1^{er} avril 2009, qui les a également retenues.

En définitif, c'est donc la solution d'aménagement n°1 qui a été retenue avec deux possibilités pour la transparence hydraulique :

- Écoulement en charge,
- Écoulement à surface libre chenalisé.

RFF a réalisé des études complémentaires pour préciser le mode de transparence hydraulique. Les conclusions de ces études [R 65] figurent ci-dessous.

La prise en compte des nouvelles conditions d'alimentation a une incidence sur le dimensionnement des ouvrages de transparence,

La solution "écoulement à surface libre" ne se révèle pas adaptée à la prise en compte de ces nouvelles conditions d'alimentation, ce qui nécessiterait de doubler le nombre des OA et aurait des impacts considérables en termes de coûts et de délais,

La solution "écoulement en charge" apparaît plus adaptée que la solution "écoulement à surface libre" à la prise en compte de ces nouvelles conditions d'alimentation, moyennant l'augmentation des ouvertures des OA de 40 à 50%.

Le dimensionnement de la solution "écoulement en charge" est fortement dépendant des conditions hydrauliques aval. Le redimensionnement avec les nouvelles hypothèses d'alimentation a été fait à conditions hydrauliques aval inchangées. La prise en compte de conditions aval différentes aboutirait à un dimensionnement différent. Pour cette solution "écoulement en charge", la faisabilité de la configuration sans diguettes est vérifiée.

Le schéma de principe au droit des digues résistantes à la surverse défini par RFF figure ci-dessous :

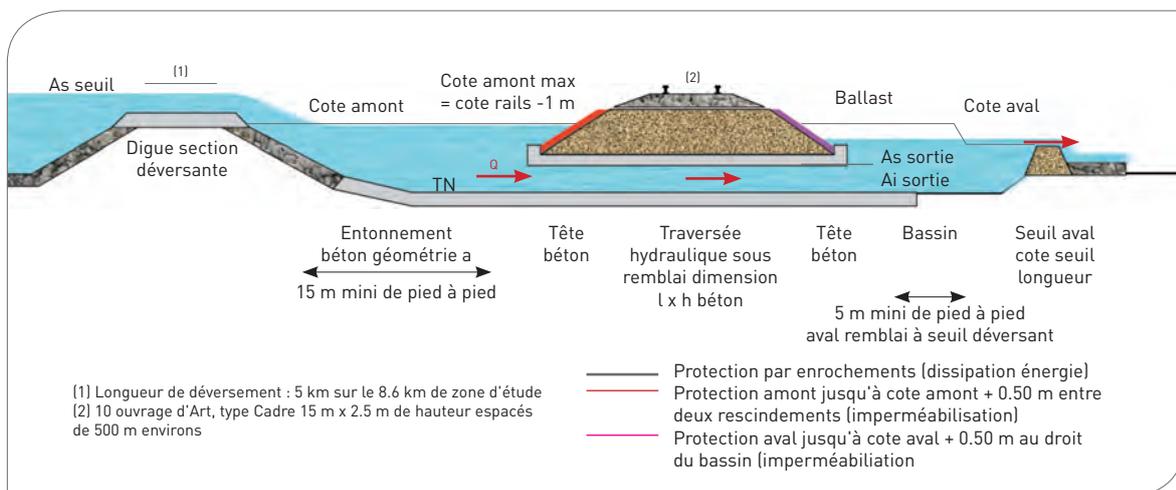


Schéma de principe de la digue à créer à l'ouest du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles (source INEXIA/Coyne et Bellier [R 65])

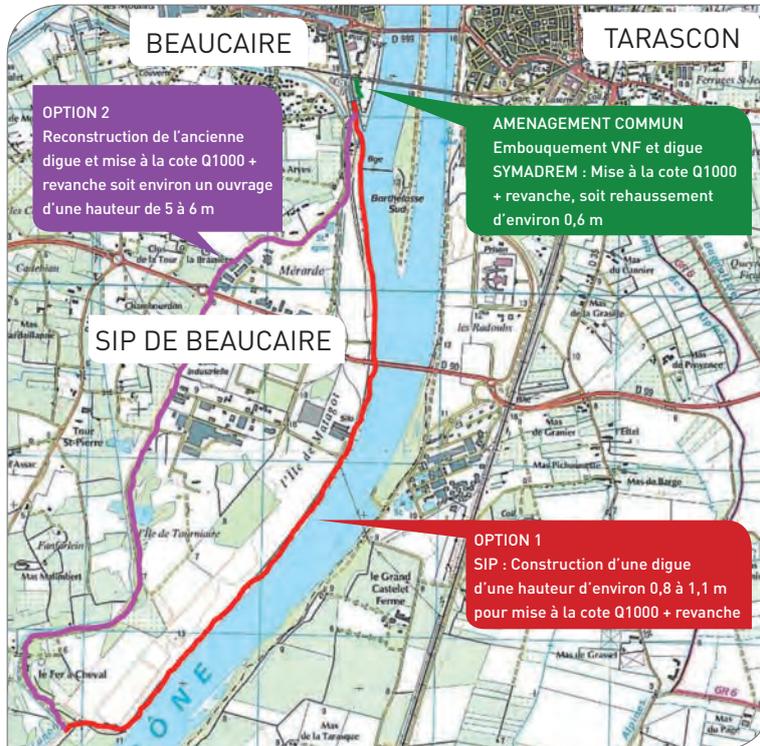
Cette digue se prolonge en aval jusqu'au PK279 parallèlement au remblai RFF par une partie non renforcée au déversement implantée de pied à pied.

15.1.5.4. IMPLANTATION DE LA PROTECTION EN RIVE DROITE

Les différentes possibilités d'implantation identifiées sont les suivantes.

Au nord du tronçon de digue résistant à la surverse, deux possibilités de tracés ont été identifiées :

- Option 1 : rehausse du SIP de Beaucaire, de la digue du canal des Italiens, de l'embouquement VNF de l'écluse de Beaucaire,
- Option 2 : maintien des ouvrages précités à leur cote et reconstruction de l'ancienne digue de Beaucaire située à l'ouest du SIP de Beaucaire.

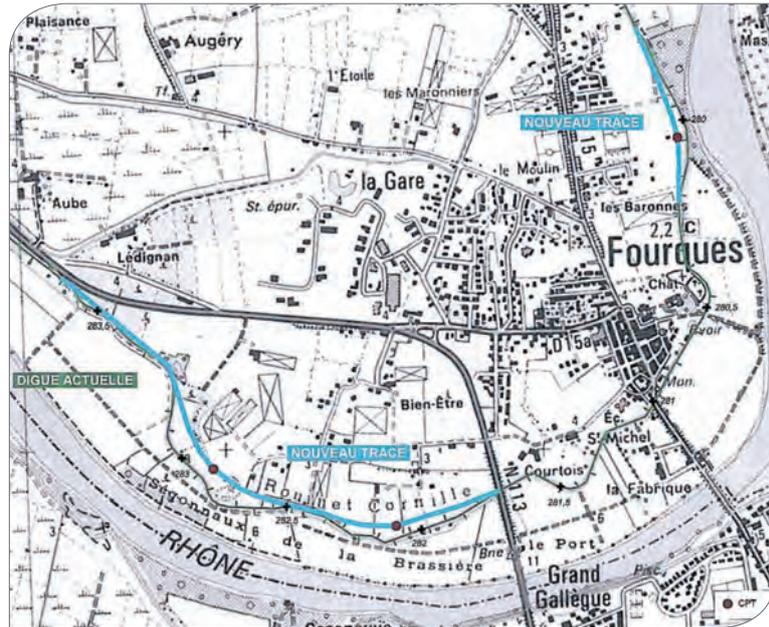


Options d'aménagement entre l'écluse de Beaucaire et le fer à Cheval

Au droit de la digue résistante à la surverse

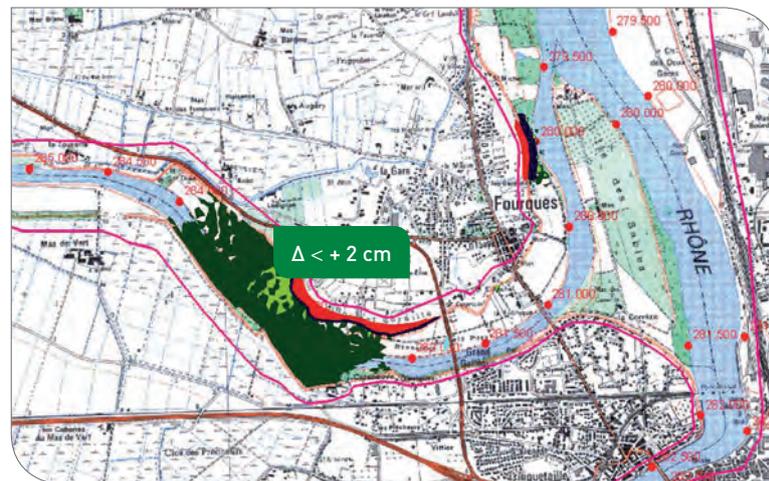
Sur ce tronçon, un canal d'irrigation longe la digue. Il est prévu de le décaler d'une distance de 10 à 20 m vers l'ouest de façon à accroître d'une part la stabilité de la digue et permettre un engraissement de la digue côté plaine de façon à éviter les enjeux environnementaux situés côté ségonnal, d'autre part à diminuer la vulnérabilité du canal en cas de déversement sur la digue. En conséquence, il n'apparaît pas possible de reculer davantage l'ouvrage à l'exception d'un tronçon de digue situé en aval de la lône du Pillet.

En aval de la station BRL, sur le tronçon de digue non renforcé au déversement, les possibilités de recul figurent ci-dessous. Elles sont les suivantes :



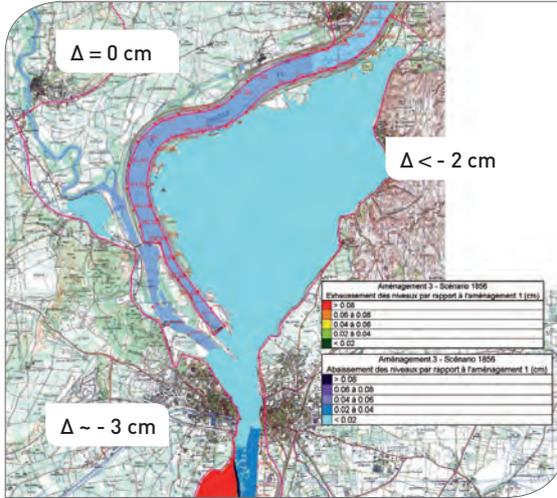
Recul envisagé en traversée de Fourques

Plusieurs scénarios d'aménagement ont été modélisés par la CNR. Le recul sur la commune de Fourques a un impact quasiment nul. Localement le recul a pour effet de ralentir les vitesses, la charge étant constante, la ligne d'eau est légèrement exhaussée.

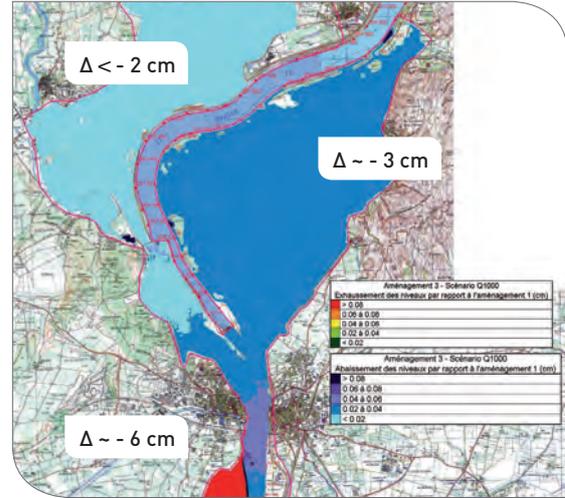


Impact pour la crue de référence ou exceptionnelle du recul localisé sur Fourques (source CNR [R 16])

L'impact hydraulique des deux aménagements envisageables au droit du SIP de Beaucaire a été calculé pour la crue de référence et la crue exceptionnelle. L'aménagement n°1 ou 2 concernait le tracé le long du SIP de Beaucaire (option 1). L'aménagement 3 concernait le tracé de l'ancienne digue de Beaucaire (option 2). Les résultats sont présentés ci-après :



Impact de l'aménagement 3 par rapport à l'aménagement 1 (crue de référence) (source CNR [R] 16)



Impact de l'aménagement 3 par rapport à l'aménagement 1 (crue exceptionnelle) (source CNR [R] 16)

L'analyse multicritères a été la suivante avec des contraintes de réalisation codifiées de la manière suivante:



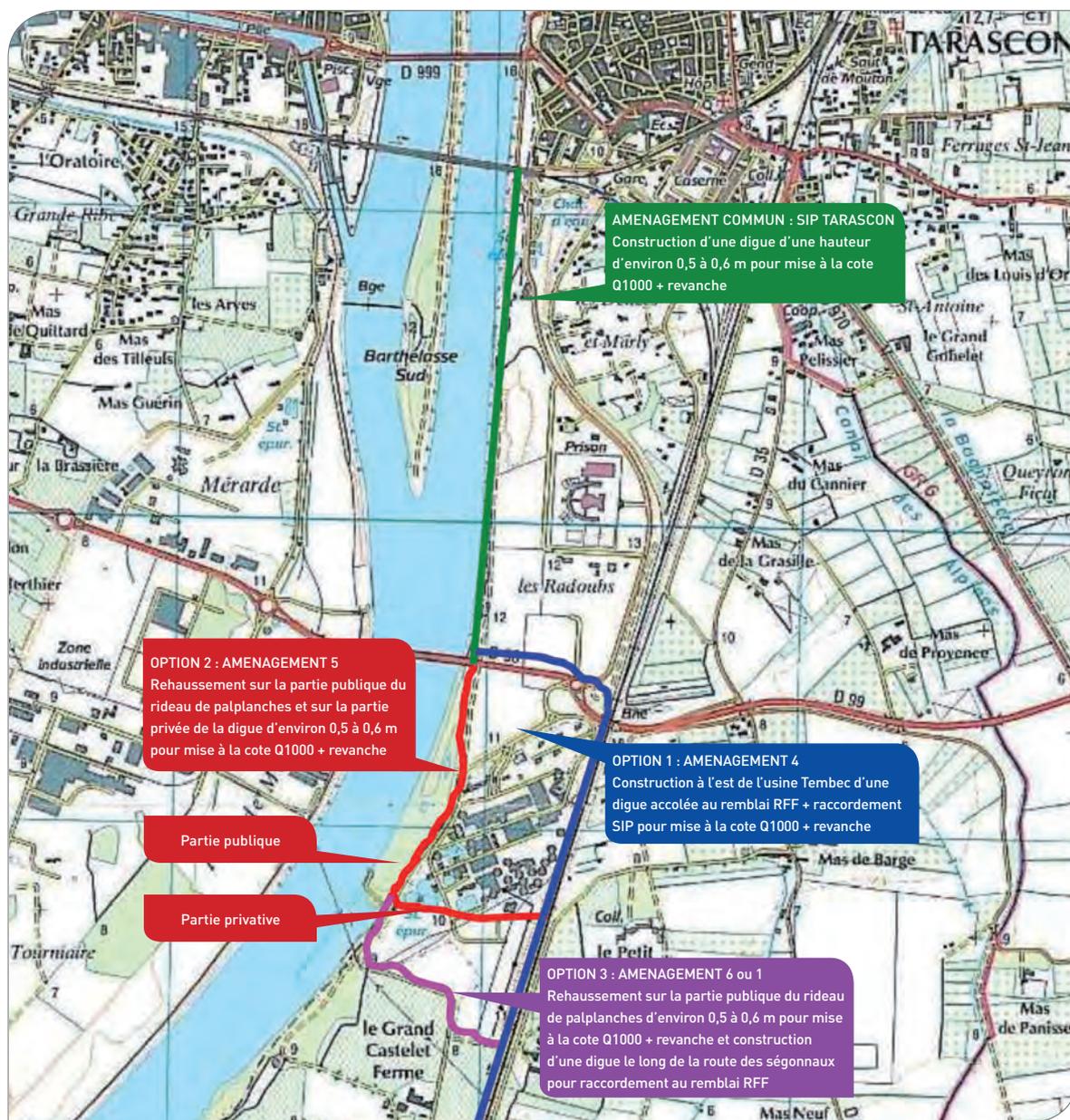
CRITÈRES	CONTINUITÉ DE LA PROTECTION DU PONT FERROVIAIRE DE BEUCAIRE/TARASCON AU FER À CHEVAL	
	LONG DU SIP DE BEUCAIRE AMÉNAGEMENT 1 ET 2	RECONSTRUCTION ANCIENNE DIGUE DE BEUCAIRE AMÉNAGEMENT 3
Impact lit endigué crue déc. 2003 - T ≈ 100 ans Aval barrage Plaine de Boulbon Traversée Beaucaire/Tarascon		Identique à AMGT 1 et 2
Impact lit endigué crue référence - T ≈ 250 ans Aval barrage Plaine de Boulbon Traversée Beaucaire/Tarascon		- Identique à AMGT 1 et 2 - Δ < - 2 cm par rapport à AMGT 1 - Δ = - 3 cm par rapport à AMGT 1
Impact lit endigué crue except. - T ≈ 1000 ans Aval barrage Plaine de Boulbon Traversée Beaucaire/Tarascon		- Δ < - 2 cm par rapport à AMGT 1 - Δ = - 3 cm par rapport à AMGT 1 - Δ = - 5 cm par rapport à AMGT 1
Faisabilité technique	Voie ferrée en amont Contrainte faible en aval Foncier : propriété CNR	Proximité des industries Interaction voirie/réseaux Acquisition foncière à prévoir
Coût de l'opération	≈ 2 Millions € HT	≈ 6 M€ HT
Impact économique	SIP de Beaucaire et Zone industrielle protégés pour l'aléa de référence	SIP de Beaucaire et Zone industrielle non protégé pour l'aléa de référence (Aléa fort)
Gestion de l'ouvrage	Identique	Identique
Insubmersibilité du SIP de Beaucaire		Problème juridique

Analyse multicritères sur le choix de l'implantation de la protection en rive droite

Compte tenu de la faible différence d'impact hydraulique entre les deux solutions pour la crue référence et la crue exceptionnelle et des contraintes fortes sur la zone industrielle de Beaucaire (identifié comme un espace stratégique en mutation au titre de la doctrine Rhône), le comité de pilotage en date du 28 mai 2009 a validé l'option d'aménagement n°1 ou n°2.

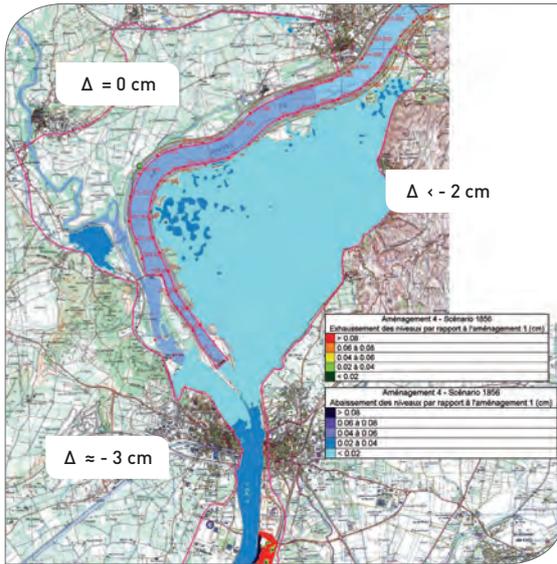
15.1.5.5. IMPLANTATION DE LA PROTECTION EN RIVE GAUCHE

Les hypothèses d'aménagement au droit du remblai RFF étant fixées par les décisions successives évoquées ci-avant, les différentes options d'aménagement en rive gauche ont été identifiées comme les suivantes :

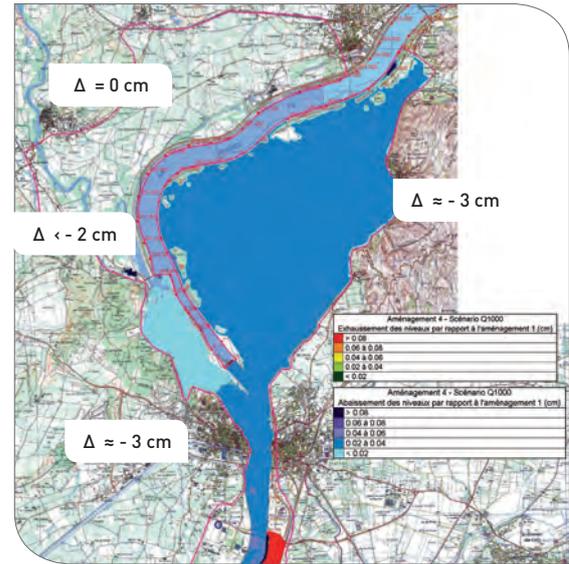


Options d'aménagement en rive gauche au droit de l'usine Tembec

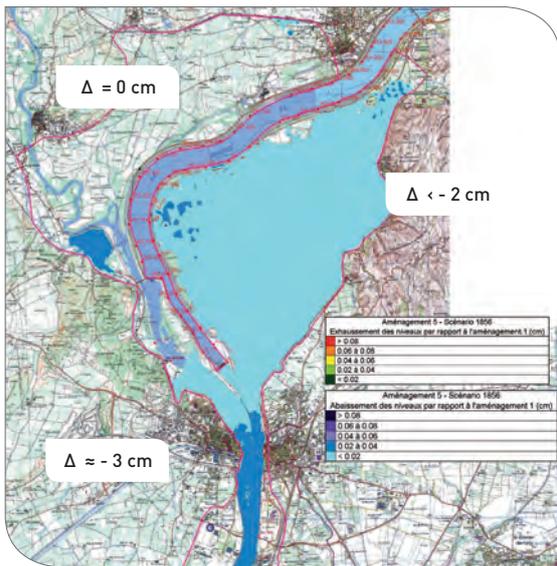
L'impact hydraulique des différentes options a été modélisé. Il est le suivant :



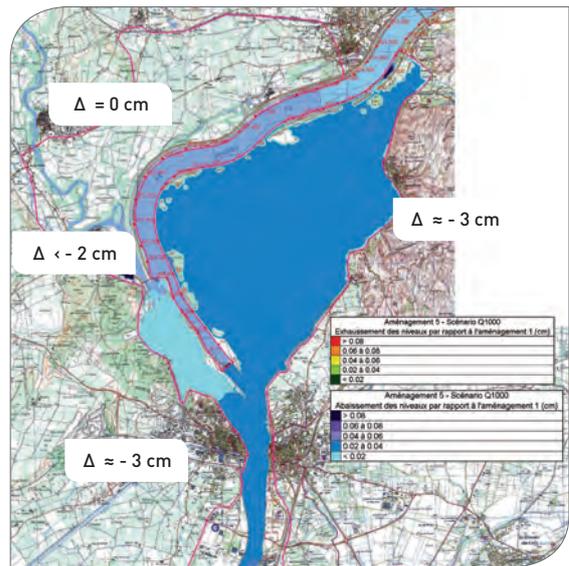
Impact de l'aménagement 4 par rapport à l'aménagement 1 (crue de référence) (source CNR [R] 16)



Impact de l'aménagement 4 par rapport à l'aménagement 1 (crue exceptionnelle) (source CNR [R] 16)



Impact de l'aménagement 5 par rapport à l'aménagement 1 (crue de référence) (source CNR [R] 16)



Impact de l'aménagement 5 par rapport à l'aménagement 1 (crue exceptionnelle) (source CNR [R] 16)

En termes d'impact hydraulique, les aménagements 4 et 5 sont identiques, il abaisse les niveaux de 3 cm maximum par rapport à l'aménagement 1 ou 6. Cet impact est en limite de la qualification de l'impact comme étant quasiment nul (inférieure à la limite de précision).

L'analyse multicritères a été menée suivant la grille suivante :

CRITÈRES	CONTINUITÉ DE PROTECTION AU DROIT DE L'USINE TEMBEC		
	EST USINE TEMBEC ACCOLÉE REMBLAI RFF	OUEST TEMBEC (PUBLIQUE ET PRIVÉE)	OUEST DE TEMBEC PUBLIQUE + CHEMIN DES SÉGONNAUX
	AMÉNAGEMENT 4	AMÉNAGEMENT 5	AMÉNAGEMENT 1(6)
Impact lit endigué crue déc. 2003 - T ≈ 100 ans Aval barrage Plaine de Boulbon Traversée Beaucaire/Tarascon	- Identique - Identique - Identique		
Impact lit endigué Crue référence - T ≈ 250 ans Aval barrage Plaine de Boulbon Traversée Beaucaire/Tarascon	- Identique à AMGT 1 - Δ < - 2 cm par rapport à AMGT 1 - Δ = - 3 cm par rapport à AMGT 1		
Impact lit endigué crue except. - T ≈ 1000 ans Aval barrage Plaine de Boulbon Traversée Beaucaire/Tarascon	- Δ < - 2 cm par rapport à AMGT 1 - Δ = - 3 cm par rapport à AMGT 1 - Δ = - 3 cm par rapport à AMGT 1		
Faisabilité technique	proximité usine et voie ferroviaire peu d'emprise foncière nombreux réseaux	Rehaussement de la protection actuelle (publique et privée)	Rehaussement protection actuelle protection le long de la voie communale
Coût de l'opération	+++	+	+
Impact économique	Usine Tembec non protégée pour aléa de référence (aléa fort)	Usine protégée pour aléa de référence	Usine protégée pour aléa de référence
Gestion de l'ouvrage	Nombreuses contraintes Tembec/RFF	protection de 1er rang dans usine Tembec difficultés d'accès pour la gestion	Absence de contraintes particulières
Montage administratif et juridique	Montage complexe	Montage complexe	Montage simple

Analyse multicritères utilisée pour l'implantation de la protection au droit de l'usine Tembec

Compte tenu du très faible impact hydraulique des 3 options d'aménagement, des contraintes fortes de gestion pour les aménagements 4 et 5 et des contraintes très fortes de faisabilité technique de l'aménagement 4, **c'est l'option d'aménagement n°1 qui a été retenue par le comité de pilotage de l'étude en date du 28 mai 2009.**

→ 15.2. JUSTIFICATION DU CALAGE DES OUVRAGES SUR LE GRAND RHÔNE

15.2.1. PROBLÉMATIQUE SUR LE GRAND RHÔNE

Les digues du Grand Rhône ont été historiquement calées sur les niveaux observés en 1856 (cf. chapitre "historique des aménagements"). Une revanche variant d'amont vers l'aval de 1,80 à 0,90 m a été retenue pour le calage historique des digues.

Aujourd'hui, les zones d'enjeux sensibles (espaces habités, activités économiques fortement vulnérables aux inondations du Rhône) sont situées en aval du Grand Rhône à proximité de l'embouchure avec la mer, soit dans les secteurs les plus exposés aux inondations du Rhône et de la mer.

Les débits de débordement du lit endigué vers le lit protégé ont été estimés dans le cadre de l'étude de renforcement des digues de Salin-de-Giraud et de Port-Saint-Louis-du-Rhône [R 18] afin de pouvoir encadrer une période de retour de l'événement.

Deux familles de crues peuvent être distinguées, selon l'ordre de débordement :

- Les crues pour lesquelles le facteur fluvial est dominant : type 2003, type 1856 avec marégramme variable, millénale avec marégramme à 0,5 mNGF,
- Les crues pour lesquelles le facteur maritime est dominant : type 1856 avec marégramme constant, millénale avec marégramme à 1,5 mNGF

Le tableau ci-dessus, extrait de [R 18] exprimé en débits ramenés à Beaucaire/Tarascon et selon les données issues de l'étude de calage précis, donne les débits de débordement suivants.

DÉBORDEMENTS ÉTAT INITIAL	TYPE 2003 SANS BRÈCHE AMONT		TYPE 1856 AVEC MARÉGRAMME CONSTANT		TYPE 1856 AVEC MARÉGRAMME VARIABLE		MILLÉNALE AVEC MARÉGRAMME À 0,5 MNGF		MILLÉNALE AVEC MARÉGRAMME À 1,5 MNGF	
	1 ^{er}	9 550 m ³ /s	3 ^{ème}	8 700 m ³ /s	1 ^{er}	9 250 m ³ /s	1 ^{er}	9 600 m ³ /s	3 ^{ème}	7 950 m ³ /s
Digue de Chamone (PK315.0RD)	4 ^{ème}	10 650 m ³ /s	4 ^{ème}	10 300 m ³ /s	4 ^{ème}	10 600 m ³ /s	4 ^{ème}	10 800 m ³ /s	4 ^{ème}	10 250 m ³ /s
Point de Vue (PK319.2RD)	2 ^{ème}	9 750 m ³ /s	2 ^{ème}	7 700 m ³ /s	2 ^{ème}	9 200 m ³ /s	2 ^{ème}	9 750 m ³ /s	2 ^{ème}	6 900 m ³ /s
Faubourg Vauban (PK322.5RG)	3 ^{ème}	9 800 m ³ /s	1 ^{er}	6 150 m ³ /s	3 ^{ème}	9 250 m ³ /s	3 ^{ème}	10 150 m ³ /s	1 ^{er}	5 900 m ³ /s
		fluvial dominant		maritime dominant		fluvial dominant		fluvial dominant		maritime dominant

Ordre et débit estimé de débordement pour l'état initial ; exprimés en débits à Beaucaire/Tarascon

Suivant le niveau marin, la période de retour des premiers débordements en rives droite et gauche du Grand Rhône est de l'ordre 20/30 ans en moyenne mais peut descendre à 10, voire 3 à 5 ans en cas de niveau marin haut (1,3 à 1,5 NGF), ce qui est d'une manière générale très faible au regard des périodes de retour plus en amont et montre la réelle exposition de ces tronçons de digue au risque de rupture par surverse.

Par ailleurs, on note que :

- En rive droite du Grand Rhône, le risque de rupture par surverse est le plus important, juste en amont du village de Salin-de-Giraud ainsi qu'au droit du lieu-dit "Estacade de l'Esquineau", soit au droit des enjeux les plus sensibles,
- En rive gauche du Grand Rhône, le risque de rupture par surverse est le plus important, juste en amont centre-ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône, soit également au droit de zones à enjeux très sensibles.

15.2.2. SCÉNARIOS D'AMÉNAGEMENTS ÉTUDIÉS

4 scénarios d'aménagement ont été étudiés :

- Scénario 1 : calage des digues à la millénale jusqu'à l'embouchure,
- Scénario 2 : maintien des digues à leurs cotes actuelles et renforcement des digues à la surverse,
- Scénario 3 : recalage des digues suivant les principes de protection du schéma de gestion des inondations du Rhône aval.
- Scénario 4 : scénario 3 + digue de protection rapprochée.

Le choix du scénario a été conduit sur la base des critères suivants :

- Aléa dans la zone protégée pour une crue type décembre 2003 sans brèche et pour une crue type mai 1856 sans brèche et dans les conditions actuelles d'écoulement,
- Impact dans le lit endigué,
- Sécurité publique (vitesse de l'inondation du Rhône, possibilités d'évacuation des populations).

15.2.3 SCÉNARIO 1 : CALAGE DES DIGUES À LA COTE MILLÉNALE

Ce scénario consiste à supprimer tout débordement d'Arles à l'embouchure jusqu'à la crue millénale. L'analyse de ce scénario figure ci-dessous :

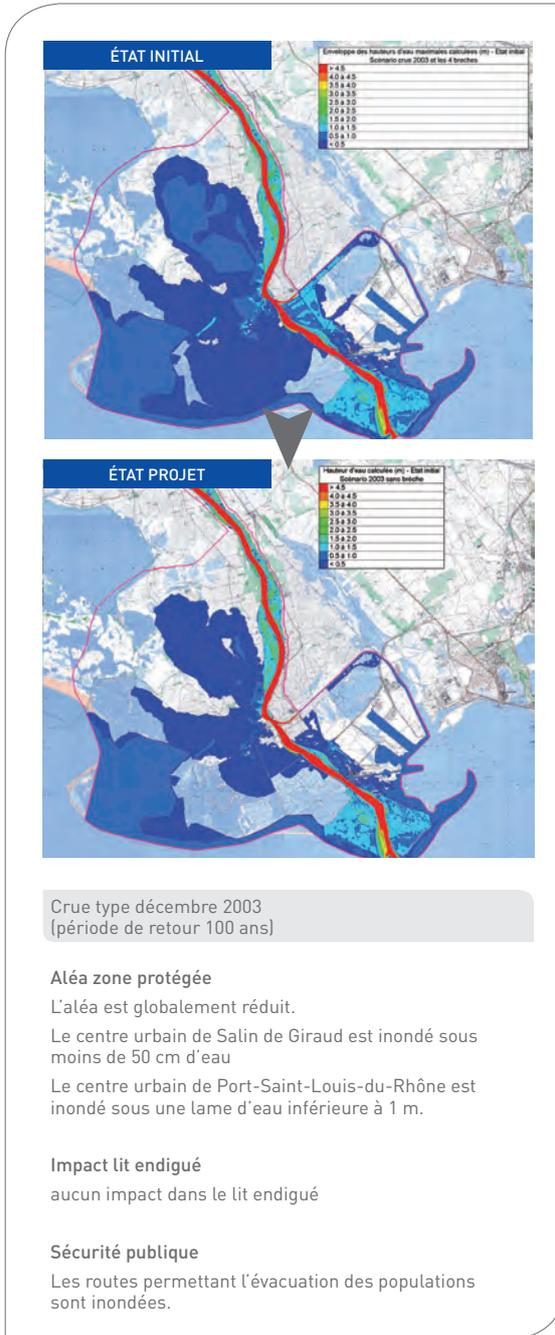
CRITÈRES	IMPACT
Aléa zone protégée	crues types décembre 2003 et mai 1856 : zone protégée hors d'eau
Niveau d'eau dans le lit endigué	<p>Pour une crue type décembre 2003 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rehausse des niveaux sur le Grand Rhône de 9 cm et au droit du quai de la roquette de 2 cm <p>Pour une crue type mai 1856 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rehausse des niveaux sur le Grand Rhône de 16 cm et au droit du quai de la roquette de 6 cm <p>Ces impacts ne sont pas acceptables sur un plan réglementaire et compte tenu de l'importance de ce rehaussement de ligne d'eau, ils ne peuvent pas être corrigés par des mesures compensatoires réalisables.</p>
Sécurité publique	Le rehaussement des niveaux d'eau en amont aggrave la pression sur les digues et le risque de brèche en amont de la Louisiane. Ce rehaussement réduit la revanche de sécurité au droit du quai de la roquette, qui est le point bas en traversée d'Arles et le point qui présente la revanche minimum pour la crue millénale entre Beaucaire et Arles

Impact du calage à la crue millénale des digues du Grand Rhône

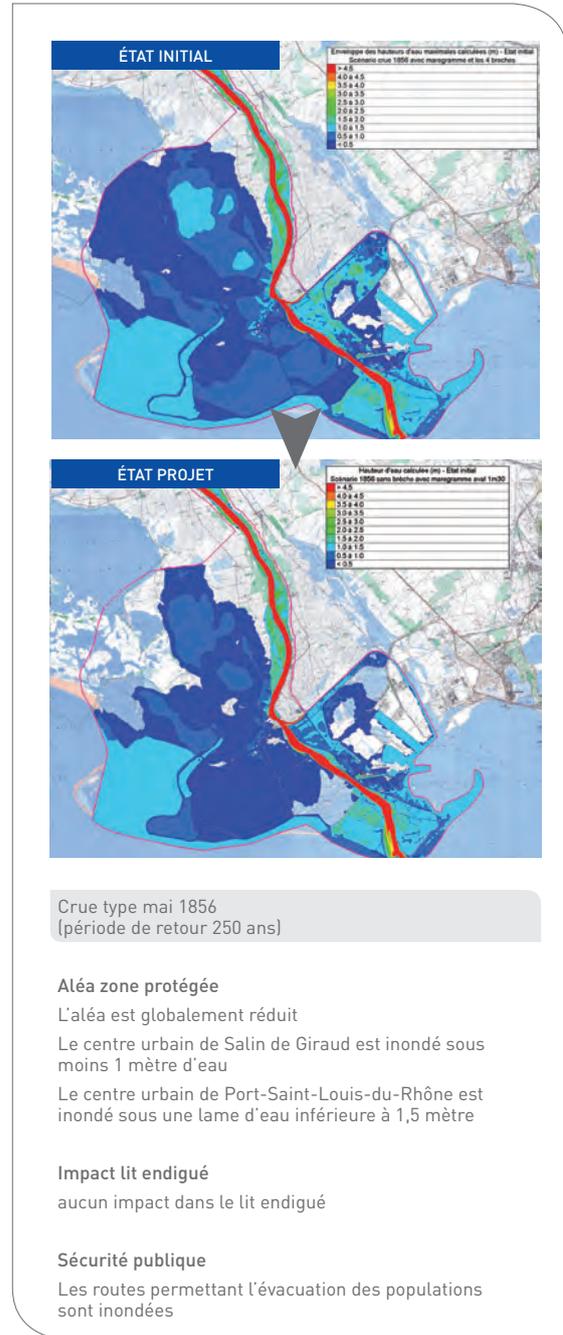
À l'instar du Rhône entre Beaucaire et Arles ou du Petit Rhône, la suppression des déversements jusqu'à la crue millénale ne peut pas être envisagée. **Il y a donc lieu d'aménager des digues résistantes à la surverse.**

15.2.4. SCÉNARIO 2 : MAINTIEN DES DIGUES À LEUR COTE ACTUELLE ET RENFORCEMENT DES DIGUES À LA SURVERSE

Les conclusions du scénario n°2, qui consistent à maintenir la cote actuelle des digues et à réduire très fortement le risque de brèche par surverse en renforçant leur parement aval, figurent ci-dessous :



Crue type décembre 2003 sans brèche en amont – Impact du scénario 2 (source CNR [R 18])



Crue type mai 1856 sans brèche en amont – Impact du scénario 2 (source CNR [R 18])

Ce scénario, qui ne comporte pas d'impact hydraulique dans le lit endigué, réduit faiblement l'aléa fluvial dans la zone protégée et n'apporte pas de gains notables en terme de sécurité publique. Il n'a donc pas été retenu.

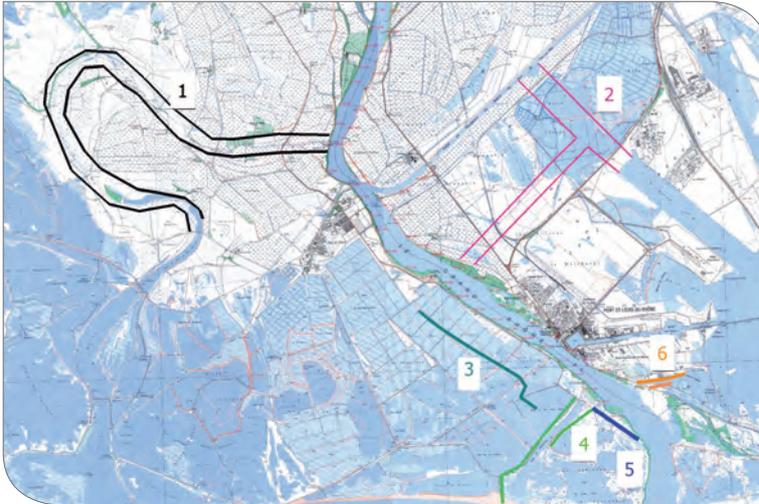
15.2.5. SCÉNARIO 3 : RECALAGE DES DIGUES EN FONCTION DES PRINCIPES DE PROTECTION DU PLAN RHÔNE

Dans ce scénario, le principe des aménagements consiste à :

- Rehausser les digues à la cote millénaire au droit des zones à enjeux,
- Aménager des digues résistantes à la surverse :
 - Implantées et calées de façon à éviter pour les crues fortes (crue type décembre 2003 et crue type mai 1856) l'inondation par le Rhône des secteurs les plus vulnérables aux inondations,
 - Calées de façon à éviter des impacts notables dans le lit endigué,
 - Implantées pour favoriser au-delà de la cote de protection l'inondation de la zone protégée la moins violente possible tout en favorisant l'évacuation des populations par le nord.

Plusieurs zones de renforcement à la surverse ont été envisagées par la CNR^{ingénierie} [18]. Elles ont tenu compte de la topographie, de l'occupation des sols et du devenir possible des volumes évacués. Le respect des objectifs du projet et l'efficacité de l'ouvrage ont également été considérés :

- Décharge vers l'**ancien bras du Vieux-Rhône** (cf. tracé n°1 sur la figure en page suivante). Cette solution n'est pas compatible avec les objectifs du projet : d'une part elle accroît la vulnérabilité sur Salin-de-Giraud (augmentation du linéaire de digue en amont direct) et d'autre part elle isole l'agglomération et gêne l'évacuation des populations en cas de crue débordante.
- Décharge en **amont de Port-Saint-Louis** vers un prolongement de la darse n°2 (cf. tracé n°2 sur la figure en page suivante). Cette solution n'est pas compatible avec les objectifs du projet : d'une part elle accroît la vulnérabilité sur Port-Saint-Louis (augmentation du linéaire de digue en amont direct) et d'autre part elle isole l'agglomération et gêne l'évacuation des populations en cas de crue débordante.
- Décharge sur la **digue aval Esquineau** rendue résistante à la surverse (cf. tracé n°3 sur la figure en page suivante). C'est la solution la plus efficace hydrauliquement. Elle est cependant limitée par l'inondation de Salin-de-Giraud par l'aval que de trop forts déversements pourraient causer.
- Décharge vers le **grau de Piémanson** sur la digue rendue résistante à la surverse (cf. tracé n°4 sur la figure en page suivante). Cette zone de décharge est intéressante mais son efficacité est limitée par la proximité avec l'embouchure.
- Décharge sur la **digue aval Palissade** rendue résistante à la surverse (cf. tracé n°5 sur la figure en page suivante). Cette zone de décharge est intéressante mais son efficacité est limitée par la proximité avec l'embouchure.
- Décharge vers le they de **Saint Antoine Ermite** (cf. tracé n°6 sur la figure en page suivante). Cette zone de décharge impose une protection au sud de la zone du Mazet et présente une efficacité limitée du fait de la proximité avec l'embouchure.



Zones envisageables pour la décharge du débit

Après analyse des objectifs de protection, des enjeux et des contraintes réglementaires et économiques, la solution retenue a été la suivante :

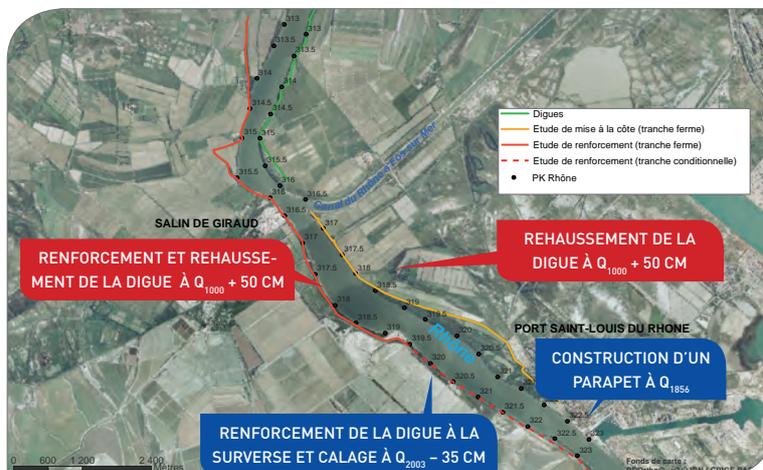
En rive droite du Grand Rhône :

- Le rehaussement des digues à la cote millénale ($Q_{1000} + 50$ cm) jusqu'à l'estacade de l'Esquineau,
- En aval de l'Esquineau : le recalage de la digue à une cote correspondant à niveau atteint par une crue type décembre 2003 sans brèche moins 35 cm et renforcement de la digue à la surverse.

En rive gauche du Grand Rhône :

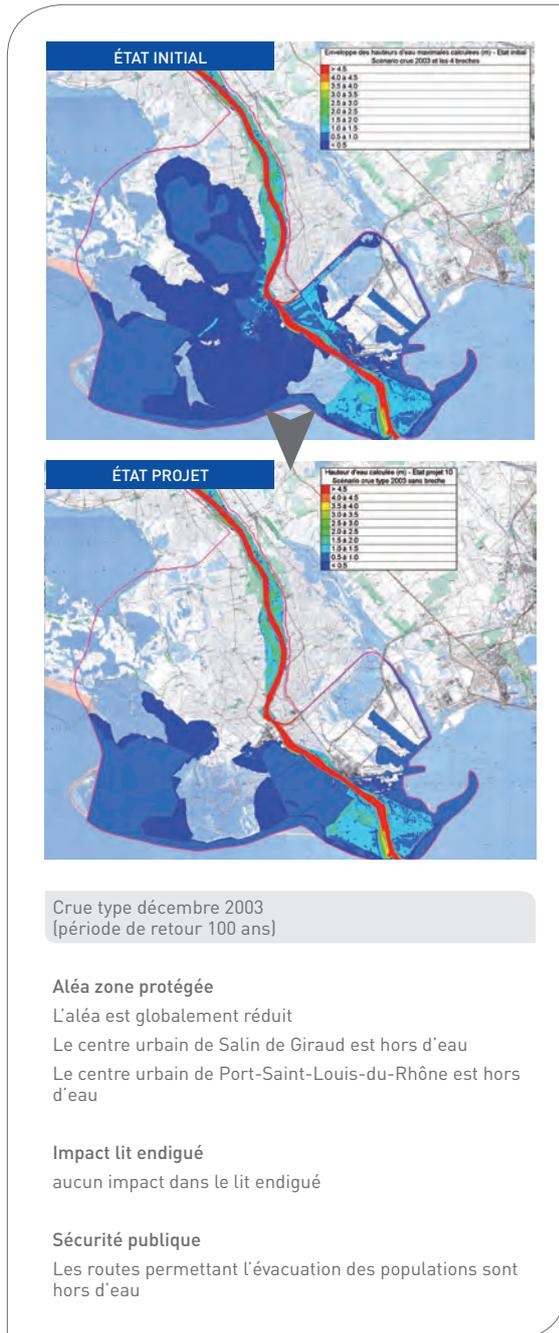
- Le rehaussement des digues à la millénale ($Q_{1000} + 50$ cm) jusqu'au centre-ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône,
- L'aménagement d'un parapet, au droit des quais du centre-ville, calé par rapport au niveau atteint par la crue type mai 1856 et capable de résister à un déversement sans rupture.

Ces choix sont illustrés dans la figure suivante :

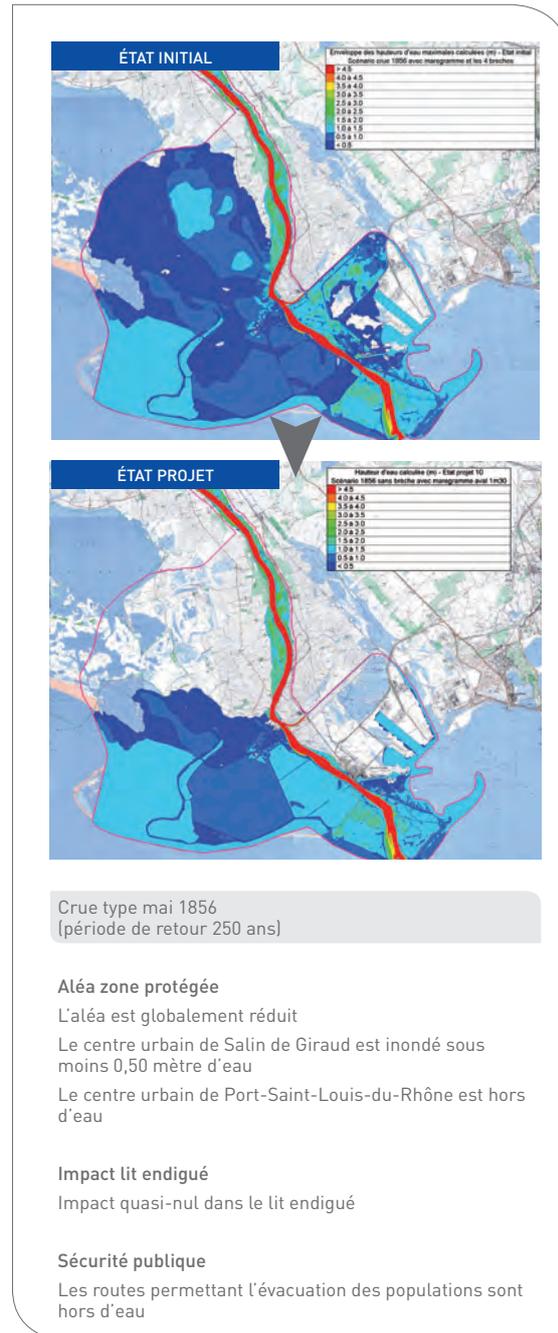


Principe des travaux

L'impact des travaux figure ci-dessous :

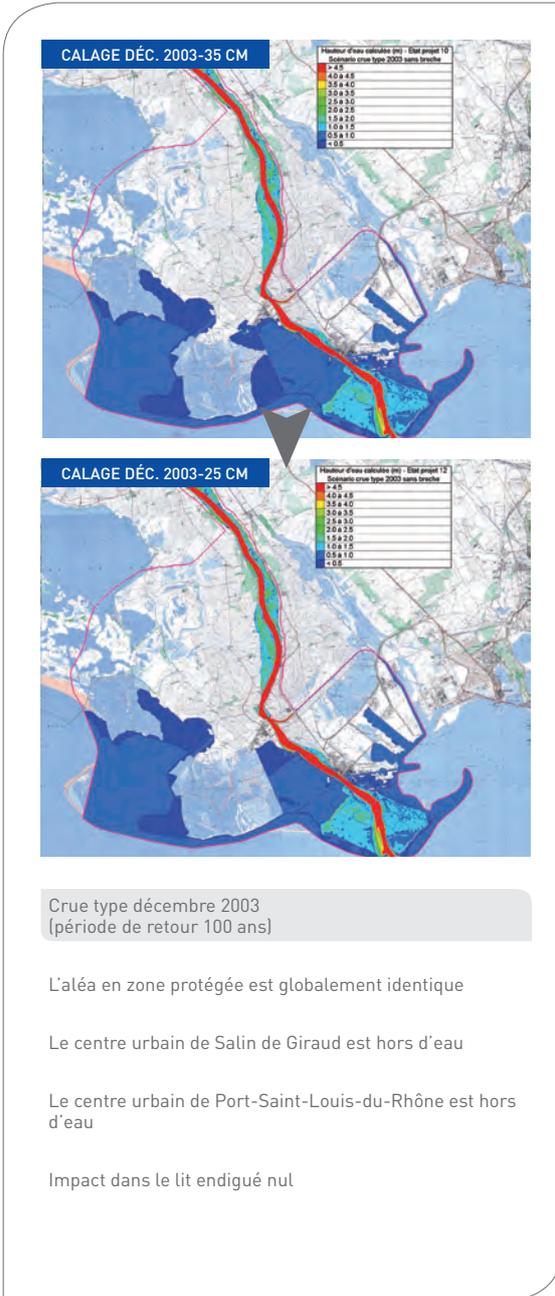


Crue type décembre 2003 sans brèche en amont – Impact du scénario 3 (source CNR [R 18])

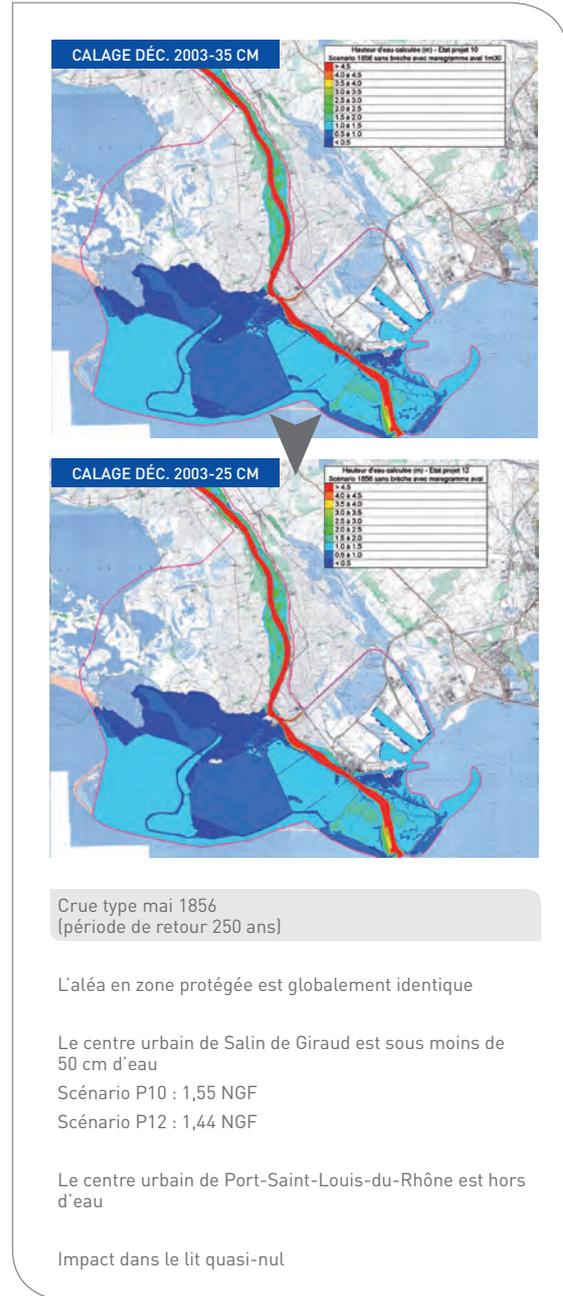


Crue type mai 1856 sans brèche en amont – Impact du scénario 3 (source CNR [R 18])

Plusieurs scénarios de calage des digues résistantes à la surverse ont été modélisés. Les figures ci-dessous et le tableau en page suivante illustrent l'aléa en zone protégée et l'impact de la ligne d'eau dans le lit endigué respectivement pour un calage à crue de type décembre 2003 – 35 cm (état projet n°10 retenu) et crue de type décembre – 25 cm (état projet n°12).



