

Chantier du remblai ferroviaire Arles-Tarascon : gestion de la sécurité en crue

Arles-Tarascon railway embankment modifications: flood risk management

M. Sutter¹, R. Tourment¹, P. Pelt², B. Beullac¹, J.M. Bernard³

¹IRSTEA, Aix-en-Provence, mathieu.sutter@irstea.fr

²SYSTRA, Marseille, ppelt@systra.com

³SNCF RESEAU Direction Générale Industrielle et Ingénierie, Marseille, jean-michel.bernard@sncf.fr

Résumé

Les 3 et 4 décembre 2003, une importante crue du Rhône a touché plus de 12 000 personnes et occasionné plus de 700 millions d'euros de dommages. Cette crue et plusieurs autres ayant touché la France au cours de la décennie, ont amené les pouvoirs publics à prendre conscience de la nécessité d'une stratégie globale de prévention des inondations. Sur le Rhône, cette stratégie se concrétise par le « Plan Rhône », regroupant plusieurs opérations interdépendantes.

Parmi ces opérations pour lesquelles le SYMADREM vise la rénovation complète du système de digues de protection du Rhône, une des principales est la création d'une digue de 1^{er} rang, en rive gauche du Rhône entre Arles et Tarascon. La digue étant conçue pour être déversante sur une partie de son linéaire, elle nécessite la mise en transparence hydraulique et le confortement du remblai ferroviaire qui assure actuellement la fonction de protection contre les inondations. Les travaux inclus dans l'opération sont réalisés de façon concomitante entre 2017 et 2020 mais le système de protection ne sera fonctionnel qu'une fois l'ensemble des travaux réalisés. D'ici-là, SNCF RESEAU a pour obligation de maintenir la continuité de protection des populations dans la plaine du Trébon.

Afin de respecter cette obligation SNCF RESEAU a mis en place un ensemble d'actions, faisant l'objet de cette communication, permettant d'assurer la sécurité du chantier, composé de différentes phases aux enjeux bien définis, ainsi que du remblai ferroviaire en cas de crue.

Mots-Clés

Gestion de la sécurité ; Remblai ferroviaire SNCF ; Plan Rhône ; Transparence hydraulique ; Arles-Tarascon

Abstract

On December the 3rd and 4th of 2003, a huge flood occurred on the Rhone river, one of the greatest in France. As a consequence, more than 12 000 people and an important part of the economic activities of the area were impacted. Other inundations have occurred since the 1990s and a global public policy for flood management was introduced in 2009 through the "Plan Rhone".

This flood management system is made with interrelated operations. This article deals with a part of the main one that consists on the creation of new overtoppable levee (by the SYMADREM) as a replacement of the actual one which is mainly a railway embankment owned by the SNCF. This new levee section is situated between the cities of Tarascon and bank Arles on the East of the Rhone river and aims to protect the two cities from flooding with a probability of occurrence up to 10⁻³. In order to obtain a consistent system of defence against floods, this embankment has to leave the water flowing over the future SYMADREM levee to pass through, that brought SNCF to design ten new flood discharge structures under the railway.

Both parts of this operation will be done almost in the same time (between 2017 and 2020). French control authorities asked SNCF RESEAU to keep the same level of flood defence until the new levee is operational. In order to respect this policy, SNCF RESEAU proposed some actions that will help to provide work and levee safety all along the operation. The goal of this article is to present the work on the railway embankment and these actions.

Key Words

Safety management; Railway embankment; Discharge structure; Arles-Tarascon

Introduction

Le Rhône et en particulier son delta est un espace soumis à de nombreux aléas hydro-climatiques : crues, pluies, tempêtes à l'origine d'inondations et submersions. Depuis plusieurs siècles les populations ont aménagé cet espace afin de se protéger de ces aléas. Cet aménagement s'est fait au cours du temps et à la suite d'événements particuliers pour lesquels les populations impactées ont pris conscience d'un risque.