Crue type décembre 2003 sans brèche en amont – Impact du calage de la digue résistante à la surverse (source CNR [18])



Crue type mai 1856 sans brèche en amont – Impact du calage de la digue résistante à la surverse (source CNR [18])

L'impact dans le lit endigué du scénario P10 consistant en le renforcement en rive droite du Grand Rhône de la digue à la surverse et son recalage à Qdéc2003 sans brèche -35 cm est le suivant :

SCÉNARIO DE CRUE	PÉRIODE DE RETOUR	DÉBIT DE POINTE (M ³ /S) TARASCON/BEAUCAIRE	NIVEAU DE LA MER (COTE NGF)	ARLES (QUAI DE LA ROQUETTE)	ARLES / SEUIL DE TERRIN	SEUIL DE TERRIN/ PK 311	PK 311 À LA MER (PROJET)
Décembre 2003 sans brèche	100 ans	11 500 ± 5 %	Marégramme 2003 (pic à 0,98 NGF)	0 cm	0 cm	0 cm	-1 à - 5 cm
Mai 1856 sans brèche	250 ans	12 500	Marégramme 2003 translaté à 1,3 NGF	+1 cm	0 cm	0 cm	- 9 à 0 cm
Exceptionnelle Niveau marin bas	1000 ans	14 160	0,5 NGF constant	+ 3 cm	+ 2 cm	+ 2/3 cm	-9 à + 4 cm
Exceptionnelle Niveau marin haut	> 1000 ans	14 160	1,5 NGF constant	+ 3 cm	+ 2 cm	+ 2 cm	- 6 à +3 cm

Impact dans le lit endigué d'une digue résistante à la surverse calée à déc. 2003 -35 cm

L'impact dans le lit endigué du scénario P12 consistant en le renforcement en rive droite du Grand Rhône de la digue à la surverse et son recalage à Qdéc2003 sans brèche -25 cm est le suivant :

SCÉNARIO DE CRUE	PÉRIODE DE RETOUR	DÉBIT DE POINTE (M ³ /S) TARASCON/BEAUCAIRE	NIVEAU DE LA MER (COTE NGF)	ARLES (QUAI DE LA ROQUETTE)	ARLES / SEUIL DE TERRIN	SEUIL DE TERRIN/ PK 311	PK 311 À LA MER (PROJET)
Décembre 2003 sans brèche	100 ans	11 500 ± 5 %	Marégramme 2003 (pic à 0,98 NGF)	0 cm	+1 cm	+1 cm	-3 à - 1 cm
Mai 1856 sans brèche	250 ans	12 500	Marégramme 2003 translaté à 1,3 NGF	+2 cm	+ 1 cm	+2 cm	- 7 à +2 cm
exceptionnelle Niveau marin bas	1000 ans	14 160	0,5 NGF constant	+ 4 cm	+ 3 cm	+ 5 cm	-9 à + 4 cm
exceptionnelle Niveau marin haut	> 1000 ans	14 160	1,5 NGF constant	+ 4 cm	+ 3 cm	+ 4 cm	- 6 à +3 cm

Impact dans le lit endigué d'une digue résistante à la surverse calée à déc. 2003 -25 cm

Pour les deux calages, l'aléa dans la zone protégée est globalement proche. En revanche l'impact dans le lit endigué n'est plus quasiment nul pour la crue millénaire dans le scénario P12. C'est donc le scénario 10 (scénario 3) qui a été retenu.

15.2.6. SCÉNARIO N°4 : SCÉNARIO N°3 ET RÉALISATION D'UNE PROTECTION RAPPROCHÉE AU SUD DE SALIN-DE-GIRAUD

Dans le lit protégé en rive droite, en sus des aménagements composant le scénario n°3 précité, la création d'une protection rapprochée au sud du village de Salin-de-Giraud et des zones stratégiques pour la Compagnie des Salins du Midi a été retenu pour compléter le dispositif de protection.

Cette action n'a pas été définie dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval, mais a été rendue nécessaire au regard des résultats de l'étude de propagation des crues déversantes montrant, en l'absence d'une tel ouvrage, un niveau de protection, dans le village de Salin-de-Giraud, inférieur aux autres secteurs sensibles dans le Delta.

Cette digue de protection rapprochée est calée à la cote millénaire assortie d'une revanche de 50 cm. Elle vient se raccorder au droit du Rhône vif avec la digue

à la mer actuelle maintenue en l'état et à sa cote actuelle, soit à une cote de submersion inférieure à la digue à créer.

À l'issue de la concertation avec le public et la Compagnie des Salins du Midi, la digue de protection rapprochée au sud de Salin-de-Giraud a été intégrée dans l'opération de renforcement des digues de 1^{er} rang.

Ce scénario final et son impact sur la zone protégée sont décrits dans le :

- Chapitre 7 intitulé “objectifs et description du programme de sécurisation”,
- Chapitre 10 intitulé “impacts et mesures du programme de sécurisation”,
- Chapitre 16 intitulé “descriptions des opérations et impacts intermédiaires”.

→ 15.3. JUSTIFICATION DU CALAGE DES OUVRAGES SUR LE PETIT RHÔNE

Le calage des digues du Petit Rhône ayant été réalisé après le calage des ouvrages prévus sur le Rhône et le Grand Rhône, nous avons pu bénéficier des enseignements liés à ces deux calages et définir plus efficacement le calage des digues du Petit Rhône.

Ainsi, les objectifs du calage des digues du Petit Rhône ont été :

- Éviter tout débordement pour une crue 10500
- Au-delà d'une crue type 10500, organiser des déversements sans rupture par l'aménagement de tronçons de digue résistant à la surverse de façon à :
 - Assurer une répartition égale des débits déversés en rives gauche et droite du Rhône.
 - Garantir l'absence d'impact notable en amont et en aval des tronçons de digue à renforcer dans le cadre du CPIER Plan Rhône ou sur la rive opposée au droit de tronçons de digue dont le confortement ne pourra pas être assuré dans le cadre du CPIER Plan Rhône.

Ces objectifs ont impliqué de :

- Mettre les ouvrages non renforcés au déversement situés en amont et en aval de ces tronçons résistant à la surverse à une cote dite millénaire.

Il est à noter que le tronçon de digue situé en aval de Sylvérial en rive droite a été maintenu à la cote actuelle. En effet tout rehaussement de digue dans ce tronçon du Petit Rhône aurait eu pour impact de rehausser notablement la ligne d'eau au droit des digues en rive gauche du Petit Rhône en aval d'Albaron, dont le confortement n'est pas prévu dans le cadre du CPIER Plan Rhône et qui protège directement la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer.



03

DESCRIPTION DES OPÉRATIONS

16. Description des opérations - impacts intermédiaires

→ 16.1	Réparation des quais d'Arles (tranches 1 à 4)	371
→ 16.2	Digues de Beaucaire	381
→ 16.3	Quais de Tarascon et digue de la Montagnette	386
→ 16.4	Sécurisation de la surveillance et des interventions en temps de crue et suppression des ouvrages traversants hors service	396
→ 16.5	Réparation des quais d'Arles (tranches 5 et 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais d'Arles	401
→ 16.6	Renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques	416
→ 16.7	Création d'une digue à l'ouest du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles	427
→ 16.8	Réhaussement des sip de Beaucaire et Tarascon	443
→ 16.9	Protection nord d'Arles	447
→ 16.10	Renforcement des digues du Grand Rhône 1 ^{ère} priorité : Digues de Salin-de-Giraud et Port-Saint-Louis-du-Rhône	451
→ 16.11	Renforcement des digues du Grand Rhône 1 ^{ère} priorité : Digue de Prends-té-Garde à Grand Mollégès	458
→ 16.12	Renforcement des digues du Grand Rhône 2 ^{ème} priorité	463
→ 16.13	Renforcement des digues du Petit Rhône 1 ^{ère} priorité	465
→ 16.14	Renforcement des digues du Petit Rhône 2 ^{ème} priorité	477

16 DESCRIPTION DES OPÉRATIONS IMPACTS INTERMÉDIAIRES

→ 16.1. RÉPARATION DES QUAIS D'ARLES (TRANCHES 1 À 4)

16.1.1. PÉRIMÈTRE DE L'OPÉRATION

L'opération de réparation des quais d'Arles a été découpée en 7 tranches de travaux suite aux conclusions de l'étude préliminaire réalisée en 2003 [R 71] [R 72]. Suite à la signature du CPIER Plan Rhône 2007/2013, une réorganisation des tranches a été opérée par le SYMADREM.

Les tranches 1 et 4 ont été regroupées en une opération unique, elle-même découpée en plusieurs phases de travaux.

Une tranche 0 relative à des travaux d'urgence avait été réalisée suite aux crues de novembre 2002 et décembre 2003 (hors CPIER Plan Rhône). Elle concernait :

- La rive droite du Grand Rhône du PK 282,5 au PK 283,25 :
le quai de la gare maritime,
- La rive gauche du Grand Rhône du PK 281,8 au PK 282,0 :
le quai du 8 mai 1945.

L'opération couvre les ouvrages suivants :

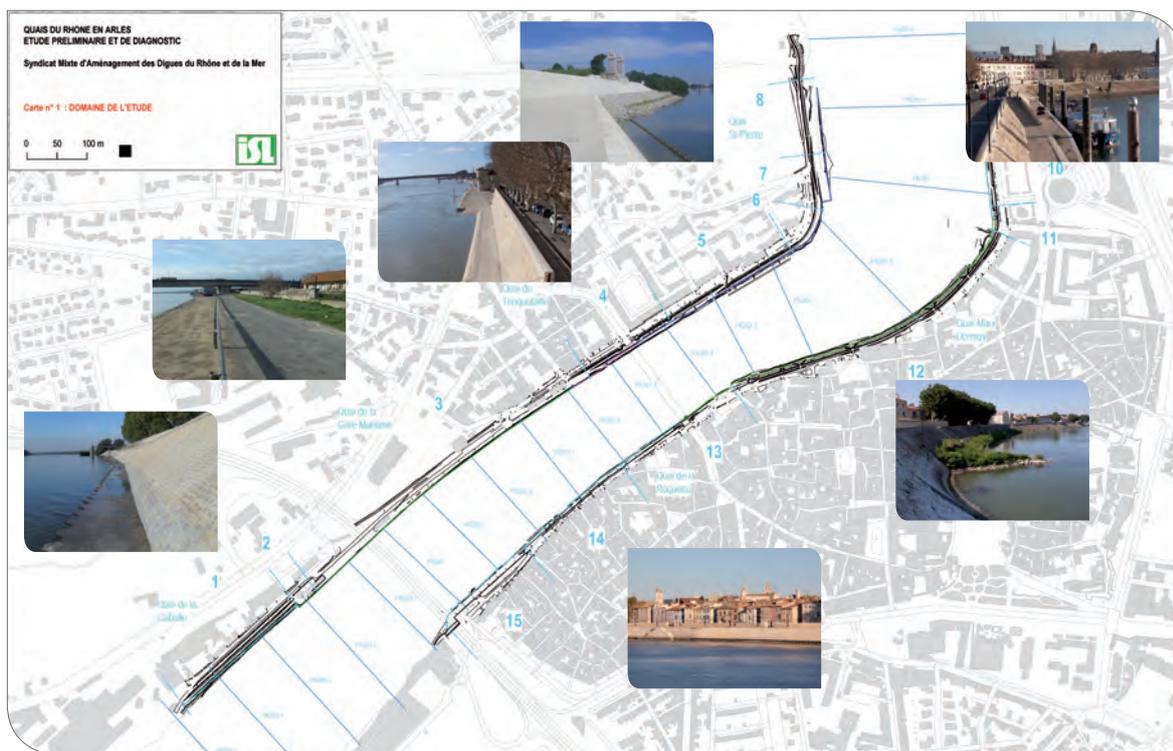
En rive droite du Grand Rhône :

- Du PK 281,8 à 282,5 :
le quai Saint Pierre et le quai Trinquetaille,
- Du PK 283,25 à 283,45 :
le quai de la Gabelle.

En rive gauche du Grand Rhône :

- Du PK 282,35 à 283,0 :
le quai de la Roquette,
- Du PK 282,0 à 282,35 :
la 1^{ère} phase d'intervention sur le quai Marx Dormoy (tranches 5 et 6).

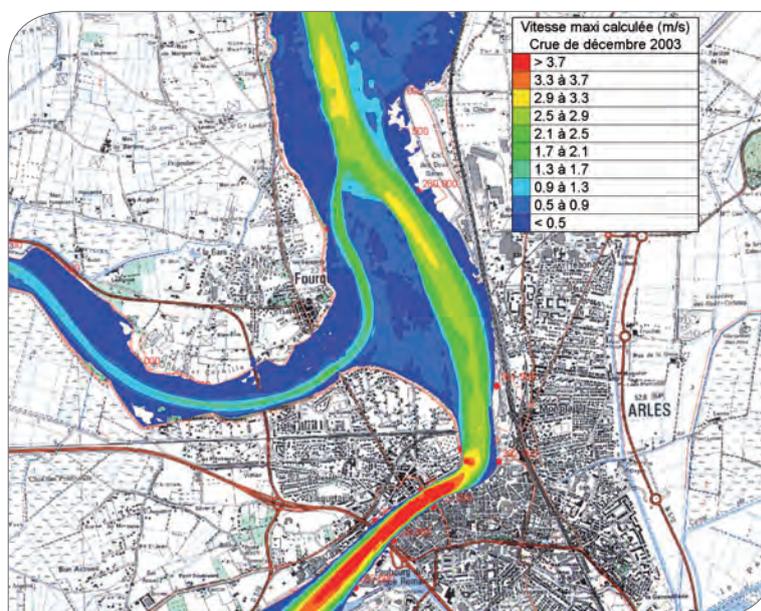
La localisation des ouvrages figure en page suivante.



Localisation et dénomination des quais du Rhône en traversée d'Arles (tranches 1 à 4 et tranche 0 p.m.)

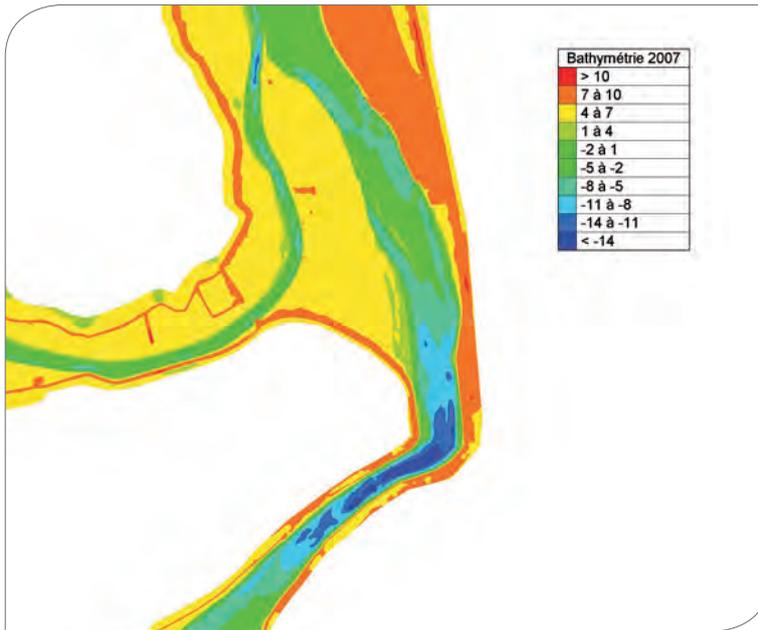
16.1.2. DIAGNOSTIC ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

L'endigement du Rhône en traversée d'Arles conduit à une concentration des écoulements en crues. En deux kilomètres, la largeur du lit mineur se réduit de 400 à 150 mètres et la largeur du lit majeur actif passe de 3 km à 0 km. Cette concentration des écoulements a pour effet d'accroître les vitesses qui peuvent atteindre jusqu'à 6 mètres/seconde.



Vitesses calculées pour la crue de décembre 2003 (source CNR [16])

Ces vitesses très importantes en crue ont érodé le fond du lit et ont conduit à la formation d'une fosse dont la cote atteint - 16,5 NGF contre environ - 8 NGF en amont et en aval de la ville.



Bathymétrie en traversée d'Arles (source CNR [R 16])

Labaissement du fond a entraîné l'abaissement du fil d'eau en étiage d'environ un mètre, exposant ainsi les massifs de fondation des quais à l'agressivité de la zone de marnage.

Labaissement des fonds et la mise à nu des fondations reposant sur des pieux en bois ont accéléré le vieillissement des fondations et altéré l'étanchéité des ouvrages, créant des sous cavages favorisant l'érosion des remblais par écoulement interne allant jusqu'à l'effondrement de certaines parties de quais, comme en témoignent les photos ci-après.

Ces ruptures étant annonciatrices de l'évolution à court terme des quais.



Quai Trinquetaille – glissement du talus suite à affouillement de pied (à gauche)



Fondations du quai de la Roquette avant intervention (source ISL [R 71])



Quai de la gare maritime – érosion interne des remblais en décrue et effondrement du quai (à droite) (source ISL [R 71])



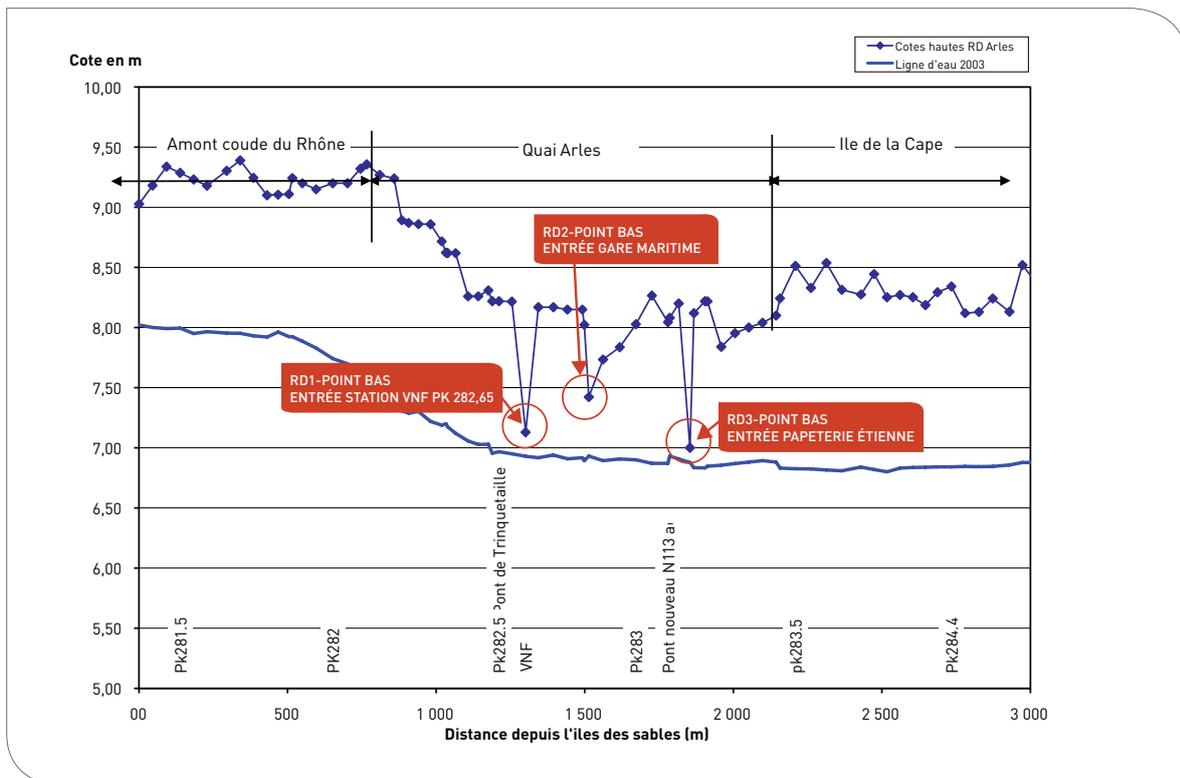
Quai de la Roquette – effondrement de quai fin des années 1970 traité partiellement par battage d'un rideau de palplanches

16.1.3. POINTS BAS

Les points bas dans la traversée d'Arles ont été identifiés par la CNR^{ingénierie} dans le cadre de l'étude de calage. 2 points bas concernent cette opération :

- Le muret du passage batardable au droit de VNF quai de la gare maritime (Point RD1),
- L'aval du quai de la Roquette, qui s'est affaissé de 20 cm sur une cinquantaine de mètres (RG2).

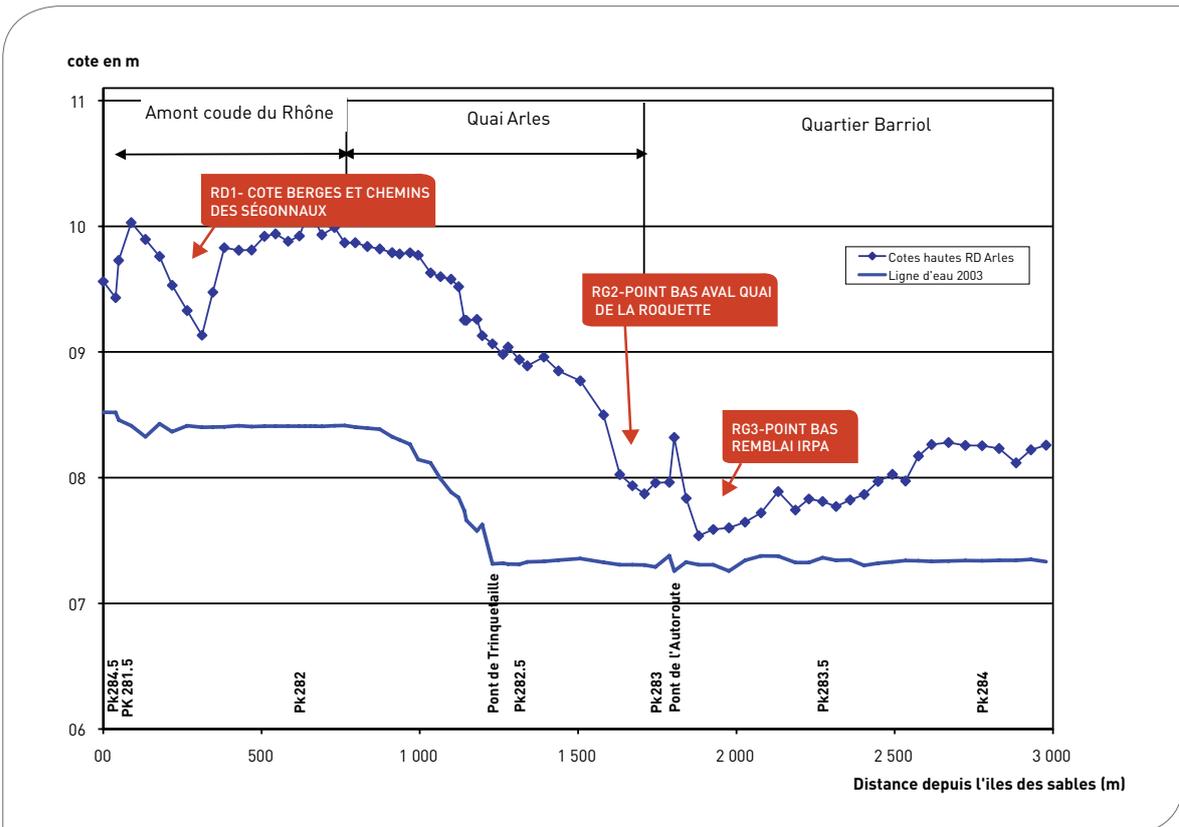
Ces deux points bas figurent ci-après :



Traversée d'Arles – Profil en long et ligne d'eau en rive droite du Grand Rhône (CNR [R 16])



Batardeau VNF quai de la gare maritime (source CNR [R 16])



Traversée d'Arles – Profil en long et ligne d'eau en rive gauche du Grand Rhône (CNR [R 16])



Point bas RG2 – Quai de la Roquette en amont du pont de la RD6113
(source CNR [R 16])

16.1.4. OBJET ET DESCRIPTIF DES TRAVAUX

Les travaux ont démarré en juillet 2008 et se sont achevés en octobre 2010. Ils ont porté sur :

- La réparation des parties effondrées (quai de la Roquette sur 80 m, perrés inférieurs...),
- La reconstitution et la protection des fondations des ouvrages (palplanches, béton, micropieux...) pour accroître la stabilité mécanique des quais,
- La réalisation de rideau de palplanches en pied d'ouvrage de manière à prévenir l'abaissement des fonds au pied des ouvrages et réduire les risques d'affouillement externe et accroître la stabilité mécanique des quais,
- L'étanchéification des ouvrages (traitement de la maçonnerie des parements et des terre-pleins) de façon à réduire les risques d'érosion interne,
- Le traitement de points bas localisés et des passages batardables (équipement de batardeaux aluminium) pour réduire les risques de surverse par défaillance localisée de points bas,
- Réduction des sollicitations mécaniques sur les ouvrages par l'aménagement de ducs d'albe.

Les schémas de principe des travaux au droit respectivement du quai de la Roquette et du quai Trinquetaille figurent ci-dessous.

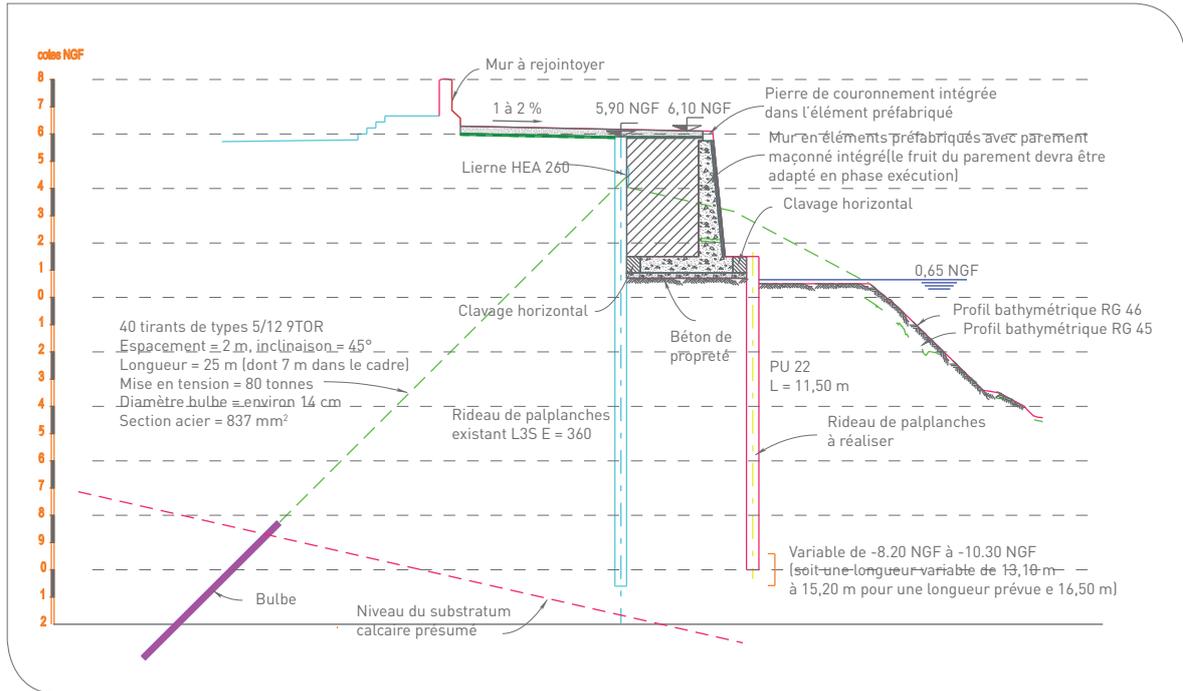


Schéma de principe des travaux au droit du quai de la Roquette (source ISL [R 74])

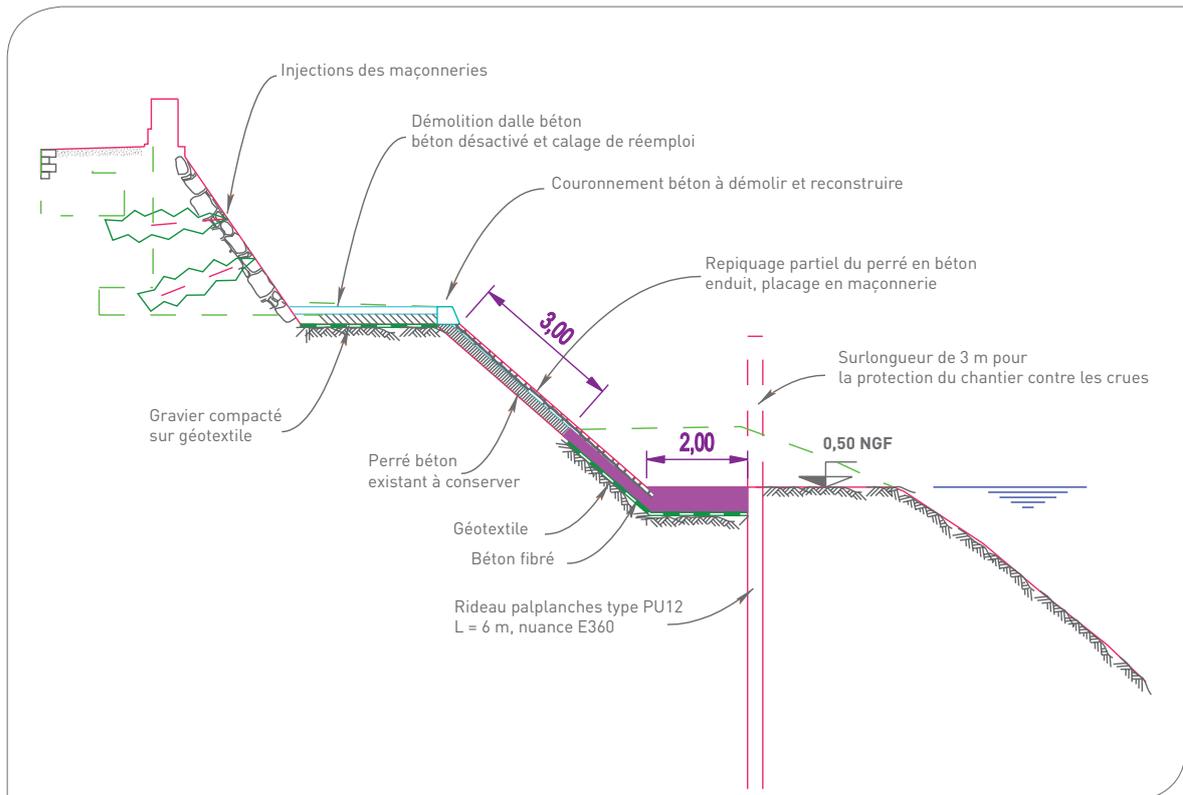
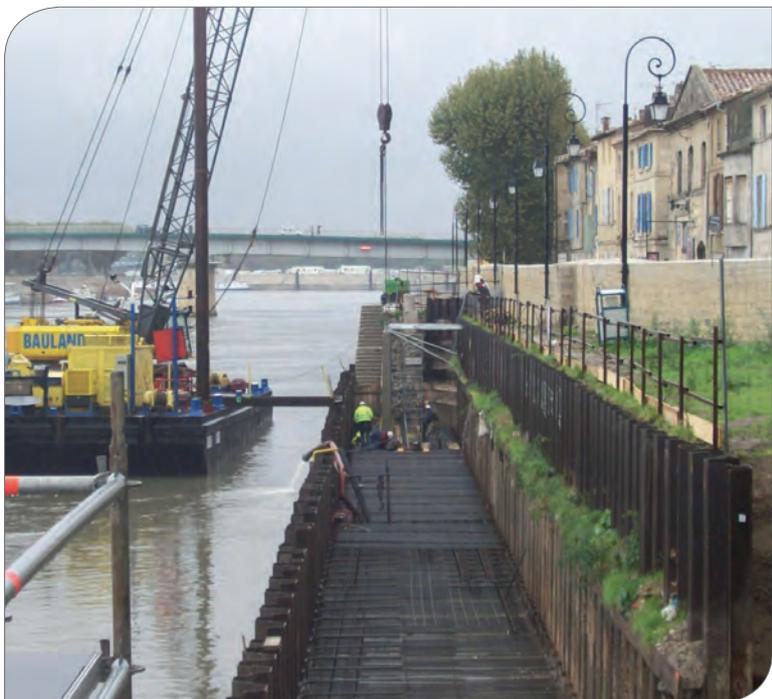


Schéma de principe des travaux au droit du quai de Trinquetaille (source ISL [R 76])

Les photos ci-après illustrent les travaux relatifs à cette opération :



Quai de la Roquette avant et après travaux



Réparation du quai de la Roquette – reconstruction du mur effondré



Remplacement des batardeaux en bois par des batardeaux aluminiums



Réparations des quais Saint Pierre et Trinquetaille

16.1.5. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX

Les deux points bas identifiés dans l'étude de calage, compte tenu de ce qu'ils sont directement liés à une défaillance des ouvrages, n'ont pas été considérés comme faisant partie de l'état initial. Par ailleurs, ces points bas étant situés au-dessus du niveau d'eau atteint pour la crue millénaire, leur prise en compte dans l'état initial n'aurait pas eu d'impact.

Les travaux ayant consisté uniquement en des travaux de grosses réparations sans modification de géométrie. Ils sont sans incidence hydraulique sur les écoulements.

16.1.6. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Les travaux ont été assimilés à des travaux de grosses réparations non soumis au régime des autorisations/déclarations.

Les tranches 1 à 4 ont fait l'objet d'un porté à connaissance conformément à l'article R 214-18 du code de l'environnement. Le dossier a été transmis au Préfet de Région Provence Alpes Côte d'Azur et Préfet des Bouches-du-Rhône le 17 mars 2008. Il n'a pas fait l'objet d'observations.

16.1.7. PLANNING DES TRAVAUX

Les travaux sur le quai de la Roquette et sur l'amont du quai Saint Pierre ont été réalisés de l'été 2008 à l'été 2009.

Les travaux sur l'aval du quai Saint Pierre et sur le quai Trinquetaille ont débuté durant l'été 2009 et se sont achevés durant l'automne 2010.

Les travaux sur le quai de la Gabelle ont démarré début d'année 2010 et se sont achevés fin d'année 2010.

Les travaux de 1^{ère} phase du quai Marx Dormoy (confortement de pied) ont été suspendus pour être réalisés en même temps que les travaux d'aménagement du quai bas, prévus en 2012 de manière à optimiser le coût des travaux.

→ 16.2. DIGUES DE BEAUCAIRE

16.2.1. PÉRIMÈTRE DE L'OPÉRATION

L'opération concerne les ouvrages suivants situés en rive droite du Rhône :

- La digue de la Banquette du PK 267,0 à 267,7,
- La digue de la Vierge du PK 267,7 à 268,0,
- La digue du Musoir du PK 268,0 à 268,1.



Digues de Beaucaire

16.2.2. DIAGNOSTIC ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

D'une manière générale, l'étude de diagnostic réalisée par ISL a conclu en un bon état de l'ouvrage. Les reconnaissances géotechniques ont confirmé la géométrie des fondations telle que figurant dans les plans d'archive.

Les fondations de l'ouvrage sont ancrées dans une couche épaisse de limons argileux comportant des perméabilités très faibles (inférieures à 10^{-7} m/s), ce qui écarte les risques d'érosion interne en fondation.



Digue de la Banquette



Digue de la Vierge



Digue du Musoir

La largeur importante du ségonnal et le parement amont en maçonnerie écarte les risques d'érosion mécanique liés à la vitesse des écoulements et de rupture d'ensemble.

En ce qui concerne le risque de surverse, l'étude hydraulique a montré que l'ouvrage ne débordait pas pour une crue exceptionnelle du Rhône (période de retour 1000 ans), à l'exception de la digue du Musoir, calé 1 mètre environ en dessous des autres tronçons et submersibles pour des crues supérieures à la crue de référence.

L'étude a prescrit néanmoins de colmater d'une manière générale les fissures sur le parement amont pour accroître l'étanchéité de l'ouvrage et de drainer le parement aval par réalisation de forage pour éviter les risques de saturation des remblais et de sous-pressions sur le parement aval.

Deux secteurs ont été qualifiés d'instable pour les raisons suivantes :

- Le tronçon amont de la digue de la Vierge : mauvais état des maçonneries,
- La digue du Musoir : risque de rupture en cas de déversement prolongé.

16.2.3. POINTS BAS

Les deux points localisés ont été identifiés au droit :

- Des deux portes métalliques respectivement de Roquecourbe et de Beauregard,
- Parapet démolé au droit du raccordement de la Banquette avec le rocher du château.



Porte métallique digue de la Banquette avant travaux

16.2.4. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

Le principe des travaux sur la digue de la Banquette est de :

- Colmater des fissures sur le parement amont,
- Drainer les fissures sur le parement aval afin de limiter la piézométrie dans l'ouvrage, par la réalisation de forages inclinés et horizontaux,
- Changement et rehaussement des portes métalliques,
- Reconstruction du parapet en amont.

Le schéma de principe des travaux figure page suivante.

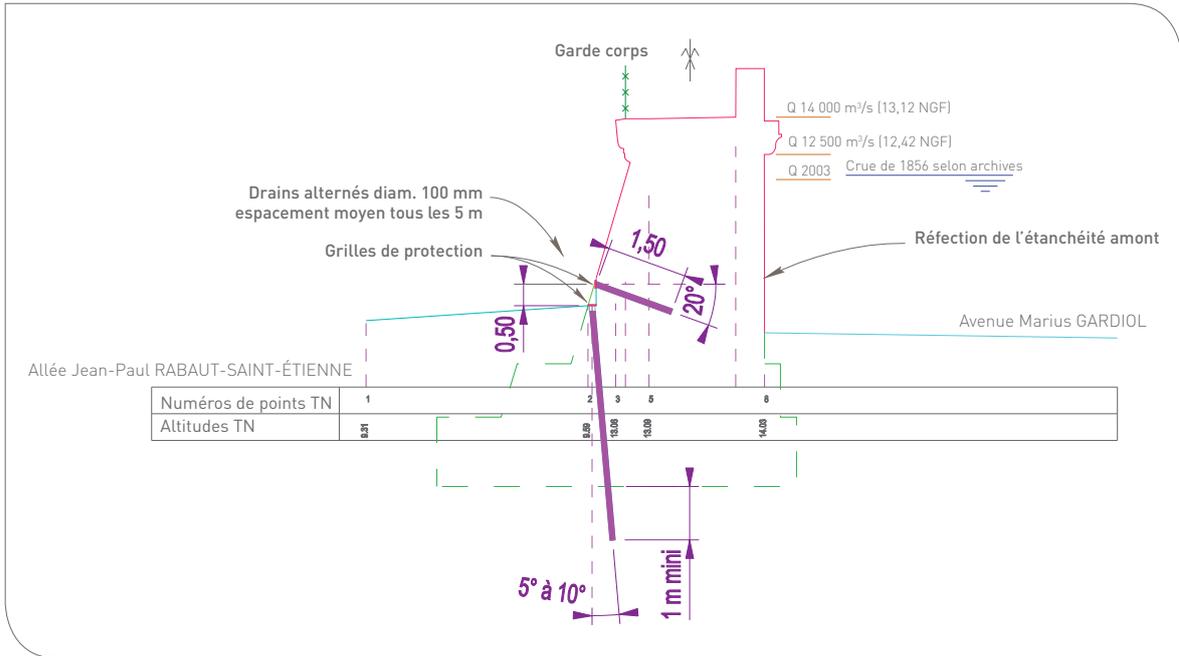


Schéma de principe des travaux de la digue de la Banquette (source ISL [R 68])

Les deux portes métalliques ont été construites dans les années 1950 et sont venues se substituer au système de batardage qui existait auparavant. C'est sans doute la veille hydrologique du XX^e siècle qui a amené les Ingénieurs de l'époque à réaliser des portes calés 2 mètres en-dessous de la crête de la digue diminuant très localement le niveau de protection. En décembre 2003, la revanche au droit des portes n'était que de 20 cm.

Sur les deux portes métalliques, les travaux ont consisté en :

- Le démontage des anciennes portes et la pose de nouvelles portes métalliques,
- Le renforcement des appuis latéraux,
- Réalisation d'une coupure étanche en béton en fondation.

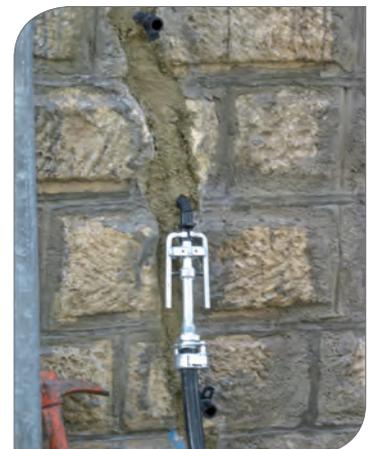
Les travaux sur la digue de la Banquette et le rehaussement des portes métalliques se sont déroulés en 2009 (cf. photos ci-après).



Forage de drains sur le parement aval de la digues



Changement et rehaussement de la porte de Beaugard



Injections de fissures traversantes

Sur la digue de la Vierge, les travaux consistent en :

- La suppression de toute végétation dans l'emprise de l'ouvrage,
- La création d'une piste de pied en amont de l'ouvrage (l'aval étant accessible),
- La reprise de l'étanchéité du parement amont (rejointoiement, enduit, colmatage des fissures),
- Pour garantir la stabilité, un épaulement aval des murs par un remblai sur une base drainante, jusqu'à 0,9 m sous le niveau de la crête.

Le schéma de principe des travaux sur la partie aval de la digue de la Vierge figure ci-dessous :

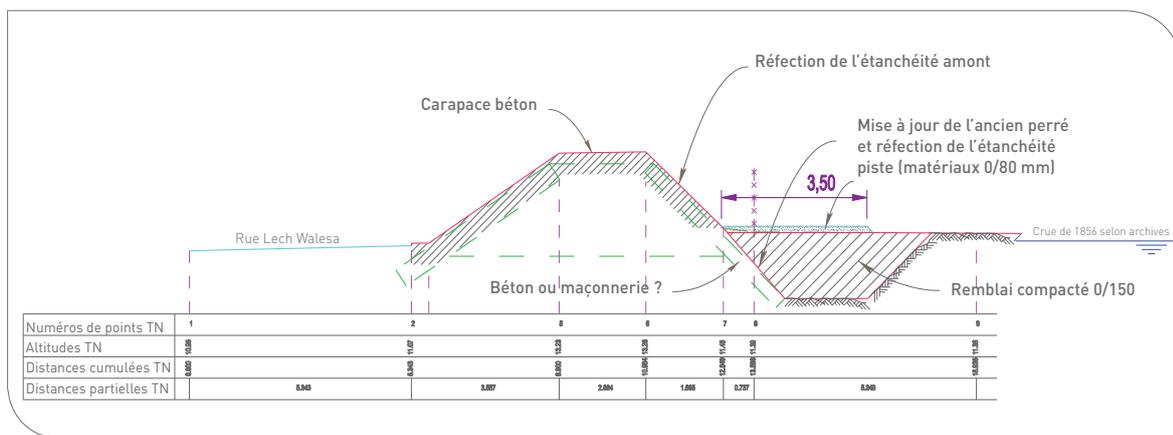


Schéma de principe des travaux sur la digue de la Vierge [R 68]

La digue du Musoir est déversante pour la crue exceptionnelle. Dans le programme de sécurisation, il est prévu de rehausser ce tronçon à la cote millénaire. Dans l'attente, un renforcement provisoire à la surverse a été réalisé au droit des secteurs déversant pour la crue millénaire.

Les travaux préconisés consistent en :

- La suppression de la végétation dans l'emprise de l'ouvrage et la création d'une piste en amont,
- Les fouilles et le remblaiement pour la mise à jour du perré enterré,
- Le rejointoiement du perré sur le talus,
- Le renforcement à la surverse provisoire par une couche d'enrobé sur l'aval du tronçon,
- La création d'un accès au pied amont depuis la crête.

Les travaux sur la digue de la Vierge et du Musoir se sont déroulés en 2011 (cf. photos page suivante).



Digue de la Vierge – reprise de l'étanchéité du parement amont

16.2.5. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX

Le rehaussement des deux points bas précités a été intégré dans l'état initial compte tenu de leur caractère non structurel. En effet, les portes métalliques, bien que plus basses que la digue, étaient doublées d'un système de batardage allant jusqu'à la crête de la digue ; la rehausse des portes a simplement permis de moderniser ce système d'obturation.

La reconstruction du parapet démolé a été logiquement assimilée à une remise en état de la digue.

Les travaux, ne modifiant pas les caractéristiques géométriques et altimétriques des ouvrages, sont sans incidence sur les écoulements.

16.2.6. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Les travaux ont été assimilés à des travaux de grosses réparations non soumis au régime des autorisations/déclarations. Ils ont fait l'objet d'un porté à connaissance conformément à l'article R 214-18 du code de l'environnement. Le dossier a été transmis au Chef de la Délégation Inter-Services (DISE) du Gard le 15 janvier 2008. Il n'a pas fait l'objet d'observations.

16.2.7. PLANNING DES TRAVAUX

Les travaux sur la digue de la Banquette ont eu lieu de l'automne 2008 au printemps 2009.

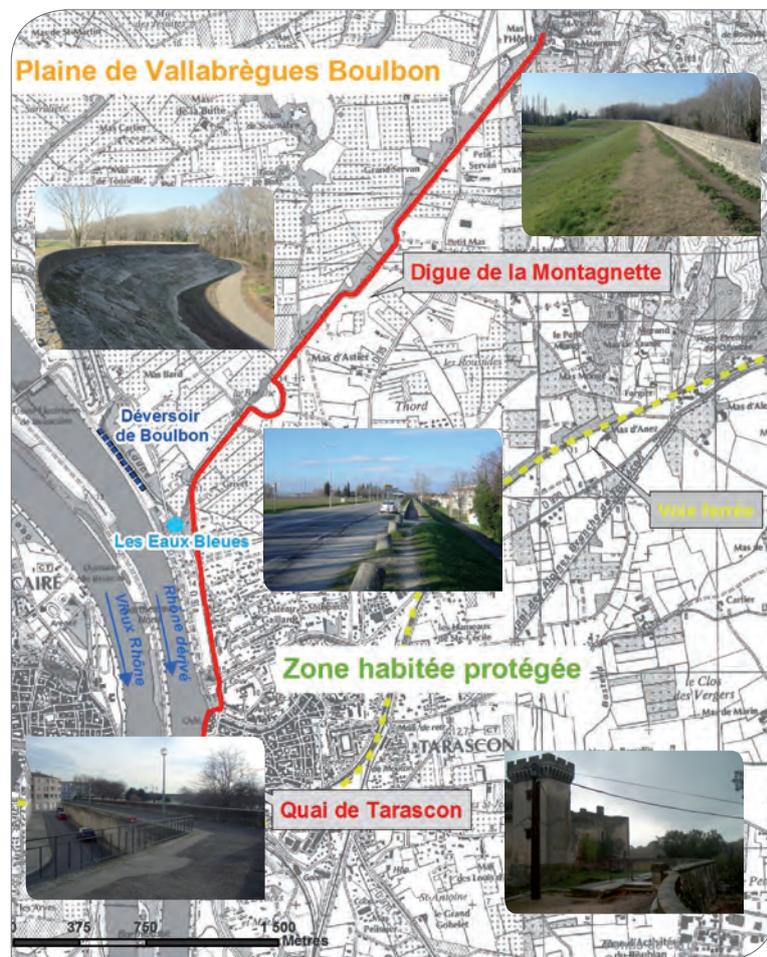
Les travaux sur la digue de la Vierge et la digue du Musoir ont été réalisés durant le printemps 2011.

→ 16.3. QUAIS DE TARASCON ET DIGUE DE LA MONTAGNETTE

16.3.1. PÉRIMÈTRE DE L'OPÉRATION

L'opération concerne les ouvrages en rive gauche du Rhône suivants :

- La digue de la Montagnette, depuis le massif de la Montagnette située au projeté du Rhône 263 jusqu'à l'amont du château Royal de Provence au PK 267,
- Le mur du Château Royal de Provence du PK 267 au PK 267,3,
- Les quais de Tarascon, du PK267,3 jusqu'au viaduc ferroviaire au PK267,7.



Quais de Tarascon et digue de la Montagnette

16.3.2. POINTS BAS

En traversée de Tarascon, les points bas identifiés sont :

- Le parapet de la digue de la Montagnette le long du RD81,
- L'ancienne culée du pont suspendu sur le Rhône.



Ancienne culée du pont suspendu

Le parapet situé le long du RD81a est calé au-dessus de la crue exceptionnelle, mais ne présente pas de revanche de sécurité suffisante (localement moins de 10 cm pour la crue exceptionnelle).

Le point bas situé au droit de l'ancienne culée du Pont est situé également au-dessus du niveau atteint par la crue exceptionnelle. C'est une partie d'ouvrage "endommagée" qui n'est pas considéré comme faisant partie de l'État initial.

16.3.3. DIAGNOSTIC ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

La digue de la Montagnette, qui est une digue de 2^{ème} rang depuis les aménagements de la CNR dans les années 1970, est un ouvrage ancien (la première levée de terre recensée remonte au moins au XV^e siècle). De nombreuses brèches, y ont été occasionnées lors des grandes crues du milieu du XIX^e siècle. On note notamment la brèche de 1856, qui fut dramatique pour Tarascon.



Brèches historiques et anciens bras du Rhône (source BRLi [R 70])



Napoléon III en visite à Tarascon après la crue de mai 1856 (© Ville de Tarascon)

Les quais de Tarascon et la digue de la Montagnette ont été intégrés dans le périmètre de compétences du SYMADREM en 2005. Préalablement à cette intégration, la commune de Tarascon avait lancé en 2005, une étude de diagnostic de la digue de Montagnette et des quais de Tarascon (hors Château). L'étude [R 69] a montré que la stabilité des ouvrages était assurée pour une crue exceptionnelle du Rhône (14 160 m³/s à Beaucaire), mais que les deux digues présentaient un certain nombre de caractéristiques susceptibles de les rendre vulnérables, qui étaient :

En ce qui concerne les quais de Tarascon :

- La mauvaise étanchéité de la digue,
- La présence d'une zone de faiblesse au droit du massif en béton en amont du pont ferroviaire avec la présence vraisemblable d'une canalisation traversante,
- La présence d'arbres et de trous de souche sur le talus aval.