Actuellement nous nous trouvons dans une nouvelle phase de ces aménagements au travers du volet inondation du Plan Rhône [3]. Dans cet article il sera question d'une opération particulière de ce plan qui voit une reconfiguration du système de protection entre Tarascon et Arles avec la création par le SYMADREM d'une digue déversante et la mise en transparence par SNCF RESEAU de la « digue » actuelle : le remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles sur plus de 5 kilomètres.

Les aléas et les enjeux ne disparaissant pas pour autant en cours de chantier, les services de l'État ont demandé à SNCF RESEAU de maintenir la protection assurée par le remblai ferroviaire [8] [9] jusqu'à la mise en service de la digue SYMADREM.

Cet article traitera des mesures mises en place par SNCF RESEAU afin d'assurer les différents aspects de la sécurité hydraulique relatifs à ces travaux : la sécurité du chantier et de l'ouvrage en crue et le maintien de la protection contre les inondations jusqu'à la mise en service effective de la digue SYMADREM.

Pour se faire, nous commencerons par rappeler le contexte général de l'opération, puis nous détaillerons les travaux qui seront réalisés sur le remblai ferroviaire. Enfin, nous indiquerons quelles sont les mesures de gestion de la sécurité hydraulique mises en place par SNCF RESEAU.

Rappel du contexte [4]

L'aléa hydrologique

Au cours des derniers siècles, la partie aval du Rhône a régulièrement subi des crues, d'intensités et de conséquences variables. Parmi ces événements nous mentionnerons (débit de pointe à la station de Tarascon) :

- la crue de mai 1856 de débits 12 500 m³/s ; aujourd'hui crue de référence ;
- les crues d'octobre 1993 et janvier 1994 de débit respectivement 8 950 m³/s et 10 250 m³/s ;
- la crue de décembre 2003 de débit 11 600 m³/s.

En étudiant l'ensemble des crues de périodes de retour estimées supérieures à 10 ans il ressort qu'elles ont généralement eu lieu au cours de la période septembre-janvier (exception de celle de mai 1856).

Par ailleurs, on retrouve parmi les affluents du Rhône plusieurs cours d'eau récoltant les précipitations brutales que sont notamment les épisodes cévenols et méditerranéens (Gard, Durance, Ardèche, Cèze), pouvant engendrer des crues d'importances non négligeables avec des cinétiques rapides (de l'ordre de 24h entre la précipitation et la pointe de crue au niveau de la station de Beaucaire-Tarascon).

Outre le temps d'arrivée de la pointe de crue, la décrue peut également présenter des cinétiques très variables allant de quelques jours à plusieurs semaines (3 semaines pour l'inondation associée à la crue de 2003).

Le contexte de la protection contre les inondations du Rhône (et français)

Historiquement, les enjeux à proximité du Rhône et notamment dans son delta sont protégés depuis plusieurs siècles (dès le XII^{ème} siècle). Les digues de protection ont été successivement confortées notamment suites aux crues subies et brèches formées ; pour les plus récentes :

- près d'un kilomètre de brèche lors de la crue de 1856 ;
- plusieurs centaines de mètres en 1993-1994 ;
- deux brèches sur les trémies du remblai ferroviaire au nord de Tarascon engendrant plusieurs centaines de millions d'euros de dégâts, dans le delta lors de la crue de 2003.

L'organisation administrative, bien qu'ayant adopté, dès la moitié du XIX^{ème} siècle, une vision globale au travers de la prise en charge par l'État de la problématique des inondations du Rhône, a jusqu'à récemment consisté en plusieurs organismes (associations, syndicats...) disposant de moyens et motivations variables mettant en exergue des disparités dans la lutte contre les inondations. À la suite de la crue de 2003 et dans la continuité de ce qui existait jusque-là, plusieurs actions ont été mises en œuvre afin d'aboutir à une gestion globale des protections du territoire du Grand Delta.

Cette vision globale s'est transcrite dans le Plan Rhône dont un des volets concerne la gestion du risque inondation, la création en 2005 du SYMADREM tel que connu actuellement. Cela a aussi abouti, en parallèle de nouvelles réglementations, contrôles et financements, à redéfinir les systèmes d'endiguement, qu'on trouvait jusque-là sur le Rhône : leurs niveaux de protection, leurs objectifs...

Néanmoins, bien que la gestion de la protection soit dévolue au SYMADREM, il existe sur le système d'endiguement central du Grand Delta des tronçons particuliers de protection que sont les remblais ferroviaires (gérés par SNCF RESEAU) dont l'objectif de protection n'a été défini qu'après la crue de 2003 (suite à la circulaire d'août 2003 [7]). Ils ne sont pourtant pas classés administrativement en tant que digues de protection à proprement parler, bien qu'ayant un cadre réglementaire similaire.

Mesures mises en œuvre

Afin notamment de simplifier la gestion de tels ouvrages, de répondre aux nouveaux objectifs définis par le plan Rhône

[3], et dans la continuité de nombreux autres chantiers de réparation, confortement, redéfinition des digues du Rhône (quais d'Arles, rive droite Beaucaire-Fourques...) [4] [6], il a été décidé de rendre déversant le tronçon de digue rive gauche (tout comme celui rive droite) entre Arles et Tarascon pour des crues supérieures à la crue centennale. Le remblai ferroviaire ne pouvant être déversant en l'état et présentant de nombreuses incertitudes (conception, stabilité, gestion...), de nombreuses études ont été réalisées afin de définir une nouvelle conception d'ouvrage en mesure d'assurer la fonction envisagée [1] [2] [5]. Il a finalement été choisi de rendre transparent hydrauliquement le remblai ferroviaire existant et de construire une nouvelle digue résistante à la surverse à l'ouest de celui-ci. Pour rappel ces ouvrages se trouvent en limite d'un ségonnal (à l'Ouest de la plaine du Trébon) et donc en retrait du lit mineur du Rhône [FIGURE 1].

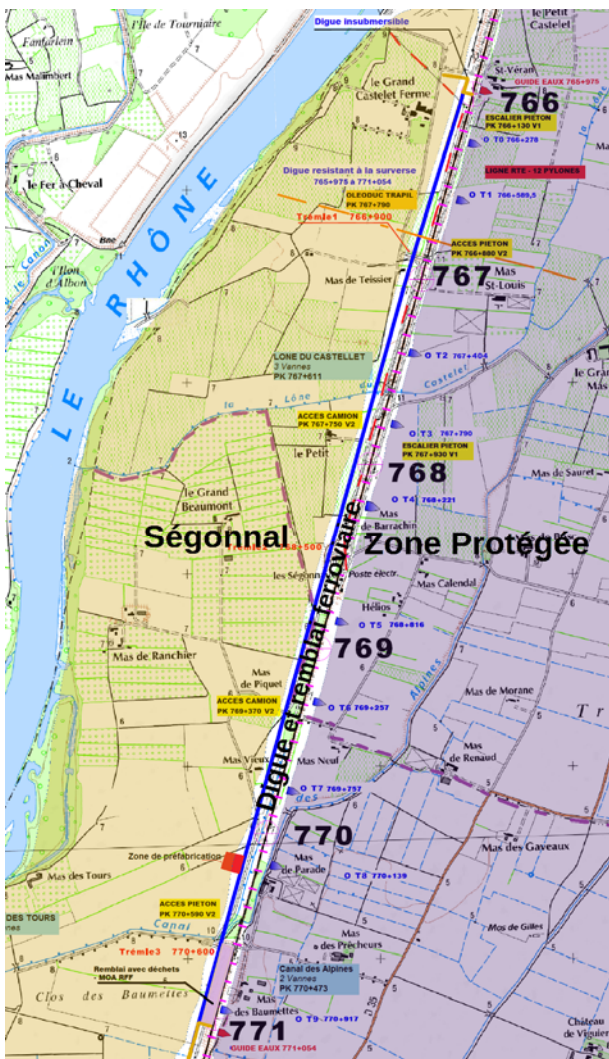


FIGURE 1 : PLAN DE SITUATION DES TRAVAUX (SYSTRA).