En ce qui concerne la digue de la Montagnette :

- Le vieillissement du perré en béton et en maçonnerie du talus amont,
- La présence de nombreux terriers d'animaux fouisseurs sur le talus aval,
- La présence de zones décomprimées et de points bas de la crête de la digue au droit des anciennes brèches et des zones de transition digue/brèches.

À ce diagnostic s'ajoutent les désordres observés au droit du Château Royal de Provence lors de la crue de décembre 2003 :

- Deux communications avec le fleuve en crue ont provoqué des remontés d'eau à l'intérieur du château,
- Une porte donnant accès direct au fleuve a dû être fermée en urgence (blocs et matériaux divers, et batardeau en bois) pour éviter des entrées d'eau.

Dans le cadre du Plan Rhône, un diagnostic complémentaire a été établi par BRLI [R 70], en examinant les divers mécanismes possibles de rupture (cf. chapitre "études de diagnostic et de conception des ouvrages). Les conclusions de cette étude sont les suivantes :

En ce qui concerne la rupture par surverse, à l'exception des points bas singuliers (passages batardables sur la digue de la Montagnette, ancienne culée du pont routier sur les Quais), aucun déversement n'est identifié jusqu'à la crue millénale. Pour cette crue, plus de 880 ml de digue montrent une revanche comprise entre 0 et 40 cm (généralement au minimum de 30 cm).

Pour les autres crues inférieures, il n'y a pas de déversement en parties courantes, seuls les passages bas singuliers déversent en l'absence de batardage.

En ce qui concerne la rupture par érosion externe, les conclusions sont :

- Une très faible sensibilité de la digue de la Montagnette face à ces phénomènes, du fait de la combinaison de vitesses d'écoulement limitées en pied (< 0.5 m/s) et du parement béton en face amont et de sa bêche de pied (et ce malgré son état de dégradation marqué),
- L'absence de risque sur le périmètre du château, fondé sur le rocher de bonne qualité,
- Une très faible sensibilité des quais de villes, du fait soit de leurs fondations rocheuses, soit de la configuration particulière des ouvrages montrant des fondations situées en profondeur sous de fortes épaisseurs de dépôts en pied amont.

En ce qui concerne la rupture par érosion interne, les conclusions sont les suivantes :

- **Digue de la Montagnette :**

TYPE DE TRONÇON	Q50	TYPE 2003	TYPE 1856	MILLÉNALE
Section courante (avec ou sans horizon mou en fondation)	Très faible à faible	Faible à moyen	Faible à moyen	Moyen à fort
Paléo-chenal	Moyen	Moyen	Fort	Fort
Ancienne brèche	Très faible	Faible	Faible	Faible
Ancienne brèche + paléo-chenal	Moyen	Moyen	Fort	Fort
Linéaire accolé au remblai CNR	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible

Risque de rupture par érosion interne sur la digue de la Montagnette (source BRLI [R70])

- **Château et Quais :**

La nature des fondations du château et de ses murs d'enceintes, ainsi que la qualité de ces ouvrages maçonnés, ne soulèvent pas d'inquiétudes s'agissant des risques d'érosion interne. L'état moyen des joints du parement amont des quais et la perméabilité des remblais en leur sein aboutissent à un niveau d'aléa Faible à Fort (selon les crues considérées) pour ces ouvrages face aux phénomènes d'érosion interne. L'extrémité des quais, à la jonction sur l'ouvrage RFF, a été jugé plus problématique au regard de sa faible épaisseur, des désordres y étant relevés (affaissement visible), et de la conduite traversante en profondeur. Le potentiel d'aléa de rupture par phénomènes d'hydraulique interne en découlant est ainsi supérieur au reste du linéaire (jugé critique pour la millénale).

En ce qui concerne l'aléa mécanique, les conclusions sont :

- **Digue de la Montagnette :**

- La stabilité générale des ouvrages est sensiblement peu influencée par la nature des tronçons considérés pour une même charge hydraulique.
- L'hypothèse d'écoulement en régime permanent aboutit à des facteurs de sécurité particulièrement pessimistes, notamment pour les cas de charges en décroissance. Les niveaux d'aléa qui découlent de ces modélisations restent donc conservatifs, et seront jugés d'un œil critique lors de la poursuite des études pour la conception des dispositions de renforcement de la digue.
- Un point particulier porte sur la stabilité du muret sommital de la digue : il est dans son ensemble peu sollicité, uniquement la crue millénale venant mettre en haut le pied du muret ; seul le muret situé sur le tronçon bordé par le remblai CNR est jugé comme présentant un risque plus prononcé pour la crue millénale, du fait des faibles revanches relevées (de l'ordre de 10 cm).

Il ressort globalement un risque très faible pour la crue cinquantennale, faible pour la crue type 2003, moyen pour la crue type 1856 et fort pour la crue millénale.

- **Château Royal de Provence :**

Le point singulier en terme de résistance mécanique concerne la poterne du Rhône : bien que l'ouvrage de batardage installé en 2003 semble relativement solide et en bon état, l'absence de données précises sur sa constitution et sur son mode de fondation et d'exécution incite à retenir une sensibilité plus forte de cette partie d'ouvrage pour les crues les plus importantes (crue millénale et crue de référence).

Le reste du périmètre du château ne soulève en revanche pas d'inquiétude.

- **Quais de Tarascon :**

La stabilité d'ensemble de ces ouvrages et les phénomènes mécaniques locaux (ouvertures de fissures et cisaillement interne des maçonneries) ont été expertisés concluant au bon comportement des quais lors des crues les plus importantes, et au faible niveau d'aléa associé. Découlant des constats déjà faits plus haut vis-à-vis des écoulements internes, le tronçon d'extrémité aval présente, sur une quinzaine de mètres, un degré d'aléa plus élevé sur le plan de la rupture mécanique intrinsèquement liée ici aux phénomènes d'hydraulique interne.

L'analyse sur les différents mécanismes de rupture et pour différents scénarii de crue permet de donner le risque de rupture de l'ensemble du tronçon.

TRONÇON	Q50	TYPE 2003	TYPE 1856	MILLÉNALE
Digue de la Montagnette	Moyen	Moyen	Fort	Fort
Château Royal de Provence	Faible	Faible	Moyen	Fort
Quais de Tarascon	Moyen	Moyen	Fort	Critique

Synthèse du risque de rupture global (source BRLi [R 70])

Le risque de rupture global est donné ici en fonction du risque de rupture du point le plus faible du tronçon (passage des paléo-chenaux sur la digue de la Montagnette, poterne du Château Royal de Provence, extrémité aval des Quais) et en supposant les passages batardables fermés.

16.3.4. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

L'ensemble des dispositions constructives est détaillé dans le rapport établi par BRLi [R 70].

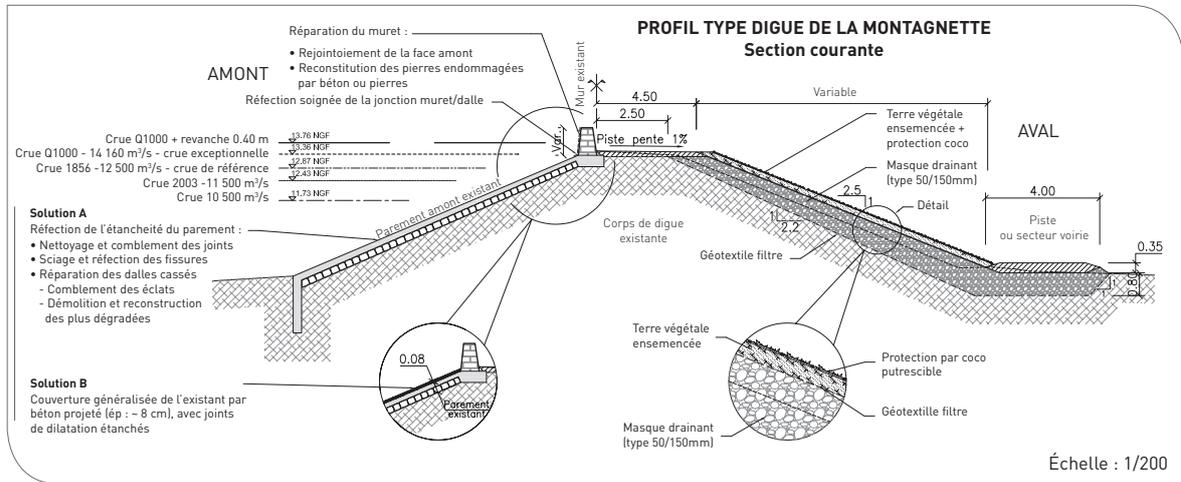
Pour la digue de la Montagnette, les principes retenus pour les sections courantes, où l'emprise foncière n'est pas contrainte par du bâti, les travaux retenus consistent en :

- La réfection de l'étanchéité du parement amont selon 2 techniques :
 - Solution A : nettoyage et décapage des joints, rejointement des dalles avec un produit d'étanchéité, reconstitution des dalles endommagées (par coffrage ou béton projeté),
 - Solution B : par couverture du parement existant par un béton projeté avec des fibres métalliques incorporées disposé sur une faible épaisseur (inférieure à 10 cm).
- Le confortement du parement aval par mise en œuvre d'un masque en matériaux drainants, type petits enrochements 50/150 mm, avec une pente de talus de 2.5/1 disposé sur un géotextile filtrant,
- L'élargissement de la crête de digue à 4,50 m avec une pente de 1% dirigée vers le parement aval,
- L'établissement continu d'une piste d'exploitation en pied aval de l'ouvrage de 4 m de large,
- Le déplacement des réseaux implantés, sur et dans la digue,
- La réfection de la face amont du muret par rejointement des pierres constitutives,

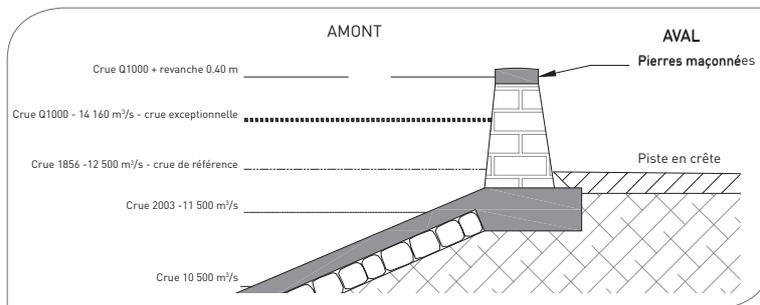
- La rehausse du muret sommital dans le cas où le muret ne permet pas d'atteindre une revanche de 40 cm par rapport à la cote de la crue millénaire (22,5 % de la digue concernés) soit :
 - Lors d'une rehausse limitée à moins de 30 cm : par rehausse simple du sommet du muret par ajout d'un ou plusieurs rangs de pierre maçonnées,
 - Lors d'une rehausse supérieure à 30 cm : par réalisation d'une surépaisseur du muret.

Il est à rappeler que cette rehausse du muret, qui est nécessaire le long du RD81, ne remet pas en cause le fonctionnement hydraulique du secteur, les ouvrages disposant d'une altimétrie supérieure ou égale à la cote de la crue millénaire.

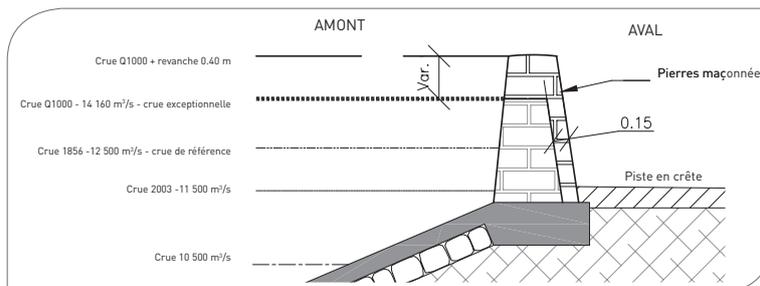
Le schéma de principe des travaux figure ci-dessous :



Profil type de la digue de la Montagnette (section courante) (source BRLi [R 70])

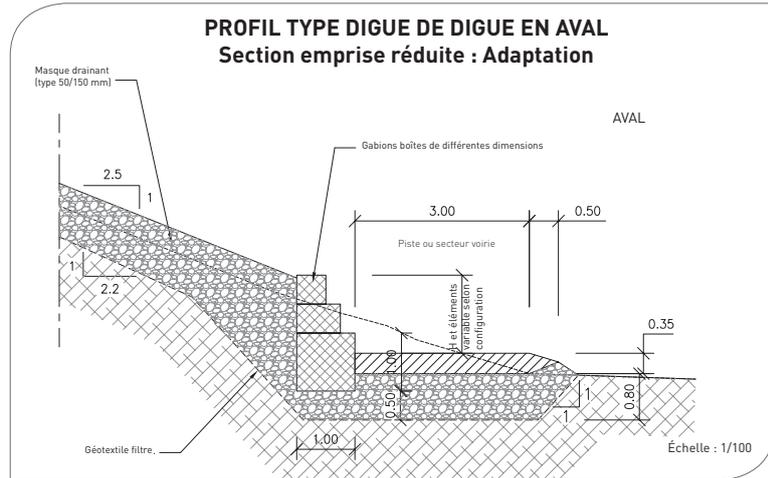


Rehausse du muret sommital inférieure à 30 cm (source BRLi [R 70])



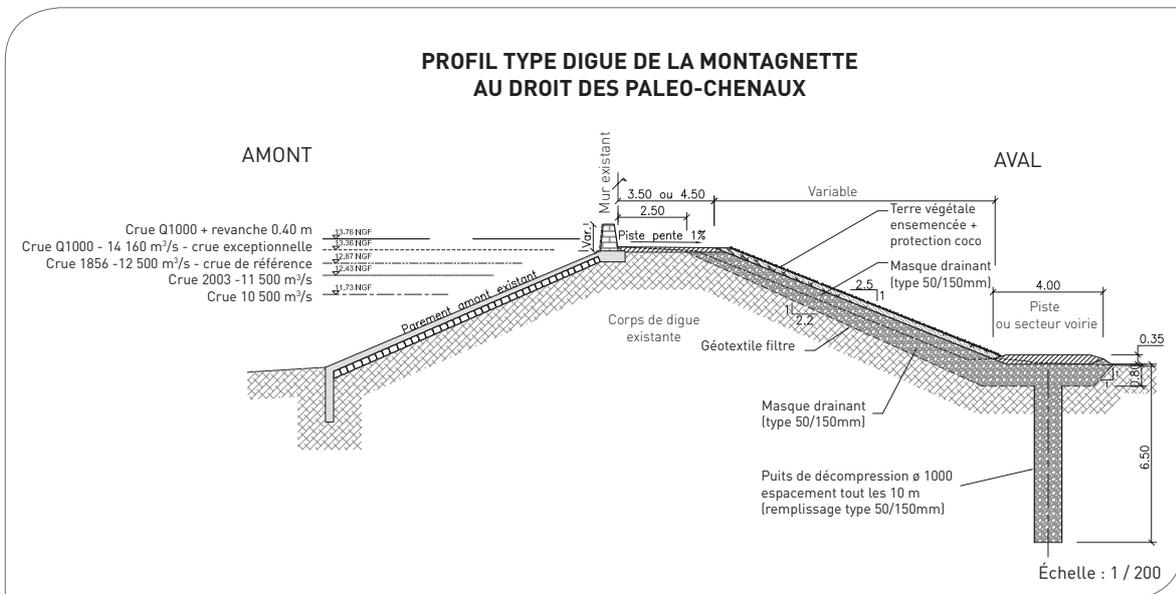
Rehausse du muret sommital supérieure à 30 cm (source BRLi [R 70])

Lorsque les contraintes d'emprise sont trop préjudiciables, le parement aval est aménagé par un raidissement du talus avec mise en œuvre de mur (d'une hauteur comprise entre 0,50 et 1,50 m) en éléments gabions, associé éventuellement à un raccourcissement de la piste de pied de 4,0 m à 3,5 m (cf. figure ci-dessous) :



Aménagement du pied aval en cas de contraintes d'emprise fortes (source BRLi [R 70])

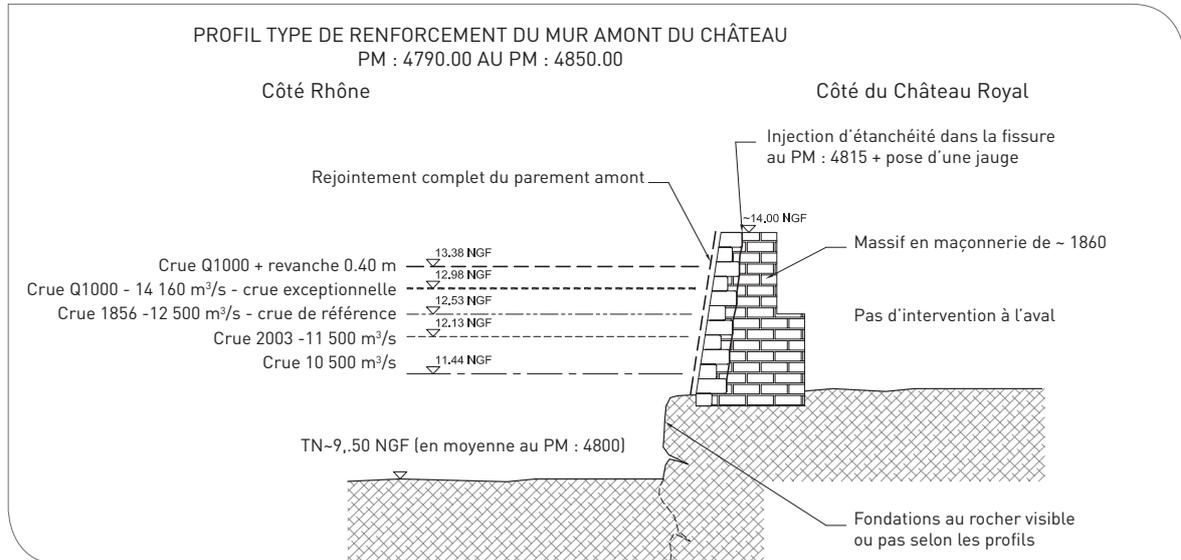
Pour les sections au droit des anciens chenaux du Rhône, qui ont fait l'objet de brèches notamment lors des crues historiques de novembre 1840 et mai 1856, il est prévu des travaux complémentaires pour assurer la dissipation des sous-pressions de pied générées en crue et le soulèvement du pied aval de la digue. Ces travaux consistent en la réalisation de puits de décompression disposés sur une seule ligne parallèle à la digue, située au milieu de la bêche de pied du masque drainant aval. Ils sont descendus jusqu'à une profondeur de 6,5 m par rapport au terrain aval, pour recouper sur au minimum 1,5 m les sables des anciens chenaux profonds. Ils présenteront un diamètre de 1000 mm et seront remplis de matériaux autofiltrant et drainant.



Réalisation de puits de décompression au droit des paléochenaux (source BRLi [R 70])

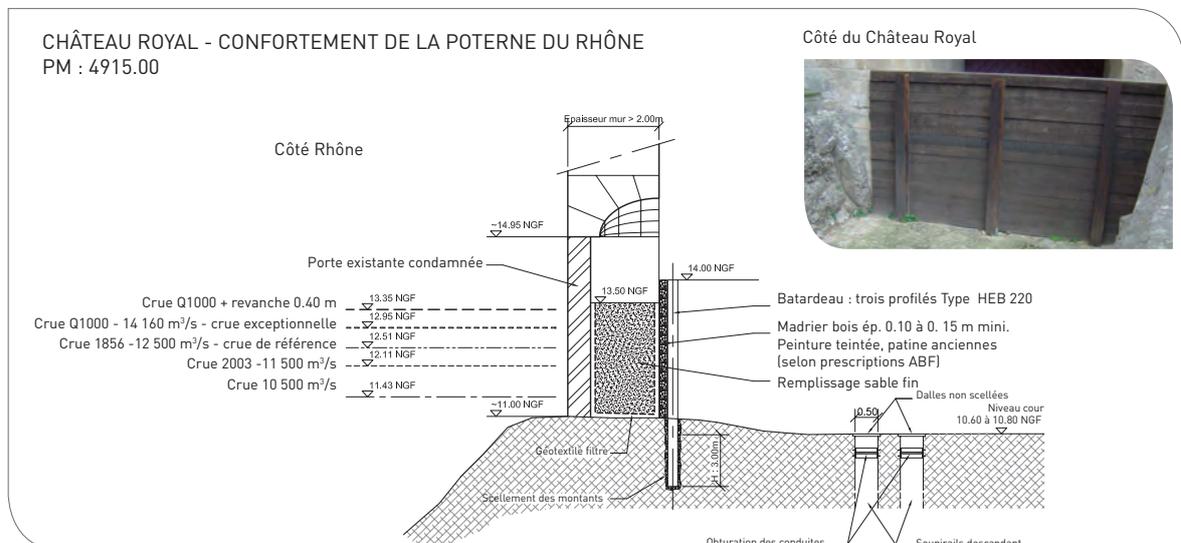
Pour le Château Royal de Provence, il est prévu sur le mur d'enceinte :

- Le rejointoiement complet des murs, sur toute leur hauteur visible en face amont, y compris dans les zones en surplomb du Rhône (hauteur par rapport au fleuve supérieure à 10 m),
- Le colmatage de la fissure verticale sur toute sa profondeur et toute sa hauteur, avec remplissage par un matériau type mastic élastique injecté et recouvert d'un mortier, et mise en place, côté amont, d'un jauge de mesure en 3 dimensions (ouverture, glissement, rejet dans la profondeur).



Confortement du mur amont du Château (source BRLi [R 70])

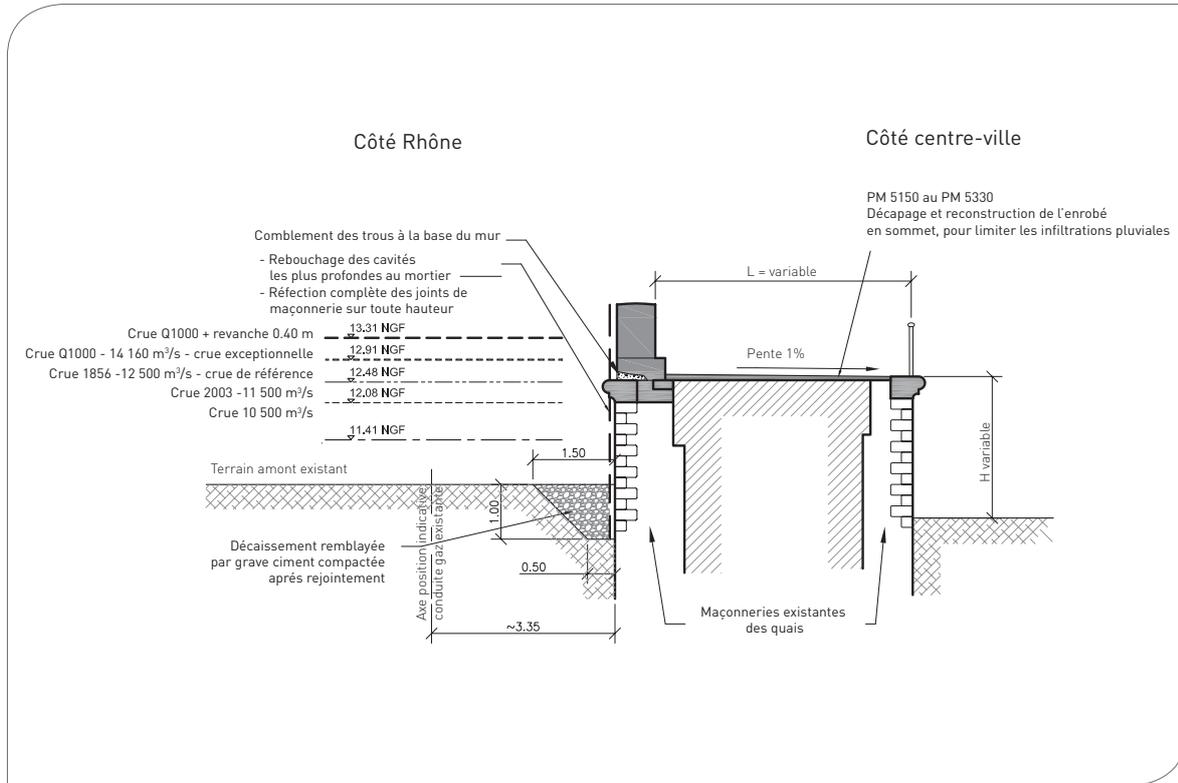
Au droit de la poterne, selon la demande de l'Architecte des Bâtiments de France, il est prévu le même principe que la protection actuelle avec une profondeur de fiche de 3 mètres. Il est également prévu le colmatage de deux soupiraux et de l'ancienne alimentation des douves.



Coupe-type du confortement de la poterne (source BRLi [R 70])

Au droit des quais de Tarascon, il est prévu des travaux de :

- Rejointoiement des maçonneries amont, étendu à 1 mètre de profondeur en pied,
- Réfections locales des maçonneries,
- Colmatage des trous visibles à la base des parapets de sommet,
- Réfection de la crête.



Coupe-type du confortement des Quais (source BRLi [R 70])

Un point particulier concerne la rehausse de la culée de l'ancien pont routier sur le Rhône (rehausse d'1,10 m pour rejoindre le niveau des parapets actuels). Cette rehausse est faite en pierres maçonnées en cohérence avec le reste des quais dans cette zone.

Juste en amont du raccordement du quai avec le viaduc ferroviaire, il est prévu de traiter simultanément le franchissement de la conduite traversante (érosion interne) en profondeur et la réfection du corps d'ouvrage en lui-même.

16.3.5. AMÉLIORATION DE LA SÉCURITÉ APPORTÉE PAR LES TRAVAUX

Une analyse similaire à celle présentée précédemment sur la probabilité de rupture du tronçon étudié a été menée pour la situation correspondant aux travaux réalisés.

TRONÇON	Q50	TYPE 2003	TYPE 1856	MILLÉNALE
Digue de la Montagnette	Très faible	Très faible	Très faible	Faible
Château Royal de Provence	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible
Quais de Tarascon	Très faible	Très faible	Très faible	Faible

Synthèse du risque de rupture global état projet (source BRLi [R 70])

Le risque de rupture est fortement diminué après travaux, en particulier par érosion interne il est très faible pour toutes les gammes de crue jusqu'à la millénaire, et pour l'aléa mécanique il est très faible pour toutes les crues jusqu'à la crue de référence et faible pour la crue millénaire.

16.3.6. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX

Les deux point bas étant calés au-dessous de la crue exceptionnelle et l'impact hydraulique étant estimé que jusqu'à la crue exceptionnelle, on peut conclure que les travaux sont sans incidences jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône.

16.3.7. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Les travaux ont fait l'objet d'un porté à connaissance conformément à l'article R 214-18 du code de l'environnement.

16.3.8. PLANNING DES TRAVAUX

Le démarrage des travaux est prévu en 2013.

→ 16.4. SÉCURISATION DE LA SURVEILLANCE ET DES INTERVENTIONS EN TEMPS DE CRUE ET SUPPRESSION DES OUVRAGES TRAVERSANTS HORS SERVICE

16.4.1. PÉRIMÈTRE DE L'OPÉRATION

L'opération concerne les ouvrages suivants :

- La digue du Petit Rhône rive droite du PK 315,5 au PK 327,0,
- La digue du Petit Rhône rive gauche du PK 307,5 au PK 329,5,
- La digue du Grand Rhône rive droite du PK 289,0 au PK 313,0,
- La digue du Grand Rhône rive gauche du PK 294,5 au PK 316,5.



Étendue de l'opération des travaux de carrossabilité

16.4.2. DIAGNOSTIC ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

La circulation sur les digues et l'accès aux engins en tous points de la digue et par tous temps est un facteur capital de la surveillance et des interventions en période de crues.

Elle permet d'une part d'optimiser les opérations de surveillance et d'autre part d'intervenir dans les meilleurs délais, en cas de détection de désordres.

En ce qui concerne la notion de circulation sur les digues, on peut considérer trois types de digues :

- Les digues carrossables,
- Les digues circulables,
- Les digues non circulables.

Les digues carrossables sont des digues comportant en crête, une piste revêtue d'une couche de grave non traitée. Elles sont donc circulables par temps sec et par temps de pluie.

Les digues circulables sont des digues comportant en crête, une piste en terre non revêtue de grave non traitée. Elles sont circulables par temps sec mais non circulables par temps de pluie.

Les digues non circulables sont des digues où la circulation n'est pas possible par temps sec et par temps de pluies.

Sur les 210 km de digues fluviales gérées par le SYMADREM, la répartition entre ces trois types de digue était jusqu'à réalisation de cette opération :

- 80 km de digues carrossables (38 %),
- 70 km de digues circulables (33 %),
- 60 km de digues non circulables (29 %).

L'état de la crête de digue figure ci-dessous :



État des pistes d'exploitation en crête de digue avant intervention

Par ailleurs, les digues sont traversées par de nombreuses canalisations. On estime à environ 400 ouvrages traversants sur les 210 km de digues fluviales.

Parmi ces ouvrages, le SYMADREM a estimé le nombre d'ouvrages traversants hors service à 15 % (environ 60). Ces ouvrages hors service ne sont plus entretenus et par conséquent constituent autant de points de faiblesses dans les digues.

Sans attendre la réalisation complète du programme de sécurisation, il a été proposé de mettre en œuvre, une opération dont les principaux objectifs sont de :

- Rendre carrossable les digues fluviales du SYMADREM, dont le confortement n'est pas prévu dans le CPIER PLAN RHONE 2007/2013 pour faciliter la surveillance et les interventions en période de crues,
- Mettre en demeure les propriétaires d'ouvrages traversants hors service, de remettre en état leur ouvrage et en cas de non intervention de ces derniers, autoriser le SYMADREM à les supprimer.

16.4.3. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

Les travaux de carrossabilité ont consisté en :

- Le décapage sur une épaisseur de 30 cm,
- La pose d'un géotextile anti-contaminant,
- La réalisation d'une couche de base de 20 cm d'épaisseur en GNT 0/60,
- La réalisation d'une couche de finition de 10 cm d'épaisseur en GNT 0/22.

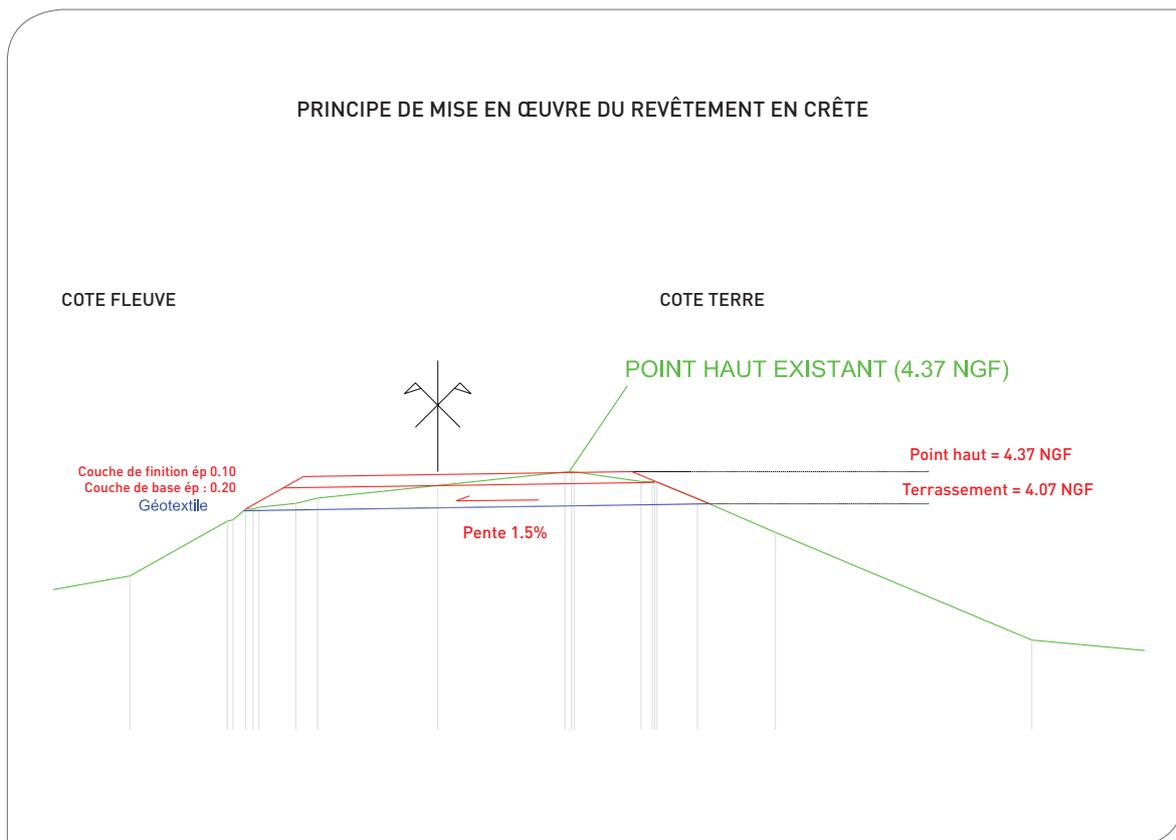


Schéma de principe des travaux de carrossabilité (source SAFEGE [R 89])

Les photos illustrant ces travaux figurent ci-dessous :



Chantier de carrossabilité

Les travaux de suppression des 45 ouvrages traversants hors service ont consisté en :

- L'ouverture de la digue et de sa fondation,
- La démolition de l'ouvrage en totalité,
- La reconstitution du corps de digue et de la fondation

Le schéma de principe des travaux et les photos illustrant ces travaux figurent ci-dessous :

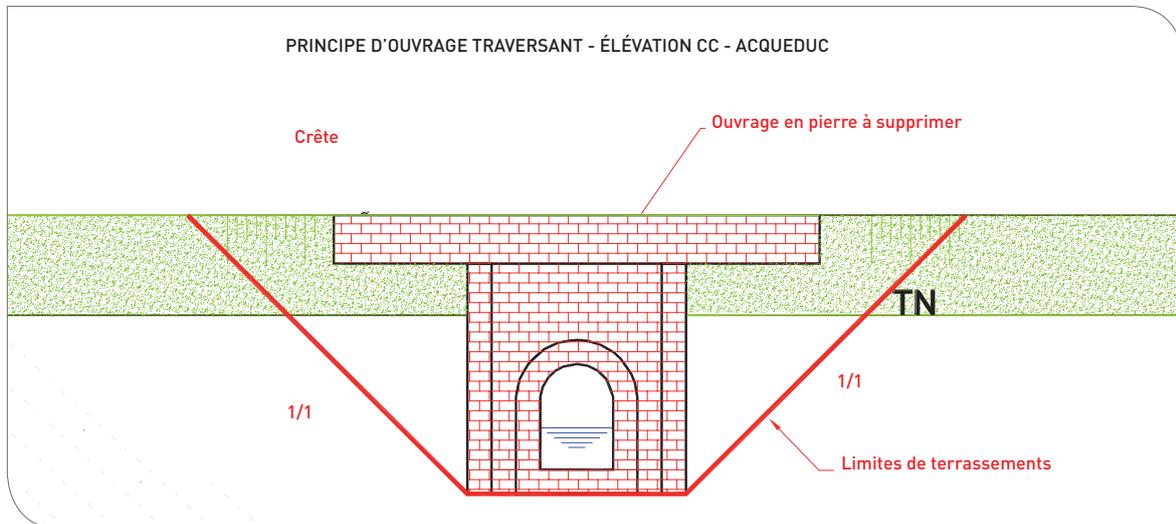


Schéma de principe des travaux de suppression des ouvrages hors service (source SAFEGE [89])



Mas de Rey – suppression d'un ouvrage traversant hors service et reconstitution de la digue

16.4.4. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX

La cote des ouvrages étant inchangée, les travaux n'ont aucun impact hydraulique sur les écoulements.

En revanche, la substitution de la couche de crête de 30 cm en limons par une couche de 30 cm en grave non traitée pouvait occasionner des risques d'érosion interne. Ces risques ont été évalués par le Bureau d'Étude et ont été considérés comme identiques voire plus faibles qu'avant travaux.

16.4.5. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Les travaux ont été assimilés à des travaux de grosses réparations non soumis au régime des autorisations/déclarations.

Ils ont fait l'objet d'un porté à connaissance conformément à l'article R 214-18 du code de l'environnement.

Le dossier a été transmis le 30 septembre 2009 respectivement au Préfet de Région Provence Alpes Côte d'Azur et Préfet des Bouches-du-Rhône et au Chef de la Délégation Inter-Services (DISE) du Gard. Il n'a pas fait l'objet d'observations.

16.4.6. PLANNING DES TRAVAUX

Les travaux ont débuté début d'année 2010 et se sont achevés fin d'année 2010.

→ 16.5. RÉPARATION DES QUAIS D'ARLES (TRANCHES 5 ET 6) ET CONTINUITÉ DE LA PROTECTION EN AMONT ET EN AVAL DES QUAIS D'ARLES

16.5.1. PÉRIMÈTRE DE L'OPÉRATION

L'opération concerne les ouvrages suivants :

En rive droite du Grand Rhône :

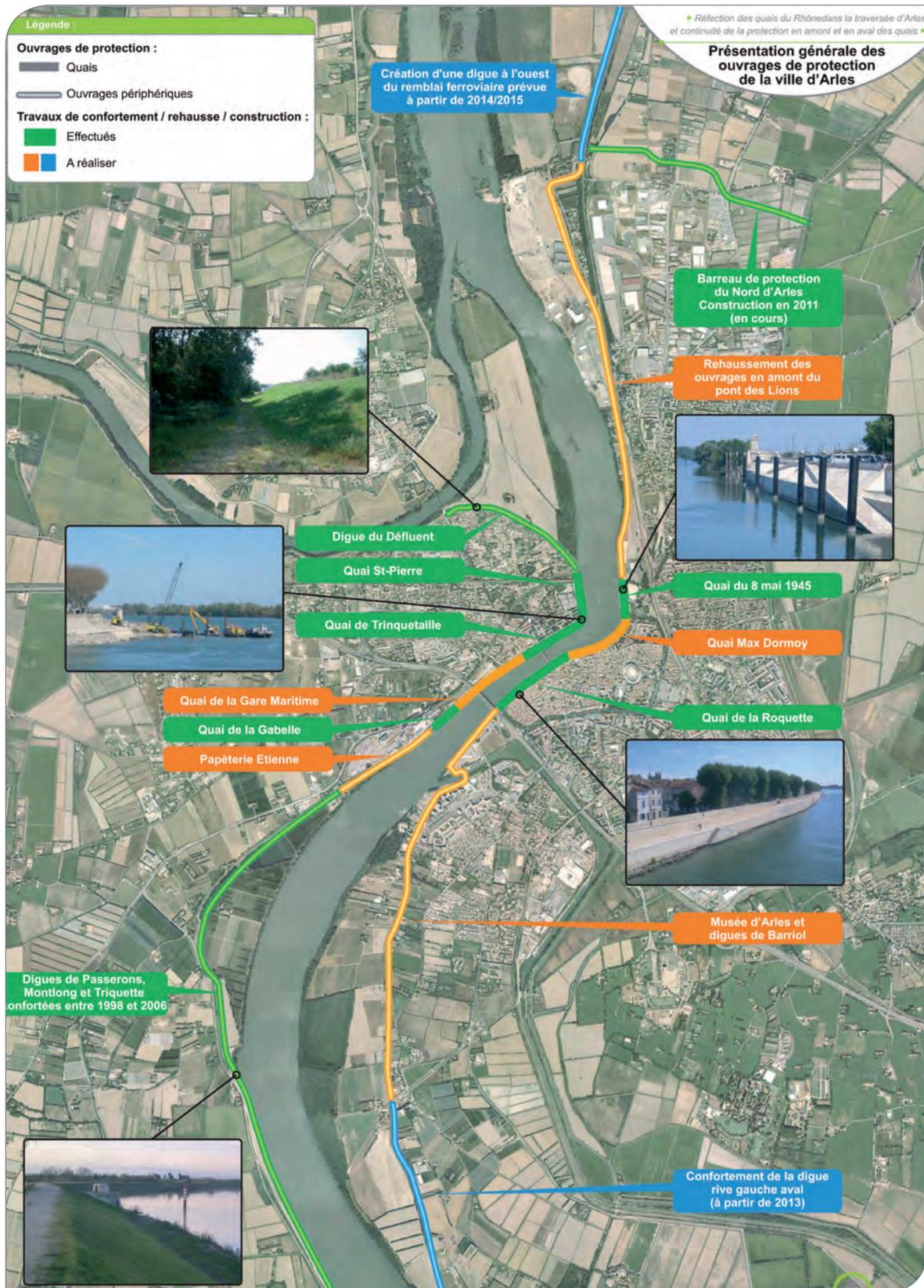
- Du PK 282,5 au PK 283,25 : le quai de la gare maritime,
- Du PK 283,45 au PK 284,25 : la digue des papeteries Étienne

En rive gauche du Grand Rhône :

- Du PK 279,0 au PK 280,5 : la digue du mas Molin et SIP d'Arles,
- Du PK 280,5 au PK 281,8 : le remblai ferroviaire Tarascon/Arles,
- Du PK 282,0 au PK 282,35 : le quai Marx Dormoy,
- Du PK 283,0 au PK 283,5 : le remblai de l'IRPA (musée Arles Antique),
- Du PK 283,5 au PK 283,7 : l'embouquement de l'écluse d'Arles,
- Du PK 283,7 au PK 286,5 : la digue de Barriol.

La figure page suivante illustre la localisation des travaux :

- Faisant l'objet de la présente opération (trait orange),
- Réalisés dans le cadre des tranches 0 à 4 de réparation des quais d'Arles (trait vert plein),
- Ayant fait l'objet d'opérations déjà réalisées (trait vert dégradé),
- Faisant l'objet d'opérations non encore réalisées (trait bleu).



Réparation des quais d'Arles (tranches 5 et 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais

16.5.2. DIAGNOSTIC ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

16.5.2.1. QUAIS MARX DORMOY ET QUAI DE LA GARE MARITIME

La problématique du quai Marx Dormoy et du quai de la gare maritime est identique à celle des autres quais.

16.5.2.2 PROTECTION EN RIVE GAUCHE DU GRAND RHÔNE COMPRISE ENTRE LA DIGUE DU MAS MOLIN ET LE PONT DES LIONS

En rive gauche du Grand Rhône du PK 279,0 au PK 281,8, la protection est assurée successivement de l'amont vers l'aval :

- Un remblai en graviers qui se raccorde au remblai ferroviaire au droit de la draille du Mas Molin,
- Le Site Industriel-Portuaire d'Arles,
- Le remblai ferroviaire de la ligne Paris/Lyon/Marseille,
- Un muret discontinu en béton le long du remblai ferroviaire.

La gestion de ces ouvrages est assurée par la CNR et RFF.

L'absence d'une protection contre les crues et d'un gestionnaire clairement identifiée sur ce tronçon du Rhône situé au droit de zone à enjeux sensibles et dans le contexte juridique du décret du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques, pose problème.

Par ailleurs, on note sur ce tronçon le point très sensible du remblai du Mas Molin en amont de la trémie du même nom, qui est un remblai, très exposé au risque de brèche, situé au sud de la digue Nord d'Arles et dont la rupture pourrait avoir des conséquences catastrophiques pour les quartiers au Nord d'Arles.



Remblai CNR raccordant le SIP d'Arles au remblai ferroviaire Tarascon/Arles (Digue du Mas Molin)

16.5.2.3. PROTECTION EN RIVE GAUCHE DU GRAND RHÔNE COMPRISE ENTRE LE QUAI DE LA ROQUETTE ET LE LIEU-DIT "PRENDS-TÉ-GARDE"

La protection contre les crues est assurée du quai de la Roquette au lieu-dit "Prends-té-Garde" par les ouvrages suivants et les gestionnaires suivants :

- Remblai IRPA (propriété partagée entre CG13, VNF et la commune d'Arles),
- Écluse d'Arles (gestion VNF),
- Embouquement VNF à l'écluse d'Arles (gestion VNF),
- Digue de Barriol (gestion SYMADREM).

L'étude de calage [R 16] a montré que le remblai de l'IRPA et l'écluse d'Arles étaient submergés pour des crues légèrement supérieures à celle de décembre 2003 (les portes de l'écluse étant submergées pour des crues équivalentes à celle de décembre 2003 sans brèche dans le système. Il constitue donc un point bas qu'il convient de rehausser pour éviter, pour des crues supérieures à celle de décembre 2003, le contournement des ouvrages de protection situés en amont ou en aval de ce dernier.

16.5.2.4. DIGUE DES PAPETERIES ÉTIENNE EN RIVE DROITE DU GRAND RHÔNE

La digue traversant les papeteries Étienne et assurant la protection des quartiers de Trinquetaille fait partie du périmètre de compétence du SYMADREM. Elle a été "colonisée" par les canalisations et tous types d'ouvrages destinés à l'exploitation des papeteries Étienne.



Digue des papeteries Étienne (on distingue les canalisations longitudinales le long de l'ouvrage)

Ce tronçon de digue assure le lien entre les quais d'Arles en amont et les digues du Grand Rhône en aval. Le confortement de ce tronçon est primordial pour assurer la cohérence du programme de protection des zones urbanisées de la ville d'Arles.

Les digues du Grand Rhône situées entre Passeront/Montlong et Petite Montlong ont été confortées à la cote identique dans le cadre du programme des invariants. Elles présentent historiquement une cote de submersion élevée (revanche supérieure à 50 cm pour la crue exceptionnelle du Rhône).

16.5.3. IDENTIFICATION DES POINTS BAS

L'étude de calage a permis d'identifier certains points bas listés ci-après :

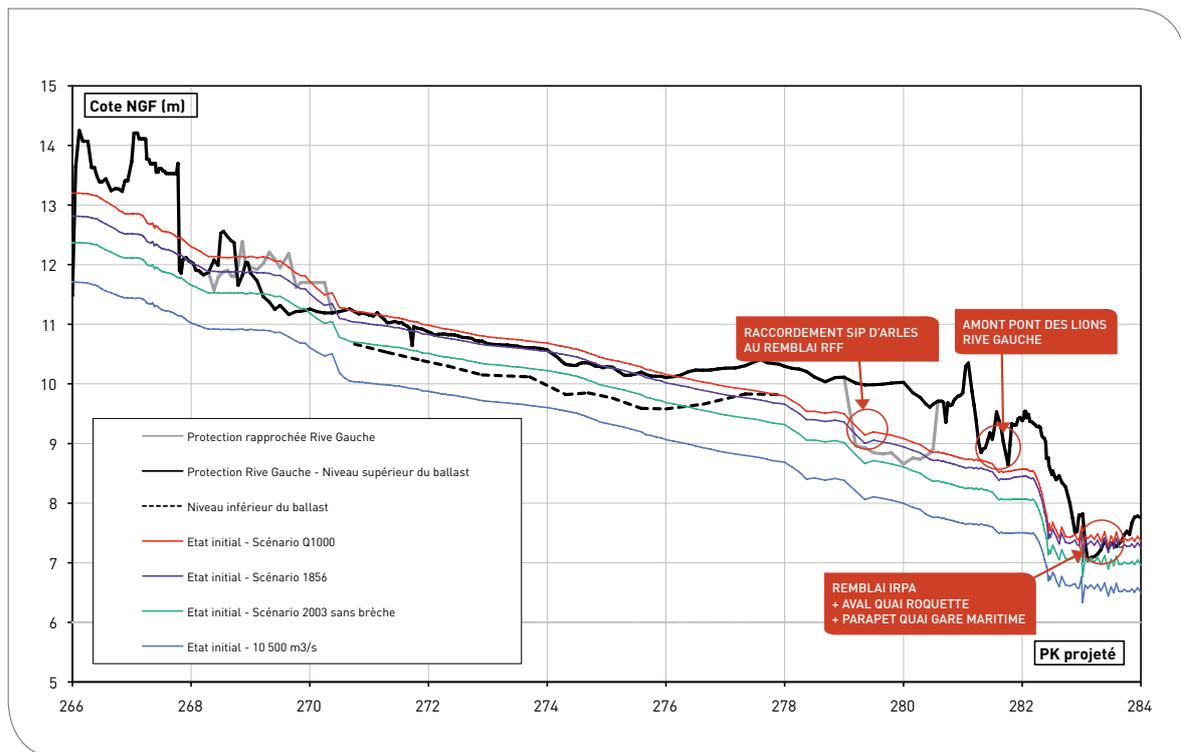
En rive gauche :

- Remblai de raccordement du SIP d'Arles au remblai ferroviaire Tarascon/Arles,
- Route en amont du pont des lions (quai du 8 mai 1945),
- Portes et murs de tête de l'écluse d'Arles,
- Remblai de l'IRPA.

En rive droite :

- Parapet démoli le long du quai de la gare maritime.

Ces points bas sont illustrés dans les figures et photos suivantes :



Identification des points dans la traversée d'Arles rive gauche (source CNR [R 16])



Chemin des ségonnaux en amont du pont des Lions



Écluse d'Arles



Remblai de l'IRPA

16.5.4. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

Tous les ouvrages seront calés à minima au niveau d'eau atteint par la crue exceptionnelle du Rhône après réalisation des aménagements, assortie d'une revanche de 50 cm.

16.5.4.1. TRAVAUX DE CONTINUITÉ DE LA PROTECTION EN RIVE GAUCHE DU GRAND RHÔNE EN AMONT DU PONT DES LIONS

D'amont en l'aval, les travaux consistent en :

- Le confortement de la "digue" du Mas Molin,
- La création d'une digue d'une hauteur inférieure à 1 mètre et calée à $Q_{1000} + 50$ cm le long de l'extrémité Est du SIP d'Arles,
- Le reprofilage du chemin des ségonnaux à la cote atteinte par la crue exceptionnelle et la création d'un parapet à la cote $Q_{1000} + 50$ cm.

Le photomontage figurant ci-dessous illustre les travaux envisagés sur le SIP d'Arles.



Réalisation d'une "diguette" calée à la cote $Q_{1000} + 50$ cm en extrémité Est du SIP d'Arles

Le schéma de principe des travaux envisagés sur le chemin des ségonnaux et le photomontage associé figurent ci-dessous :

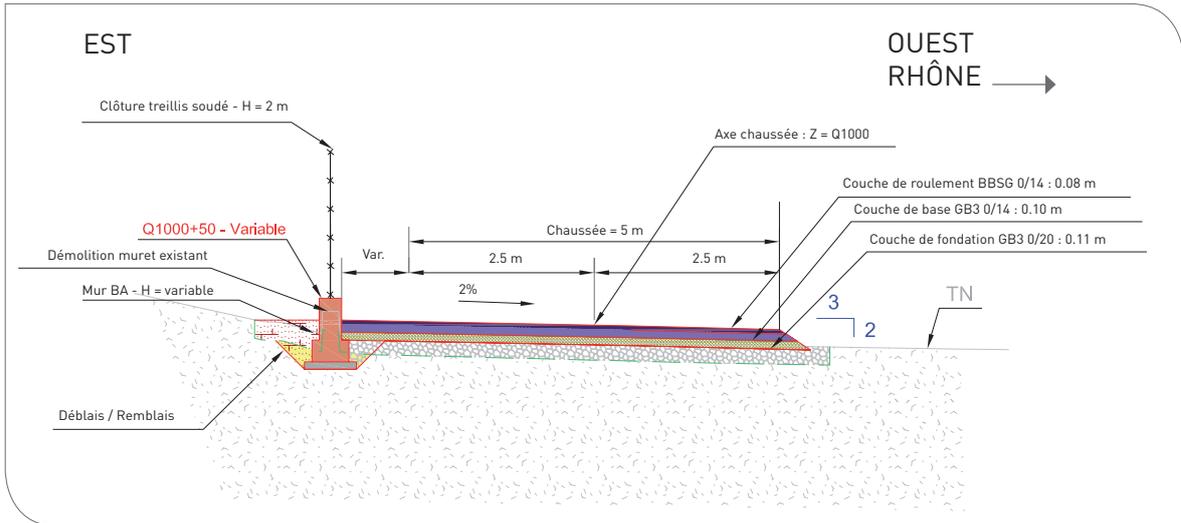


Schéma de principe de rehausse de la digue en amont du pont des Lions (source EGISeau [R 94a])



Reprofilage du chemin des ségonnaux à Q_{1000} et création d'un parapet à $Q_{1000} + 50$ cm

16.5.4.2. TRAVAUX DE CONFORTEMENT DU QUAI MARX DORMOY EN RIVE GAUCHE DU GRAND RHÔNE

Compte tenu de la pente actuelle du quai et de la hauteur, la stabilité au grand glissement n'est pas assurée. Le principe de confortement retenu à l'issue des études d'avant-projet comprend notamment :

- Le confortement de pied du quai par battage de palplanches + tirants d'ancrage,
- La réalisation en partie basse du quai d'un quai bas avec revêtement en maçonneries,
- La réfection des maçonneries sur la partie haute du quai.

Le schéma de principe des travaux figure ci-dessous :

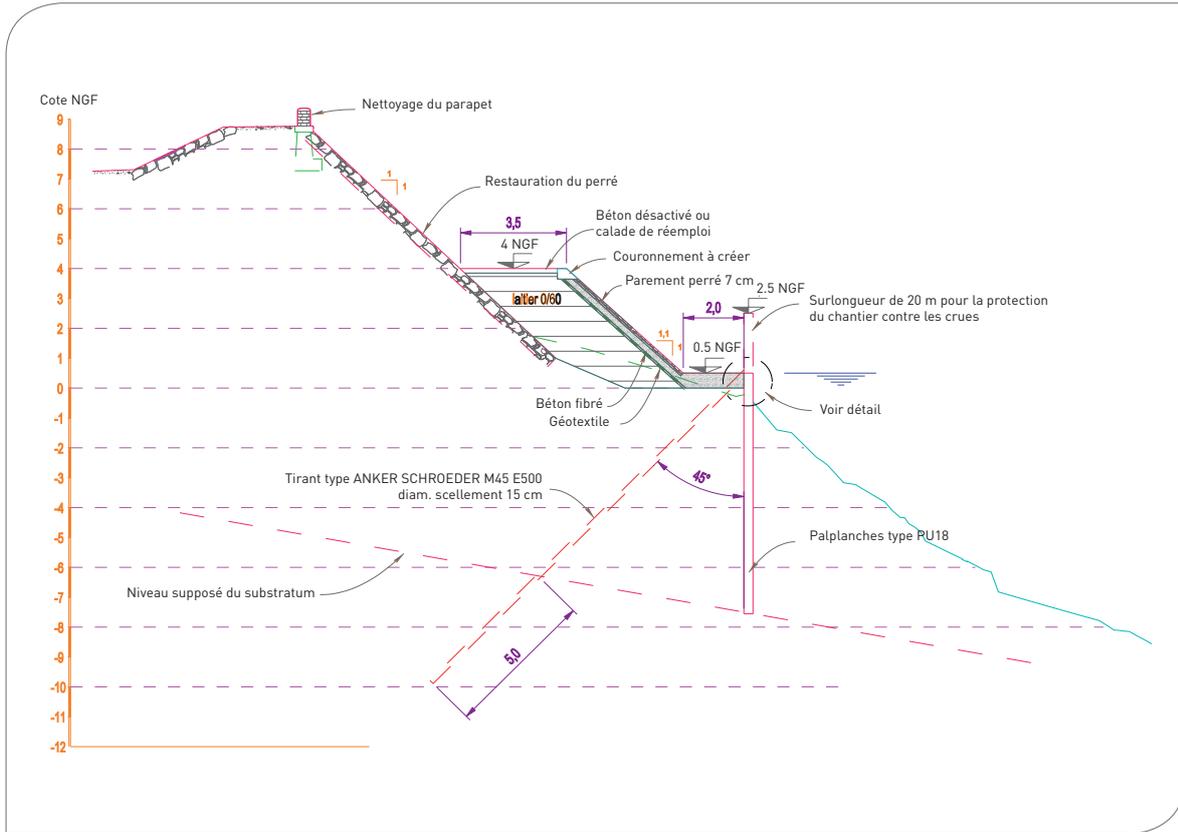


Schéma de principe des travaux sur le quai Marx Dormoy (source ISL [13] 95)



Quai Marx Dormoy (état projet et état initial)

16.5.4.3. TRAVAUX DE CONTINUITÉ DE PROTECTION DEPUIS LE QUAI DE LA ROQUETTE JUSQU'AU LIEU-DIT "PRENDS-TÉ-GARDE" EN RIVE GAUCHE DU GRAND RHÔNE

Les travaux consistent en :

- La construction d'un parapet et d'un ouvrage en remblai sur le remblai de l'IRPA depuis l'aval du quai de la Roquette jusqu'à l'écluse d'Arles avec raccordement au Musée Arles Antique,
- La construction d'un parapet sur les murs de tête de l'écluse d'Arles et la réalisation d'un dispositif de rehausse des portes de l'écluse à la cote millénale,
- L'engraissement et le rehaussement de la digue d'embouquement Ouest de l'écluse d'Arles,
- Le rehaussement de la digue de Barriol confortée à l'identique en 2007 dans le cadre du programme des invariants.

Les schémas de principe des travaux figurent ci-dessous :

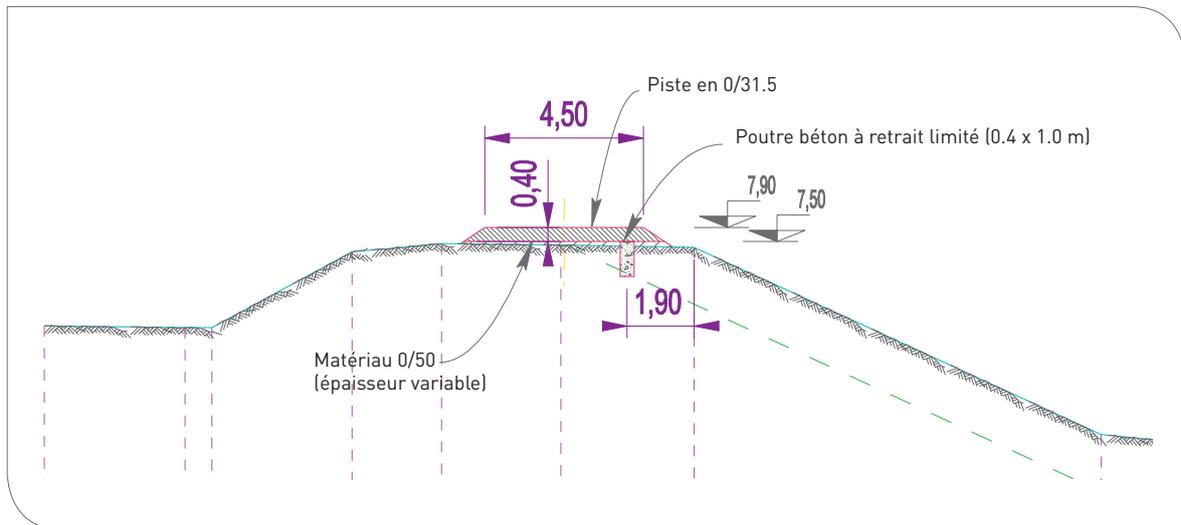


Schéma de principe de renforcement et rehausse de la digue d'embouquement Ouest de l'écluse d'Arles (source ISL [R96a])

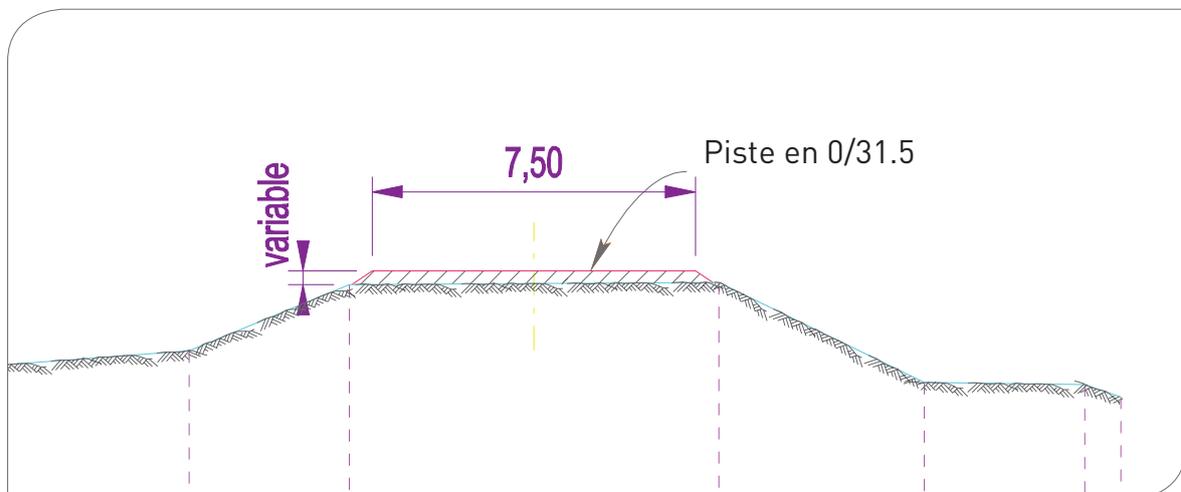


Schéma de principe de rehausse de la digue de Barriol (source ISL [R96a])

16.5.4.4. TRAVAUX DE CONFORTEMENT DU QUAI DE LA GARE MARITIME EN RIVE DROITE DU GRAND RHÔNE

La protection le long du quai de la gare maritime est assurée par un quai prolongé d'un parapet fortement dégradé et parfois inexistant. Les travaux à réaliser consistent en :

- Le confortement de la partie basse du quai pour parachever les travaux réalisés en urgence suite aux crues de 2002 et 2003 (injections et palplanches),
- La reprise des maçonneries,
- La construction d'un parapet en partie haute du quai.

Le schéma de principe des travaux figure ci-dessous :

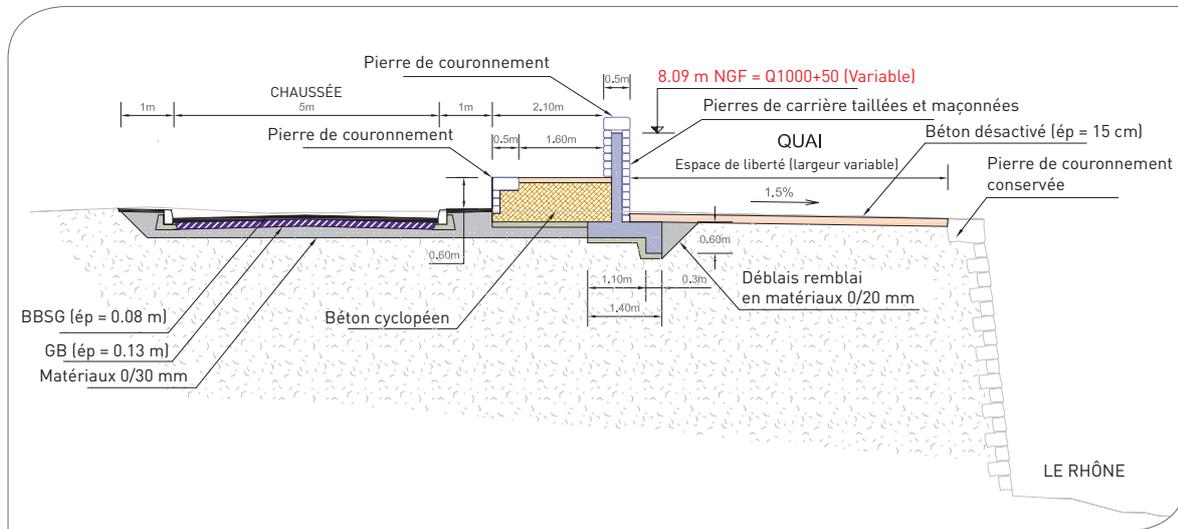


Schéma de principe de confortement du quai de la gare Maritime (source EGISeau [R]92a)



Quai de la gare maritime (état projet et état initial)

16.5.4.5. TRAVAUX DE CONTINUITÉ DE LA PROTECTION EN RIVE DROITE DU GRAND RHÔNE AU DROIT DES ANCIENNES PAPETERIES ÉTIENNE

Différentes options de confortement ont été étudiées. Les principes retenus sont le démontage de la digue actuelle et sa reconstruction à la cote identique, avec une légère translation de la digue vers le ségonnal compte tenu de la nécessité de réaliser une piste d'exploitation en pied de digue et du manque d'emprise foncière côté val (présence des anciennes papeteries).

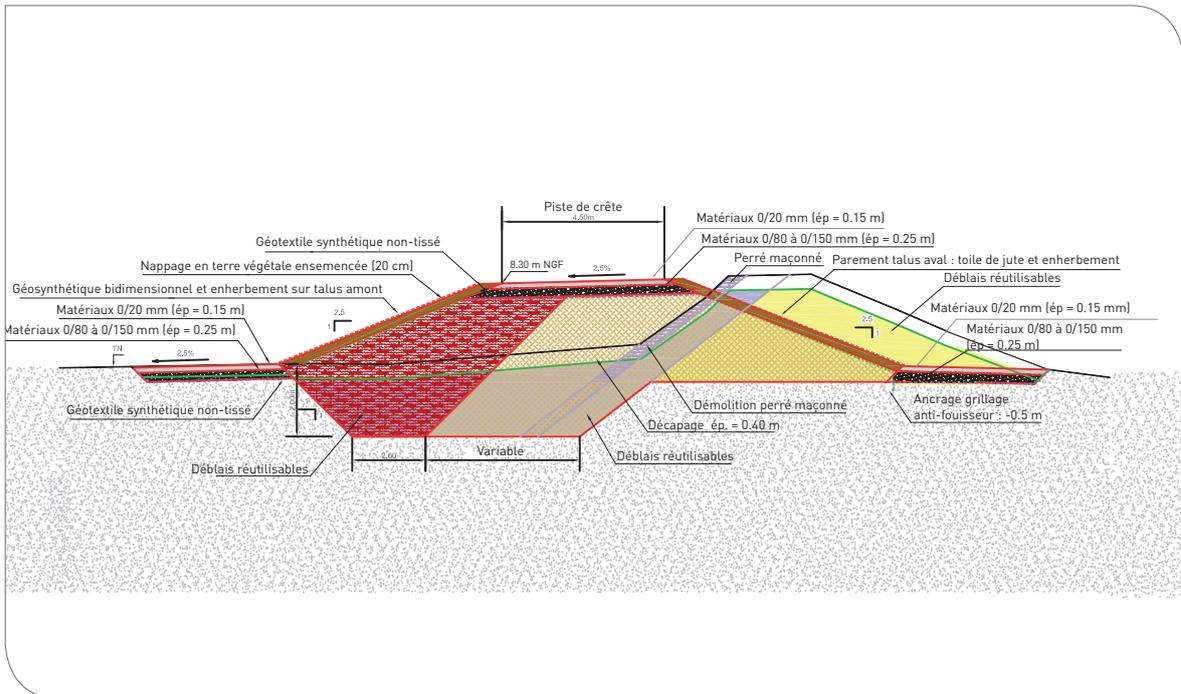


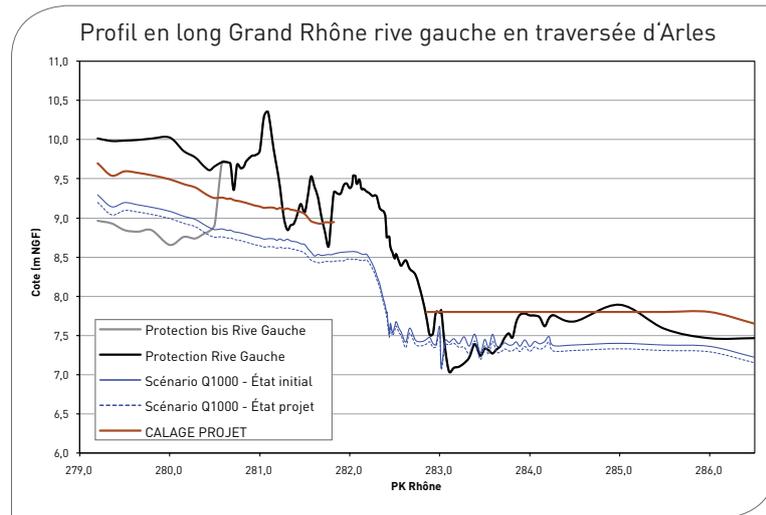
Schéma de principe du démontage et de la reconstruction de la digue des papeteries Étienne (source EGISeau [R]93a)



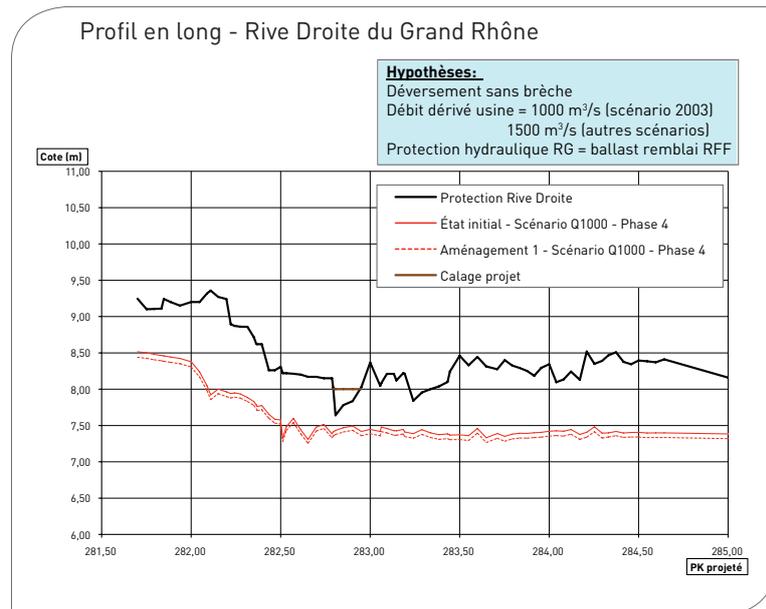
Digue des papeteries Étienne (état initial et état projet)

16.5.4.6. CALAGE DES OUVRAGES

Le profil en long des ouvrages en traversée d'Arles figure ci-dessous :



Calage des ouvrages (en marron) en traversée d'Arles rive gauche (source CNR [R 16])



Calage des ouvrages (en marron) en traversée d'Arles rive droite (source CNR [R 16])

16.5.5. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX

Les modifications de cote altimétrique et/ou géométrie des ouvrages sont de 3 types :

- Traitement localisé de points bas liés à des dégâts sur les ouvrages,
- Mise à la cote d'ouvrage à $Q_{1000} + 50$ cm, d'ouvrages actuellement non submergés pour Q_{1000} , mais ne présentant pas une revanche de sécurité suffisante,
- Mise à la cote d'ouvrage à $Q_{1000} + 50$ cm, d'ouvrages actuellement submergés pour Q_{1000} .

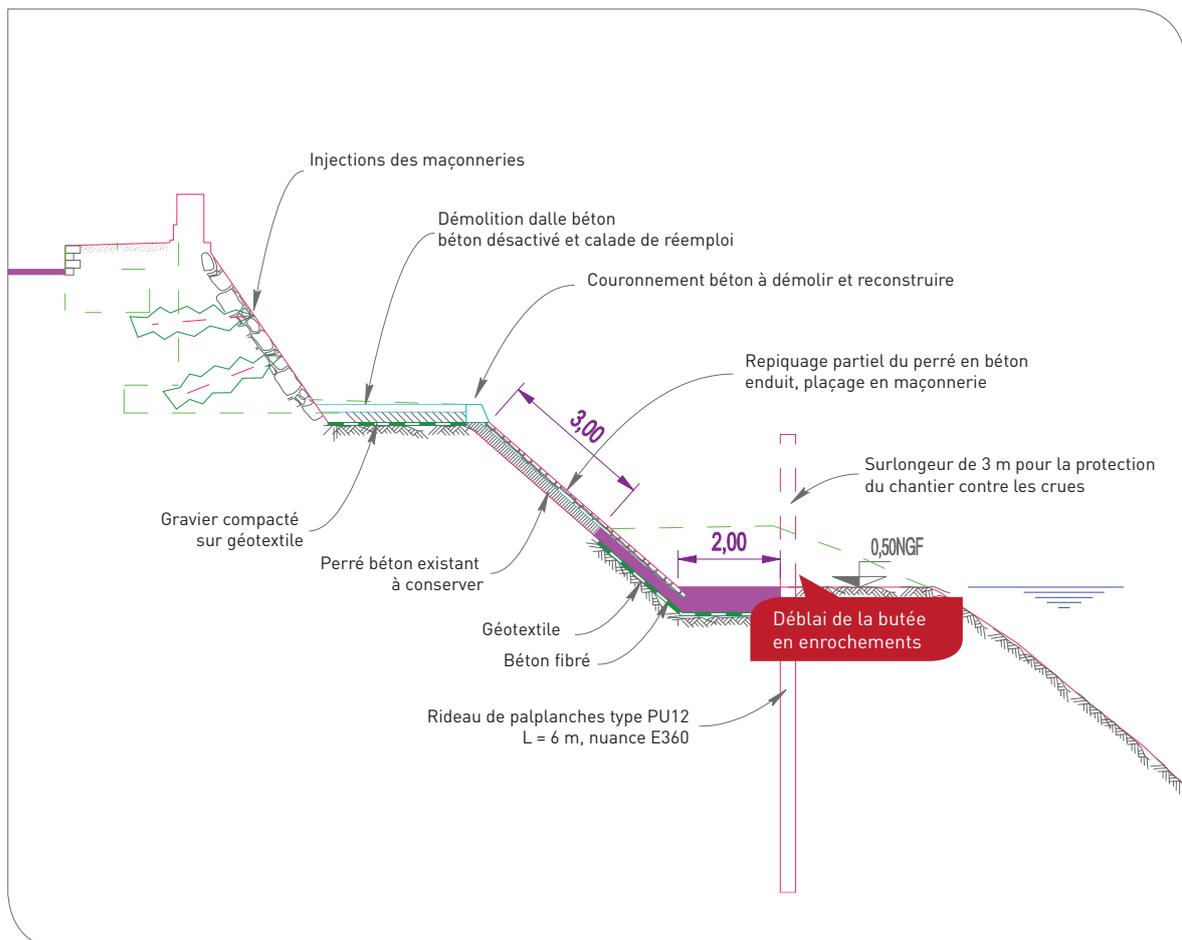
Le traitement de points localisés liés à des endommagements d'ouvrage est assimilé à des travaux d'entretien et grosses réparations. Le traitement de ces points est considéré comme faisant partie de l'état initial.

Les travaux de mise à la cote d'ouvrages actuellement non submergés pour la crue exceptionnelle, sans modification de géométrie des ouvrages n'ont pas d'impact sur les crues jusqu'à la crue exceptionnelle. Ces travaux concernent les ouvrages suivants :

- Le remblai du mas Molin et SIP d'Arles,
- Le remblai ferroviaire Tarascon/Arles,
- L'embouquement de l'écluse d'Arles,
- La digue de Barriol.

Les travaux ayant un impact possible sur les écoulements concernent les ouvrages suivants :

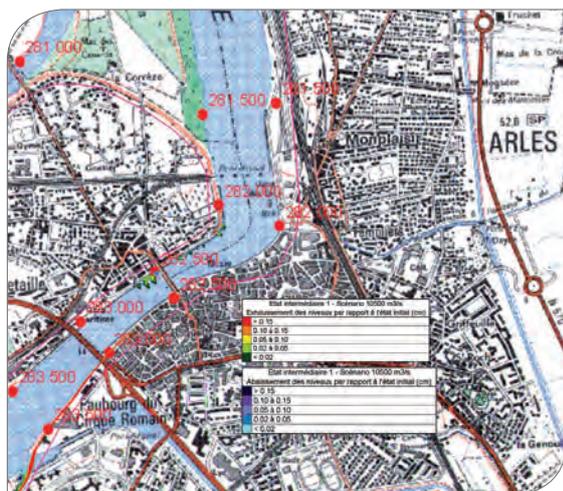
- Aménagement en rive gauche d'un quai bas sur le quai Marx Dormoy,
- Déblai de la butée de pierre suivant la coupe type ci-après en rive droite,
- Construction sur le remblai de l'IRPA d'un parapet,
- Construction d'un parapet le long du quai de la gare maritime.



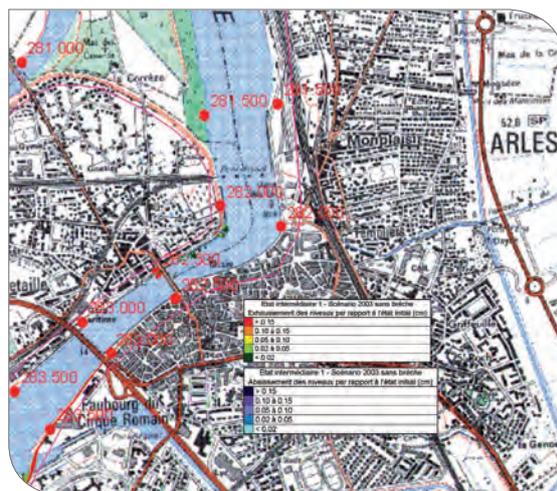
Suppression de la butée en pierre au droit du quai Saint Pierre, quai Trinquetaille et quai de la Gabelle

L'impact hydraulique de ces ouvrages a été estimé dans l'étude de calage. Il s'agit du scénario d'aménagement intitulé "État intermédiaire n°1".

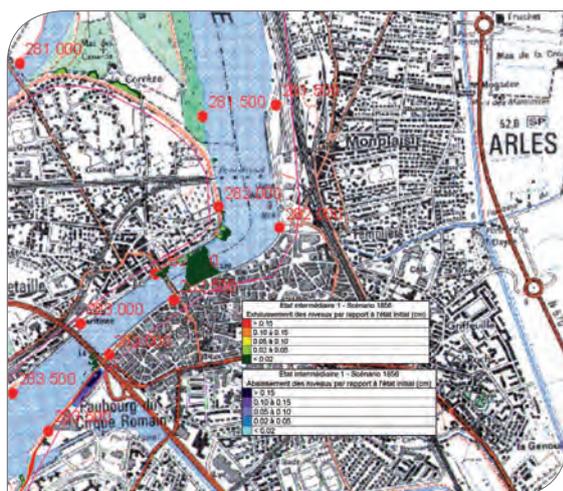
Les cartes d'impact pour les 4 scénarios de crues considérées dans le Plan Rhône figurent ci-dessous :



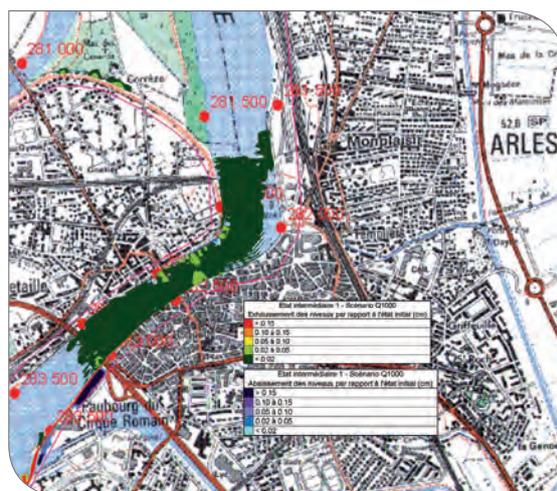
Scénario 10 500



Scénario 11 500

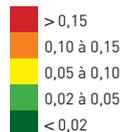


Scénario 12 500



Scénario 14 160

Exhaussement des niveaux par rapport à l'état initial (cm)



Abaissement des niveaux par rapport à l'état initial (cm)



L'impact des aménagements est nul en terme de ligne d'eau jusqu'à la crue de référence.

Pour la crue exceptionnelle du Rhône, l'impact est quasiment nul (< 2 cm) du Pont des Lions au Pont du RD6113. Il est nul en amont et en aval de ces deux ponts.

Ce qui nous permet de conclure que ces aménagements ont un impact nul sur les écoulements en amont et en aval de la zone de travaux.

16.5.6. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Les travaux de la partie basse du quai de la Gare Maritime ont fait l'objet d'un porté à connaissance conformément à l'article R 214-18 du code de l'environnement pour lequel le préfet a pris acte des travaux.

Les travaux de confortement de la digue des papeteries Étienne ont fait l'objet d'un porté à connaissance conformément à l'article R 214-18 du code de l'environnement. Après analyse du dossier, le préfet a demandé au SYMADREM de réaliser une nouvelle demande d'autorisation au titre des articles L.214-1 à L.214-6 du code de l'environnement.

Les autres travaux de cette opération ont fait l'objet, le 1^{er} juillet 2011, d'une demande d'autorisation au titre des procédures décrites dans l'article intitulé "dossiers réglementaires" du chapitre "objectifs et description du programme de sécurisation".

16.5.7. PLANNING DES TRAVAUX

Le démarrage des travaux est prévu en 2013.

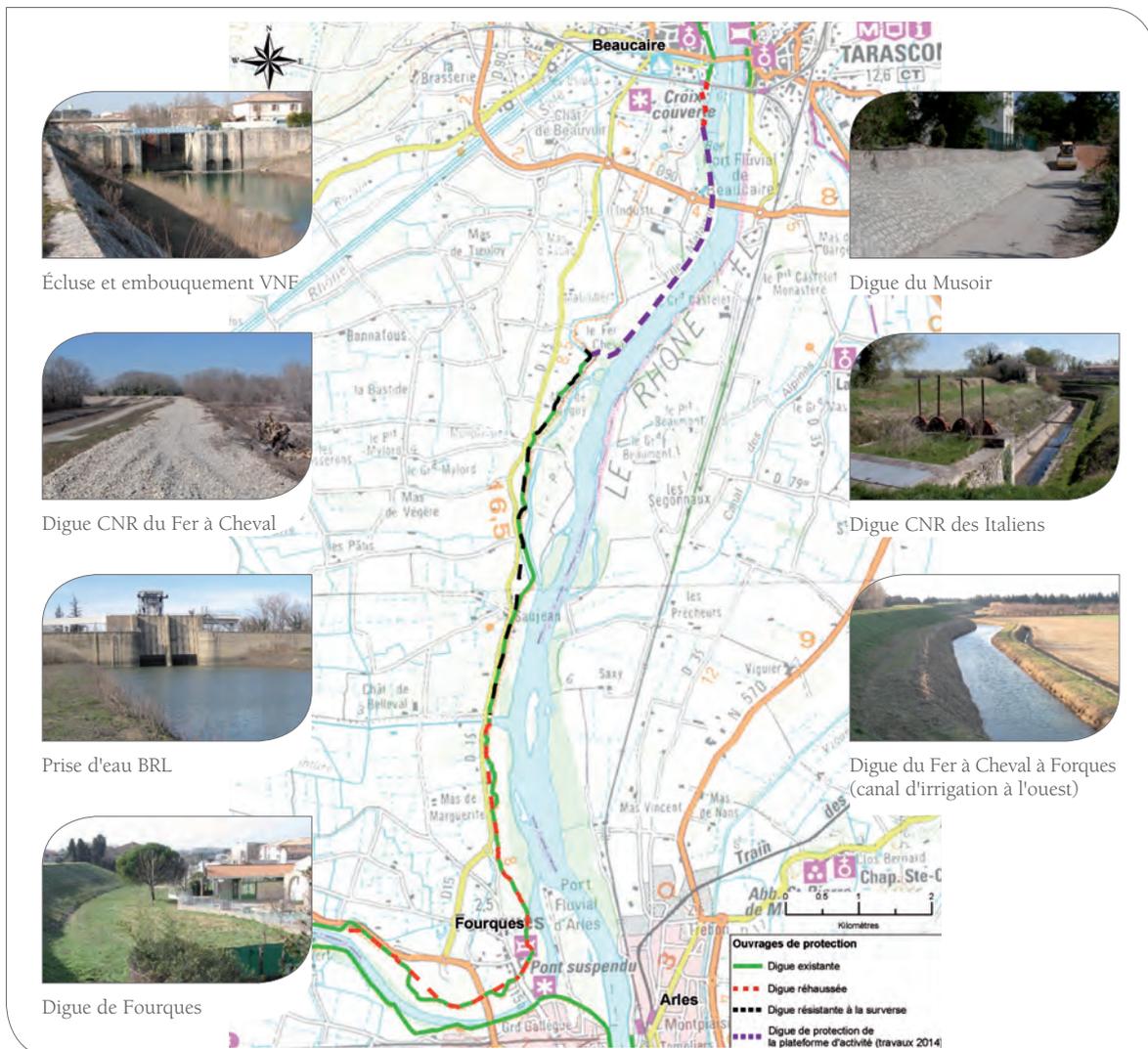
→ 16.6. RENFORCEMENT DE LA DIGUE ENTRE BEUCAIRE ET FOURQUES

16.6.1. PÉRIMÈTRE DE L'OPÉRATION

L'opération concerne les ouvrages suivants :

- Du PK 268,0 au PK 268,1 : la digue du Musoir,
- Du PK 268,1 au PK 268,2 : l'écluse de Beaucaire,
- Du PK 268,2 au PK 268,7 : la digue d'embouquement de l'écluse de Beaucaire,
- Du PK 268,2 au PK 268,7 : la digue des Italiens (Nord du SIP de Beaucaire),
- Du PK 272,5 au PK 284,5 : la digue du Rhône rive droite du fer à Cheval à la station de Tourettes.

Le plan de localisation des ouvrages concernés par l'opération (en rouge et noir) figure ci-dessous :



Renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques

16.6.2. DIAGNOSTIC ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

Ce tronçon de digue du Rhône n'a pas subi de brèches lors de la crue de décembre 2003, mais été néanmoins en limite de surverse sur une grande partie de son linéaire et a même l'objet de déversements très localisés qui ont pu être maîtrisés par des interventions.

Dans le cadre de l'étude de renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques, une analyse des différents modes de rupture a été menée, pour les quatre scénarios de crues étudiés et par tronçons homogènes. Pour chaque tronçon homogène, une analyse à dire d'experts, présenté dans le chapitre relatif aux études de diagnostic, résultant de l'étude de diagnostic approfondi, a permis de qualifier le risque de rupture suivant le code couleur figurant ci-contre.

Les résultats du diagnostic, pour les cas de charges correspondant respectivement à une crue cinquantennale et crue centennale, figurent ci-dessous :



Digue de Fourques en décembre 2003

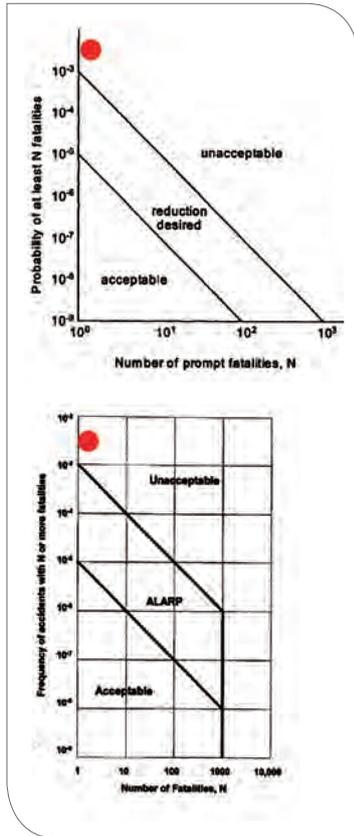
TRONÇON HOMOGENE	CRUE 10 500 M ³ /S				
	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE				
	PAR SUR-VERSE	PAR GLISSEMENT AVAL	PAR ÉROSION INTERNE	PAR SAPEMENT	ÉVALUATION DU RISQUE GLOBAL DE RUPTURE
PK 272,40 à PK 275,50	Blue	Green	Green	Blue	Green
PK 275,50 à PK 277,50	Blue	Green	Green	Blue	Green
PK 277,50 à PK 279,20	Blue	Green	Green	Blue	Green
PK 279,20 à PK 280,80	Blue	Green	Green	Blue	Green
PK 280,80 à PK 281,00	Blue	Green	Green	Blue	Green
PK 281,00 à PK 281,65	Blue	Green	Green	Blue	Green
PK 281,65 à PK 281,80	Blue	Green	Green	Blue	Green
PK 281,80 à PK 283,70	Blue	Green	Green	Blue	Green
PK 283,70 à PK 284,25	Blue	Green	Green	Blue	Green
PK 284,25 à PK 284,50	Blue	Green	Green	Blue	Green

Rupture quasi certaine	Black
Risque très fort	Red
Risque fort	Orange
Risque moyen	Yellow
Risque faible	Light Green
Risque très faible	Light Blue
Risque nul	Dark Blue

Code couleur qualifiant le risque de rupture

TRONÇON HOMOGENE	CRUE DÉCEMBRE 2003				
	ÉVALUATION DU RISQUE DE RUPTURE				
	PAR SUR-VERSE	PAR GLISSEMENT AVAL	PAR ÉROSION INTERNE	PAR SAPEMENT	ÉVALUATION DU RISQUE GLOBAL DE RUPTURE
PK 272,40 à PK 275,50	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 275,50 à PK 277,50	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 277,50 à PK 279,20	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 279,20 à PK 280,80	Blue	Yellow	Yellow	Blue	Yellow
PK 280,80 à PK 281,00	Orange	Light Green	Yellow	Blue	Orange
PK 281,00 à PK 281,65	Blue	Light Green	Yellow	Blue	Yellow
PK 281,65 à PK 281,80	Blue	Light Green	Yellow	Blue	Yellow
PK 281,80 à PK 283,70	Blue	Light Green	Yellow	Blue	Yellow
PK 283,70 à PK 284,25	Blue	Light Green	Yellow	Blue	Yellow
PK 284,25 à PK 284,50	Blue	Light Green	Yellow	Orange	Orange

Évaluation du risque global entre Beaucaire et Fourques pour une crue à 10 500 m³/s (période de retour ≈ 50 ans) et une crue à 11 500 m³/s (période de retour ≈ 100 ans) (source ISL [R60])



Courbes de risques digue de Beaucaire/Fourques (source ISL [R 60])

Cette appréciation qualitative a permis de conclure que le risque de rupture sur la digue de Beaucaire/Fourques est faible pour une crue cinquantennale, fort pour une crue centennale et devient quasi-certain pour la crue de référence du Rhône.

Cette appréciation a été ensuite quantifiée à dire d'expert en attribuant suivant la probabilité de la crue une probabilité de rupture.

Les deux tableaux ci-contre utilisés par le bureau d'étude ISL dans le cadre de l'étude de renforcement de la digue de Beaucaire à Fourques ont permis de déterminer une probabilité annuelle globale de $1,2 \cdot 10^{-2}$ [R 60].

Ces probabilités ont été comparées aux courbes de risques utilisées dans la pratique anglo-saxonne ou néerlandaise (extraites du rapport du panel d'experts sur les ruptures des digues de la Nouvelle Orléans – investigation of the performance of the New Orleans Flood Protection Systems). On peut constater sur ces figures que la situation des digues entre Beaucaire et Fourques correspond suivant ces standards à un **risque qualifié d'inacceptable, même en retenant un nombre nul de victimes.**

16.6.3. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

Il est prévu en rive droite du Rhône :

- Laménagement d'un **tronçon de digue résistant à la surverse** d'une longueur développée de 5 km depuis le site du fer à cheval (PK 272,4) jusqu'à la station BRL (PK 277,3) :
 - Calé en altimétrie pour éviter tous débordements pour une crue légèrement supérieure (+ 5 à 10 cm) à une crue de type décembre 2003 sans brèche dans le système,
 - Renforcé pour les crues débordantes (crue type mai 1856 ou crue millénale) pour résister à un déversement sans rupture d'ouvrage.
- Laménagement, en amont et en aval de ces tronçons résistants à la surverse, de **tronçons de digues dites "millénales"**.

Sur le tronçon de digue résistant à la surverse :

Le confortement se fait par apport de remblai sur le talus aval (côté plaine), ainsi que par la pose d'un filtre et de matériaux filtrants et la pose d'enrochements bétonnés.

Le renforcement est effectué sur la digue en place, à l'exception du secteur en sortie de la lône du Pillet où la digue est déplacée vers la plaine du fait de la tendance à l'érosion de berges dans ce secteur du fleuve. Le schéma de principe des travaux figure ci-dessous :

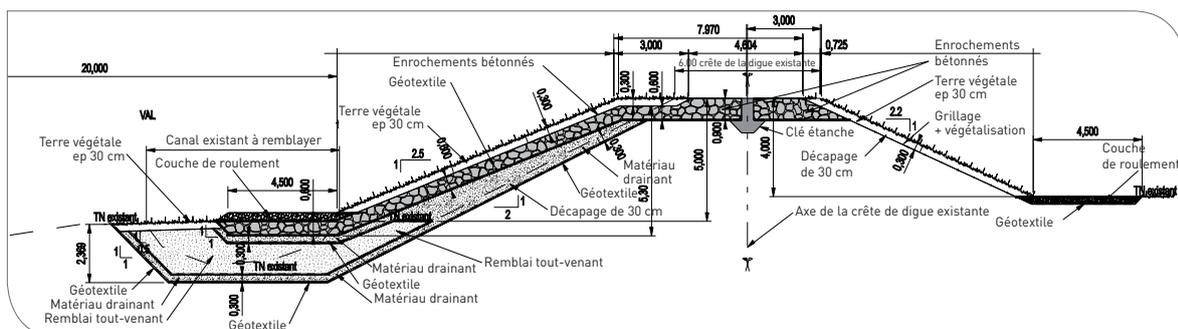


Schéma de principe de la digue résistant à la surverse (source ISL [R 63])

Sur le tronçon de digue dite "millénale" :

Afin de garantir la non-surverse de ces tronçons pour la crue millénale du Rhône, ils sont calés 80 cm au-dessus des tronçons résistants à la surverse, ce qui correspond à la ligne d'eau de la crue millénale avec une revanche de sécurité de 50 cm.

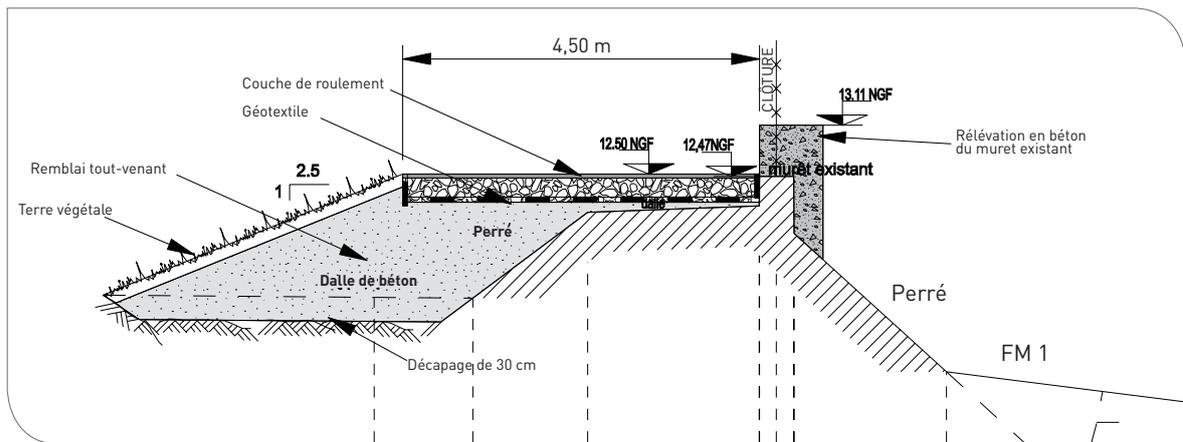
Sur le **secteur amont**, l'avant-projet comprend le confortement et le rehaussement des tronçons de digue suivants :

- La digue du Musoir (comprise entre le pont ferroviaire et l'écluse de Beaucaire),
- L'embouquement VNF de l'écluse de Beaucaire,
- La digue comprise entre l'embouquement VNF et l'amont du SIP de Beaucaire, dite digue des Italiens.

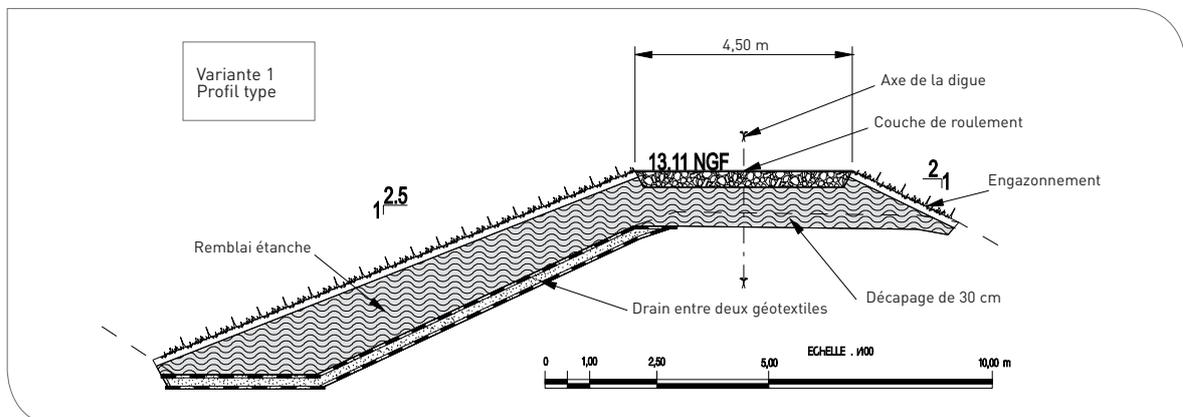
Le confortement et le rehaussement des ouvrages sont assurés par remblais ou des murs de hauteur comprise entre 50 cm et 1 m.

L'embouquement VNF et la digue des Italiens ne font actuellement pas parties du périmètre de compétences du SYMADREM.

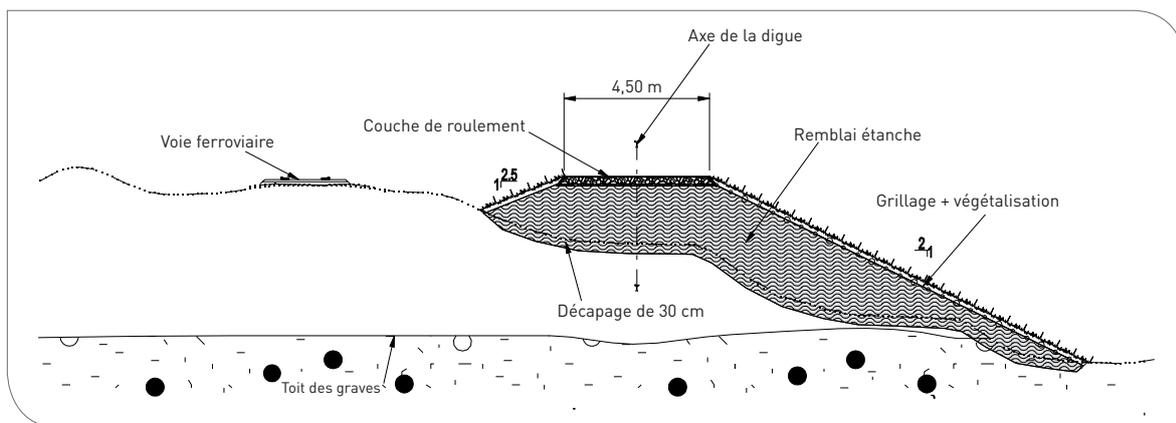
Il comprend également des travaux de parachèvement sur la Banquette de Beaucaire (mise en œuvre de batardeaux aluminiums et traitement par béton désactivé de la crête de l'ouvrage).



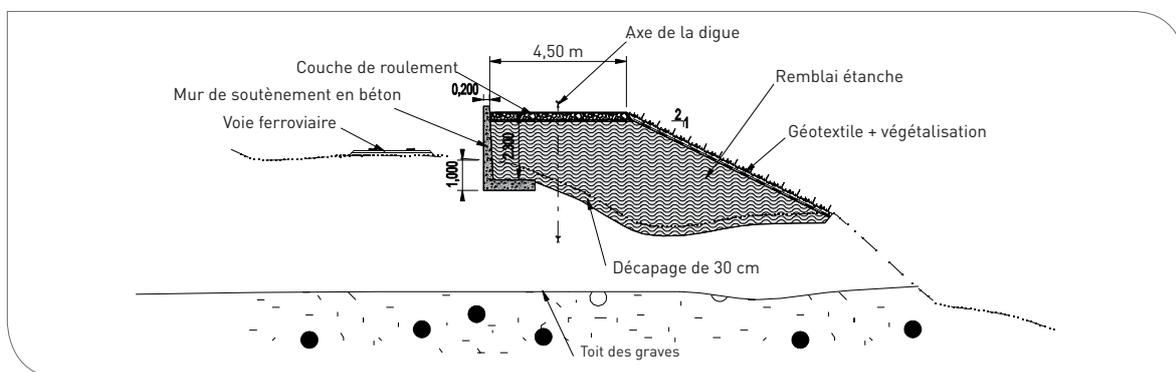
Digue du Musoir - PK 268,02 à 268,12 (source ISL [R 63])



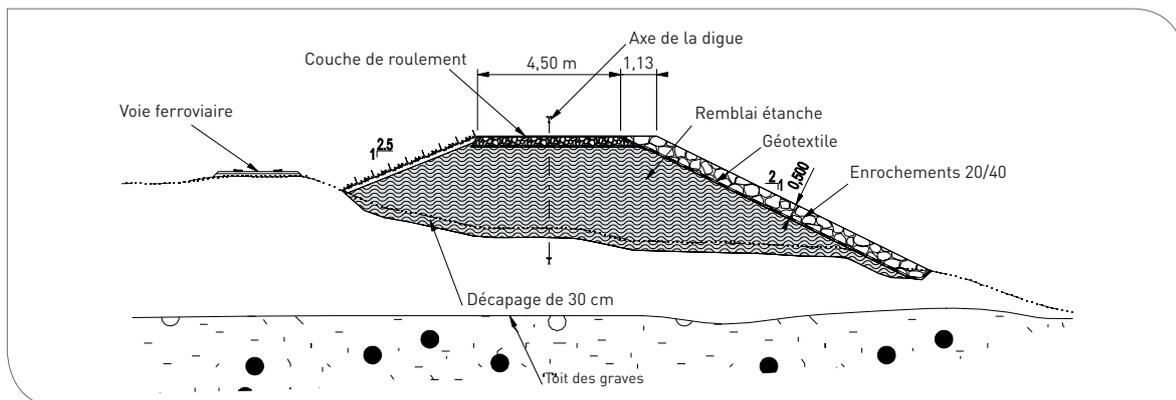
Digue Ouest d'embouquement - PK 268,12 à 268,19 (source ISL [R 63])



Digue des Italiens - PK 268,19 à 268,33 (source ISL [R 63])



Digue des Italiens - PK 268,19 à 268,33 (source ISL [R 63])



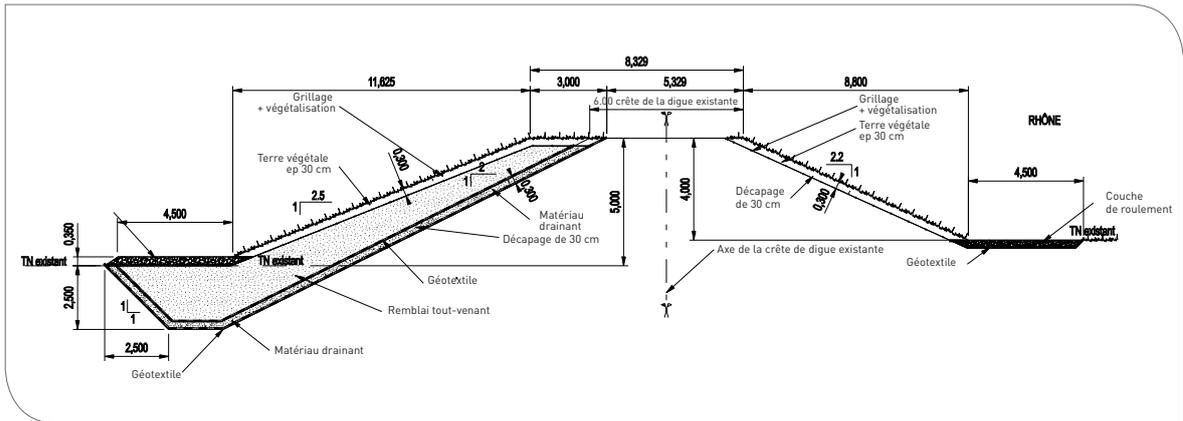
Digue des Italiens - PK 268,33 à 268,65 (source ISL [R 63])

Au droit de la digue dite du fer à cheval, il est prévu le démontage de la digue actuelle en graviers et la reconstruction plus à l'Est de la digue suivant le profil retenu pour les digues dites "millénales".