Présentation des travaux de mise en transparence du remblai SNCF

Dans ce chapitre il sera uniquement question des travaux rattachés à la mise en transparence du remblai ferroviaire. Ces travaux concernent la ligne 830 000 (Paris-Lyon-Marseille) sur un linéaire s'étendant entre les points kilométriques (Pk) de SNCF RESEAU 765+975 et 771+054.

Les travaux réalisés sur le remblai ferroviaire SNCF

Ces travaux de mise en transparence sont menés avec une maîtrise d'ouvrage (MOA) de SNCF RESEAU portée par la Direction Générale Industrielle et Ingénierie – zone ingénierie Sud-Est, représenté par SYSTRA en tant que maîtrise d'ouvrage déléguée (MOAD).

Les travaux liés à la mise en transparence sont multiples :

- La réalisation de 10 ouvrages traversants (OA0 à OA9 - [FIGURE 2] [11]) au travers du remblai actuel afin d'évacuer les eaux de surverse de la future digue de protection. Ces ouvrages de 20 m d'ouverture sont répartis régulièrement tous les 500 m environ au travers du remblai ferroviaire et conçus de manière à permettre un écoulement à surface libre lors de surverses sur la digue. Ils seront initialement construits à proximité du remblai (côté Rhône pour l'OA8 et côté Trébon pour les autres) puis ripés à leur emplacement définitif dans le remblai.

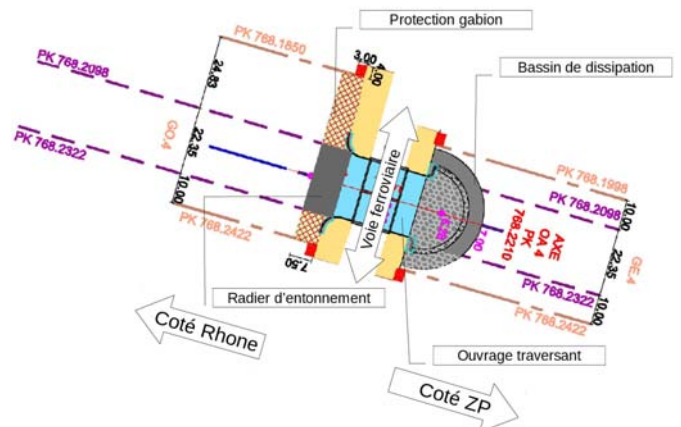


FIGURE 2 : SCHEMA DE PRINCIPE DE L'OA 4.

- À ces ouvrages sont bien entendu associés des ouvrages annexes que sont les entonnements et exutoires (bassins de dissipation).
- La réalisation de deux guide-eaux, ouvrages assurant la jonction entre le remblai ferroviaire et la digue SYMADREM aux extrémités Nord et Sud de la zone de travaux.
- Le confortement (reprofilage, protection contre l'érosion externe) du remblai ferroviaire sur près de 5,2 km : en section courante par techniques de génie végétal et aux

abords des ouvrages traversants par dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG) associé à des matelas RENO.

- Le terrassement du futur espace inter-remblai (hors terrains traités par le SYMADREM) qui permettra l'écoulement hydraulique des eaux déversante.

En termes de planning, la mise en place des ouvrages est prévue au cours de 4 périodes de 44h30 à 55h de coupure de la circulation ferroviaire, tandis que les autres travaux seront réalisés au cours de l'ensemble de la période des travaux de mise en transparence s'étalant de septembre 2017 à décembre 2020.

Problématiques et contraintes associées au chantier

Lors de sa conception, et de par sa nature même, le chantier de mise en transparence présente de nombreuses contraintes et problématiques listées ci-dessous.

Avant tout on trouve de nombreuses problématiques organisationnelles :

- Compte tenu de la réglementation, les services de l'État ont demandé à ce que la protection contre les inondations soit maintenue tout au long de la phase chantier [8] et ce jusqu'à ce que la digue SYMADREM soit opérationnelle.
- Compte tenu de la diversité des travaux réalisés, les enjeux sont relativement différents en termes de cote de réalisation, d'impact sur l'ouvrage, de phasage. Par exemple, la construction des OA s'étale de janvier à juillet 2019 et 2020, elle nécessite d'avoir un créneau temporel pour la mise en place (planning circulations SNCF), l'OA 8 est ripé depuis le côté Rhône tandis que les autres le sont depuis le côté Trébon, la cote de terrassement inter-remblai est inférieure au TN du ségonnal...