Sur le **secteur en aval** de la prise BRL, le confortement se fait par apport de remblai sur le talus aval, ainsi que la pose d'un filtre et de matériaux filtrants.

Le renforcement est effectué sur la digue en place, à l'exception de correction localisée de tracé liée à des contraintes foncières et la nécessité d'avoir un équilibre des volumes perdus et gagnés sur le ségonnal.

Il est précisé que les matériaux de remblais proviendront des dépôts le long du canal Philippe Lamour exploité par BRL et des déblais issus de l'élargissement du lit du fleuve prévu en aval du barrage de Vallabrègues (mesures d'annulation et réduction d'impacts décrites ci-après).



Tronçon de digue millénaire (source ISL [R] 63)

Canal d'irrigation de Beaucaire :

Le canal d'irrigation de Beaucaire longe le pied de digue du fer à cheval jusqu'à l'entrée du village de Fourques. Afin de garantir la stabilité du talus aval de la digue, une distance de 20 m est nécessaire entre le pied de digue et le talus du canal. Les caractéristiques du canal actuel sont conservées ; les caractéristiques des ponts et ouvrages hydrauliques également.

La présence du canal conduit parfois à déplacer la digue vers le ségonnal lorsque la route RD15 empêche le déplacement du canal vers la plaine.

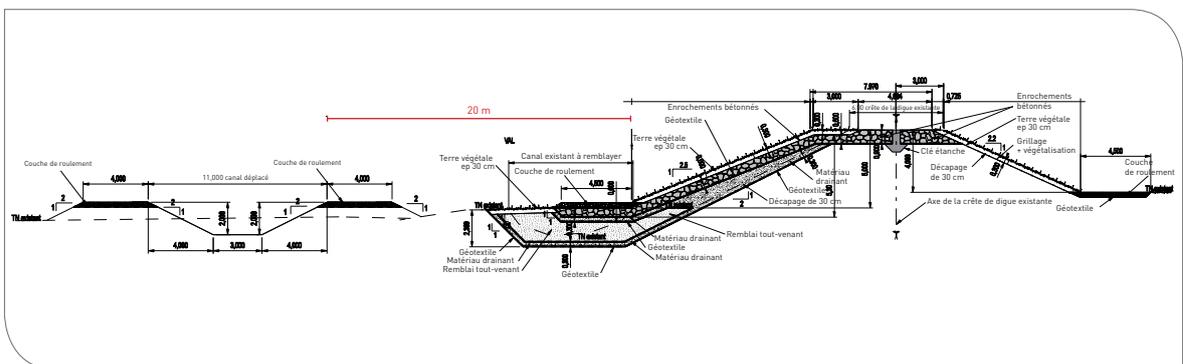


Schéma de principe le long du canal d'irrigation de Beaucaire (source ISL [R] 63)

D'autres points particuliers sont également traités :

- Raccordement à la plateforme CNR,
- Rehausse de la prise BRL par BRL et des murs de tête de l'écluse de Beaucaire par VNF,
- Rehausse du point bas de la RD15 et de la RD6113 à Fourques,
- Déplacement des réseaux,
- Déplacement de la station de pompage de la Tourette.

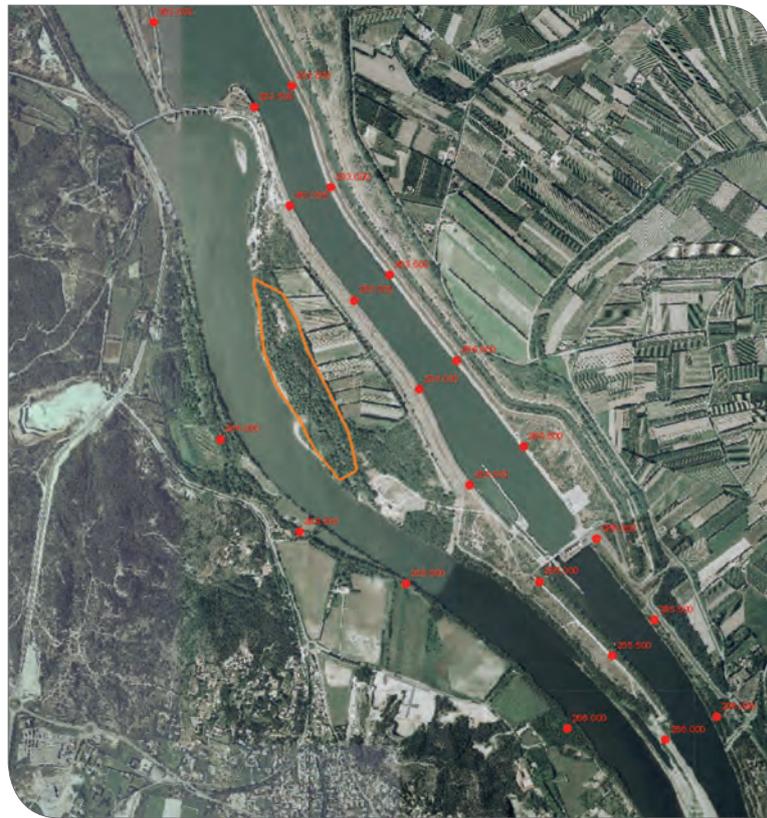
16.6.4. MESURES D'ANNULATION ET RÉDUCTION D'IMPACT ET MESURES COMPENSATOIRES

La rehausse des points bas à l'amont du secteur renforcé, notamment au droit de la digue des Italiens, provoque un exhaussement de la ligne d'eau dans le lit endigué jusqu'au barrage de Vallabrègues.

Afin d'annuler cet impact au niveau du barrage de Vallabrègues, un décaissement de 450 000 m³ de matériaux sur l'île du comte (immédiatement en aval du barrage) est prévu.

Des mesures d'accompagnement sont également prévues afin de réduire l'impact environnemental du projet.

Ces matériaux seront réutilisés en remblai dans le cadre de l'opération.



Élargissement de la rive gauche du Vieux Rhône en aval du Barrage de Vallabrègues (source CNR [R 16])

16.6.5. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX ET JUSTIFICATION DU DÉCOUPAGE OPÉRATIONNEL

Plusieurs modélisations ont été réalisées afin d'optimiser le découpage opérationnel. 3 états d'aménagement ont été ainsi modélisés :

- Un état (appelé état intermédiaire n°2) correspondant au renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques, y compris le rehaussement du SIP de Beaucaire à la crue millénaire,
- Un état (appelé état intermédiaire n°3) correspondant au renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques sans le rehaussement du SIP de Beaucaire (protection actuelle \cong 100 ans),

- Un état (appelé état intermédiaire n°4) correspondant au projet, soit le renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques **sans le rehaussement du SIP** de Beaucaire (protection actuelle \approx 100 ans) et **avec décaissement** d'un volume de 450 000 m³ en aval du barrage de Vallabrègues,
- Un état (appelé état intermédiaire n°5) correspondant au renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques **sans le rehaussement du SIP** de Beaucaire (protection actuelle \approx 100 ans) et **la création d'une digue** à l'ouest du remblai ferroviaire Tarascon/Arles sans le rehaussement du SIP de Tarascon.

On rappelle ci-dessous l'impact des aménagements prévus entre le barrage de Vallabrègues et Arles dans le lit endigué.

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE								
DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
10500	50 ans	Janv. 1994	- 6	- 5	- 21	-4	0	0	0	0	0
11500	100 ans	Déc. 2003	- 5	- 8	- 5	- 5	- 1	0	0	0	0
12500	250 ans	Mai 1856	- 3	- 6	-1	- 2	- 6	- 6	- 2 à 5	- 5	- 2 à 5
14160	1 000 ans	Millénaire	+0 à 2	0	+ 8	+ 9	- 9	- 7	- 2 à 5	- 6	- 5 à 10

Impact hydraulique dans le lit endigué des aménagements entre le barrage de Vallabrègues et Arles (source CNR [R 16])

La modélisation de l'état intermédiaire n°2 avait pour objectif d'avoir l'impact d'un aménagement global des digues en rive droite du Rhône sans aménagement en rive gauche. L'impact lié à l'état intermédiaire n°2 figure ci-dessous :

DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
10500	50 ans	Janv. 1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11500	100 ans	Déc. 2003	0	0	0	+ 0 à 2	+ 0 à 2	0	0	+ 0 à 2	+ 0 à 2
12500	250 ans	Mai 1856	+ 0 à 2	+ 0 à 2	+ 2 à 5	+ 2 à 5	- 0 à 2	- 0 à 2	0	- 0 à 2	0
14160	1000 ans	Millénaire	+ 2 à 5	+ 5 à 10	+10 à 15	→ 15	0	0	0	0	0

Impact hydraulique de l'état intermédiaire n°2 (source CNR [R 16])

L'impact en aval du barrage de Vallabrègues pour la crue exceptionnelle a été jugé **inacceptable**. Ce scénario d'aménagement intermédiaire n'a pas été retenu.

La modélisation de l'état intermédiaire n°3 avait pour objectif d'estimer l'impact d'un renforcement global de la digue rive droite du Rhône sans rehausser le SIP de Beaucaire, qui est un remblai non exposé au risque de rupture (ouvrage non classé). L'impact lié à l'état intermédiaire n°3 figure ci-dessous :

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE								
DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
10500	50 ans	Janv. 1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11500	100 ans	Déc. 2003	0	0	0	+ 0 à 2	+ 0 à 2	+ 0 à 2	0	+ 0 à 2	0
12500	250 ans	Mai 1856	0	0	+ 2 à 5	+ 2 à 5	- 2 à 5	- 0 à 2	- 0 à 2	- 2 à 5	- 0 à 2
14160	1000 ans	Millénaire	+ 0 à 2	+ 2 à 5	+ 7	+ 5 à 10	- 2 à 5	- 0 à 2	- 0 à 2	- 2 à 5	- 2 à 5

Impact hydraulique de l'état intermédiaire n°3 (source CNR [R 16])

L'impact en aval du barrage de Vallabrègues pour la crue exceptionnelle, est moins fort que pour l'état n°2, mais **demeure inacceptable**. Ce scénario d'aménagement intermédiaire n'a pas été retenu.

La modélisation de l'état intermédiaire n°5 avait pour objectif d'estimer l'impact d'un renforcement global de la digue rive droite du Rhône et l'impact de la création d'une digue à l'ouest du remblai ferroviaire Tarascon/Arles, sans rehausser les SIP de Beaucaire et Tarascon, exposé au débordement, mais non exposé au risque de rupture. Par rapport à l'état intermédiaire n°3, cette modélisation avait pour objectif de voir si le recalage des digues en rive gauche pouvait atténuer, voire supprimer les exhaussements des lignes d'eau pour la crue de référence et la crue exceptionnelle. L'impact lié à l'état intermédiaire n°5 figure ci-dessous :

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE								
DÉBIT MAX TARASCON (EN M³/S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
10500	50 ans	Janv. 1994	0	0	+ 0 à 2	+ 0 à 2	0	0	0	0	0
11500	100 ans	Déc. 2003	+ 0 à 2	+ 0 à 2	+ 2 à 5	+ 2 à 5	+ 0 à 2	+ 0 à 2	+ 0 à 2	+ 0 à 2	0
12500	250 ans	Mai 1856	+ 0 à 2	+ 0 à 2	+ 2 à 5	+ 2 à 5	- 5 à 10	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 2 à 5
14160	1000 ans	Millénaire	+ 0 à 2	+ 2 à 5	+ 7	+ 5 à 10	- 10 à 15	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10

Impact hydraulique de l'état intermédiaire n°5 (source CNR [R16])

Des impacts notables apparaissent pour la crue type décembre 2003. Ils sont dus à l'empiètement dans le ségonnal de la digue à créer à l'ouest du remblai ferroviaire. Des impacts notables en aval du barrage de Vallabrègues demeurent pour la crue exceptionnelle. Ce scénario d'aménagement intermédiaire n'a pas été retenu.

Ces trois modélisations ont montré la nécessité de mesures spécifiques en aval du barrage de Vallabrègues. Un décaissement a été proposé en rive gauche en aval du barrage. C'est l'objet de l'état intermédiaire n°4, dont les impacts figurent ci-dessous :

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE								
DÉBIT MAX TARASCON (EN M³/S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
10500	50 ans	Janv. 1994	- 5	- 4	0	0	0	0	0	0	0
11500	100 ans	Déc. 2003	- 2	- 4	0	0	0	+ 1	+ 1	0	0
12500	250 ans	Mai 1856	- 2	- 2	+ 2 à 3	+ 2 à 3	- 3	- 2	- 0 à 2	- 1	- 0 à 2
14160	1000 ans	Millénaire	0	0	+ 7	+ 9	- 5	- 2	- 0 à 2	- 2	- 2 à 5

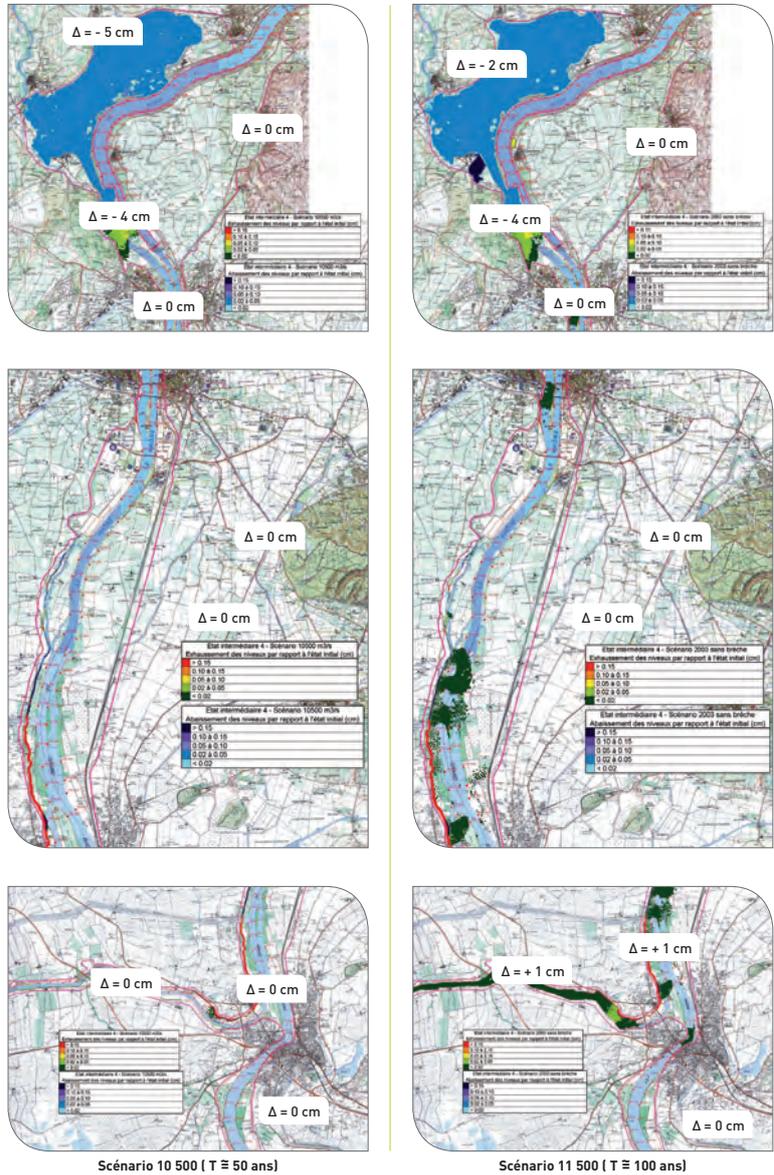
Impact hydraulique de l'état intermédiaire n°4 (source CNR [R16])

Ce scénario permet d'améliorer les écoulements dans le Vieux Rhône en amont de Beaucaire jusqu'à la crue de référence et n'a pas d'impact pour la crue exceptionnelle en aval du barrage de Vallabrègues. Les impacts en aval de Beaucaire/Tarascon sont nuls jusqu'à une crue type décembre 2003 et des conditions d'écoulements en aval sont améliorés pour la crue de référence et la crue exceptionnelle.

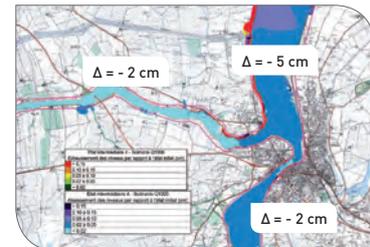
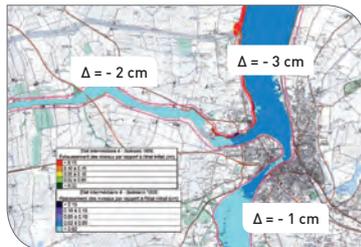
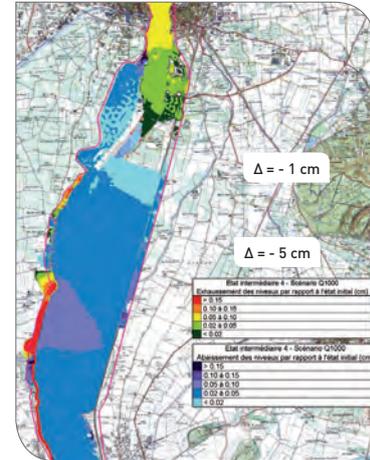
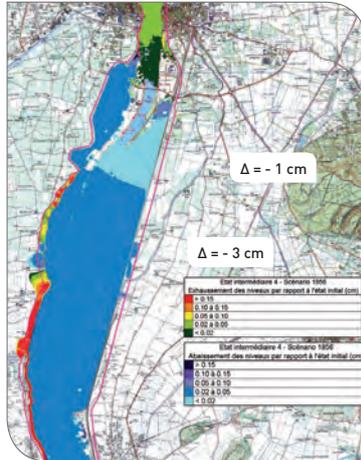
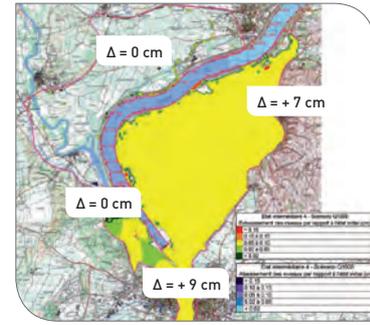
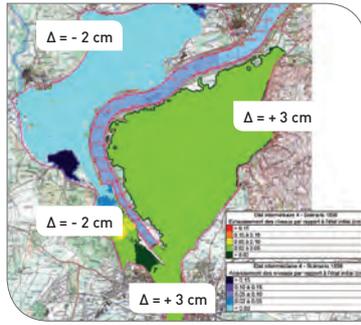
Des impacts demeurent dans la plaine de Boulbon et dans la traversée de Beaucaire/Tarascon pour la crue de référence. Ces impacts sont supérieurs de 1 cm à la limite de précision du modèle qui est de 2 cm en valeur relative.

Compte tenu du gain en termes de sécurité publique de cette opération, cet impact en lit endigué en situation intermédiaire est jugé comme acceptable par le SYMADREM.

Ce scénario d'aménagement intermédiaire a été retenu par le SYMADREM. Les cartographies d'impact pour les 4 scénarios de crues modélisées figurent ci-dessous et en page suivante :



Impact hydraulique dans le lit endigué de l'opération de renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques (source CNR [R 16])



Scénario 12 500 (T ≈ 250 ans)

Scénario 14 160 (T ≈ 1000 ans)

Impact hydraulique dans le lit endigué de l'opération de renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques (source CNR [R 16])

Des déversements demeurent au droit du SIP de Beaucaire pour des crues supérieures à une crue de type décembre 2003, mais ne sont pas sujet à rupture par surverse compte tenu de la nature du remblai, qui n'a pas fait l'objet d'un classement.

La rehausse du SIP sera réalisée après création de la digue entre Tarascon et Arles.

16.6.6. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Cette opération a fait l'objet d'une demande d'autorisation, en avril 2011, au titre des procédures décrites dans l'article intitulé "dossiers réglementaires" du chapitre "objectifs et description du programme de sécurisation".

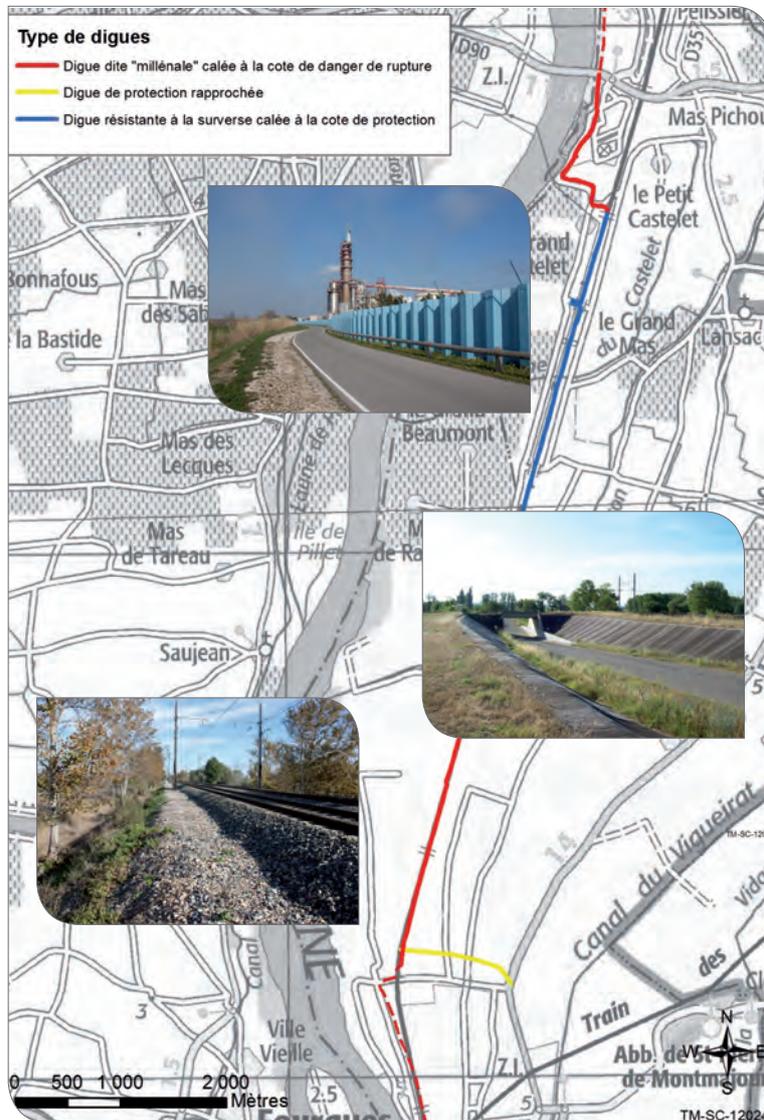
16.6.7. PLANNING DES TRAVAUX

Sous réserve de l'obtention des autorisations administratives et de l'obtention des financements nécessaires aux travaux, les travaux devraient débuter en 2013.

→ 16.7. CRÉATION D'UNE DIGUE À L'OUEST DU REMLAI FERROVIAIRE ENTRE TARASCON ET ARLES

16.7.1. OBJET ET PÉRIMÈTRE DE L'OPÉRATION

L'opération s'étend depuis le pont route de Tarascon (RD99), situé au PK Rhône projeté 269,600 ou PK RFF 764,800 jusqu'à la digue dite du "Mas Molin" raccordant le Port d'Arles au remblai ferroviaire Tarascon/Arles, située au PK Rhône projeté 279,0 ou PK RFF 773,600.



Création d'une digue à l'ouest de la voie ferrée entre Tarascon et Arles

Au nord, l'opération vient se raccorder au droit du PK Rhône 269,600 à l'opération intitulée : Rehaussement des Sites-Industrialo-Portuaires de Tarascon et Beaucaire.

Au sud, l'opération vient se raccorder au droit du PK Rhône 279,000 à l'opération intitulée : Tranches 5 et 6 des quais d'Arles et continuité de la protection en amont et en aval des quais d'Arles.

16.7.2. DIAGNOSTIC ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

La problématique posée par le remblai ferroviaire actuel peut être résumée dans les commentaires ci-après extrait du rapport d'expertise du schéma de protection contre les crues du secteur Tarascon/Arles établi en décembre 2008 par Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable [R 34].

“En amont d'Arles, le remblai RFF et la digue de rive droite étaient en limite de débordement... Les passages routiers sous la voie ferrée, appelés trémies, sont fermés côté Rhône par des cavaliers (ou digues) en terre en forme de bec de canard (photo ci-après). Ces cavaliers et la voie ferrée elle-même forment une ligne de défense continue contre les crues du Rhône de Tarascon à Arles, mais les cavaliers constituent des points bas. Ils sont sensiblement calés à la cote de la plateforme ferroviaire, c'est-à-dire au niveau de la base du ballast. Les dos d'âne des routes sont presque à la même cote (entre 0 et 20 cm plus bas), mais de toutes façons, ils ont été fermés par des cordons de terre ou des sacs posés pendant la crue par des riverains. De son côté, RFF tentait de limiter les surverses sur les cavaliers en faisant poser des sacs de sable par hélicoptère. Le 3 décembre au soir, les cavaliers des deux trémies des Ségonnaux et du mas Tessier ont déversé et se sont rompus par l'érosion provoquée par la surverse, celle-ci se concentrant sur des points bas. Ces cavaliers étaient aussi affaiblis par des circulations d'eau internes, déjà révélées par la crue de 1994 et traitées par injection. Pendant la crue de 2003 et avant formation des brèches, on a observé des écoulements d'eau claire au pied des cavaliers de la trémie de mas de Teissier. À la trémie des Ségonnaux, on a observé un écoulement d'eau chargée et un début de glissement du cavalier nord... Le soir, la SNCF déversait des blocs dans la trémie à partir d'un train spécial pour tenter de l'obstruer.

La crue de 2003 a tangenté le niveau de la plateforme, sans dépasser le niveau inférieur des rails.

Des témoignages indiquent effectivement des infiltrations à travers le ballast. Le remblai a donc déversé par écoulement au travers du ballast...]. Celui-ci n'a pas été emporté du fait du faible gradient hydraulique auquel il était soumis (grande largeur de la plateforme). Le remblai limoneux sous le ballast a pu résister à ces surverses grâce à la carapace constituée par les pierres concassées du ballast qui ont “imprégné” le haut du remblai. En tout état de cause, la tenue du remblai RFF pendant la crue de 2003 était limite.

Sans les brèches des trémies, la ligne d'eau du Rhône aurait été plus haute de 10 à 15 cm et aurait entraîné une plus forte sollicitation du ballast. Peut-être des brèches se seraient-elles produites dans la voie ferrée elle-même. N'étant pas contrôlées à leur aval, ces brèches auraient pu se développer jusqu'à la base du remblai ferroviaire, libérant alors des débits et des volumes sans commune mesure avec ceux qui ont été libérés en fait.”

Il est aujourd'hui admis que le remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles ne serait pas en capacité de résister à une crue comparable à celle de décembre 2003.

Ce diagnostic similaire à celui réalisé sur la digue de Beaucaire/Fourques nous permet de conclure que l'exposition au risque de brèches est, dans l'état actuel, quasiment équivalent entre la rive droite et la rive gauche du Rhône.



Décembre 2003 – déversement sur les digues de protection des trémies (© Ville de Tarascon)



La sécurisation du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles a été identifiée par l'ensemble des partenaires du Plan Rhône comme une action prioritaire du schéma de gestion du Rhône aval.

Quatre types d'ouvrages ont été envisagés dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval pour la sécurisation du remblai RFF, qui concerne un linéaire à aménager de 7 km :

- Transparence du remblai ferroviaire et réalisation d'une digue séparée à l'ouest du remblai (en amont),
- Transparence du remblai ferroviaire et réalisation d'une digue séparée à l'est du remblai (en aval),
- Réalisation d'une digue accolée au remblai ferroviaire et passage en surverse des eaux de déversement,
- Réalisation d'une digue accolée au remblai ferroviaire et passage en sous-verse des eaux de déversement.

Par lettre en date du 7 novembre 2006, le ministère des transports a demandé à RFF d'engager les études préliminaires et d'avant-projet de la solution digue accolée au remblai ferroviaire.

La mission d'expertise [R 34] diligentée par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM) pour examiner le projet de canal de contournement d'Arles et la sécurisation du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles a rendu, dans son rapport de décembre 2008, des conclusions convergeant vers la création d'une digue indépendante, ou séparée, à construire à l'ouest du remblai ferroviaire.

Par courrier du 13 février 2009, le MEEDDM a retenu les recommandations de la mission d'expertise. Ces conclusions ont été présentées au comité de suivi technique du Plan Rhône en date du 1^{er} avril 2009, qui les a également retenues.

Des études préliminaires complémentaires ont été engagées par RFF, suite au courrier du MEEDDM (DGTIM) du 6 juillet 2009, pour approfondir certains résultats importants en termes de dimensionnement du dispositif de protection. L'option retenue parmi celles citées ci-dessus correspond à : la solution dite "d'écoulement en charge sans digue dans l'espace inter-remblais".

Cette solution a reçu un avis favorable du comité de suivi technique de l'étude du 8 septembre 2010 et a été validée par le comité de pilotage du Plan Rhône du 12 octobre 2010.

Les différentes solutions étudiées par Réseau Ferré de France figurent dans le chapitre "justification du calage des ouvrages de protection".

16.7.3. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

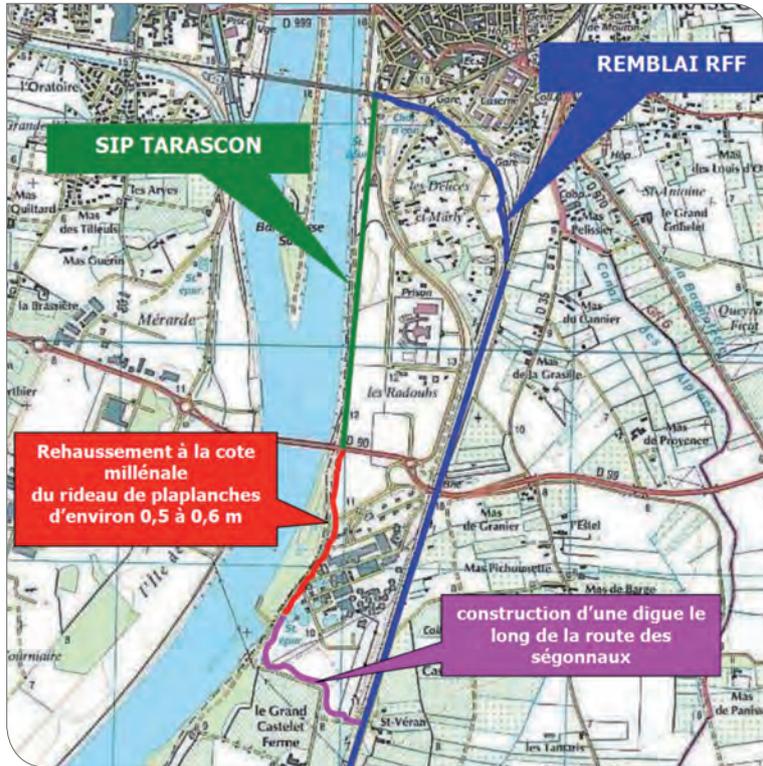
Les travaux de création d'une digue de 1^{er} rang consistent en l'aménagement :

- D'un **tronçon de digue résistant à la surverse** d'une longueur développée de 5 km :
 - Calé en altimétrie pour éviter tous débordements jusqu'à la crue de protection. Cette cote est appelée ci-après : cote de protection,
 - Et renforcé pour les crues supérieures pour assurer à un déversement sans rupture d'ouvrage jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône,
- De **tronçons de digue dite "millénaire"**, en amont et en aval du tronçon résistant à la surverse, calés en altimétrie 0,5 m au-dessus du niveau d'eau atteint par la crue exceptionnelle du Rhône après réalisation des aménagements,
- En pied aval du tronçon de digue résistant à la surverse, d'un bassin dit "bassin de dissipation de la digue", destiné à dissiper l'énergie de l'eau occasionnée par le déversement,
- De pistes d'exploitation en crête de digue et pieds de digue.

Ils comprennent du nord au sud successivement :

- Du PK 269,6 au PK 269,8 : la création d'une digue sur le Site-Industrialo-Portuaire de Tarascon, calée à la cote millénaire,
- Du PK 269,8 au PK 270,5 : le rehaussement à la cote millénaire du rideau de palplanches situé au droit de l'usine de Tembec,
- Du PK 270,5 (aval du rideau) au PK 270,750, la réalisation à la cote millénaire d'une digue non renforcée au déversement le long du chemin des ségonnaux,
- Du PK 270,750 (aval de Tembec) jusqu'au PK 275,800 (aval du canal des Alpines), la réalisation à l'ouest du remblai RFF d'une digue résistante à la surverse calée à la cote de protection, séparée de 15 mètres de pied à pied du remblai ferroviaire,
- Du PK 275,800 jusqu'au PK 278,900 (draille du mas Molin) la réalisation à l'ouest du remblai ferroviaire d'une digue, séparée du remblai ferroviaire, non renforcée au déversement et calée à la cote millénaire.

En ce qui concerne le mode de raccordement de la digue au droit du SIP de Tarascon. La faisabilité technique du prolongement de la digue dans l'espace situé entre l'usine Tembec et le remblai ferroviaire actuel ayant été jugée très complexe, le SYMADREM et RFF se sont orientés sur un prolongement de la digue le long du chemin des ségonnaux et un raccordement au droit du rideau de palplanches réalisé en 2003. La figure page suivante illustre ce principe de raccordement.



Raccordement de la digue entre Tarascon et Arles au droit du SIP de Tarascon

Les travaux de transparence hydraulique du remblai ferroviaire Tarascon/Arles consistent en la réalisation de :

- 10 ouvrages hydrauliques traversants, espacés d'environ 500 mètres au droit du tronçon de digue résistant à la surverse et dimensionnés de façon à évacuer, le débit de déversement de la crue exceptionnelle du Rhône estimé dans le rapport de phase 4 de l'étude de calage précis entre Beaucaire et Arles, réparti de façon homogène de l'amont vers l'aval,
- L'imperméabilisation du remblai ferroviaire sur le périmètre de l'opération,
- Les ouvrages d'entonnement des eaux, issues des déversements, dans l'espace inter-remblais compris entre l'aval du bassin de dissipation de la digue et le remblai ferroviaire,
- Les ouvrages de dissipation de l'énergie de l'eau à réaliser en aval de chaque ouvrage hydraulique traversant, dit "bassin de dissipation des ouvrages de transparence".

Le schéma de principe des travaux, au droit du tronçon de digue résistant à la surverse, défini dans l'étude préliminaire réalisée par RFF, à partir des données hydrauliques de l'étude de calage précis entre Beaucaire et Arles, est illustré dans les 2 figures pages suivantes :



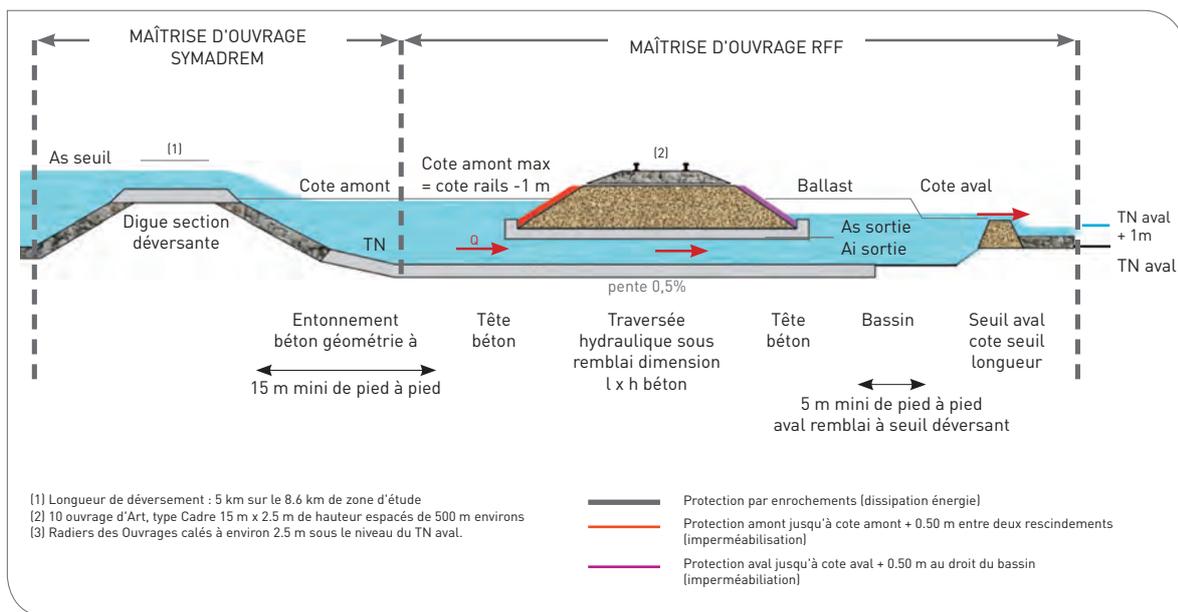


Schéma de principe des travaux entre Tarascon et Arles (source INEXIA/Coyne et Bellier [R65])

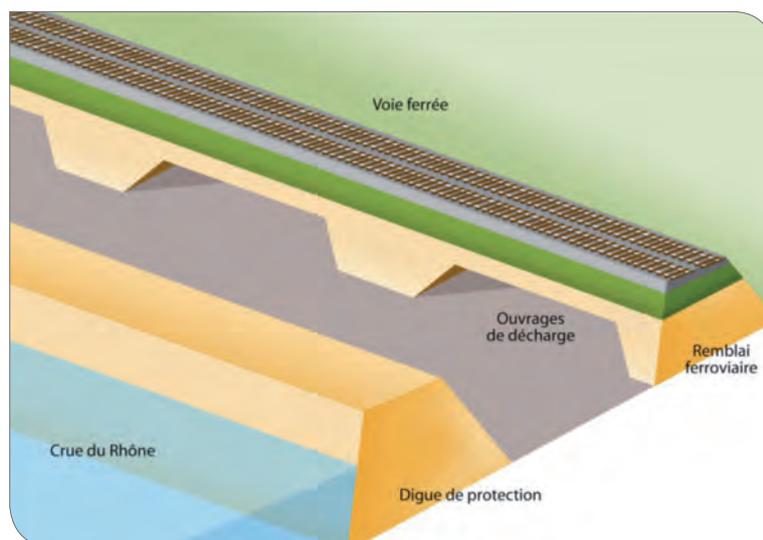


Schéma de principe des travaux entre Tarascon et Arles (source RFF)

16.7.4. MESURES D'ANNULATION ET RÉDUCTION D'IMPACT ET MESURES COMPENSATOIRES

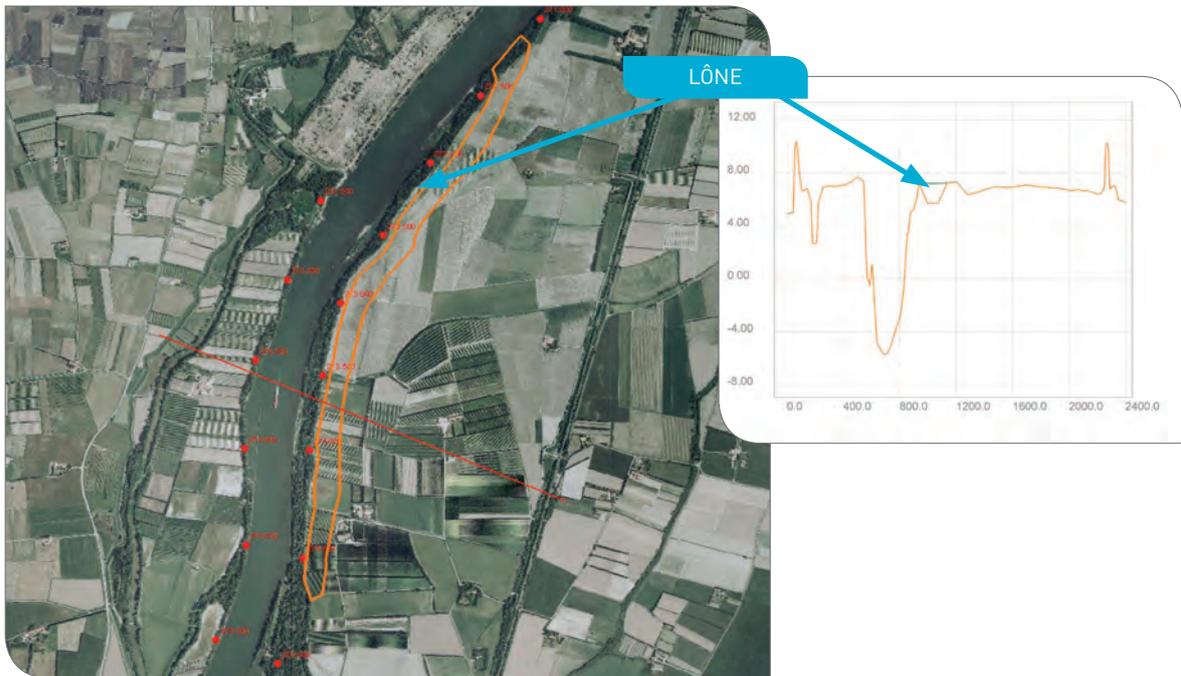
L'empiètement dans le ségonnal de la digue de 1^{er} rang occasionne, pour les crues non débordantes, un exhaussement de la ligne d'eau compris entre 2 et 5 cm pour une crue type décembre 2003 dans la traversée Beaucaire/Tarascon. Pour les crues débordantes, le recalage de la digue en rive gauche permet d'annuler cet impact et d'abaisser les lignes d'eau en aval.

Des mesures d'annulation et réduction d'impact ont été recherchées. Elles portent à la fois sur l'optimisation des ZEC situés entre le barrage de Vallabrègues et Beaucaire/Tarascon et sur la création d'une lône dans le ségonnal. L'association de ces deux mesures permet d'annuler l'impact des aménagements pour la crue cinquantiennale et la crue centennale.

Ces travaux d'accompagnement, d'annulation et réduction d'impacts hydrauliques liés à la création de la digue de 1^{er} rang, sous réserve de faisabilité, consistent en :

- Le rehaussement du déversoir de Boulbon de 0,4 m,
- Le rehaussement du déversoir de Comps de 0,3 m,
- Le rehaussement de la digue d'Aramon de 0,1 m,
- Le rehaussement de la digue des Marguilliers de 13,0 NGF à 14,5 NGF avec un déversoir de sécurité à 14,0 NGF,
- La création d'une lône en rive gauche entre le PK271 et PK274,5 (volume à extraire de 570 000 m³).

Le plan de situation de la lône à réaliser, figure ci-dessous :



Lône à aménager entre Tarascon et Arles (source CNR [R 16])

Une section trapézoïdale a été saisie dans le modèle hydraulique. Cette section fera l'objet d'une étude environnementale et d'une étude de renaturation du site.

La création de cette lône permet :

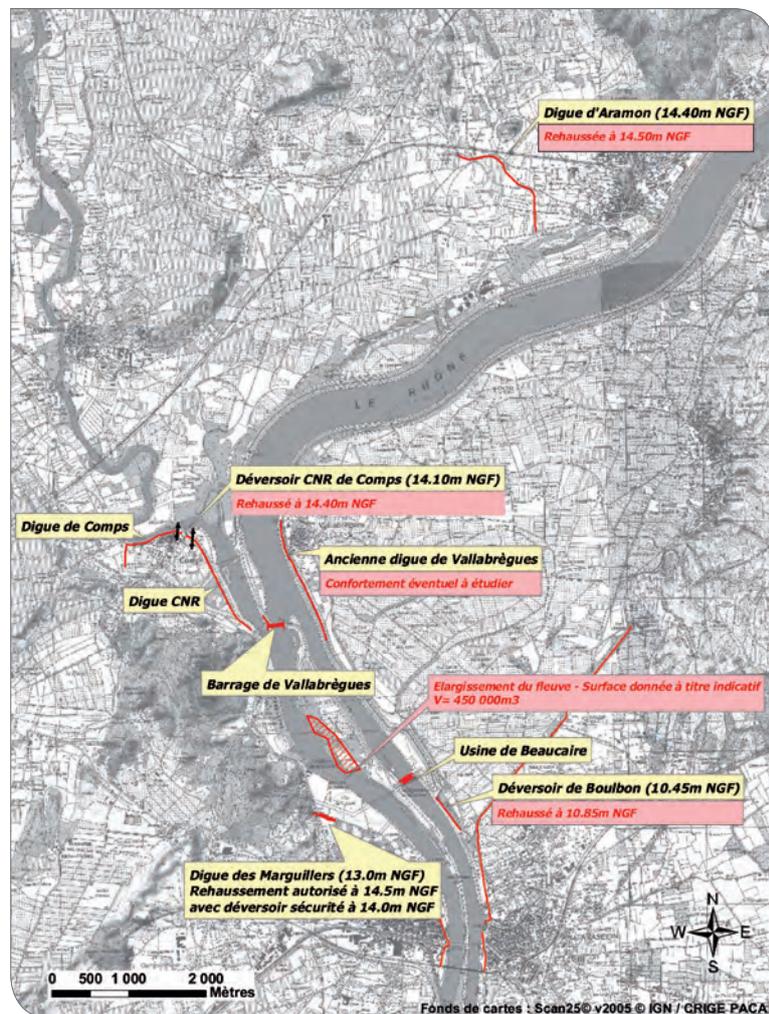
- L'annulation partielle de l'impact hydraulique lié à l'empiètement dans le lit majeur actif de la digue à créer entre Tarascon et Arles,
- La mise à disposition (sous réserve d'études géotechniques) à proximité de matériaux de remblais de type A1 ou A2 suivant la classification GTR nécessaires pour la réalisation de la digue,
- La création d'un milieu humide propice à la colonisation du site par des espèces remarquables.



Lône à aménager entre Tarascon et Arles

Les travaux inclus dans le programme d'optimisation des ZEC du schéma de gestion des inondations du Rhône aval, dont la localisation figure ci-après permettent :

- L'annulation complète (avec la lône) de l'impact hydraulique lié à l'empiètement dans le lit majeur actif de la digue à créer entre Tarascon et Arles pour la crue cinquantennale et la crue centennale,
- La diminution en fréquence de l'inondation de la plaine de Boulbon (période de retour d'environ ans actuellement à 20 ans après travaux),
- Labaissement d'environ 20 cm de la ligne d'eau pour la crue cinquantennale du Rhône pour des secteurs en aléa modéré pour cette fréquence de crue,
- L'harmonisation de la cote de protection des digues résistant à la surverse respectivement d'Aramon, de Comps et des Marguilliers qui sont, à l'instar des digues résistant à la surverse calées entre Beaucaire et Arles, calées légèrement au-dessus d'une crue type décembre 2003 sans brèche.



Opérations du programme d'optimisation des ZEC entre amont de Beaucaire/Tarascon

16.7.5. RÉPARTITION DE MAÎTRISE D'OUVRAGE DES ÉTUDES ET TRAVAUX ET EXPLOITATION DES OUVRAGES APRÈS TRAVAUX

La répartition des maîtrises d'ouvrage nécessaires à la réalisation de cette opération a fait l'objet d'une convention tripartite signée le 25 février 2011 entre l'état, RFF et le SYMADREM.

La répartition des maîtrises d'ouvrages études et travaux est la suivante :

Le SYMADREM assure la maîtrise d'ouvrage des études et travaux de création d'une digue de 1^{er} rang à l'ouest de la voie ferrée Tarascon et Arles tels qu'ils seraient réalisés sans la contrainte liée à la présence et proximité du remblai ferroviaire, ainsi que les travaux d'annulation et de réduction d'impacts associés à la réalisation de la digue.

Le périmètre d'intervention du SYMADREM, outre l'emprise de la lône et des ouvrages de Boulbon, Comps, Aramon et des Marguilliers, couvre l'espace compris entre l'extrémité Ouest de la piste d'exploitation située en amont de la digue de 1^{er} rang et l'extrémité Est de la piste d'exploitation située en aval de la digue précitée.

RFF assure la maîtrise d'ouvrage des études et travaux de transparence hydraulique du remblai ferroviaire.

Le périmètre d'intervention de RFF couvre l'espace compris entre l'extrémité Est de la piste d'exploitation située en aval de la digue de 1^{er} rang et l'extrémité Est de la piste d'exploitation située en aval du remblai ferroviaire.

Le SYMADREM et RFF acquièrent, chacun en ce qui les concerne, l'emprise foncière nécessaire à la construction des ouvrages.

Après réception de l'ensemble des travaux :

- Le SYMADREM assure l'exploitation de la digue de 1^{er} rang à l'ouest de la voie ferrée entre Tarascon et Arles,
- En ce qui concerne les ouvrages créés dans le cadre des mesures, d'accompagnement, de réduction et d'annulation d'impact de la digue, le SYMADREM exploite les ouvrages réalisés ou conventionne, notamment pour les ouvrages situés hors de son champ de compétence, avec d'autres gestionnaires (CNR...),
- RFF assure la maintenance des ouvrages de transparence créés et des ouvrages connexes (entonnement, dissipation aval).

16.7.6. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX ET JUSTIFICATION DU DÉCOUPAGE OPÉRATIONNEL

Plusieurs modélisations ont été réalisées afin d'optimiser le découpage opérationnel de l'opération.

L'hypothèse a été prise que les travaux de renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques seraient terminés avant achèvement de l'opération.

Pour la définition de la consistance de l'opération, 3 états d'aménagement ont été modélisés :

- Un état (appelé état intermédiaire n°6) correspondant à la création de digue de 1^{er} rang à l'ouest du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles **sans le rehaussement du SIP de Tarascon et comprenant l'optimisation des ZEC** de Boulbon, Comps, Aramon et des Marguilliers,

- Un état (appelé état intermédiaire n°7) correspondant à la création de digue de 1^{er} rang à l'ouest du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles **sans le rehaussement du SIP de Tarascon et comprenant la création de la lône** (volume extrait de 570 000 m³),
- Un état (appelé état intermédiaire n°8) correspondant à la création de digue de 1^{er} rang à l'ouest du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles **sans le rehaussement du SIP de Tarascon et comprenant l'optimisation des ZEC de Boulbon, Comps, Aramon et des Marguilliers et la création de la lône** (volume extrait de 570 000 m³),

On rappelle ci-dessous l'impact dans le lit endigué des aménagements prévus entre Beaucaire et Arles.