- Le chantier de mise en transparence et celui de construction de la digue de protection sont réalisés de manière complètement indépendante au cours d'une même période et sur un espace restreint entraînant des incertitudes sur le phasage respectif des travaux et l'évaluation de l'impact des crues.
- Concernant les travaux sur le remblai ferroviaire lui-même, de nombreuses entités/entreprises interviennent et exigent des dispositions spécifiques. Les principaux intervenants sont : INFRAPOLE PACA en charge de la gestion des remblais ferroviaires (circulation, sécurité en crue...) au sein de SNCF RESEAU, la Direction Générale Industrielle et Ingénierie en tant que MOA et SYSTRA la MOAD du chantier de mise en transparence, EGIS la maîtrise d'œuvre (MOE) du chantier, les différentes entreprises en charge du chantier.

Le second groupe de problématiques repose sur l'aléa hydrologique et donc le risque de crue. Comme nous avons déjà pu le mentionner, le Rhône présente une grande variété de crues potentielles. Cependant la situation même du chantier en limite de ségonnal est problématique. En effet le ségonnal se présente sous la forme d'une vaste plaine séparée du lit mineur par des surélévations ponctuelles. Une continuité de cette séparation est obtenue par la présence de vannages aux niveaux des points bas mais leur gestion est incertaine. De plus, il n'y a pas de surélévations dans la partie Sud du ségonnal. Il est donc difficile de définir de quelle manière le ségonnal sera inondé.

Critère de déclenchement (Débit Q en m ³ /s à la station de Beaucaire-Tarascon) – description et actions principales						
Remblai ferroviaire SNCF (Infrapole) – surveillance ; mise en sécurité (circulation ferroviaire), fréquences	PCS Arles	PCS Tarascon	SPC Grand Delta	Gestion de la navigation CNR	PGOPC SYMADREM – définie le degré de surveillance (fréquences, contacts à prendre,...)	Chantier Beaucaire – Fourques (entreprises)
3800 – pré alerte	4200 - pré alerte : suit hydro-météo et informations aux habitants	3850 – pré alerte ; surveillance			3850 – pré alerte	3500 – suivi renforcé des indicateurs hydro-météo 4200 – Pré alerte préparations pour mobilisation de moyens
4650 – alerte 1	5500 -alerte 1 surveillance et mise en sécurité du ségonnal	4700 – alerte ; information des populations	5000 – alerte jaune nécessitant vigilance particulière	4100 interdiction de navigation	4700 – alerte 1	5500 – Alerte et déclenchement de travaux d'urgence
7300 – alerte 2	6750 - fermeture du remblai SNCF (vannes) et évacuation	7800 – alerte renforcée ; mise en œuvre batardeaux, évacuation,	6800 – alerte orange risque d'impact aux biens et aux personnes		6000 – alerte 2	7500 – Urgence, surveillance de l'ouvrage
9400 – alerte 3	8400 – surveillance en continue	8000 – premières zones inondées	9600 – risque de crue majeure		8000 – alerte 3	9000 – Urgence absolue, surveillance continue de l'ouvrage
10500 – alerte 4		10000 - inondation d'autres zones				10000 – Surverse, évacuation

FIGURE 3 : PRESENTATION SUCCINCTE DES NIVEAUX DE VIGILANCE ET ACTIONS MISES EN PLACE FACE AU CRUES DU RHONE À PROXIMITÉ DU SITE.

Par ailleurs, au-delà d'une incertitude relative à la topographie, et donc la propagation de l'eau d'un point de mesure au chantier, l'incertitude repose sur :

- La prévision de la crue : il est aujourd'hui possible d'avoir une bonne estimation du débit à 2-3 jours. L'incertitude sur les débits issus des modèles est généralement supérieure à 5 % pour ces échéances.
- La cinétique de crue : suivant le débit, les profils de vitesse de l'eau, la durée de la crue, les conditions amont et aval... la cote peut varier de plusieurs dizaines de centimètres.