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE								
DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
10500	50 ans	Janv. 1994	- 6	- 5	- 21	-4	0	0	0	0	0
11500	100 ans	Déc. 2003	- 5	- 8	- 5	- 5	- 1	0	0	0	0
12500	250 ans	Mai 1856	- 3	- 6	-1	- 2	- 6	- 6	- 2 à 5	- 5	- 2 à 5
14160	1 000 ans	Millénale	+ 0 à 2	0	+ 8	+ 9	- 9	- 7	- 2 à 5	- 6	- 5 à 10

Impact hydraulique des aménagements entre Beaucaire et Arles (source CNR [R 16])

La modélisation de l'état intermédiaire n°6 avait pour objectif d'estimer l'impact lié aux opérations d'optimisation des ZEC de Boulbon, Comps, Aramon et des Marguilliers. Les résultats figurent ci-dessous :

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE								
DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE
10500	50 ans	Janv. 1994	- 2 à 5	- 2 à 5	- 10 à 15	0	- 0 à 2	- 0 à 2	- 0 à 2	- 0 à 2	- 0 à 2
11500	100 ans	Déc. 2003	- 2 à 5	- 2 à 5	+ 1	+ 2	0	0	0	0	0
12500	250 ans	Mai 1856	0	- 0 à 2	+ 4	+ 3	- 5 à 10	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 2 à 5
14160	1000 ans	Millénale	0	0	+ 7	+ 9	- 10 à 15	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10

Impact hydraulique de l'état intermédiaire n°6 (source CNR [R 16])

L'optimisation des ZEC en différant l'inondation des casiers précités permet d'écrêter la crue type 10500 et la crue type décembre 2003 sans brèche et de quasiment annuler l'impact du à l'empiètement de la digue à créer à l'ouest du remblai ferroviaire Tarascon/Arles pour les crues non débordantes, soit jusqu'à une crue type décembre 2003. Pour les crues débordantes, par rapport à l'état intermédiaire n°4 on a un exhaussement de la ligne d'eau de 1 cm. Cet état intermédiaire est jugé recevable.

La modélisation de l'état intermédiaire n°7 avait pour objectif d'estimer l'impact lié à la création d'une lône en rive gauche du Rhône. Les résultats figurent en page suivante.

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE									
DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE	
10500	50 ans	Janv. 1994	- 5 à 10	- 2 à 5	- 0 à 2	- 0 à 2	0	0	0	0	0	
11500	100 ans	Déc. 2003	- 2 à 5	- 2 à 5	+1	+ 2	+ 1	+ 1	0	0	0	
12500	250 ans	Mai 1856	- 2 à 5	- 2 à 5	+ 2	+ 1	- 5 à 10	- 5 à 10	- 2 à 5	- 5 à 10	- 2 à 5	
14160	1000 ans	Millénaire	0	- 0 à 2	+ 5	+ 7	- 10 à 15	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	

Impact hydraulique de l'état intermédiaire n°7 (source CNR [R 16])

La lône permet d'obtenir un impact quasiment nul jusqu'à la crue de référence. Cet état est jugé recevable.

La modélisation de l'état intermédiaire n°8 avait pour objectif d'estimer l'impact lié à la somme des deux mesures précitées (lône en rive gauche du Rhône + optimisation des ZEC). Les résultats figurent ci-dessous :

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE									
DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE	
10500	50 ans	Janv. 1994	- 4	- 4	- 16	- 1	0	- 1	0	- 1	- 0 à 2	
11500	100 ans	Déc. 2003	- 3	- 5/6	- 0 à 2	- 2	0	0	0	0	0	
12500	250 ans	Mai 1856	- 1	- 4	+ 2	+ 1	- 7	- 7	- 2 à 5	- 5	- 2 à 5	
14160	1000 ans	Millénaire	0	- 1	+ 5	+ 7	- 12	- 10	- 5 à 10	- 8	- 5 à 10	

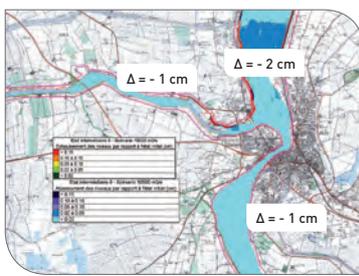
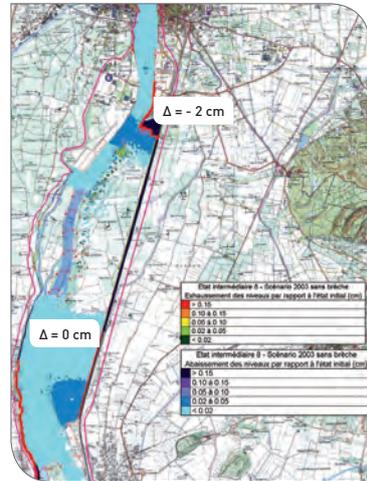
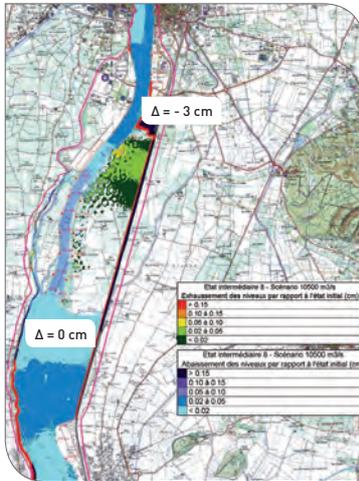
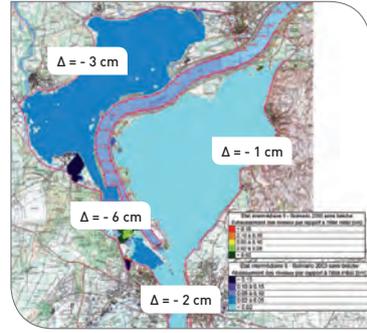
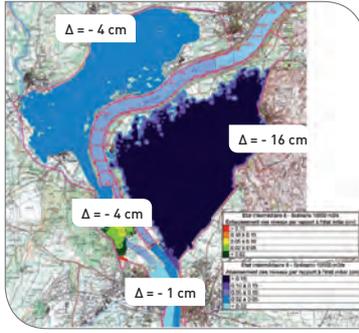
Impact hydraulique de l'état intermédiaire n°8 (source CNR [R 16])

Les deux mesures d'annulation et réduction d'impact permettent d'améliorer ou d'annuler la situation dans le système pour les crues non débordantes.

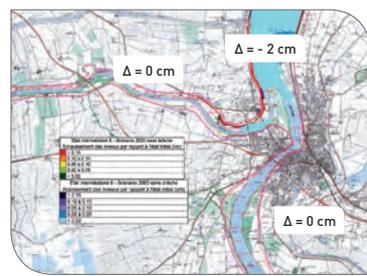
Pour la crue de référence, l'impact est quasiment nul dans la plaine de Boulbon et dans la traversée de Beaucaire/Tarascon.

Ce scénario permet d'optimiser les mesures d'annulation et réduction d'impact. C'est le scénario d'aménagement intermédiaire retenu par le SYMADREM.

Les cartographies d'impact pour les 4 scénarios de crues modélisées figurent en page suivante :

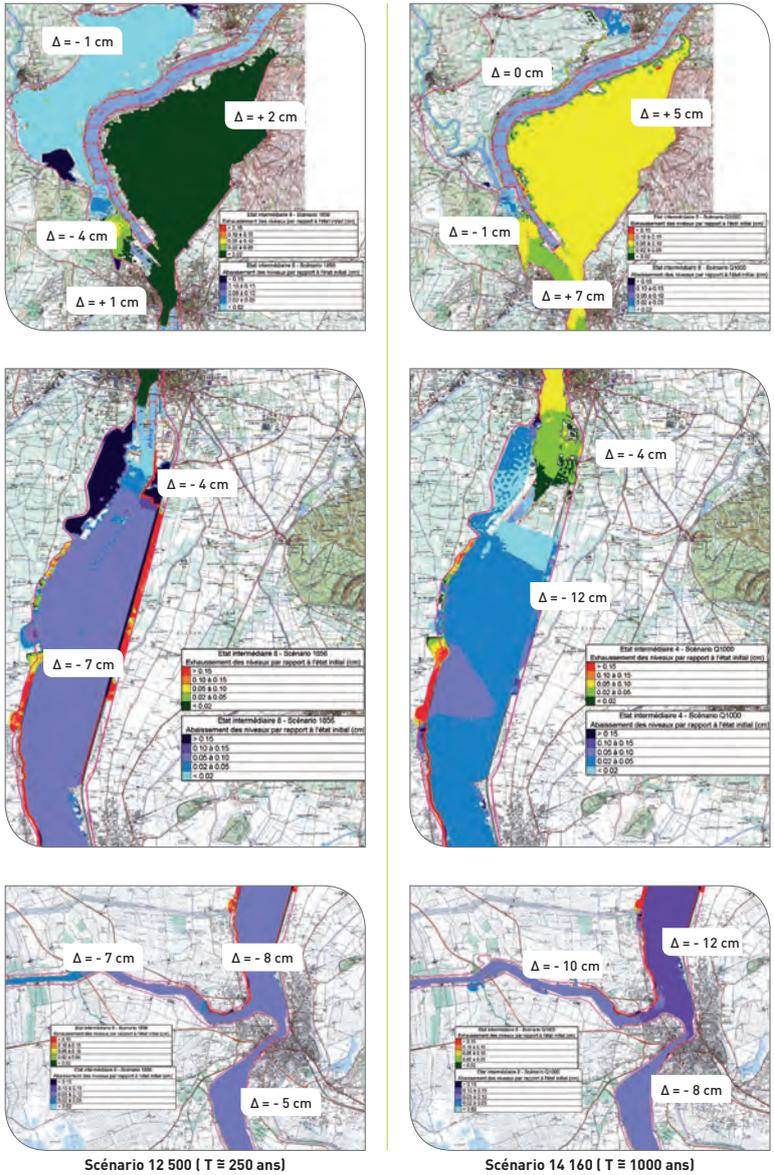


Scénario 10 500 (T ≈ 50 ans)



Scénario 11 500 (T ≈ 100 ans)

Impact hydraulique dans le lit endigué de l'opération de création d'une digue entre Tarascon et Arles (source CNR [R 16])



Impact hydraulique dans le lit endigué de l'opération de création d'une digue entre Tarascon et Arles (source CNR [R 16])

Dans le lit protégé, la suppression du risque de brèche pour la crue exceptionnelle permet une réduction considérable de l'aléa, comparable à celui estimé dans le cadre de l'opération Beaucaire/Fourques

Des mesures d'accompagnement dans le lit protégé ont néanmoins été prévues pour la gestion et le ressuyage des eaux déversées en rive gauche.

Elles sont présentées ci-après.

16.7.7. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT : GESTION ET RESSUYAGE DES EAUX DÉVERSÉES EN RIVE GAUCHE DU RHÔNE

Bien que la sécurisation des ouvrages de protection entre Tarascon et Arles réduit considérablement l'aléa et améliore sensiblement la situation des habitants de la zone protégée, des mesures d'accompagnement ont été envisagées pour améliorer la gestion et le ressuyage des volumes déversés pour les crues supérieures à une crue type décembre 2003 sans brèche.

L'opération couvre la rive gauche du Rhône de Tarascon à la Mer et plus particulièrement des secteurs suivants :

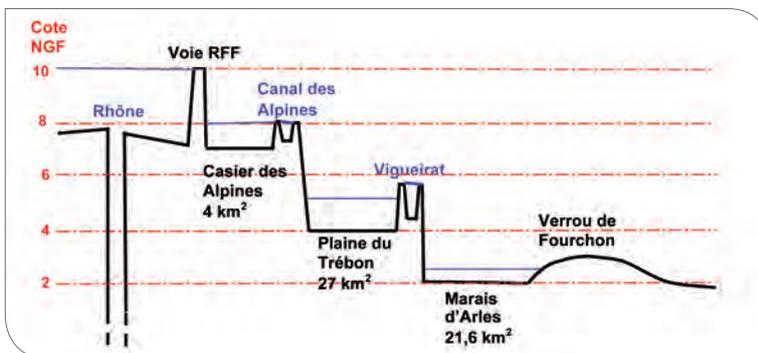
- La plaine de Tarascon,
- La plaine du Trébon,
- Les anciens marais d'Arles,
- Les anciens marais des Baux,
- La zone tertiaire de Fourchon,
- Les marais de Meyranne,
- Le canal d'Arles à Bouc jusqu'à l'exutoire final de ces eaux,
- Les secteurs urbanisés des villes d'Arles et Tarascon.

16.7.7.1. PROBLÉMATIQUE

La plaine inondable située en rive gauche du Rhône entre Tarascon et Arles est protégée des crues du Rhône par le remblai ferroviaire de la ligne Paris Lyon Marseille, construit au milieu du XIX^e siècle.

Cette plaine est constituée de l'amont vers l'aval d'une succession de casiers hydrauliques (cf. figure ci-dessous), séparés par des ouvrages en remblai :

- Le casier des Alpines, contrôlé par le canal des alpines (terrain naturel : 7 NGF, cote atteinte en décembre 2003 de 8 NGF),
- Le casier du Trébon, contrôlé par les digues du Vigueirat (terrain naturel : 4 NGF, cote atteinte de 5,2 NGF en décembre 2003),
- Le casier des marais d'Arles et des Baux, contrôlé par les obstacles de la traversée de Fourchon (terrain naturel entre 0 et 3 NGF, cote de 3 NGF en décembre 2003).



Section schématique de la rive gauche du Rhône, sud de Tarascon (sens des débordements amont aval). Les niveaux d'eau (en bleu) sont ceux observés en 2003 (source CGEDD [R 34]).

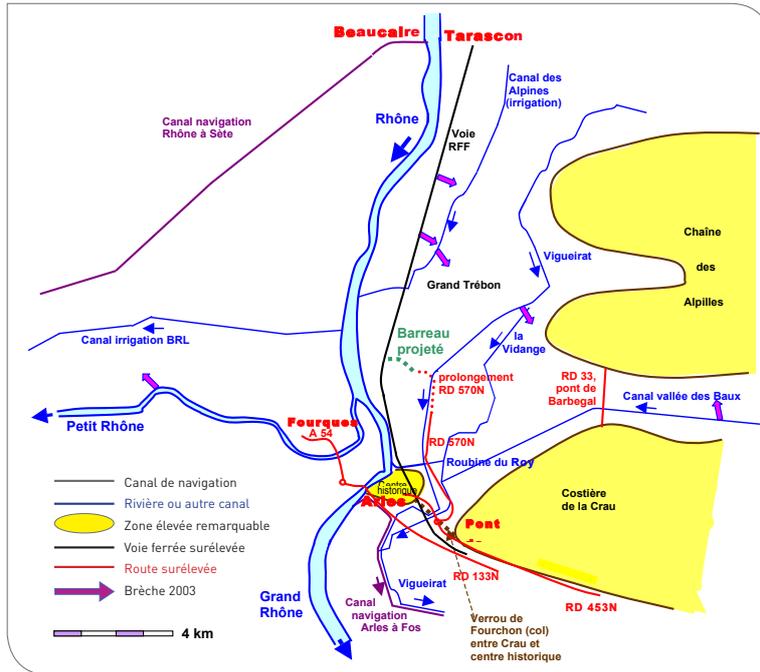


Schéma général du secteur Tarascon/Arles (source CGEDD [R 34])

La plaine est également exposée aux inondations provoquées par :

- Les crues du Vigueirat (crue décembre 2003, 1951),
- Les crues provoquées par l'impluvium local (massif des Alpilles),
- La concomitance des phénomènes précités (événement type décembre 2003).

Ce système actuel de propagation en cascade des eaux déversées est fortement préjudiciable aux quartiers sud de Tarascon (inondation par remous due à la présence des remblais du canal des alpines) et à la plaine du Trébon (inondation par remous due à la présence des digues du Vigueirat).

16.7.7.2. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

L'établissement du schéma de gestion et ressuyage des eaux déversées est en cours d'étude. Une liste d'action a été déterminée dans le schéma de gestion du Rhône Aval :

- BA 4b : protection rapprochée sud Tarascon,
- BA 4c : Amélioration du ressuyage du casier du Trébon,
- BA 4d : Amélioration du ressuyage marais des Baux,
- BA 4e : Transparence du canal des Alpines,
- BA 4f : Franchissement du Vigueirat,
- BA 4g : Digue amont Fourchon.

Ces actions sont localisées en page suivante.

Un objectif des aménagements de gestion et ressuyage de la plaine pourrait être le suivant :

- Avoir un aléa modéré pour la crue de référence pour toute la plaine en amont de Fourchon,
- La mise hors d'eau de la zone tertiaire de Fourchon pour la crue de référence.

Cet objectif devrait pouvoir être assuré principalement par :

- La mise en transparence du canal des Alpines (intéressant hydrauliquement pour les quartiers sud de Tarascon),
- La mise en transparence du Vigueirat (intéressant hydrauliquement pour la plaine du Trébon),
- Éventuellement l'accroissement de la capacité de transit en traversée de Fourchon.

La problématique du Vigueirat et la réalisation d'une dérivation vers le Rhône seront également abordées lors de la réalisation des études.

16.7.8. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX DANS LA ZONE PROTÉGÉE

L'impact hydraulique devra s'apprécier globalement ainsi 3 états seront modélisés :

- État initial (avec brèches),
- État initial + Digue Beaucaire Fourques + Digue Tarascon Arles + SIP Beaucaire Tarascon,
- État initial + Digue Beaucaire Fourques + Digue Tarascon Arles + SIP Beaucaire Tarascon + Gestion et ressuyage des eaux déversées en rive gauche.

16.7.9. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Cette opération fera l'objet d'une demande d'autorisation au titre des procédures décrites dans l'article intitulé "dossiers réglementaires" du chapitre "objectifs et description du programme de sécurisation".

Le SYMADREM établit les dossiers réglementaires relatifs à la digue de 1^{er} rang et aux mesures d'annulation et réduction d'impact.

RFF établit les dossiers réglementaires relatifs à la transparence hydraulique du remblai ferroviaire.

Compte tenu du caractère indissociable des travaux de création de la digue de 1^{er} rang et des travaux de transparence hydraulique du remblai ferroviaire sur le plan des fonctionnalités hydrauliques recherchées et des impacts cumulés possibles sur le plan environnemental, l'établissement des dossiers réglementaires nécessaires à l'autorisation administrative des travaux (comprenant notamment l'étude d'impact et l'étude de dangers) sera commun aux deux ouvrages conformément à la lettre de l'état à RFF du 13 juillet 2010 et sera confié à un prestataire unique.

16.7.10. PLANNING DES TRAVAUX

Sous réserve de l'obtention des autorisations administratives et de l'obtention des financements nécessaires aux travaux, les travaux devraient débuter en 2015.

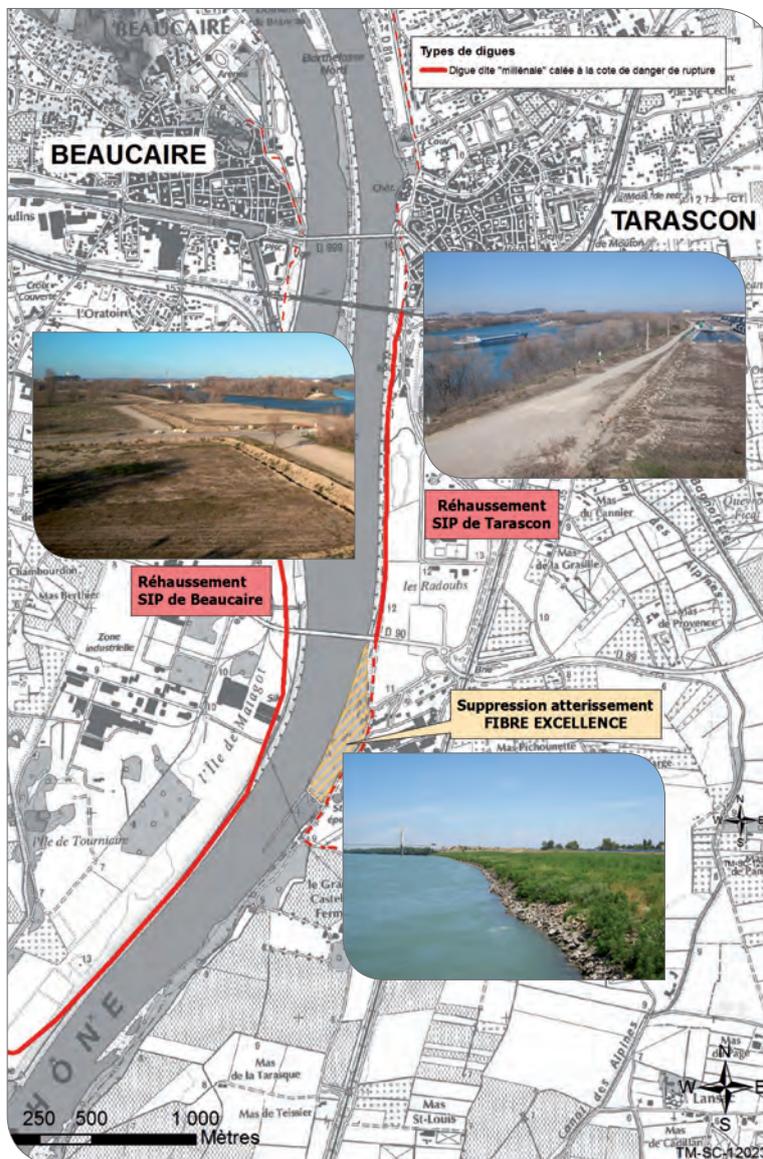
→ 16.8. RÉHAUSSEMENT DES SIP DE BEUCAIRE ET TARASCON

16.8.1. PÉRIMÈTRE DE L'OPÉRATION

Les ouvrages concernés sont :

- En rive droite, du PK 268,7 au PK 272,5 : le Site-Industriolo-Portuaire de Beaucaire,
- En rive gauche, du PK 268,0 au PK 269,6 : le Site-Industriolo-Portuaire de Tarascon.

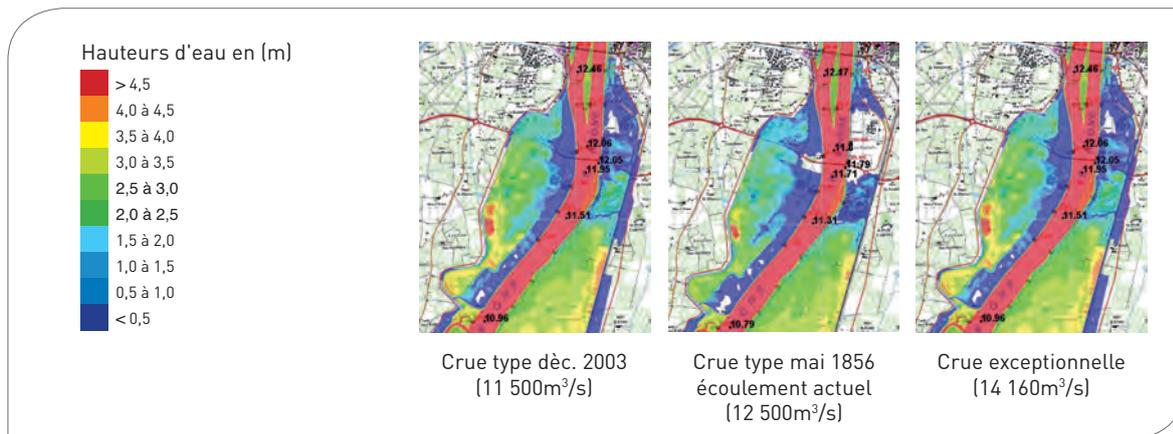
La figure ci-dessous présente la localisation des ouvrages concernés et de la mesure d'annulation et réduction d'impact associée à l'opération, à savoir la suppression de l'atterrissement au droit de l'usine Fibre Excellence :



Réhaussement des SIP de Beaucaire et Tarascon – périmètre de l'opération

16.8.2. DIAGNOSTIC ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

La figure ci-dessous, extraite de l'étude de calage, illustre l'inondabilité des SIP de Beaucaire et Tarascon dans les conditions actuelles, respectivement pour une crue type décembre 2003, la crue de référence et la crue exceptionnelle..



Les SIP de Beaucaire et Tarascon ne sont pas inondés pour une crue type décembre 2003 sans brèche. Pour des crues supérieures, les deux SIP sont inondés soit partiellement (Tarascon), soit totalement (Beaucaire).

L'inondabilité des deux SIP pour des crues inférieures à la crue exceptionnelle pose des problèmes de contournement des ouvrages lors des crues déversantes. Il est donc nécessaire de les mettre à la cote dite millénaire pour disposer d'une protection homogène entre Beaucaire et Arles.

Par ailleurs, dans le cadre du Plan Rhône, le SIP de Beaucaire a été identifié comme un espace stratégique en mutation, ce qui nécessite qu'il soit au maximum en aléa modéré pour la crue de référence, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui.

16.8.3. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

Les travaux le long du SIP de Beaucaire ont été étudiés dans le cadre l'étude de renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques. Ils consistent en la réalisation d'un mur de soutènement drainant en gabions avec la réalisation sur le talus amont d'un remblai étanche.



Site-Industrial-Portuaire (SIP) de Beaucaire

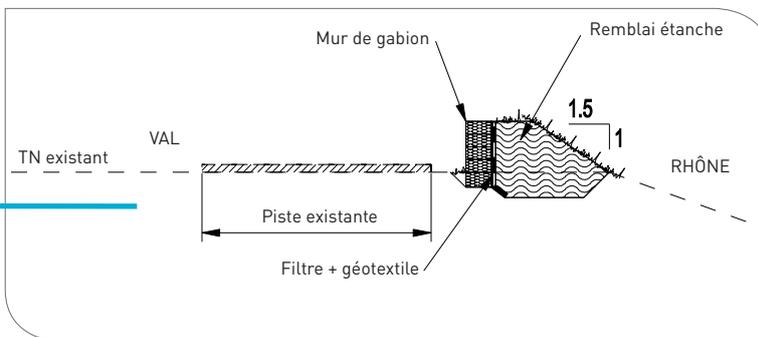


Schéma de principe du rehaussement du SIP de Beaucaire (source ISL [R 63])

Des travaux similaires sont prévus sur le SIP de Tarascon.

16.8.4. MESURES D'ANNULATION ET RÉDUCTION D'IMPACT

Les mesures d'annulation et réduction d'impact consistent en la suppression de l'atterrissement au droit de l'usine Tembec sous réserve de faisabilité technique, économique et réglementaire.

La faisabilité économique de cette mesure est conditionnée à la possibilité de, soit réutiliser les limons du site, soit à leurs relargages dans le Rhône.

Ces deux possibilités dépendront des analyses physico-chimiques des sédiments. Qu'elles que soient les résultats des analyses physico-chimiques, le SYMADREM s'engage à mettre en œuvre des mesures de réduction et d'annulation d'impacts de façon à avoir un impact nul en aval du barrage de Vallabrègues jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône.

Les produits de dragage pourraient être réutilisés en remblai pour la construction de la digue de 1^{er} rang à l'ouest de la voie ferrée. La faisabilité de cette mesure sera étudiée dès le démarrage des études de création de la digue de 1^{er} rang entre Tarascon et Arles.

16.8.5. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX

Plusieurs modélisations ont été réalisées afin d'optimiser le découpage opérationnel de l'opération.

L'hypothèse a été prise que les deux opérations respectivement de renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques et de création d'une digue à l'ouest de la voie ferrée entre Tarascon et Arles seraient terminés avant achèvement de l'opération.

2 états d'aménagement ont été ainsi modélisés :

- Un état (appelé aménagement 14) comprenant :
 - En rive gauche la création de la digue de 1^{er} rang à l'ouest du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles avec le rehaussement du SIP de Tarascon et comprenant l'optimisation des ZEC de Boulbon, Comps, Aramon et des Marguilliers et la création de la lône (volume extrait de 570 000 m³),
 - En rive droite le renforcement de la digue entre Beaucaire et Fourques avec le rehaussement du SIP de Beaucaire et le décaissement d'un volume de 450 000 m³ en aval du barrage de Vallabrègues.
- Un état (appelé aménagement 13) comprenant l'état précédent avec en sus la mesure de suppression de l'atterrissement au droit de l'usine Tembec.

L'impact de l'aménagement 14 figure ci-dessous :

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE									
DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEAUCAIRE TARASCON	BEAUCAIRE ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE	
10500	50 ans	Janv. 1994	- 2 à 5	- 2 à 5	- 15	- 0 à 2	0	0	0	- 0 à 2	- 0 à 2	
11500	100 ans	Déc. 2003	- 2 à 5	- 2 à 5	- 0 à 2	- 0 à 2	0	0	0	0	0	
12500	250 ans	Mai 1856	0	0	+ 2 à 5	+ 2 à 5	- 5 à 10	- 2 à 5	- 2 à 5	- 5 à 10	- 2 à 5	
14160	1000 ans	Millénaire	+ 2 à 5	+ 0 à 2	+ 10 à 15	+ 10 à 15	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	- 5 à 10	

Impact hydraulique de l'aménagement 14 (source CNR [R16])

Pour la crue cinquantennale et la crue centennale, on constate un abaissement de la ligne d'eau.

Pour la crue de référence, l'impact est nul dans la plaine d'Aramon et en aval du barrage de Vallabrègues. Dans la plaine de Boulbon et en traversée de Beaucaire/Tarascon, il est compris entre 2 et 5 cm. En aval de Beaucaire/Tarascon, on constate un abaissement de la ligne d'eau.

Pour la crue exceptionnelle, on constate un impact quasiment nul en aval du barrage de Vallabrègues, un impact notable respectivement de + 2 à + 5 cm dans la plaine d'Aramon et + 10 à + 15 cm dans la plaine de Boulbon et en traversée de Beaucaire/Tarascon.

En aval de Beaucaire/Tarascon, on constate un abaissement de la ligne d'eau.

Les exhaussements de ligne d'eau dans la plaine de Boulbon et en traversée de Beaucaire/Tarascon sont sans incidence sur la sécurité des ouvrages de protection et sur l'inondabilité de ces secteurs urbanisés.

En revanche l'exhaussement de la ligne d'eau dans la plaine d'Aramon et au droit de la digue d'Aramon peut avoir des conséquences sur l'inondabilité du centre urbain d'Aramon, qui est en aléa modéré pour ce type de crue.

L'impact quasiment nul en aval du barrage de Vallabrègues est sans incidence.

L'impact hydraulique de l'aménagement 13 figure ci-dessous. Il correspond à l'état final.

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE									
DÉBIT MAX TARASCON (EN M ³ /S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PLAINE ARAMON	AVAL BARRAGE	PLAINE BOULBON	TRAV. BEUCAIRE TARASCON	BEUCAIRE ARLES	PETIT RHÔNE AMONT	PETIT RHÔNE AVAL	TRAV. ARLES	GRAND RHÔNE	
10500	50 ans	Janv. 1994	- 6	- 5	- 21	- 4	0	0	0	0	0	
11500	100 ans	Déc. 2003	- 5	- 8	- 5	- 5	- 1	0	0	0	0	
12500	250 ans	Mai 1856	- 3	- 6	- 1	- 2	- 6	- 6	- 2 à 5	- 5	- 2 à 5	
14160	1000 ans	Millénaire	+ 0 à 2	0	+ 8	+ 9	- 9	- 7	- 2 à 5	- 6	- 5 à 10	

Impact hydraulique de l'aménagement 13 (source CNR [R 16])

C'est cet état qui a été retenu.

16.8.6. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Cette opération fera l'objet d'une demande d'autorisation au titre des procédures décrites dans l'article intitulé "dossiers réglementaires" du chapitre "objectifs et description du programme de sécurisation".

16.8.7. PLANNING DES TRAVAUX

Les travaux seront programmés pour s'achever concomitamment avec la création de la digue à l'ouest de la voie ferrée Tarascon/Arles.

En cas de réutilisation des matériaux issus de l'atterrissement pour le remblai de la digue à construire entre Tarascon et Arles, cette opération sera réalisée concomitamment avec l'opération précédente.

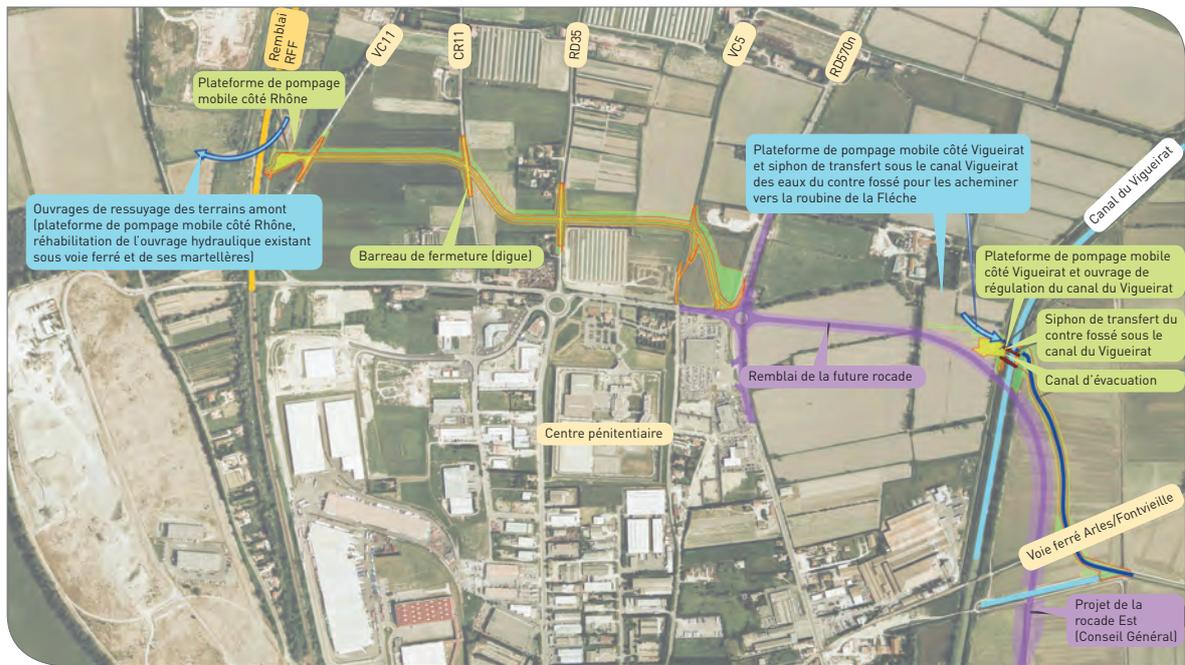
→ 16.9. PROTECTION NORD D'ARLES

La protection des quartiers nord d'Arles contre les crues du Rhône, entre le canal du Vigueirat et le remblai de la voie ferrée Paris / Lyon / Marseille est composée de deux ouvrages, à savoir :

- Le prolongement de la rocade de contournement d'Arles de la RD 570n, sous maîtrise d'ouvrage du Conseil Général des Bouches du Rhône,
- Une digue reliant ce remblai routier au remblai de la voie ferrée, dénommé "barreau de fermeture", sous maîtrise d'ouvrage SYMADREM.

16.9.1. PÉRIMÈTRE DE L'OPÉRATION

Le schéma ci-dessous représente les deux ouvrages composant la protection des quartiers nord d'Arles contre les crues du Rhône :



Protection des quartiers Nord d'Arles – étendue de l'opération

16.9.2. PROBLÉMATIQUE

Les quartiers nord ont été inondés lors de la crue de décembre 2003 suite à la rupture des digues de protection de deux trémies de la voie ferrée Tarascon/Arles (trémie du mas Tessier et trémie des ségonnaux).



Inondation des quartiers nord d'Arles en décembre 2003 (©ville d'Arles)

L'inondation de la plaine du Trébon et des quartiers nord d'Arles a concerné 9400 personnes et causé 334 millions d'euros de dommages répartis comme suit :

- Plaine du Trébon : 1200 personnes inondées (17 millions d'euros de dommages),
- Quartiers nord d'Arles : 8200 personnes inondées (317 millions d'euros de dommages).

16.9.3. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

Les travaux comprennent :

- La création d'une digue de protection des quartiers nord d'Arles contre les crues du Rhône,
- L'amélioration du ressuyage de la plaine amont avec création d'un ouvrage en siphon sous le Vigueirat, prolongé par un canal d'évacuation jusqu'à la roubine de Flèche, et réhabilitation des ouvrages sous la voie ferrée,
- La création de plateformes de pompage mobile côté Rhône et côté Vigueirat pour améliorer le ressuyage,
- La création d'un ouvrage de régulation du Vigueirat avec déversoir vers le canal d'évacuation, pour limiter les débits transitant vers la ville.

Le schéma de principe de la digue figure ci-dessous :

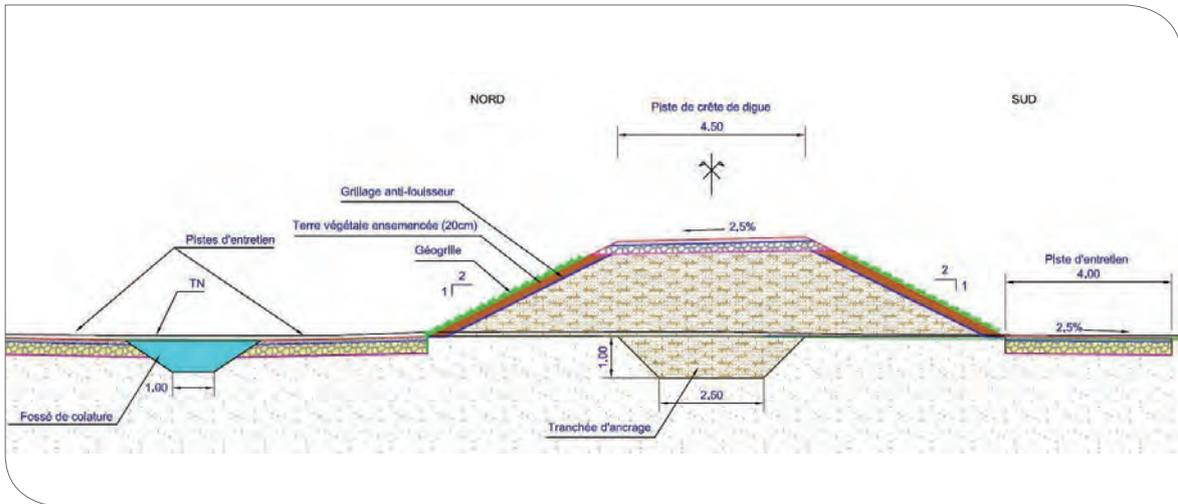


Schéma de principe de la digue nord (source EGISeau [R 66])

Le schéma de principe de l'ouvrage de régulation du Vigueirat figure ci-dessous :

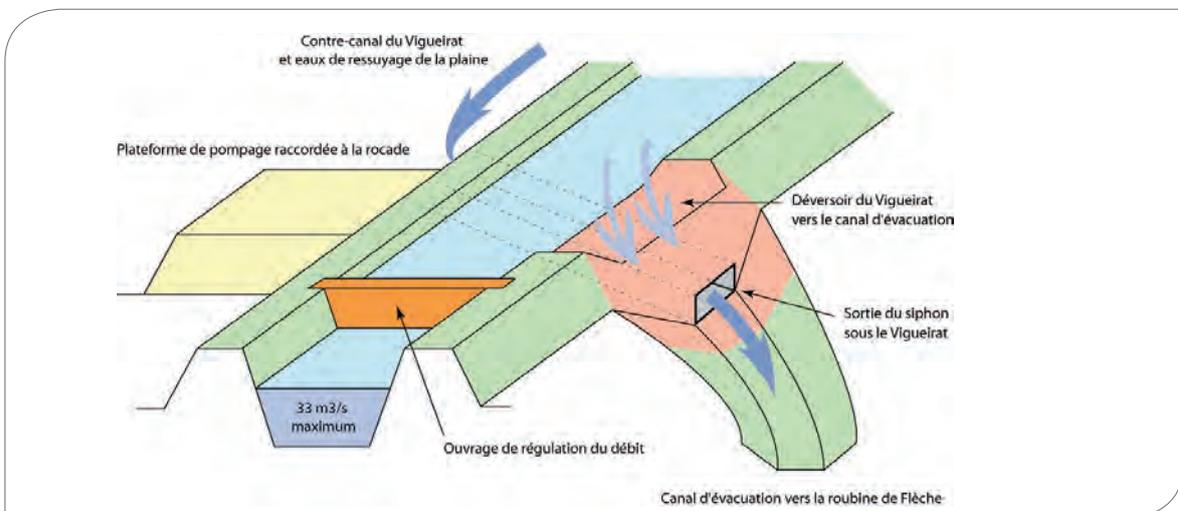


Schéma de principe du siphon de transfert sous le Vigueirat et ouvrage de régulation du Vigueirat (source EGISeau [R 66])

Les photos ci-dessous illustrent les travaux relatifs à cette opération :



Barreau de fermeture en cours de construction



Construction du siphon de transfert sous le Vigueirat



Pose du grillage anti-fouisseurs



Géogrille sur le talus amont en protection contre le batillage

16.9.4. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX

La réalisation de la digue nord avant mesures compensatoires avait pour impact de rehausser au maximum la ligne d'eau de 55 cm.

Après réalisation des mesures compensatoires l'exhaussement maximum est de 13 cm au droit de la digue et devient nul au sud de Tarascon. Cet exhaussement est sans incidence sur les conditions d'inondabilité dans la plaine du Trébon.

Les ouvrages de ressuyage permettent de réduire, pour un événement type décembre 2003 avec brèches la durée de ressuyage de 20 jours (constaté en déc. 2003) à 10 jours.

16.9.5. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Le prolongement de la rocade de contournement d'Arles de la RD 570n a fait l'objet d'une autorisation au titre des articles L 211-7 et L 214-1 à L 214-6 du code de l'environnement, en date du 12 octobre 2006.

Le barreau de fermeture a fait l'objet d'une autorisation au titre des articles L 211-7 et L 214-1 à L 214-6 du code de l'environnement, en date du 08 novembre 2007 et d'une déclaration d'utilité publique par arrêté préfectoral en date du 08 novembre 2007.

16.9.6. PLANNING DES TRAVAUX

Les travaux se sont déroulés du printemps 2011 à l'été 2012.

→ 16.10. RENFORCEMENT DES DIGUES DU GRAND RHÔNE – 1^{ÈRE} PRIORITÉ DIGUES DE SALIN-DE-GIRAUD ET PORT-SAINT-LOUIS-DU-RHÔNE

16.10.1. PÉRIMÈTRE DE L'OPÉRATION

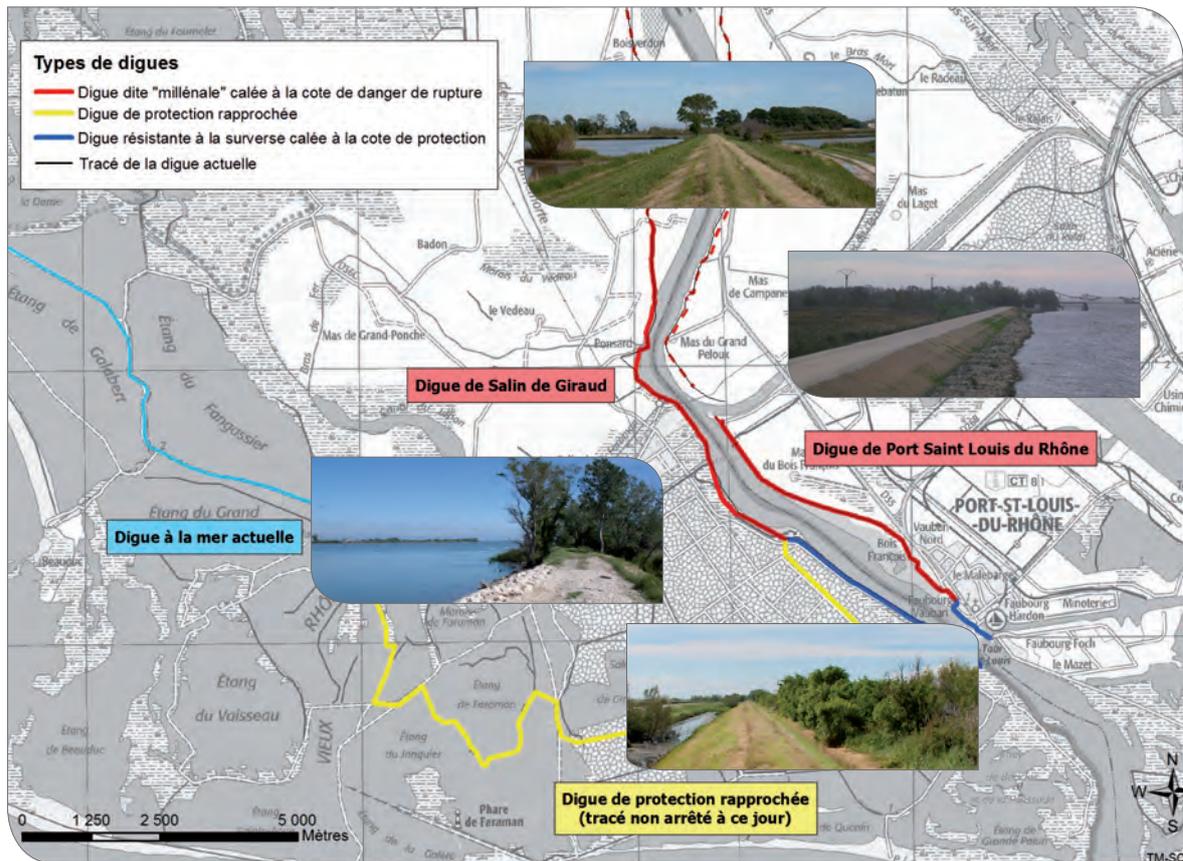
L'opération concerne les ouvrages suivants :

En rive droite du Grand Rhône :

- Du PK 313 au PK 324,5 : la digue de Salin-de-Giraud depuis le lieu-dit "la Louisiane" jusqu'à "la palissade",
- Au sud du village : la digue de protection rapprochée.

En rive gauche du Grand Rhône :

- Du PK 316,5 au PK 323 : la digue de Port-Saint-Louis-du-Rhône depuis le canal du Rhône à Fos jusqu'au centre-ville.



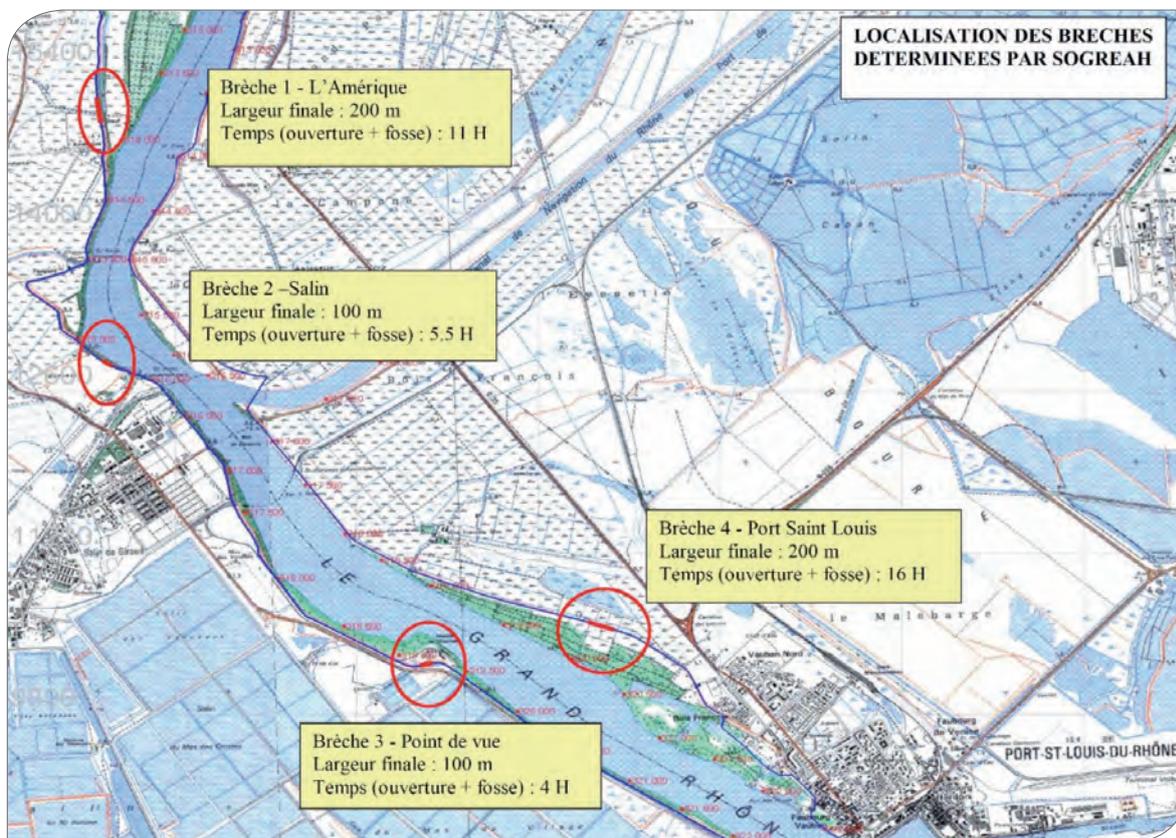
Renforcement des digues de Salin-de-Giraud et Port-Saint-Louis-du-Rhône – étendue de l'opération

16.10.2. DIAGNOSTIC ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

La phase de diagnostic a montré de nombreuses fragilités dans la digue de protection de Salin-de-Giraud. La géométrie des ouvrages (plutôt bas avec des pentes relativement douces) expliquent qu'ils aient assez bien résisté jusqu'à présent, cependant l'étude montre que pour des sollicitations importantes (dès la crue type 2003) le risque de brèche est fort.

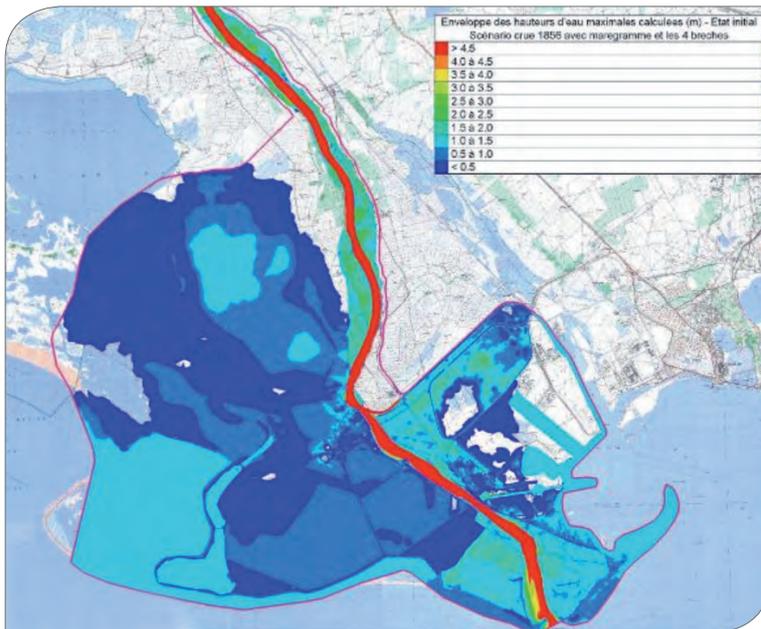
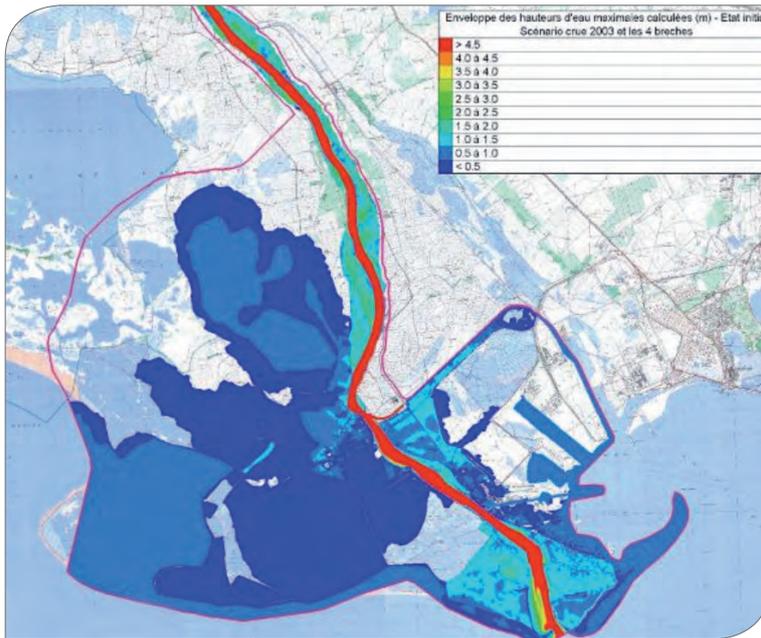
Le point bas à Chamone constitue le point le plus faible du système. Ce point bas représente un risque de brèche quasi-certain non acceptable. De plus les déversements, même en l'absence de brèche, sont très importants et couperaient les voies d'évacuation de Salin-de-Giraud.

Les zones probables de brèche résultant de l'étude de diagnostic figurent ci-dessous :



Zones probables de brèches issues du diagnostic (source SOGREAH [88])

En cas de crue similaire à celle de décembre 2003, les risques de brèche sur la digue de Salin-de-Giraud sont fort probables. Les deux figures suivantes donnent les ondes de rupture pour les crues de décembre 2003 sans brèche en amont et mai 1856.



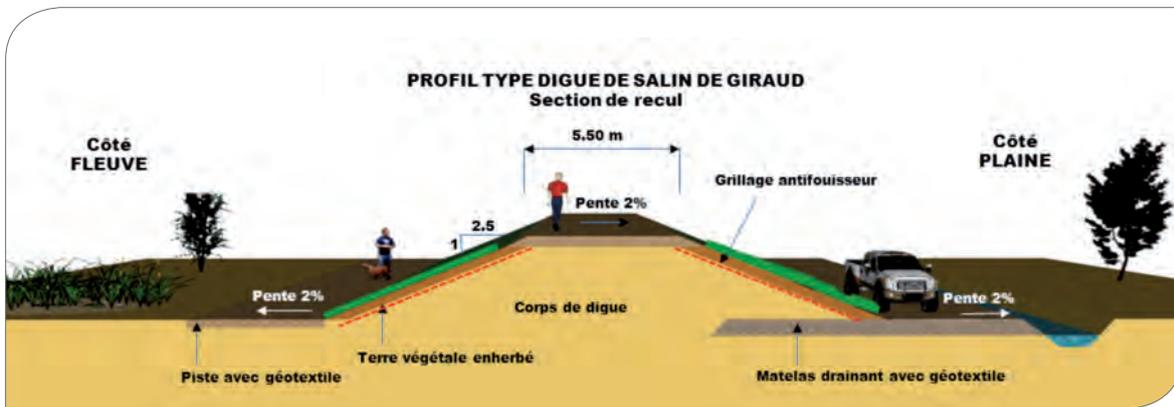
Aval Grand Rhône - Hauteurs d'eau maximum en cas de brèches pour une crue type décembre 2003 (à gauche) et une crue type mai 1856 (à gauche) (source CNR [18])

16.10.3. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

En rive droite du Grand Rhône du lieu-dit "la Louisiane" jusqu'à l'Estacade de l'Esquineau, les travaux consistent :

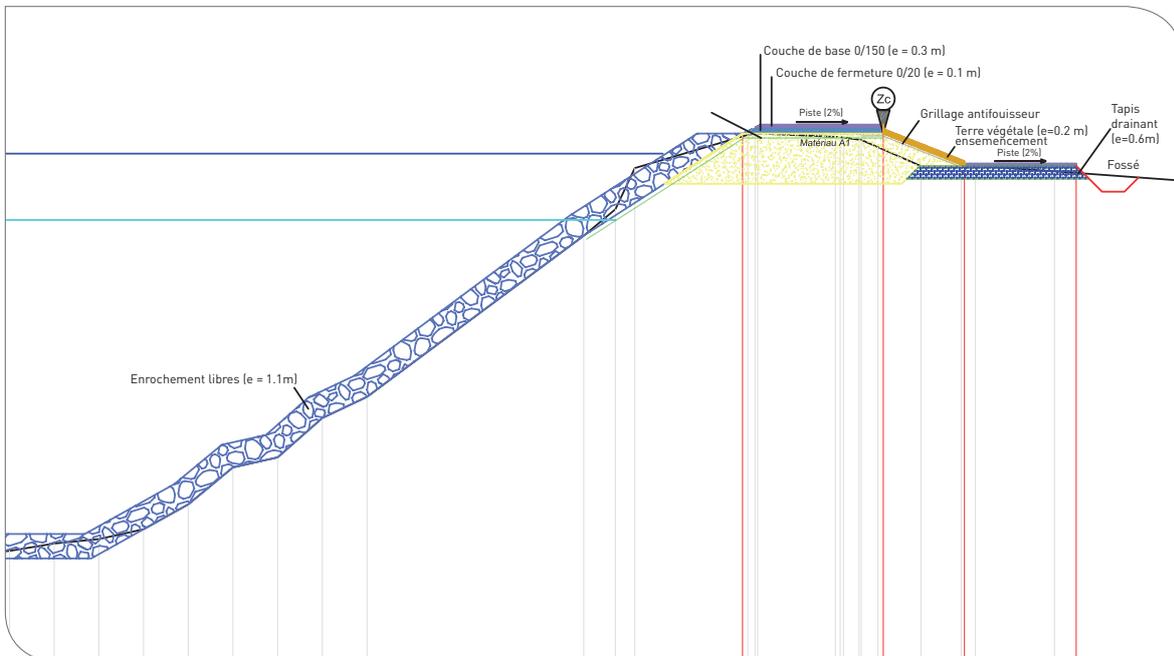
- Sur les secteurs où le recul des ouvrages est possible, en le démontage des digues actuelles et la reconstruction à distance du fleuve, des digues à la cote millénale assortie respectivement d'une revanche de 50 cm sur la majeure partie du linéaire et localement au droit des secteurs les plus exposés au batillage d'une revanche de 90 cm.

La figure ci-dessous, à destination du public, illustre le principe de travaux :



Digue millénale et digue de protection rapprochée (source SOGREAH [R 88])

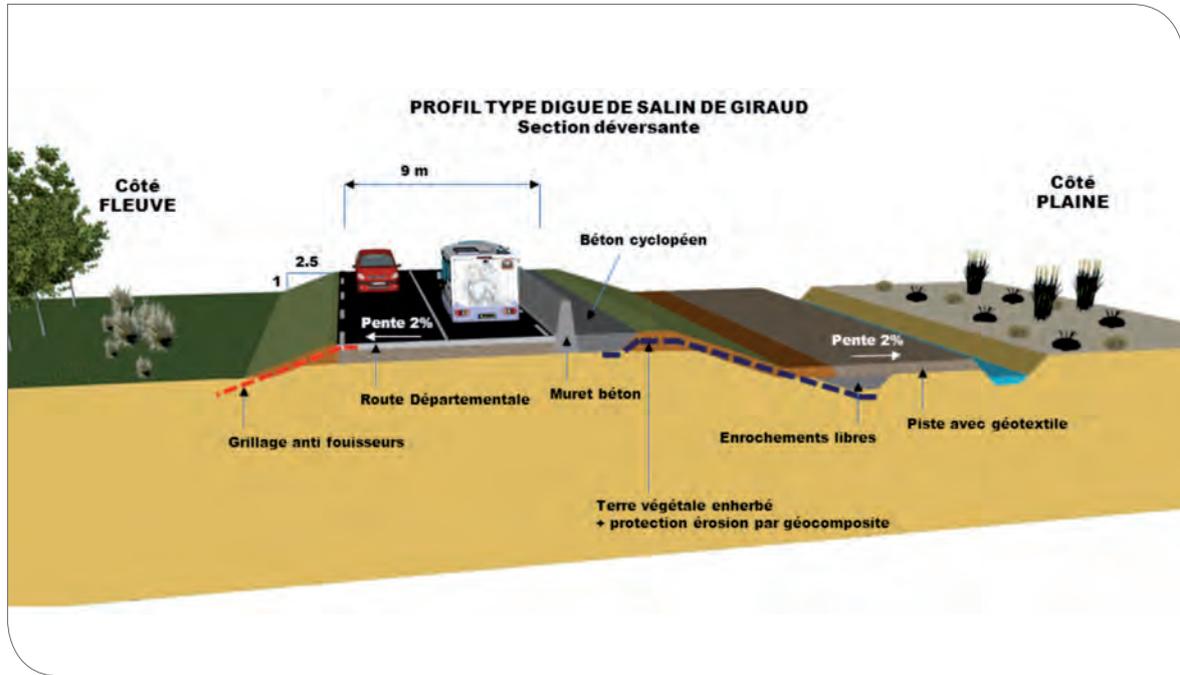
- Sur les secteurs où le recul n'est pas possible (présence d'habitation, usine Solvay...), le renforcement et le rehaussement des ouvrages est réalisé sur place. Les pieds de berge, exposés à l'érosion sont protégés par des enrochements libres suivant le principe décrit ci-dessous :



Protection de berge au droit des tronçons de digue à renforcer sur place (source SOGREAH [R 88])

En rive droite du Grand Rhône de l'Estacade de l'Esquineau jusqu'à la palissade, les travaux consistent en :

- Le démontage des digues actuelles (exposées à l'érosion de surface),
- La reconstruction des digues au droit de la route départementale calée à la cote de protection (crue type décembre 2003 moins 35 cm),
- Le renforcement à la surverse de la digue route créée.



Digue route résistante à la surverse (source SOGREAH [188])

La figure ci-dessus, à destination du public, illustre le principe de travaux dans le lit protégé en rive droite, en sus des aménagements précités, il est prévu la création d'une protection rapprochée au sud du village de Salin-de-Giraud et des zones stratégiques pour la Compagnie des Salins du midi. Cette action n'a pas été définie dans le schéma de gestion des inondations du Rhône aval, mais est rendue nécessaire au regard des résultats de l'étude de propagation des crues déversantes montrant, en l'absence d'une tel ouvrage, un niveau de protection, dans le village de Salin-de-Giraud, inférieur aux autres secteurs sensibles dans le Delta.

La digue est calée à la cote millénale assortie d'une revanche de 50 cm. Elle vient se raccorder au droit du Rhône vif avec la digue actuelle maintenue en l'état et à sa cote actuelle, soit une cote de submersion inférieure à la digue à créer.

En rive gauche du Grand Rhône, les travaux consistent :

- Jusqu'au centre-ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône, en le rehaussement à la cote $Q_{1000} + 50$ cm des digues confortées de 1998 à 2006,
- La création d'un parapet calé par rapport au niveau atteint par la crue type mai 1856 et capable de résister à un déversement sans rupture.

La figure ci-dessous, à destination du public, illustre le principe de création du parapet :



Parapet résistant à la surverse (source SOGREAH [R88])

Le profil en long du calage figure au chapitre relatif à “objectifs et description du programme de sécurisation”.

16.10.4. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX

L'impact hydraulique du programme dans le lit endigué du Grand Rhône figure au chapitre “Impacts et mesures du programme”.

L'impact du recalage des digues du Grand Rhône, indépendamment des aménagements prévus en amont, figure ci-dessous :

SCÉNARIO DE CRUE				IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE				
TYPE DE CRUE	PÉRIODE DE RETOUR	DÉBIT MAX (M ³ /S)	NIVEAU MARIN (COTE NGF)	ARLES PK283	ARLES / SEUIL DE TERRIN	SEUIL DE TERRIN/ PK 313	PK 313 À PK 316 (SDG RD)	PK 316 À LA MER (SDG RD ET PSL RG)
10500	50 ans	10 500	Marégramme janvier 1994	0	0	0	0 à - 2	-2 à - 1
Déc. 2003	100 ans	11 500 ± 5 %	Marégramme 2003 (pic à 1 NGF)	0	0	0 à - 1	-1 à - 4	-4 à - 5
Mai 1856	250 ans	12 500	Marégramme 2003 translaté à 1,3 NGF	0 à 1	0	0	0 à - 5	-5 à - 10
Exceptionnelle Niv. marin bas	1000 ans	14 160	0,5 NGF constant	+ 2 à 3	+ 2	+ 2 à 3	+ 3 à - 4	- 3 à - 1
Exceptionnelle Niv. marin haut	> 1000 ans	14 160	1,5 NGF constant	+ 2 à 3	+ 2	+ 2 à 3	+ 3 à - 4	-4 à - 11

Impact dans le lit endigué des aménagements sur le Grand Rhône

Cet impact est essentiellement dû à la présente opération de renforcement. En effet, les modifications de géométrie des opérations intitulées “renforcement de la digue de Prends-té-Garde à Grand Mollégès” et “renforcement des digues du Grand Rhône – 2^{ème} priorité” portent exclusivement sur l'implantation en plan de la digue et sont sans impact notable sur les lignes d'eau [R26]. Les modifications d'altimétrie sont limitées à garantir une revanche de 50 cm pour la crue exceptionnelle et sont donc sans incidence sur les crues considérées.

L'impact de la présente opération en amont est nul ou positif jusqu'à la crue de référence. Pour la crue exceptionnelle (non réglementaire), il est légèrement négatif au droit des digues de l'opération intitulée “renforcement des digues du Grand Rhône – 2^{ème} priorité” (+3 cm) et quasiment nul au droit l'opération de

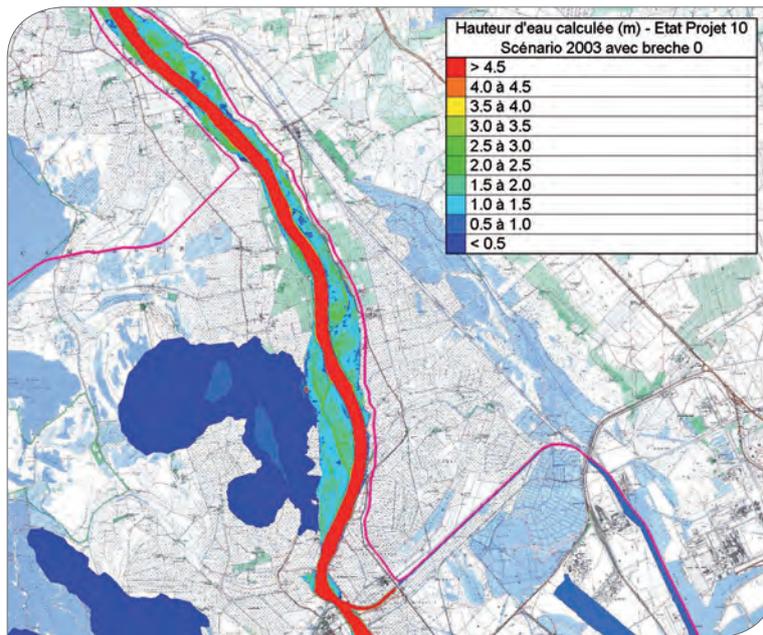
renforcement de la digue de Prends-té-Garde à Grand Mollégès. Compte tenu de ce que les digues, où ce léger exhaussement est constaté pour la crue exceptionnelle, ont été rendues carrossables dans le cadre du présent programme, on estime que l'impact sur la sécurité de l'ouvrage est compensé par l'augmentation de la capacité d'intervention du SYMADREM en cas de détection de désordres sur ce tronçon et qu'il est en conséquence acceptable.

Ce qui nous permet de conclure sur l'absence d'impact hydraulique notable de l'opération, qui est aujourd'hui le meilleur optimum entre impact hydraulique/sécurité des ouvrages hydrauliques et prise en compte du risque (enjeux) et qui peut être réalisée indépendamment des autres opérations.

L'impact dans le lit protégé de l'opération figure dans le chapitre relatif à l'impact du programme.

En amont du tronçon concerné par l'opération de renforcement, le risque de formation d'une brèche demeure fort à très fort dans la gamme des crues étudiées. La figure ci-dessous illustre l'impact d'une brèche en amont du lieu-dit "la Louisiane" pour une crue type décembre 2003.

Si l'impact d'une telle brèche serait moins préjudiciable en termes de sécurité publique que dans l'état actuel, il montre néanmoins la nécessité de traiter globalement les digues du Grand Rhône.



Modélisation d'une brèche en amont de la Louisiane pour une crue type décembre 2003 (source CNR [R18])

16.10.5. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Cette opération fera l'objet d'une demande d'autorisation au titre des procédures décrites dans l'article intitulé "dossiers réglementaires" du chapitre "objectifs et description du programme de sécurisation".

16.10.6. PLANNING DES TRAVAUX

Le démarrage des travaux est prévu en 2013.

16.11.2. DIAGNOSTIC ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

Ce tronçon de digue a été construit dans la moitié du XIX^e et n'a pas fait l'objet de travaux de confortement depuis. La crête des digues est calée au-dessus de la crue exceptionnelle du Rhône.

Une étude de faisabilité pour la protection sud d'Arles a été réalisée [81]. L'objectif de cette étude a été d'envisager différents aménagements dans le but de renforcer le système de protection au Sud de la commune d'Arles.

Un premier diagnostic des digues a mis en évidence les faiblesses de la digue actuelle entre les lieux dits "Prends-té-Garde" et "le Grand Mollégès" et a montré une insuffisance en termes de sécurité des ouvrages. Ces faiblesses sont notamment le fruit de l'âge et de l'absence d'entretien durant plusieurs décennies. Compte tenu des prescriptions de constructions et des niveaux d'eau considérés dans les années 1850, la digue assure une protection sécurisée jusqu'à la crue cinquantennale.

C'est pour pallier cette fragilité du système que divers aménagements ont été envisagés dans cette présente étude. Après une première analyse du fonctionnement hydraulique de la zone, cinq types d'aménagements ont été définis et étudiés plus en détail. Il est spécifié pour chacun d'entre eux, le système de protection, les avantages et inconvénients ainsi que les répercussions sur les quartiers d'Arles et sur l'aval notamment lors d'une défaillance du système. Des simulations de brèches ont permis d'évaluer approximativement le volume d'eau déversé et d'identifier les éventuels modes d'évacuation.

Les différentes options étudiées ont été les suivantes :

- Option 1 : Maintien de la digue en l'état et construction d'une digue de second rang,
- Option 2 : Maintien de la digue en l'état, construction d'une digue de second rang remontant en amont en longeant les remblais du canal d'Arles à Bouc,
- Option 3 : Confortement du remblai du canal d'Arles à Bouc et construction d'une digue de "second" rang,
- Option 4 : Confortement de la digue actuelle et construction de la digue de second rang,
- Option 5 : Confortement de la digue actuelle entre Prends-té-Garde et le Grand Mollégès.

Les particularités de ces options sont résumées dans le tableau en page suivante. Les options ont été comparées l'une par rapport à l'autre et jugées pour leur performance selon plusieurs critères :

- Faisabilité technique,
- Faisabilité sociale,
- Faisabilité économique,
- Faisabilité environnementale,
- Faisabilité juridique.

À l'issue de cette comparaison, la solution n°5, à savoir le confortement de la digue en place avec optimisation du tracé, a été retenue par le comité syndical du SYMADREM après avis favorable de la DREAL Rhône Alpes et de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer des Bouches-du-Rhône.

OPTION 1

OPTION 2

Description	Digue de second rang + maintien en l'état de la digue actuelle	Digue de second rang encerclant le quartier de Barriol + maintien en l'état de la digue actuelle
Cartes des aménagements		
Conséquences en cas de défaillance du système - Évacuation des eaux		
Avantages		1. Protection du quartier de Barriol
Inconvénients	1. Risques d'inondations des quartiers Suds d'Arles par contournement de la digue de second rang Ne permet pas de répondre au problème	1. Forte vulnérabilité du Petit Plan de Bourg 2. Solution difficilement acceptable par la population
Coûts		12 649 000 € HT
Protection civile		
Faisabilité sociale		
Faisabilité technique		
Faisabilité économique		
Faisabilité environnementale		
Faisabilité juridique		
Choix des aménagements		3

OPTION 3	OPTION 4	OPTION 5
Digue de second rang + maintien en l'état de la digue actuelle + digue le long du canal	Confortement de la digue actuelle + digue de second rang	Confortement de la digue actuelle
<p>Inondations du Petit Plan du Bourg - Formation d'une retenue d'eau</p>	<p>Inondations : du quartier de Barriol</p>	<p>Évacuation gravitaire des eaux vers l'aval par les canaux</p>
1. Forte amélioration de la protection Sud d'Arles	1. Forte amélioration de la protection des quartiers Sud d'Arles et de la population des habitants du Petit Plan de Bourg	1. Forte amélioration de la protection des quartiers Sud d'Arles et de la population des habitants du Petit Plan de Bourg
1. Forte vulnérabilité du Petit Plan de Bourg 2. Solution non acceptable par la population 3. Solution onéreuse	1. Aménagement onéreux 2. Risque d'inondation du quartier de Barriol en cas de brèche dans ce tronçon de digue	
16 739 500 € HT	17 971 000 € HT	12 500 000 € HT
4	2	1

16.11.3. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

Les ouvrages seront confortés de façon à se prémunir du risque de rupture jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône.

Localement sur les secteurs, où la largeur du ségonnal est insuffisante pour garantir l'absence de désordres majeurs sur la durée de vie des ouvrages où sur les secteurs avec une ripisylve importante, la digue sera déplacée à l'intérieur des terres suivant les principes généraux définis au chapitre relatif à "objectifs et description du programme de sécurisation".

16.11.4. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX

En termes d'altimétrie, la cote des ouvrages actuels étant située au-dessus de la crue exceptionnelle, les modifications de cote altimétrique des ouvrages se limiteront à garantir la revanche de 50 cm. En termes d'implantation, les zones de recul seront très limitées.

Les modifications de géométrie n'auront aucune incidence sur les écoulements et dans tous les cas seront inférieures aux limites de précisions des modèles hydrauliques mis en œuvre qui sont comprises entre -2 et +2 cm.

16.11.5. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Le confortement de ce tronçon de digue y compris le recul limité des digues a été autorisé par arrêté préfectoral du 12 avril 2002 au titre des articles L214-1 à L 214-6 du code de l'environnement dans le cadre du programme des invariants.

Le programme des invariants comprenait le confortement du tronçon de digue de l'écluse d'Arles jusqu'à Grand Mollèges. Il avait été suspendu sur le tronçon situé en aval de Prends-té-Garde à la demande de l'État dans l'attente de réaliser une étude de faisabilité de la protection au sud d'Arles : étude qui a rendu ces conclusions à l'automne 2010.

L'arrêté autorise le confortement côté terre et le recul limité de la digue entre le PK 291 et PK 292.

En ce qui concerne la durée de l'autorisation des travaux, l'arrêté prescrit un commencement des travaux sous 5 ans, ce qui est le cas ; les travaux de confortement de la digue de Barriol ayant commencé en 2006.

Les travaux ont été déclarés d'utilité publique par arrêté préfectoral du 19 décembre 2001. Le délai de validité pour les expropriations a été fixé à 5 ans. En conséquence, une nouvelle DUP sera nécessaire pour réaliser l'ensemble des acquisitions foncières nécessaires aux travaux.

Si la consistance de l'opération était différente des travaux autorisés, notamment au droit des zones de recul, un dossier de type porté à connaissance conformément à l'article R 214-18 du code de l'environnement serait établi.

16.11.6. PLANNING DES TRAVAUX

Le démarrage des travaux est prévu en 2013.

→ 16.12. RENFORCEMENT DES DIGUES DU GRAND RHÔNE 2^{ÈME} PRIORITÉ

16.12.1. PÉRIMÈTRE DE L'OPÉRATION

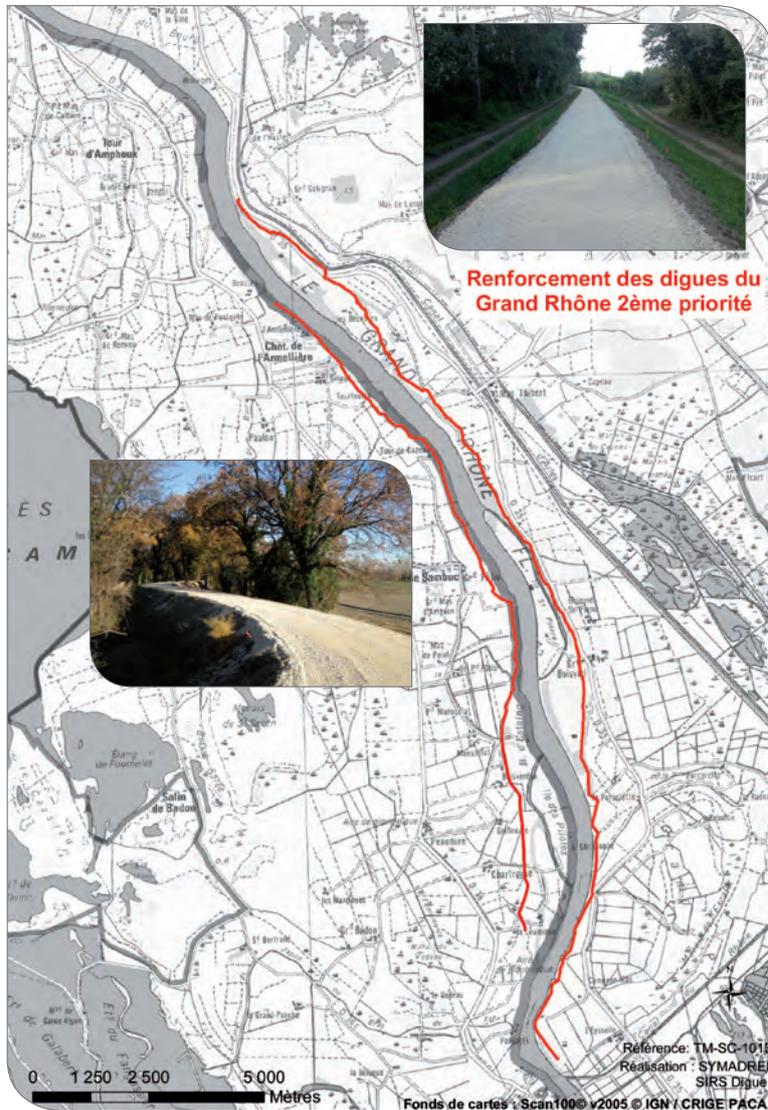
L'opération couvre les tronçons de digue suivants :

En rive droite du Grand Rhône :

- Du PK 289,0 au PK 313,0 : la digue de Petite Montlong au lieu-dit "l'Amérique".

En rive gauche du Grand Rhône :

- Du PK 294,5 au PK 316,5 : la digue du RD35 au canal du Rhône à Fos.



Renforcement des digues du Grand Rhône – 2^{ème} priorité

16.12.2. DIAGNOSTIC ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

Ces digues ont été construites dans la moitié du XIX^e et n'ont pas fait l'objet de travaux de confortement depuis.

Dans l'attente de travaux de renforcement, elles ont fait l'objet de travaux de carrossabilité en 2010 de façon à permettre en cas de détection de désordres en crue, des interventions rapides.

La crête des digues est calée au-dessus de la crue exceptionnelle du Rhône,

La cote de sûreté des ouvrages correspond suivant le diagnostic sommaire, et dans l'attente de réaliser des revues de sûreté conformément au décret du 11 décembre 2007, à la cote atteinte par une crue de période de retour 30 à 50 ans, ce qui est insuffisant au regard des enjeux actuels et compte du classement en catégorie B de ces digues.

16.12.3. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

Les digues de 1^{er} rang du Grand Rhône seront confortés de façon à se prémunir du risque de rupture jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône. Ils seront calés à la cote dite millénaire.

Localement sur les secteurs, où la largeur du ségonnal est insuffisante pour garantir l'absence de désordres majeurs sur la durée de vie des ouvrages et/ou présentant des contraintes environnementales fortes, la digue sera déplacée à l'intérieur des terres suivant les principes généraux définis au chapitre relatif aux "objectifs et description du programme de sécurisation".

Les travaux seront réalisés de l'aval vers l'amont, compte tenu des revanches de sécurité actuelles dans ce secteur.

16.12.4. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX

En ce qui concerne les digues de 1^{er} rang du Grand Rhône, la cote altimétrique des ouvrages actuels est située au-dessus de la crue exceptionnelle, les modifications de cote altimétrique des ouvrages se limiteront à garantir la revanche de 50 cm.

En termes d'implantation, les zones de recul seront très limitées.

Les modifications de géométrie n'auront aucune incidence sur les écoulements et dans tous les cas seront inférieures aux limites de précisions des modèles hydrauliques mis en œuvre qui sont comprises entre -2 et +2 cm.

16.12.5. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Cette opération fera l'objet d'une demande d'autorisation au titre des procédures décrites dans l'article intitulé "dossiers réglementaires" du chapitre "objectifs et description du programme de sécurisation".

16.12.6. PLANNING DES TRAVAUX

Les travaux seront réalisés dans le cadre du renouvellement du CPIER Plan Rhône ou du "plan de submersion rapide".

→ 16.13. RENFORCEMENT DES DIGUES DU PETIT RHÔNE – 1^{ÈRE} PRIORITÉ

16.13.1. PÉRIMÈTRE DE L'OPÉRATION

L'opération couvre les tronçons de digue suivants :

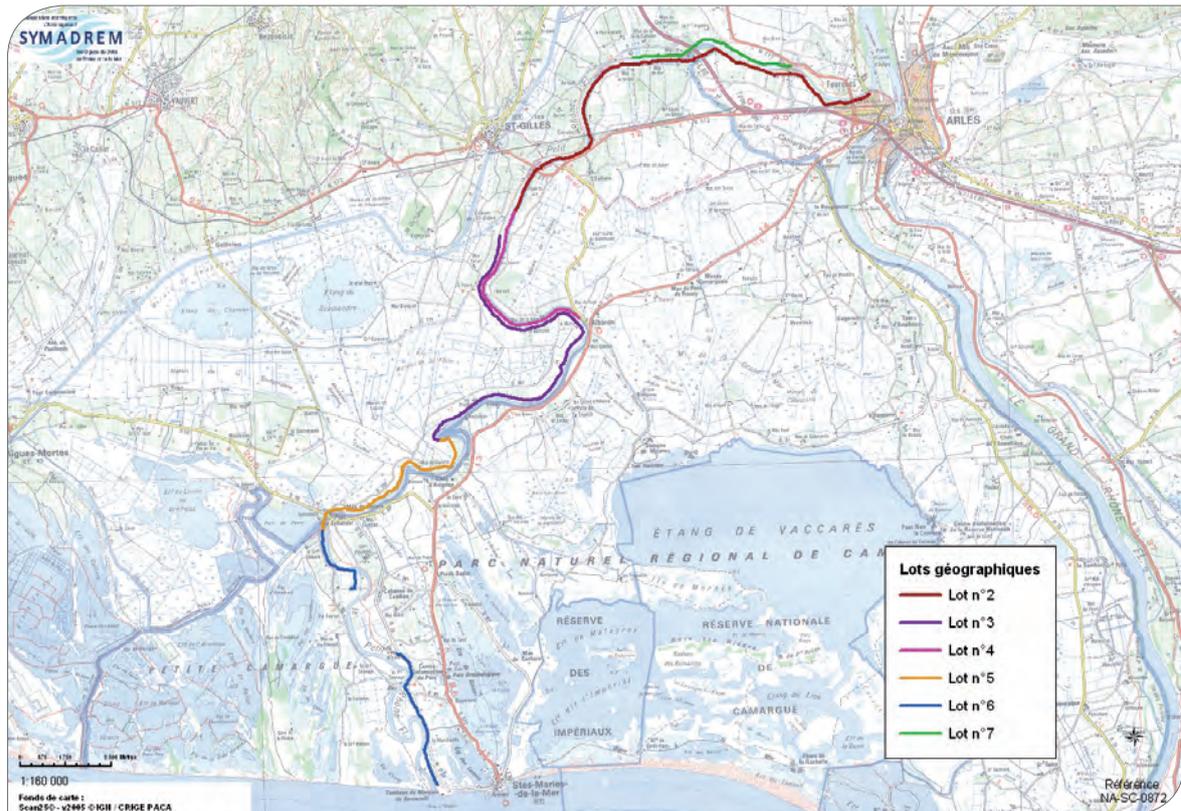
En rive droite du Petit Rhône :

- Du PK 284,5 au PK 292,5 : la digue de Tourettes à l'aval de Grand Cabane,
- Du PK 300,0 au PK 322,0 : la digue de l'Écluse de Saint-Gilles au pont de Sylvéréal,
- Du PK 322,0 au PK 326,0 : la digue du Pont de Sylvéréal au Mas du juge.

En rive gauche du Petit Rhône :

- Du PK 281,0 au PK 288,5 : la digue du pont suspendu à l'autoroute A54,
- Du PK 288,5 au PK 294,5 : la digue de l'autoroute A54 au Pont de Cavales,
- Du PK 294,5 au PK 297,3 : la digue du Pont de Cavales au Pont de Saint-Gilles,
- Du PK 297,3 au PK 307,5 : la digue du Pont de Saint-Gilles à Albaron,
- Du PK 329,5 au PK 336,5 : la digue du Mas d'Icard à la Mer.

Le plan de situation de l'opération figure ci-dessous :



Périmètre de l'opération renforcement des digues du Petit Rhône 1^{ère} priorité

16.13.2. DIAGNOSTIC ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

Les digues du Petit Rhône rive droite de la station de Tourettes à l'écluse de Saint-Gilles ont été confortées en deux phases respectivement :

- En 2004/2005 de la station de Tourettes à la station de Grand Cabane,
- En 2007 de la station de Grand-Cabane à l'Écluse de Saint-Gilles.

Néanmoins, du PK 284,5 au PK 292,5 (aval de Grand Cabane), la digue ne dispose pas de la revanche de 50 cm par rapport à la crue exceptionnelle après aménagements.

Les digues du Petit Rhône rive gauche du pont suspendu jusqu'au PK 283,0 (aval du mas de Cazeneuve) ont fait l'objet d'un confortement par la ville d'Arles suite aux crues de 1993 et 1994. Ce tronçon ne dispose également pas de la revanche de sécurité recherchée.

De façon à assurer un niveau de sûreté cohérent avec les objectifs déclinés du Plan Rhône, il y a lieu de mettre à la cote ces ouvrages.

Les autres tronçons de digue n'ont pas fait l'objet de travaux de confortement depuis leur création dans la deuxième moitié du XIX^e siècle. Une rénovation complète des digues s'avère nécessaire.

Outre le risque de surverse en rive droite du Petit Rhône en aval de l'écluse de Saint-Gilles pour des crues supérieures ou égales à une cinquantennale, la principale contrainte à laquelle sont exposées les digues du Petit Rhône est la contrainte morphodynamique.

Les digues sont très proches du fleuve et sont de fait très exposées à l'érosion provoquée par les écoulements du fleuve en crue. Si depuis 1840, aucune brèche n'a été occasionnée par affouillement externe, de nombreux désordres ont pu être recensés lors des crues récentes. Par ailleurs, des interventions ont eu lieu suite à la crue de décembre 2003 en plusieurs points du Petit Rhône.

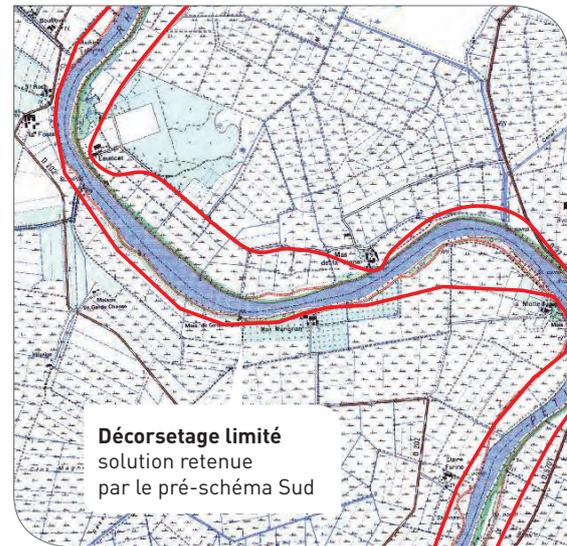
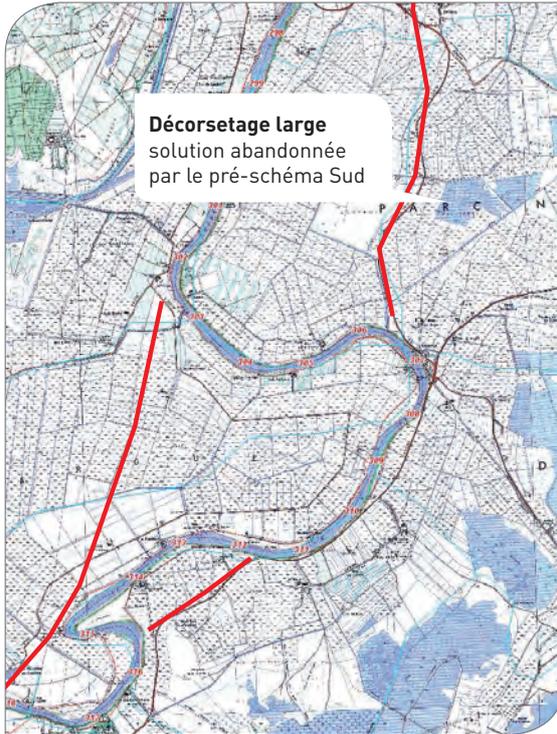
Lors de l'élaboration du schéma de gestion des inondations du Rhône aval, des projets de décorsetage des digues du Petit Rhône ont été étudiés par la DREAL de Bassin. L'objectif était d'abaisser suffisamment les lignes d'eau pour éviter des débordements entre Beaucaire et Arles. Les diverses modélisations réalisées ont montré que l'éloignement des digues du fleuve abaissait sensiblement les lignes d'eau dans le Petit Rhône, mais que cette baisse n'était plus notable en amont du défluent, ce qui était l'objectif initial. Par ailleurs, se posait le problème des nombreux mas situés en bordure du fleuve, qui se seraient vus non protégés par le nouveau système.

Le gain hydraulique n'étant pas avéré, le décorsetage "large" des digues a été abandonné et les partenaires du Plan Rhône se sont orientés vers un décorsetage "limité" des digues du Petit Rhône de façon à réduire les sollicitations mécaniques et hydrauliques du fleuve sur les digues.



Glissement de la berge et de la digue au droit du mas Marignan suite à affouillement externe

Les deux figures ci-dessous illustrent. Le principe étudié initialement et le principe de décorsetage limité :



Digues du Petit Rhône – type d'aménagement étudié dans le pré-schéma sud (Source DREAL Rhône Alpes [133])

L'éloignement des digues du fleuve réduit en période de crues les sollicitations mécaniques et hydrauliques du fleuve. Dès lors, il permet de s'affranchir des risques d'affouillement externe et des risques de glissement de berges en période de crues. Il permet d'éviter des protections lourdes de type enrochements ou palplanches, ce qui réduit sensiblement le coût des ouvrages et limite l'impact environnemental des ouvrages.

La seconde contrainte à laquelle sont exposées les digues du Petit Rhône est la contrainte environnementale liée à la présence de la ripisylve et des caisses d'emprunt en pied de digue qui peuvent être parfois des niches écologiques.

L'emprise des digues actuelles est actuellement insuffisante. Sur quasiment la totalité du linéaire, on note l'absence de pistes d'exploitation en pied de digue. Par ailleurs, la largeur en crête est souvent insuffisante pour permettre la circulation d'engins de terrassement. La pente des talus est parfois trop raide et ne confère pas aux ouvrages un coefficient de sécurité suffisant au regard des règles de l'art actuelles.

Hors période de crues, l'absence de piste d'exploitation ne permet pas d'exploiter efficacement, que ce soit lors des visites techniques approfondies ou lors des travaux de débroussaillage.

En période de crues, l'absence de piste d'exploitation côté terre ne permet pas d'assurer une surveillance efficace des ouvrages, notamment vis-à-vis des risques d'érosion interne qui demeure le risque principale de rupture sur les digues du SYMADREM.

La nécessité d'augmenter l'emprise des ouvrages, la contrainte environnementale liée à la présence de caisses d'emprunt et de ripisylve en pied de digue et la contrainte morphodynamique liée à la proximité du fleuve ont été exposées au chapitre relatif à l'impact du programme.

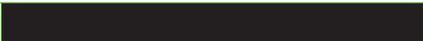
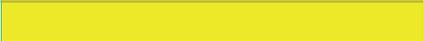
Les digues du Petit Rhône en rive droite ont subi deux brèches lors de la crue de décembre 2003 au droit des Mas d'Argence et de Claire Farine, alors que la rive gauche a été épargnée. En novembre 2002, une brèche avait été occasionnée en amont du Mas de Claire Farine.

En 1993 et 1994, des brèches avaient été occasionnées dans les digues du Petit Rhône rive gauche ; la rive droite ayant été épargnée.

On notera également que lors de la crue cévenole de 1996, un effondrement de la digue, n'ayant entraîné aucune inondation du Rhône, avait été observé au droit du Mas neuf de Capette.

Tous ces événements ont mis en évidence la fragilité et l'obsolescence des digues du Petit Rhône.

Un diagnostic approfondi a été établi par les différents prestataires des lots précités (références [R 83] à [R 87]). Chaque prestataire a quantifié précisément, pour chaque crue étudiée, la probabilité de formation d'une brèche par mode de rupture. Afin de synthétiser cette appréciation quantitative du risque à l'échelle du Petit Rhône, le SYMADREM assisté de son collège d'experts a défini des classes qualitatives de risque associées à des intervalles de probabilités. Elles sont décrites ci-dessous :

CLASSE DE RISQUE	PROBABILITÉ ASSOCIÉE	COULEUR ATTRIBUÉE
Certain à très probable	½ à 1	
Possible	½ à 1/10	
Improbable	1/10 à 1/100	
Très improbable	1/100 à 1/1000	
Extrêmement peu probable	< à 1/1000	

La qualification du risque de rupture fait référence aux définitions suivantes :

Événement extrêmement peu probable : le phénomène n'a pas jamais été observé sur l'ouvrage ou sur des ouvrages similaires mais n'est pas impossible.

Événement Très improbable : le phénomène n'a pas été observé sur l'ouvrage. Il a néanmoins été observé sur des ouvrages similaires. Cependant toutes les dispositions techniques conformes aux règles de l'art ont été prises en compte dans le cadre de la conception et de la réalisation de l'ouvrage pour prévenir l'occurrence du phénomène.

Événement Improbable : le phénomène n'a pas été observé sur l'ouvrage. Il a néanmoins été observé sur des ouvrages similaires mais dans un contexte plus défavorables en terme de sollicitations (vitesses, hauteur d'eau, temps de mise en eau) ou de résistance de l'ouvrage (caractéristiques mécaniques et de perméabilité des matériaux, géométrie).

Le phénomène a déjà été observé sur l'ouvrage dans des conditions d'écoulement comparables celles de la crue de sûreté. Des actions correctives, dont l'efficacité a été éprouvée sur l'ouvrage ou sur d'autres ouvrages, ont été mises en œuvre.

Événement Possible : le phénomène n'a pas été observé sur l'ouvrage dans des conditions d'écoulement comparables à celles de la crue de sûreté. Ce phénomène a cependant été observé sur d'autres ouvrages similaires dans des conditions d'écoulement comparables à celles de la crue de sûreté. L'état des connaissances sur la nature de l'ouvrage ne permet pas d'écarter l'occurrence de ce phénomène.

Le phénomène a déjà été observé sur l'ouvrage dans des conditions d'écoulement comparables à celles de la crue de sûreté. Des actions correctives, dont l'efficacité n'a pas été éprouvée sur l'ouvrage ou sur d'autres ouvrages, ont été mises en œuvre.

Événement Probable : le phénomène a déjà été observé sur l'ouvrage dans des conditions d'écoulement comparables à celles de la crue de sûreté. Aucune action corrective n'a été mise en œuvre.

Événement Certain à très probable : le phénomène a déjà été observé sur l'ouvrage dans des conditions d'écoulement moins défavorables que celles de la crue de sûreté. Aucune action corrective n'a été mise en œuvre.

De ces diagnostics, il en résulte que :

- En rive droite du Petit Rhône, en aval de l'écluse de Saint-Gilles, le risque de rupture par surverse est certain à très probable dès la crue 10500 (crue type janvier 1994),
- En rive gauche du Petit Rhône, sur le tronçon de digue compris entre l'aval du mas de Cazeneuve et Albaron, le risque de rupture par surverse est possible pour une crue 10500 et le risque de rupture par érosion interne, certain à très probable ce qui confirme les épisodes vécus en 1993, 1994, 2002 et 2003.

16.13.3. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

Les travaux consistent en :

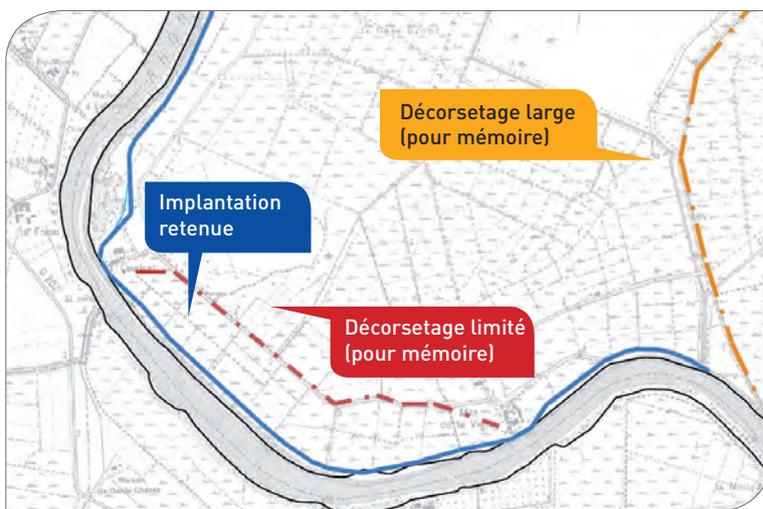
- L'aménagement de **trois tronçons de digue résistants à la surverse en rive droite** d'une longueur développée respectivement en rive droite de 0,5 km (PK 301,0 à 301,5) et 1,9 km (PK 302,6 à 304,5) et en rive gauche d'une longueur développée de 1,5 km (PK 298,25 à 299,75) :
 - Calés en altimétrie pour éviter tous débordements pour une crue de type 10 500,
 - Et renforcés pour les crues débordantes (crues type décembre 2003, type mai 1856 ou crue exceptionnelle) pour résister à un déversement sans rupture d'ouvrage.
- L'aménagement, en amont et en aval de ces tronçons résistants à la surverse, de **tronçons de digue dite "millénaire"**,
- Le renforcement au déversement du tronçon de digue rive droite du Petit Rhône depuis le PK 322,5 au PK 330,8 à la cote identique.

Le profil en long projeté figure au chapitre intitulé "objectifs et description du programme de sécurisation".

En termes d'implantation, les principes d'aménagements intégrant les objectifs environnementaux du présent programme (article 11.4.3.) et les contraintes morphodynamiques liées à la proximité des digues du fleuve, sont résumés ci-après :

- Sur les tronçons de digue actuellement éloignés du fleuve sans contrainte environnementale forte en pied de digue : la digue est confortée sur place,
- Sur les tronçons de digue actuellement éloignés du fleuve avec des contraintes environnementales forte en pied de digue, la digue est déplacée en aval des caisses d'emprunt,
- Sur les tronçons de digue sujets aux risques d'affouillement externe sans contrainte foncière en aval des digues : la digue est déplacée à une distance raisonnable pour limiter les contraintes sur l'agriculture,
- Sur les tronçons de digue sujets aux risques d'affouillement externe avec des contraintes foncières en aval des digues : la digue est confortée sur place. Suivant la situation et les risques identifiés (rupture ou désordre) la digue est confortée au moyen de techniques lourdes ou une méthode de surveillance de la berge est mise en place.

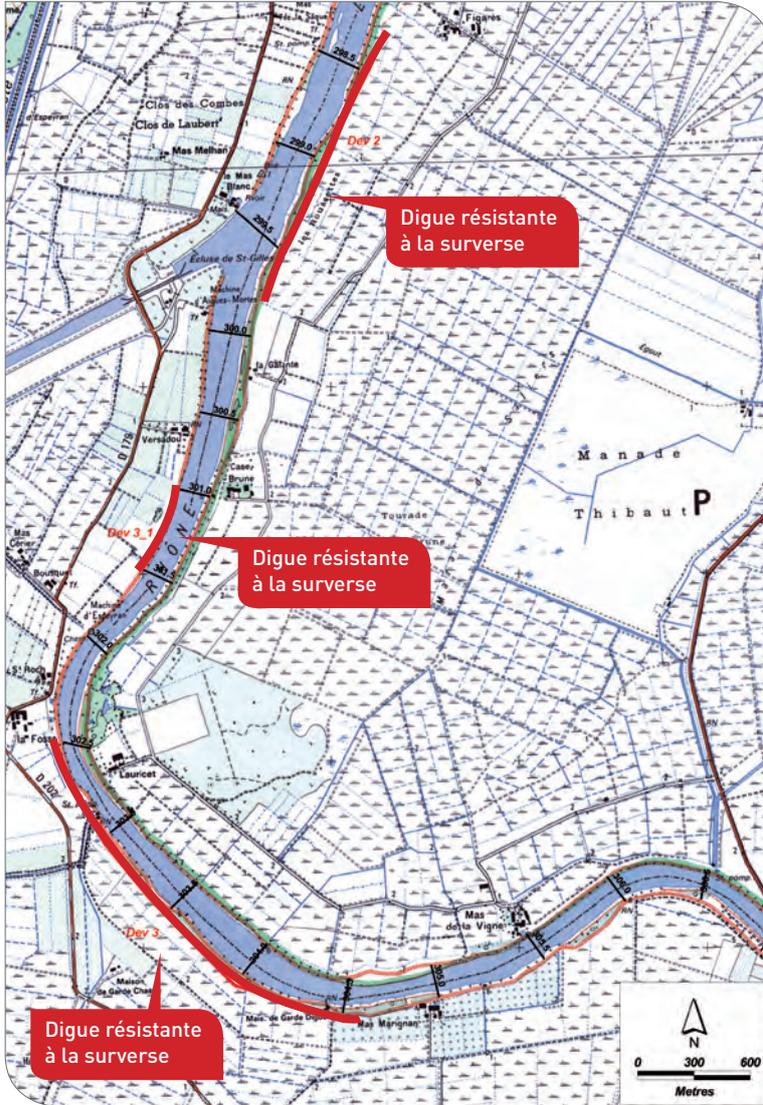
La figure ci-dessous illustre le choix d'implantation de la digue en amont d'Albaron :



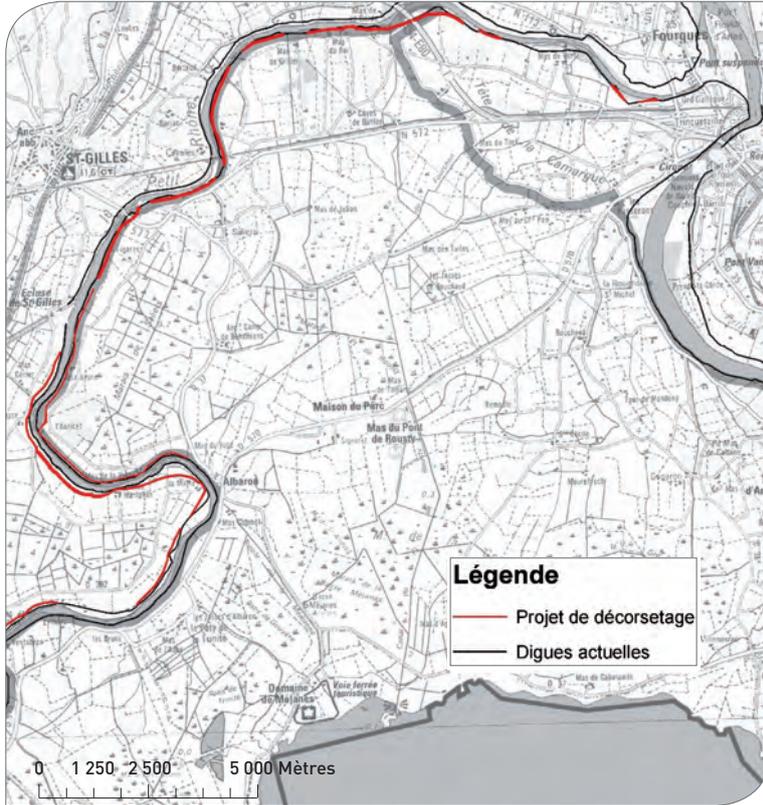
Implantation future des digues du Petit Rhône

Les figures en pages suivantes illustrent respectivement l'implantation projetée des digues résistantes à la surverse et l'implantation des digues dites millénales.