Ces problématiques sont traitées de différentes manières et font l'objet de mesures spécifiques de gestion de la sécurité, comme nous le verrons par la suite.

Gestion de la sécurité

Retour d'expériences sur les modes de gestion de la sécurité sur le Rhône

La protection contre les inondations du Rhône étant un enjeu important du territoire, la connaissance du risque inondation et de sa gestion a donné lieu au cours des dernières décennies à de nombreuses actions par différents acteurs dans la région du delta du Rhône. Dans le cadre de la mise en transparence du remblai SNCF, la planification de la gestion de la sécurité a donc pu s'appuyer sur tout un corpus de retours d'expériences et de données diverses [FIGURE 3].

Les données liées aux actions et alertes définies dans les documents suivants ont pu servir dans la définition de celles à prendre en compte en phase chantier :

- Consignes existantes du remblai SNCF ;
- Plan communaux de sauvegarde (PCS) des villes d'Arles et Tarascon ;
- Alertes du Service de Prévision des Crues (SPC) ;
- Critères de gestion de la navigation de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) ;
- Plan de Gestion des Ouvrages en Période de Crue (PGOPC) du SYMADREM ;
- Organisation des alertes et actions mises en place pour la réalisation de la digue déversante rive droite entre Beaucaire et Fourques [6].

Mesures mises en place

Afin d'assurer la sécurité du chantier et en particulier de prendre en compte les problématiques spécifiques au chantier de mise en transparence, SNCF RESEAU a mis en place un ensemble de mesures que nous détaillons ici.

1/ Suivi et évaluation de l'aléa crue :

Ce premier aspect repose sur plusieurs systèmes fonctionnant en parallèle amenant à une décision concertée d'actions :

- Suivi réalisé par INFRAPOLE PACA selon la procédure actuelle [10] sur la base des mesures et prévisions diffusées

par le SPC Grand Delta à la station de Beaucaire-Tarascon.

- Suivi réalisé par les entreprises travaux (marchés de terrassement et de construction et mise en place des ouvrages notamment) à partir d'un ensemble de données diffusées par le SPC sur le Rhône et ses affluents ainsi que des mesures sur chantier. Les modalités précises vont croissantes avec le niveau de l'aléa.
- Suivi réalisé par SYSTRA qui s'est doté des services de PredictService. La prestation consiste en une veille et expertise permanente des phénomènes susceptibles d'affecter le chantier amenant à une information diffusée graduellement (via une plateforme internet dédiée mise à jour en temps réel, mail, SMS et téléphone) avec le niveau de risque engendré par le phénomène. À ces actions d'anticipation et de suivi en cours d'évènement sont associés des moyens permettant un retour d'expérience et une amélioration du service tout au long du projet (retour post évènement ; réunions...). La définition exacte des critères d'avertissement est en cours de définition à date de rédaction de l'article, néanmoins elle prendra en compte des données telles que la topographie, des mesures de débits, des prévisions météorologiques, des modélisations hydrologiques, le contexte hydro-climatique en affinant l'expertise sur une période allant de 8 jours avant le phénomène jusqu'à son arrivée sur le chantier.

Les informations recueillies font l'objet d'échanges entre MOE, MOAD, entreprises et PredictService selon les modalités définies par la suite.

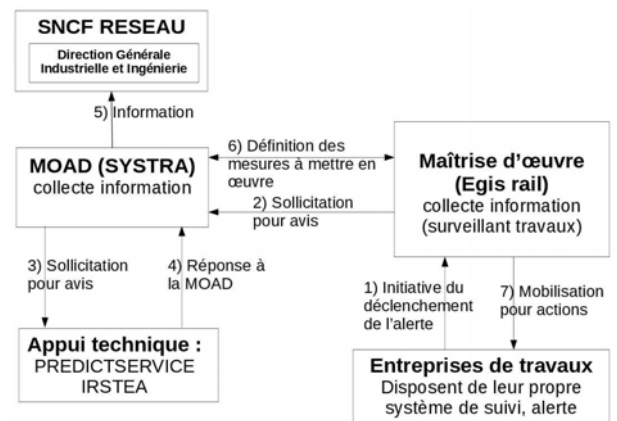


FIGURE 4 : SCHEMA ORGANISATIONNEL DE LA PRISE DE DECISION (PROCEDURE NORMALE).