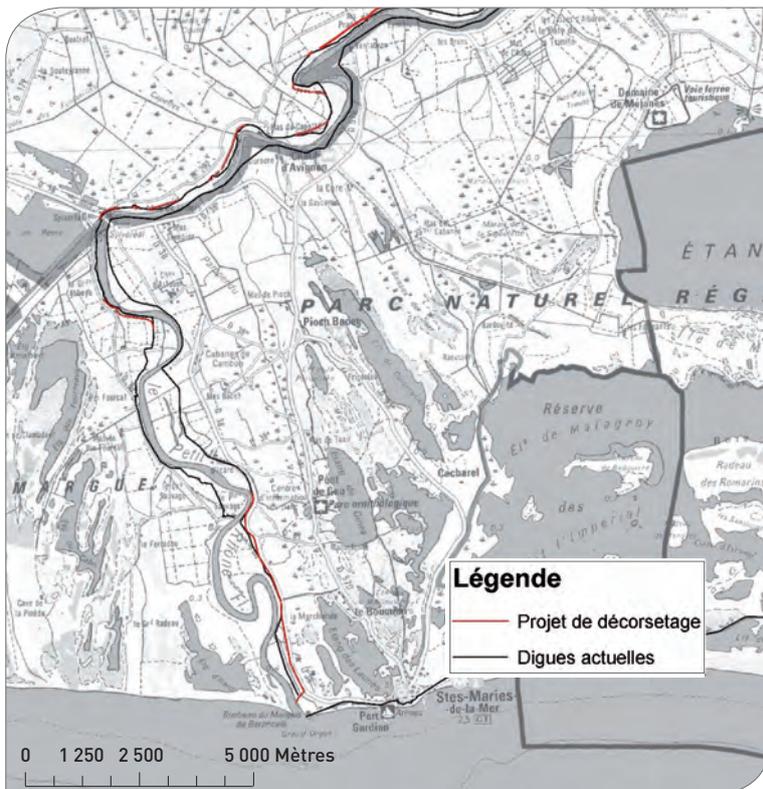
Le tracé final sera arrêté à l'issue des études d'avant-projet, des études environnementales en cours et de la concertation avec les propriétaires impactés par le projet.



Renforcement des digues du Petit Rhône – Implantation des digues résistantes à la surverse en amont du pont de Sylvéréal



Renforcement des digues du Petit Rhône – implantation des ouvrages (en rouge)



Renforcement des digues du Petit Rhône implantation des ouvrages (en rouge)

Le schéma de principe retenu sur la majeure partie du linéaire figure ci-dessous :

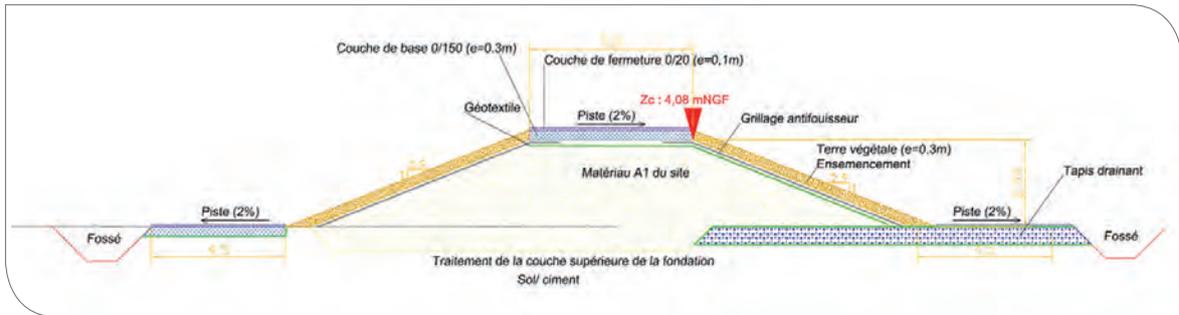


Schéma de principe du renforcement de digues du Petit Rhône (source SAFEGE [R] 83a)

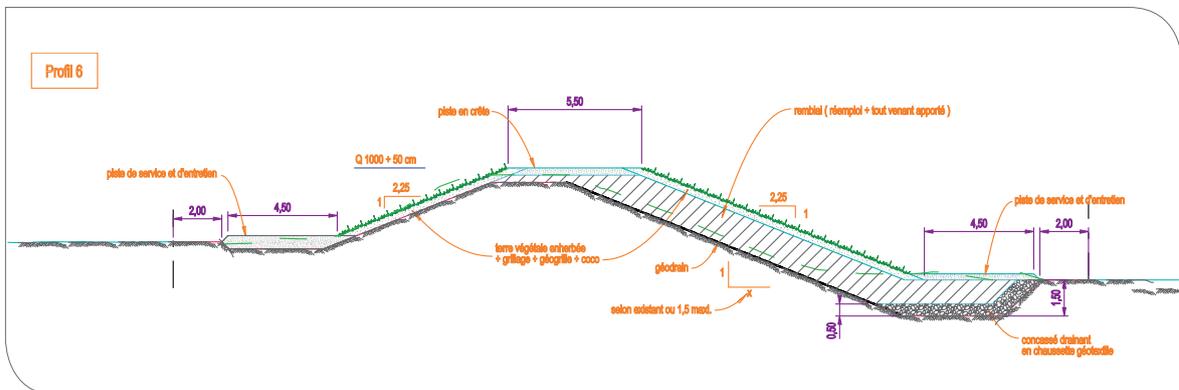
Certains travaux consistent à mettre à la cote et à la géométrie retenue des ouvrages récemment confortés. Il s'agit notamment des digues du Petit Rhône rive droite en amont de Grand Cabane.

Les travaux réalisés doivent permettre également de réduire le risque de rupture de façon à ce qu'il soit acceptable pour la crue exceptionnelle.

Les travaux consistent à réaliser :

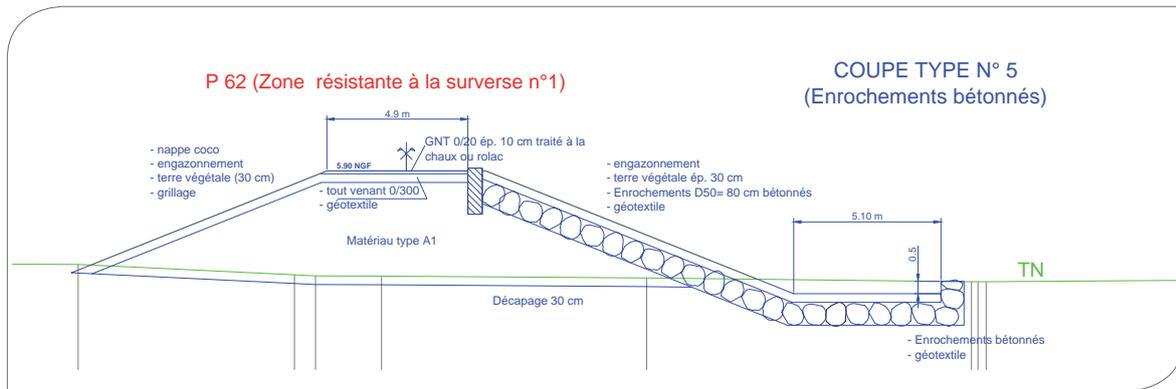
- Un adoucissement des talus coté fleuve, et mettre en place un grillage antifouisseur,
- Le rehaussement de la digue,
- L'épaulement aval sur base drainante avec mise en place d'un géodrain entre le remblai actuel et le nouveau remblai,
- La protection des talus par grillage anti-fouisseur, terre végétale et natte coco les pistes en pied et en crête.

À titre d'exemple, le profil des digues au droit du lot 7 peut être le suivant :



Mise à la cote d'ouvrages récemment confortés (source ISL [R] 87a)

Au droit des trois tronçons de digue résistante à la surverse, en sus des fonctions étanchéité, filtration, drainage, un renforcement du talus coté en enrochements liés au béton est prévu. Le schéma de principe de ces digues figure page suivant.



Digue résistante à la surverse (source SAFEGE [R]83a)

Les secteurs, où l'espace est contraint de part et d'autre de la digue par l'environnement et les habitations, les maîtres d'œuvre ont proposé des adaptations afin de garantir la sécurité de l'ouvrage dans un espace plus contraint.

Exemple 1 : Lieu-dit - Amont du Mas de Lauricet (rive gauche-lot 4 [R]84a)

La particularité du secteur de Lauricet est le fait que la digue actuelle soit située entre une ripisylve bien développée et un zone humide de l'autre côté. Le maître d'œuvre a proposé dans le cadre des avant projets une solution de confortement sur place, réalisée de façon à diminuer au maximum l'emprise au sol.

Dans le cadre de l'avant projet, il est proposé de limiter l'emprise au sol tout en conservant les pistes de crête et de pied de digue. Pour ce faire, il a été préconisé d'utiliser un remblai renforcé coté terre. Ce remblai s'appuie sur une base drainant en matériaux compactés. Le parement de ce remblai peut être du type gabions ou grillage électro-soudé.

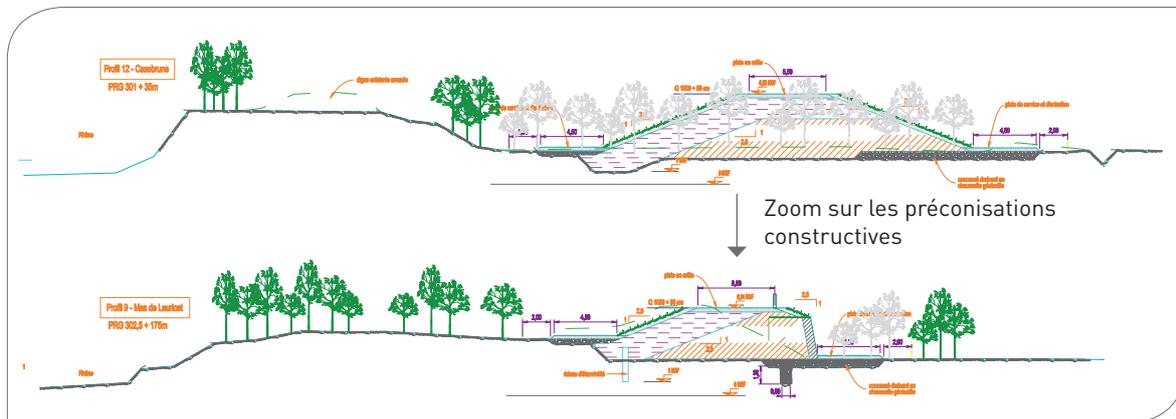


Schéma de principe au droit du Mas de Lauricet (source ISL [R]84a)

Exemple 2 : Lot 6 aval - Secteur de Port Dromar

Au droit de Port Dromar, la digue est de faible hauteur. Elle est contrainte entre le fleuve et la route départementale n°38. Une des particularités de ce secteur est que les digues sont comprises dans les habitations limitant très fortement l'accès du SYMADREM aux ouvrages.

16.13.4. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX

L'impact hydraulique du programme dans le lit endigué du Petit Rhône figure au chapitre relatif à "l'impact du programme".

L'impact du recalage des digues du Petit Rhône, indépendamment des aménagements prévus en amont, figure ci-dessous :

SCÉNARIO DE CRUE			IMPACT HYDRAULIQUE SUR LA LIGNE D'EAU (EN CENTIMÈTRE) PAR TRONÇON HYDRAULIQUE HOMOGÈNE							
DÉBIT MAX TARASCON (EN M³/S)	PÉRIODE DE RETOUR	TYPE CRUE	PONT SUSPENDU A54	A54 PONT CAVALÈS	PONT CAVALÈS PONT ST GILLES	PONT ST GILLES AVAL DÉVERSEMENT	AVAL DÉVERSEMENT COUDE CAPETTE	COUDE CAPETTE PONT SYLVÉRÉAL	PONT SYLVÉRÉAL BAC SAUVAGE	AVAL DU BAC DU SAUVAGE
10500	50 ans	Janv. 1994	- 5 à - 13	- 8 à - 15	- 14 à - 18	- 3 à - 17	- 8 à + 2	- 4 à + 4	- 2 à + 5	- 4 à + 2
11500	100 ans	Déc. 2003	- 6 à - 16	- 10 à - 21	- 21 à - 27	- 8 à - 27	- 10 à - 2	- 5 à + 3	- 2 à + 5	- 4 à + 2
12500	250 ans	Mai 1856	- 8 à - 19	- 12 à - 24	- 24 à - 31	- 8 à - 30	- 10 à - 1	- 5 à + 3	- 2 à + 5	- 4 à + 2
14160	1000 ans	Millénaire	- 6 à - 16	- 10 à - 24	- 23 à - 32	- 9 à - 31	- 13 à - 1	- 5 à + 3	- 2 à + 5	- 4 à + 2

Impact dans le lit endigué des aménagements du Petit Rhône

Globalement les aménagements sur le Petit Rhône provoquent un abaissement des lignes d'eau en amont du Petit Rhône (jusqu'à Albaron). En aval de Sylvéreal, les aménagements proposés engendrent un exhaussement des lignes d'eau moyenne de l'ordre de 2 cm avec des surélévations ponctuelles pouvant atteindre quelques centimètres mais ils sont généralement recensés au milieu du lit et non pas à proximité des digues. Ils sont liés au recul des digues et à la diminution des vitesses qui à charge constante a pour effet d'accroître les niveaux d'eau. Pour les raisons évoquées dans le chapitre "impacts et mesures du programme", on considère que ces impacts sont sans incidence sur la sécurité des ouvrages, dont le confortement n'est pas prévu dans le cadre du CPIER Plan Rhône.

16.13.5. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Cette opération fera l'objet d'une demande d'autorisation au titre des procédures décrites dans l'article intitulé "dossiers réglementaires" du chapitre "objectifs et description du programme de sécurisation".

16.13.6. PLANNING DES TRAVAUX

Le démarrage des travaux est prévu en 2015 sur une période de 3 à 4 ans.

→ 16.14. RENFORCEMENT DES DIGUES DU PETIT RHÔNE 2^{ÈME} PRIORITÉ

16.14.1. PÉRIMÈTRE DE L'OPÉRATION

L'opération couvre les tronçons de digue suivants :

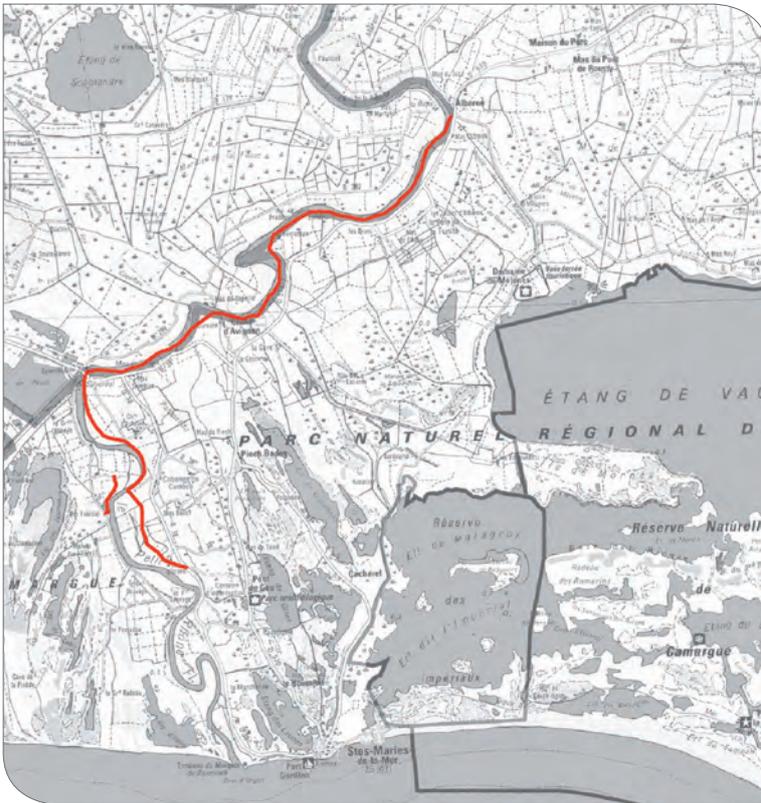
En rive droite du Petit Rhône :

- Du PK 327,0 au PK 330,0 : la digue du Mas du Juge au Bac du Sauvage.

En rive gauche du Petit Rhône :

- Du PK 307,5 au PK 329,5 : la digue d'Albaron au Mas d'Icard.

Le plan de situation des ouvrages à conforter figure ci-dessous :



Renforcement des digues du Petit Rhône – 2^{ème} priorité

16.14.2. DIAGNOSTIC ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

La problématique sur ce tronçon de digue est identique à l'opération précédente.

16.14.3. OBJET ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

Les ouvrages seront confortés de façon à se prémunir du risque de rupture jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône. En rive gauche du Petit Rhône, ils seront calés à la cote dite millénaire.

En rive droite du Petit Rhône, ils seront maintenus à la cote identique. La digue sera rendue résistante à la surverse.

Localement sur les secteurs, où la largeur du ségonnal est insuffisante pour garantir l'absence de désordres majeurs sur la durée de vie des ouvrages et/ou sur les secteurs à contraintes environnementales fortes, la digue sera déplacée à l'intérieur des terres suivant les principes généraux définis au chapitre "objectifs et description du programme de sécurisation".

16.14.4. IMPACT HYDRAULIQUE DES TRAVAUX

En termes d'altimétrie, la cote des ouvrages actuels en rive gauche du Petit Rhône étant située au-dessus de la crue exceptionnelle, les modifications de cote altimétrique des ouvrages se limiteront à garantir la revanche de 50 cm.

En rive droite, l'altimétrie des digues est inchangée.

En termes d'implantation, les zones de recul seront très limitées.

Les modifications de géométrie n'auront aucune incidence sur les écoulements et dans tous les cas seront inférieures aux limites de précisions des modèles hydrauliques mis en œuvre qui sont comprises entre -2 et +2 cm.

16.14.5. DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES

Cette opération fera l'objet d'une demande d'autorisation au titre des procédures décrites dans l'article intitulé "dossiers réglementaires" du chapitre "objectifs et description du programme de sécurisation".

16.14.6. PLANNING DES TRAVAUX

Les travaux seront réalisés dans le cadre du renouvellement du CPIER Plan Rhône ou dans le cadre du "plan de submersion rapide".



17 RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

→ 17.1. RÉFÉRENCES HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES

- [R 1] **Institution Interdépartementale des Bassins Rhône-Saône/Territoire Rhône**, *Étude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône (EGR)*. Volet 1 : Hydrologie. SAFEGE CETIIS. 2003.
- [R 2] **PARDÉ Maurice**, *Sur les crues survenues en France de 1951 à 1955*. <http://www.persee.fr>
- [R 3] **PARDÉ Maurice**, *Le régime du Rhône à Beaucaire*. In : *Recueil des travaux de l'institut de géographie alpine*. 1919, tome 7 N°2. pp. 309-368. <http://www.persee.fr>
- [R 4] **PARDÉ Maurice**, *Le régime du Rhône*. In : *Revue de géographie alpine*. 1925, tome 13 N°3. pp. 459-547. <http://www.persee.fr>
- [R 5] **PARDÉ Maurice**, *La grande crue du Rhône en novembre 1935*. In : *Revue de géographie alpine*. 1936, tome 24 N°2. pp. 395-420. <http://www.persee.fr>
- [R 6] **PARDÉ Maurice**, *Les crues du Rhône, de décembre 1935 à mai 1936*. In : *Revue de géographie alpine*. 1936, tome 24 N°2. pp. 701-707. <http://www.persee.fr>
- [R 7] **DUBAND Daniel (expert SHF) et BOIS Philippe (ENSHMG)**, *Rapport sur la crue du Rhône et ses affluents du 1^{er} au 5 décembre 2003*. <http://ccbr.lyon.cemagref.fr>
- [R 8] **CNR**, *Rapport de la crue de décembre 2003 : Synthèse hydrologique*. Septembre 2004.
- [R 9] **CNR**, *Conférence de consensus sur le débit du Rhône à Beaucaire pour la crue de décembre 2003*. Contribution de la CNR. Évaluation de la crue de décembre 200 – Document de synthèse. Juin 2005. <http://ccbr.lyon.cemagref.fr>
- [R 10] **Conférence de consensus**, *Débit maximal de la crue du Rhône de décembre 2003 à Beaucaire*. Octobre 2005. <http://ccbr.lyon.cemagref.fr>
- [R 11] **DIREN de bassin**, *Propositions pour le choix d'un échantillon représentatif des crues du Rhône*. SOGREA. Septembre 2006.
- [R 12] **Banque HYDRO**
- [R 13] *Courbe de tarage ancienne et réactualisée suite à la conférence de consensus*. Service Prévision des Crues du Grand Delta.
- [R 14] **CNR**, *Limnigrammes aux stations du Grand Delta des crues d'octobre 1993, janvier 1994, novembre 1994, novembre 1996, septembre 2002, novembre 2002, décembre 2003*.
- [R 15] *Hydrogramme reconstitué de la crue de décembre 2003 à la station de Beaucaire*. Service Prévision des Crues du Grand Delta.
- [R 16] **SYMADREM**, *Étude de calage précis entre Beaucaire et Arles*. Rapports de phase 1 à 5. CNR. 2009.
- [R 17] **SYMADREM**, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°1 : Étude hydraulique. EGISeau. 2010.
- [R 18] **SYMADREM**, *Étude de renforcement de la digue rive droite à Salin-de-Giraud et mise à la cote de la digue de Port-Saint-Louis-du-Rhône*. Étude hydraulique. CNR. 2010.
- [R 19] **Institution Interdépartementale des Bassins Rhône-Saône/Territoire Rhône**, *Étude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône (EGR)*. Volet 5 : Modélisation hydraulique de la zone deltaïque du fleuve Rhône en aval de Beaucaire. BCEOM. 2003.
- [R 20] *Bulletins du Service d'Annonce de Crues lors de la crue de décembre 2003*.
- [R 21] *Enregistrement du SYMADREM des débits lors de la crue des 3 et 4 décembre 2003*. À partir des données Inforhône de la CNR.
- [R 22] **DREAL Rhône Alpes**, *Monographie de la crue de décembre 2003*. Ginger. 2009.
- [R 23] *Photos crue de décembre 2003*. Ville de Tarascon. 2003.
- [R 24] **Service Prévision des Crues du Grand Delta, RIC**, *Débits et cotes des principales crues*. 2011.
- [R 25] **Commune de Beaucaire**, *Étude hydraulique de la surverse de la digue de Beaucaire*, ISL. Mai 2007.
- [R 26] **SYMADREM**, *Étude de calage précis entre Beaucaire et Arles*. Prestations supplémentaires. CNR. 2012.

→ 17.2. RÉFÉRENCE PLAN RHÔNE

- [R 30] **DIREN Rhône Alpes**, *Pré-schéma du Rhône aval*. Éléments pour une stratégie de gestion des crues du Rhône à l'aval de Montélimar. SOGREA. Juillet 2006.
- [R 31] **DIREN de bassin**, *Schéma de prévention des inondations du Rhône à l'aval de Beaucaire*. Modélisations complémentaires. BCEOM. Août 2006.
- [R 32] *Contrat de Projet Interrégional du Plan Rhône* signé le 21 mars 2007.
- [R 33] **DREAL Rhône Alpes**, *Schéma de Gestion des Inondations du Rhône Aval*. 2009.
- [R 34] **Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable**, *Expertise du schéma de protection contre les crues du secteur de Tarascon-Arles*. Rapport Général et Rapport technique. 2008.
- [R 35] **SYMADREM**, *Étude de calage précis entre Beaucaire et Arles*. Modélisation du canal de contournement. Résultats hydrauliques n°1 et n°2. CNR. 2008.

→ 17.3. RÉFÉRENCES HISTORIQUES ET GÉOMORPHOLOGIQUES

- [R 40] **RACCASI Guillaume**, *Mutations géomorphologiques récentes du Rhône aval, Recherches en vue de la restauration hydraulique et de la gestion des crues*. CEREGE. 2008.
- [R 41] **SYMADREM**, *Étude historique des aménagements pour lutter contre le risque inondation dans le Grand Delta du Rhône*. A. MEJEAN. SYMADREM. 2007.
- [R 42] **Archives départementales – S 479**, *Repère des crues de 1856, 1840, 1843, 1755, 1846*.
- [R 43] **Service Navigation Rhône-Saône**, *Plan des Surfaces submersibles établi d'après la crue centennale, crue de 1856-1978*.
- [R 44] **DDTM des Bouches-du-Rhône**, *Monographie crue de mai 1856*. GINGER. 2009.
- [R 45] **SURREL**, *Mémoire sur l'organisation d'un syndicat général de Beaucaire à la Mer*. 15 juillet 1844.
- [R 46] **Syndicat des digues du Rhône de Beaucaire à la Mer**, *Ordonnance du Roi*, 1845.
- [R 47] **VALTZ**, *Syndicat des digues du Rhône de Beaucaire à la Mer, Compte rendu sur l'organisation, les travaux, les recettes et les dépenses du 1^{er} janvier 1846 au 31 décembre 1865*. 1867.
- [R 48] **Commune de Bellegarde**, *Mémoires de la crue du Rhône de décembre 2003 à Bellegarde du Gard*. 2004.
- [R 49] **BRGM**, *Carte géologique au 1/50 000^e*.
- [R 50] **Bulletin archéologique de Provence**, *Camargue antique, médiévale et moderne*. 2004.
- [R 51] **Service Spécial du Rhône**, *Carte des Ponts et Chaussées*. 1876.
- [R 52] **Service spéciale du Rhône**, *BPU et CCTP*.
- [R 53] **Service spéciale du Rhône**, *PV de vérification*.
- [R 54] **Service Spécial du Rhône**, *Devis et cahier des charges relatifs aux réparations d'urgence des huit brèches ouvertes dans les digues du Rhône entre Beaucaire et Fourques par l'inondation extraordinaire du 3 novembre 1840 et des jours suivants*.
- [R 55] **CEREGE**, *Kit du Petit Rhône*.

→ 17.4. RÉFÉRENCES ÉTUDES DE DIAGNOSTIC ET ÉTUDES DE CONCEPTION

- [R 60]** SYMADREM, *Étude du renforcement de la digue du Rhône rive droite entre Beaucaire et Fourques*. Étude de diagnostic approfondi (rapports finaux – phases 1 à 3). ISL. 2008.
- [R 61]** SYMADREM, *Étude du renforcement de la digue du Rhône rive droite entre Beaucaire et Fourques*. Modélisation des crues avec et sans brèches (rapport final – phase 8). ISL. 2010.
- [R 63]** SYMADREM, *Étude du renforcement de la digue du Rhône rive droite entre Beaucaire et Fourques*. Études d'avant-projet (rapport final – phase 5). ISL. 2010.
- [R 64]** Réseau Ferré de France, *Études préliminaires et d'avant-projet de construction d'une digue accolée au remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles*. INEXIA/Coyne et Bellier. 2009.
- [R 65]** Réseau Ferré de France, *Études préliminaires de construction d'une digue parallèle au remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles*. Études préliminaires complémentaires. INEXIA/Coyne et Bellier. 2009.
- [R 66]** SYMADREM, *Protection des quartiers au nord d'Arles contre les inondations*. Étude projet. EGISeau. 2008.
- [R 67]** Commune de Beaucaire, *Étude de diagnostic approfondi et de confortement de la digue de Beaucaire*. ISL. 2007.
- [R 68]** SYMADREM, *Confortement de la digue de protection contre les inondations du Rhône à Beaucaire*. Études de projet. ISL. 2008.
- [R 69]** Commune de Tarascon, *Étude de diagnostic de la digue de la Montagnette et de la digue du Centre-Ville*. ISL/Fugro Géotechnique. 2005.
- [R 70]** SYMADREM, *Étude du renforcement des quais de Tarascon et de la digue de la Montagnette*. Étude de diagnostic complémentaire – phases 1a à 1d et phases 7a à 7c. BRLingénierie. 2011.
- [R 70a]** SYMADREM, *Étude du renforcement des quais de Tarascon et de la digue de la Montagnette*. Étude d'avant-projet – phases 2a et 8. BRLingénierie. 2012.
- [R 71]** SYMADREM, *Quais du Rhône en Arles*. Études préliminaires et de diagnostic – phase 1 : diagnostic technique. ISL. Septembre 2003.
- [R 72]** SYMADREM, *Quais du Rhône en Arles*. Études préliminaires et de diagnostic – phase 2 : propositions d'intervention. ISL. Novembre 2003.
- [R 73]** SYMADREM, *Quais du Rhône en Arles*. Études préliminaires et de diagnostic – note de synthèse. ISL. Novembre 2003.
- [R 74]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône dans la traversée d'Arles*. Secteur 13, 14 et 15 : projet Mur effondré et quai de la Roquette. ISL. Février 2007.
- [R 75]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône dans la traversée d'Arles*. Secteur 8bis : Projet quai Saint Pierre amont et cimetière. ISL. Février 2007.
- [R 76]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône dans la traversée d'Arles*. Secteur 4, 5, 6, 7 : Projet quai Saint Pierre aval et Trinquetaille. ISL. Décembre 2008.
- [R 77]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône dans la traversée d'Arles*. Secteur 1 : Projet quai de la Gabelle. ISL. Janvier 2009.
- [R 78]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône dans la traversée d'Arles*. Secteur 12 : Avant-Projet quai Marx Dormoy. ISL. Juin 2009.
- [R 79]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône dans la traversée d'Arles*. Étude de stabilité des parapets. ISL. Septembre 2009.
- [R 80]** SYMADREM, *Invariants, confortement de la digue du Grand Rhône rive gauche*. Secteur Barriol/Tour d'Aling : Étude de projet. ISL. Février 2006.
- [R 81]** SYMADREM, *Protection Sud d'Arles*. Étude de faisabilité d'une protection au sud d'Arles. SYMADREM, direction technique. 2010.
- [R 82]** SYMADREM, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°2 : étude de diagnostic et d'avant-projet. Rapport provisoire d'étude de diagnostic – secteur Petit Rhône rive gauche (PK 281 à 299). Terrasol/Hydratec. 2011.
- [R 83]** SYMADREM, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°3 : étude de diagnostic – secteur Petit Rhône rive droite (PK 300 à 315). SAFEGE Environnement. 2011.

- [R83a]** SYMADREM, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°3 : étude d'avant-projet – secteur Petit Rhône rive droite (PK 300 à 315). SAFEGE Environnement. 2012.
- [R84]** SYMADREM, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°4 : étude de diagnostic – secteur Petit Rhône rive gauche (PK 299 à 307). ISL. 2011.
- [R84a]** SYMADREM, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°4 : étude d'avant-projet – secteur Petit Rhône rive gauche (PK 299 à 307). ISL. 2012.
- [R85]** SYMADREM, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°5 : étude de diagnostic – secteur Petit Rhône rive droite (PK 315 à 322,5). ISL. 2011.
- [R85a]** SYMADREM, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°5 : étude d'avant-projet – secteur Petit Rhône rive droite (PK 315 à 322,5). ISL. 2012.
- [R86]** SYMADREM, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°6 : étude de diagnostic – secteur Petit Rhône rive gauche (PK 329,5 à 336,5) et Petit Rhône rive droite (PK 322,5 à PK 326). ISL. 2011.
- [R86a]** SYMADREM, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°6 : étude d'avant-projet – secteur Petit Rhône rive gauche (PK 329,5 à 336,5) et Petit Rhône rive droite (PK 322,5 à PK 326). ISL. 2012.
- [R87]** SYMADREM, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°7 : étude de diagnostic – secteur Petit Rhône rive droite (PK 284 à 291). ISL. 2011.
- [R87a]** SYMADREM, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°7 : étude d'avant-projet – secteur Petit Rhône rive droite (PK 284 à 291). ISL. 2012.
- [R88]** SYMADREM, *Étude de renforcement de la digue rive droite à Salin-de-Giraud et mise à la cote de la digue de Port-Saint-Louis-du-Rhône*. Étude de diagnostic. SOGREAH. 2011.
- [R88a]** SYMADREM, *Étude de renforcement de la digue rive droite à Salin-de-Giraud et mise à la cote de la digue de Port-Saint-Louis-du-Rhône*. Étude d'avant-projet. SOGREAH. 2012.
- [R89]** SYMADREM, *Travaux de sécurisation de la surveillance et des interventions en période de crue et suppression des ouvrages hydrauliques traversants hors service*. Études d'avant-projet et de projet. SAFEGE Environnement. 2009.
- [R90]** SYMADREM, *Étude de gestion et ressuyage des eaux déversées en rive gauche*. EGISeau, étude hydraulique. En cours.
- [R91]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône (tranches 5 et 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais – Partie basse quai de la gare maritime*. Étude d'avant-projet. EGISeau. 2011.
- [R91a]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône (tranches 5 et 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais – Partie basse quai de la gare maritime*. Étude de projet. EGISeau. 2011.
- [R92]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône (tranches 5 et 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais – Partie haute quai de la gare maritime*. Étude d'avant-projet. EGISeau. 2011.
- [R92a]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône (tranches 5 et 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais – Partie haute quai de la gare maritime*. Étude de projet. EGISeau. 2012.
- [R93]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône (tranches 5 et 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais – Digue des papeteries Étienne*. Étude d'avant-projet. EGISeau. 2011.
- [R93a]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône (tranches 5 et 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais – Digue des papeteries Étienne*. Étude de projet. EGISeau. 2012.
- [R94]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône (tranches 5 et 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais – Amont SIP d'Arles*. Étude d'avant-projet. EGISeau. 2011.
- [R94a]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône (tranches 5 et 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais – Amont SIP d'Arles*. Étude de projet. EGISeau. 2012.
- [R95]** SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône (tranches 5 et 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais – Quai Marx Dormoy*. Étude de projet. ISL. 2011.

[R 96] SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône (tranches 5 et 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais – Embouquement écluse d'Arles et mise à la cote digue de Barriol*. Étude d'avant-projet. ISL. 2011.

[R 96a] SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône (tranches 5 et 6) et continuité de la protection en amont et en aval des quais – Embouquement écluse d'Arles et mise à la cote digue de Barriol*. Étude de projet. ISL. 2012.

[R 97] VNE, *Étude de stabilité de l'écluse de Beaucaire*. EGISeau. 2012.

[R 98] VNE, *Étude de diagnostic de l'écluse d'Arles*. ISL. Après 2003.

[R 99] BRL, *Étude préliminaire de stabilité de la prise d'eau sur le Rhône*. BRLi. 2011.

[R 100] ASA Nourriguier, *Étude préliminaire de stabilité de la prise d'eau du canal des italiens sur le Rhône*. BRLi. 2011.

[R 101] BRL, *Étude d'avant-projet de rehausse de la prise d'eau sur le Rhône*. BRLi. 2012.

[R 102] ASA Nourriguier, *Étude de confortement et rehausse de la prise d'eau du canal des italiens sur le Rhône*. BRLi. 2012.

→ 17.5. RÉFÉRENCES TECHNIQUES

[R 200] CEMAGREF, *Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations – Guide pratique à l'usage des propriétaires et gestionnaires*.

[R 201] Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, *Les déversoirs sur les digues de protection contre les inondations fluviales*. Coordination G. DEGOUTTE. IRSTEA. 2012.

[R 202] CEMAGREF/HYDROCOP – Royet et Al., *Cotes et crues de protection, de sûreté et danger de rupture*. Colloque CFBR – SHF "Dimensionnement et fonctionnement des évacuateurs de crues". 20 et 21 janvier 2009.

[R 203] Comité Français des Grands Barrages, *Petits barrages, Recommandation pour la conception, la réalisation et le suivi*. Coordination G. DEGOUTTE. 2002.

→ 17.6. RÉFÉRENCES DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES ÉTUDES D'IMPACT

[R 310] SYMADREM, *Confortement de la digue de protection contre les inondations du Rhône à Beaucaire*. Dossier de modification d'un ouvrage autorisé (R214-18 du code de l'environnement). ISL. 2008.

[R 311] SYMADREM, *Travaux de sécurisation de la surveillance et des interventions en période de crue et suppression des ouvrages hydrauliques traversants hors service*. Dossier de porté à connaissance au titre du R214-18 du code de l'environnement – SAFEGE Environnement/ECOMED. 2009.

[R 312] SYMADREM, *Réparation des quais du Rhône dans la traversée d'Arles*. Étude Environnementale d'accompagnement du projet – phase 1 : diagnostic de l'état initial et phase 2 : impacts du projet sur l'environnement et mesures associées. EGISeau. Février 2008.

[R 313] SYMADREM, *Travaux renforcement de la digue du Rhône rive droite entre Beaucaire et Fourques*. Dossiers d'autorisations L.214-1 à L.214-6/DUP/DIG – mise en compatibilité des PLU et POS. ISL/Naturalia. 2011.

[R 314] SYMADREM, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°8 : étude environnementale. STUCKY. En cours.

[R 315] SYMADREM, *Travaux de réparation des quais du Rhône et continuité de la protection en amont et aval des quais – partie basse quai de la gare maritime*. Dossier de modification d'un ouvrage autorisé (R214-18 du code de l'environnement). EGISeau. 2011.

[R 316] SYMADREM, *Travaux de réparation des quais du Rhône et continuité de la protection en amont et aval des quais – digue des papeteries Étienne*. Dossier de modification d'un ouvrage autorisé (R214-18 du code de l'environnement). EGISeau. 2011.

[R 317] SYMADREM, *Travaux de réparation des quais du Rhône et continuité de la protection en amont et aval des quais*. Dossiers d'autorisations L.214-1 à L.214-6/DUP/DIG – mise en compatibilité des PLU et POS. EGISeau. 2011.

[R 318] SYMADREM, *Étude de renforcement de la digue de Salin-de-Giraud et mise à la cote de la digue de Port Saint Louis du Rhône*. Dossiers d'autorisations L.214-1 à L.214-6/DUP/DIG – mise en compatibilité des PLU et POS. SOGREAH. En cours.

→ 17.7. RÉFÉRENCES ÉTUDES D'ENJEUX

[R 400] SYMADREM, *Étude du renforcement de la digue du Rhône rive droite entre Beaucaire et Fourques*. Étude de vulnérabilité et de dommages (rapport final – phase 11, volumes 1 à 3). ISL et Chambre d'Agriculture du Gard. 2010.

[R 401] SYMADREM, *Étude de renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône*. Lot n°8 : étude d'enjeux Camargue Insulaire et Camargue Gardoise. SOGREAH. En cours.

[R 402] SYMADREM, *Étude de gestion et ressuyage des eaux déversées en rive gauche*. EGISeau – Étude d'enjeux. En cours.

[R 403] DREAL Rhône Alpes, *Guide Analyse Coût Bénéfice*. Ledoux consultants. 2010.

→ 17.8. RÉFÉRENCES RÉGLEMENTAIRES RELATIVES AUX DIGUES

Recueil et historique des principaux textes réglementaires relatifs aux digues de protection contre les inondations, établi par le CEMAGREF

[R 500] *Circulaire Interministérielle du 24 janvier 1994 relative à la prévention des inondations et à la gestion des zones inondables*.

Volonté de durcissement de la politique de l'État en matière de gestion des zones inondables, autour de trois principes : interdiction de toute construction nouvelle dans les zones inondables, contrôle strict de l'extension de l'urbanisation en zones d'expansion des crues, limitation des endiguements et remblaiements nouveaux. La cartographie des zones inondables (atlas, PER, PSS, carte R111-3, etc.) constitue le moyen à privilégier pour la mise en œuvre de cette politique.

[R 501] *Circulaire Interministérielle du 17 août 1994 relative aux modalités de gestion des travaux contre les risques d'inondation*.

Consécutives aux inondations "médiatiques" de la Camargue au cours de l'hiver 1993-1994. Il s'agit du premier texte demandant aux préfets de dresser un

inventaire des structures gestionnaires des digues et, si possible, des ouvrages eux-mêmes.

[R 502] *Circulaire DE/SDGE/BPIDPF-MPN/ n° 629 du 28 mai 1999 du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, relative au recensement des digues de protection des lieux habités contre les inondations fluviales et maritimes*.

Lancement de l'inventaire national des digues, de leurs gestionnaires et des zones protégées, à l'appui du logiciel "DIGUES". Lettre MEDD-DE du 7 août 2002 de "relance" auprès des DIRENS.

[R 503] [Pour mémoire, le décret 93-473 ayant été abrogé] *Décret n°2002-202 du 13 février 2002 modifiant le décret n° 93-743 du 29 mars 1993 relatif à la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou déclaration en application de l'article 10 de la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau*.

Ce décret a inséré, dans la nomenclature, la rubrique “2.5.4. Installations, ouvrages, digues ou remblais, d’une hauteur maximale supérieure à 0,50 m au-dessus du niveau du terrain naturel dans le lit majeur du cours d’eau”. Par ce décret, ces installations (dont les digues) devenaient désormais soumises à autorisation ou à déclaration en fonction de la surface et/ou de la largeur occupée dans le lit majeur.

[R 504] Arrêté du 13 février 2002 [modifié par l’arrêté du 27 juillet 2006] fixant les prescriptions générales applicables aux installations ou ouvrages soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-6 du code de l’environnement et relevant de la rubrique 2.5.4 (2° et 3°) de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié.

Ainsi que le stipule la circulaire [R 125] ci-dessous, ces prescriptions générales applicables aux remblais soumis à déclaration doivent constituer des bases minimum de prescriptions pour les arrêtés spécifiques à faire prendre pour les remblais soumis à autorisation.

[La modification de juillet 2006 réduit le champ d’application de l’arrêté de février 2002 aux remblais en lit majeur (rubrique 3220). Elle comprend des précisions sur la distinction digues/remblais.]

[R 505] Circulaire DE/SDGE/BPIDPF-CCG/n° 426 du 24 juillet 2002 du Ministère de l’Écologie et du Développement Durable relative à la mise en œuvre du décret n° 2002-202 du 13 février 2002.

Cette circulaire détaille les conditions d’application de la rubrique 2.5.4 (introduite par le décret de février 2002) de la nomenclature, notamment la transparence hydraulique.

[R 506] Circulaire MATE/SDPGE/BPIDPF/CCG n°234 du 30 avril 2002 relative à la politique de l’État en matière de risques naturels prévisibles et de gestion des espaces situés derrière les digues de protection contre les inondations et les submersions marines.

Rappel des principes de la politique de l’État en matière du risque de submersion marine ou d’inondation, et formulation de sa position en ce qui concerne l’urbanisation dans les zones endiguées, notamment dans le cadre de l’élaboration des plans de prévention des risques d’inondation (PPR-i).

[R 507] [Pour mémoire, abrogée] Circulaire interministérielle DE/SDGE/BPIDPF-CCG/n°8 du 6 août 2003 du Ministère chargé de l’Intérieur et du Ministère de l’Écologie et du Développement Durable, relative à l’organisation du contrôle des digues de protection contre les inondations fluviales intéressant la sécurité publique.

Instaure un dispositif de contrôle visant les digues “intéressant – ou susceptibles d’intéresser – la sécurité publique” (à l’instar

de celui qui existe pour les barrages), avec définition des obligations qui incombent aux propriétaires, d’une part, aux services de contrôle (en l’occurrence, services chargés de la police de l’eau), d’autre part. Les ouvrages concernés sont : les digues de protection contre les débordements de cours d’eau, y compris torrentiels ainsi que les digues construites dans le cadre d’aménagements de “ralentissement dynamique”.

[R 508] Lettre-circulaire interministérielle du 21 janvier 2004 du Ministère chargé de l’Équipement et du Ministère de l’Écologie et du Développement Durable, relative à la maîtrise de l’urbanisme et à l’adaptation des constructions en zone inondable et à destination des préfets des départements 07, 11, 13, 26, 30, 34, 48, 66 et 84.

Suite aux retours d’expérience apportés par les crues de la dernière décennie, mise en œuvre d’un plan d’actions concernant la gestion de l’urbanisme en zone inondable et fondé sur 4 axes :

- La maîtrise du développement urbain,
- L’adaptation des constructions,
- La gestion des ouvrages de protection,
- L’organisation des actions et des moyens.

Relativement à l’axe “gestion des ouvrages de protection”, rappel de la nécessité de ne pas augmenter la vulnérabilité derrière les digues et de prendre en compte l’hypothèse de la rupture des ouvrages de protection.

[R 509] Circulaire interministérielle du 26 novembre 2004 des Ministères chargés de l’Intérieur, de la Santé, de l’Équipement, de l’Agriculture et du Ministère de l’Écologie et du Développement Durable, relative à la déclinaison de la politique de l’État en département dans le domaine de l’eau et à l’organisation de la police de l’eau et des milieux aquatiques.

Définition d’une nouvelle organisation de la police de l’eau devant aboutir, à l’échéance du 1^{er} janvier 2007, à la désignation par le préfet d’un service départemental unique chargé de la police de l’eau, dont le personnel devra être regroupé. Cette réforme vise à une meilleure lisibilité et efficacité du dispositif. Les moyens affectés aux missions de police devront être, a minima, maintenus, avec obligation de mobiliser des agents à temps plein. Les DIREN assurent l’animation et la coordination des services de police de l’eau. La police de l’eau des grands axes hydrauliques du DPF (fleuves et canaux) relève d’une organisation particulière.

La circulaire comporte trois annexes :

- **L’annexe I** concerne la mise en place du service unique de l’eau,
- **L’annexe II** a trait aux missions inter-services de l’eau (MISE),
- **L’annexe III** précise le rôle des DIREN et de l’échelon régional.

L’importance des missions de contrôle de sécurité des digues et des barrages y est explicitement rappelée.

[R 510] [Pour mémoire, abrogés] *Décrets n°2006-881 et 2006-880 du 17 juillet 2006 modifiant les décrets n°93-743 et 93-742 du 29 mars 1993 relatifs à la nomenclature et aux procédures applicables aux opérations soumises à autorisation ou déclaration en application de l'article 10 de la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau.*

En application de ces décrets, toutes les digues "de protection contre les inondations et submersions" relèvent désormais du régime de l'autorisation.

[Ces décrets ont été abrogés par le décret de codification de la partie réglementaire du code de l'environnement. La nomenclature figure désormais au tableau de l'article R. 214-1 du code de l'environnement, la procédure est définie aux articles R. 214-2 à R. 214-56 du code de l'environnement.]

[R 511] *Décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement (J.O. du 13 décembre 2007).*

Ce décret concerne les barrages et les digues, et introduit les nouvelles notions de : visite technique approfondie, revue de sûreté, étude de dangers, diagnostic sur les garanties de sûreté, incidents et événements devant être déclarés, etc.

Pour les digues :

- Introduction de 4 classes de digues (D, C, B, A) – selon enjeux croissants de vulnérabilité concernés (nombre d'habitants dans le val protégé) – avec définition de contraintes croissantes pour les obligations des propriétaires,
- Fourniture d'un diagnostic initial de sûreté pour toute digue A, B ou C,
- Consultation du CTPB(OH) pour les projets portant sur les digues de classe A.

[R 512] *Lettre-circulaire aux préfets de département du 6 février 2008 du Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables (MEDAD), fournissant les premières instructions relatives à l'application du décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007.*

Lettre précisant aux préfets certains points du décret et rappelant les principales échéances (barrages et digues).

[R 513] *Arrêté du 29 février 2008 fixant des prescriptions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques – modifié par l'arrêté du 16 juin 2009.*

Précise certaines dispositions du décret du 11/12/2007 pour ce qui est des obligations des propriétaires des ouvrages hydrauliques (barrages et digues), et notamment pour les digues : le contenu du "diagnostic initial de sûreté" que tout propriétaire de digue de classe A, B ou C doit produire avant le 31/12/2009 (article 16 du décret).

L'arrêté modificatif du 16/6/2009 allège principalement le contenu minimum du "diagnostic initial de sûreté" (art. 16 du décret et art. 9 de l'arrêté).

[R 514] *Arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu.*

Rappel : la notion d'étude de dangers (à effectuer par un organisme agréé sous la responsabilité du propriétaire) a été introduite par l'article 1er du décret du 11/12/2007 (art. R. 214-115 à R. 214-117 du Code de l'Environnement). Pour les digues, le propriétaire doit la réaliser si son ouvrage est de classe A, B ou C, avec les échéances maximales suivantes : 31/12/2012 si la digue est de classe A, 31/12/2014 si elle est de classe B ou C.

[R 515] *Circulaire ministérielle du 8 juillet 2008 du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT), relative au contrôle de sécurité des ouvrages hydrauliques au titre des dispositions mises en place par le décret n°2007-1735 du 11/12/2007 (art. R. 214-112 à R. 214-147 du Code de l'Environnement).*

Annule et remplace les circulaires interministérielles du 14 août 1970 et du 6 août 2003 qui portaient sur le même objet, respectivement pour les barrages et les digues. Rappelle et précise le rôle des préfets et des services déconcentrés de l'État en matière de contrôle de la sécurité des digues et barrages.

[R 516] *Arrêté du 18 février 2010 précisant les catégories et critères des agréments des organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques ainsi que l'organisation administrative de leur délivrance. Arrêté pris en application du décret référencé [R 511].*

[R 517] *Circulaire du 16 avril 2010 relative aux études de dangers de digues de protection contre les inondations fluviales*
Fournit un guide de lecture à l'attention des services de l'État en charge du contrôle.

[R 518] *Arrêté du 21 mai 2010 définissant l'échelle de gravité des événements ou évolutions concernant un barrage ou une digue ou leur exploitation et mettant en cause ou étant susceptibles de mettre en cause la sécurité des personnes ou des biens et précisant les modalités de leur déclaration.*

Arrêté pris en application du décret référencé [R 511].

→ 17.9. RÉFÉRENCES DE RECHERCHE

[R 600] Agence National de la Recherche, *Projet ERINOH – Érosion INterne des Ouvrages Hydrauliques : identification des mécanismes et détection in situ*. 2005.

[R 601] Réseau de recherche technologique Génie civil et Urbain, *HYDRODETECT – Vulnérabilité des infrastructures vis-à-vis du changement climatique : système de filtration géotextile équipé d'un dispositif de détection et de localisation des dysfonctionnements hydrauliques précurseurs de ruptures dans les ouvrages de protection contre les crues et les tempêtes*. 2003.

[R 602] Réseau de recherche technologique Génie civil et Urbain, *Projet LEVEES – Ruptures diffuses et érosives des digues fluviales de protection contre les inondations : méthodes modernes pour l'analyse de la vulnérabilité physique*. 2009.

[R 603] *Projet DIGSURE*.

→ 17.10. CONVENTIONS DE MAÎTRISE D'OUVRAGE

[R 700] *Accord cadre du 17 février 2010 signé avec la CNR*.

[R 701] *Convention tripartite signée le 25 février 2011 avec l'État et RFF*.

[R 702] *Convention de partenariat signée le 26 juin 2010 le Parc Naturel Régional de Camargue*.

[R 703] *Convention signée le 10 août 2011 avec VNF sur l'écluse de Beaucaire*.

[R 704] *Convention signée le 15 février 2012 avec VNF sur l'écluse d'Arles*.

[R 705] *Convention signée le 1^{er} juin 2011 avec BRL*.

[R 706] *Convention signée le 1^{er} juin 2011 avec l'ASA du Nourriguier*.



PROGRAMME DE SÉCURISATION DES OUVRAGES DE PROTECTION

CONTRE LES CRUES
DU RHÔNE DU BARRAGE
DE VALLABRÈGUES
À LA MER

Programme élaboré en partenariat avec



SYMADREM

www.symadrem.fr