2/ Organisation entre les différents intervenants :

Ce point regroupe plusieurs aspects :

- Les prises de décision en lien avec la gestion des alertes (lancement/arrêt de chantier). Si la décision finale revient au maître d'ouvrage, dans les faits les différents acteurs du chantier seront amenés à prendre part à ces prises de décisions. Cela se fera selon deux principales modalités :
 - Une procédure normale [FIGURE 4] reposant sur l'initiative des entreprises de travaux proposant la mise

en œuvre de mesures définies en amont (ou non). Ces mesures font l'objet d'échanges avec la MOE, MOAD et ses appuis (dont PredictService et IRSTEA...) afin d'aboutir à une prise de décision par la MOA.

- Une procédure de sûreté à l'initiative de la MOAD dans le cas où la procédure normale n'a pas été déclenchée et que la MOAD dispose d'informations attestant d'un risque.

La gestion ferroviaire présente des enjeux essentiellement décorrélés de ceux du chantier : gestion du trafic ferroviaire d'une part et gestion du chantier et de la protection contre les inondations d'autre part. Aussi, les relations et actions liées à ces deux activités gérées respectivement par SNCF RESEAU et SYSTRA ont été autant que possible définies de manière indépendante : l'INFRAPOLE maintient ses procédures avant chantier auxquelles s'adjoignent des procédures propres au chantier interférant a minima.

Les travaux réalisés par le SYMADREM ont lieu sur la même période laissant une marge d'incertitude sur les potentielles arrivées d'eau dans l'espace entre les deux futurs remblais (espace inter-remblai). Afin de prendre en compte cette incertitude, qui ne pourra être levée qu'à l'avancement du chantier, dans la gestion de la sécurité, deux mesures ont été mises en place :

- Une situation défavorable a systématiquement été retenue en première approche pour les crues potentielles : on considère que le niveau d'eau au droit du remblai est égal à celui au droit du lit mineur du Rhône. D'après le retour d'expérience actuel l'eau arrive en premier par le Sud du ségonnal.
- Tout au long du chantier et en crue, un personnel de la MOE surveillera les niveaux d'eau en différents points du ségonnal et du chantier afin d'adapter au plus juste les niveaux retenus.

3/ Actions de surveillance

Au cours de l'ensemble du chantier et en particulier en cours de crue, celui-ci se doit d'être surveillé afin d'anticiper et de pouvoir traiter tout désordre. Afin d'être à la fois le plus efficace et le plus exhaustif possible, plusieurs types de surveillance ont été définis :

- Surveillance terrain normale assurée par la MOE qui réalise un suivi du chantier, et adapte le contenu des tournées de surveillance à l'avancement du chantier.
- Surveillance terrain renforcée qui reprend les mesures précédentes auxquelles s'ajoute un suivi sur site des niveaux d'eau.
- Surveillance de contrôle réalisée par la MOAD, qui consiste à vérifier que l'ensemble des actions et mesures ont été prises conformément aux attentes et à détecter des problèmes qui ne l'auraient pas été jusque-là (vision globale et/ou experte).
- Surveillance « post-crue » (si les abords de l'ouvrage sont

atteints par la crue) réalisée dès que les abords de l'ouvrage sont jugés praticables par la MOAD. Lors de cette visite la MOAD est accompagnée par les entités qu'elle juge nécessaires (IRSTEA, INFRAPOLE SNCF RESEAU...) afin de parcourir l'ensemble de l'ouvrage et de détecter d'éventuels désordres.

4/ Mise en protection des chantiers et arrêt des chantiers

Lorsqu'il n'est plus possible d'assurer la sécurité des personnels et/ou de l'ouvrage, des mesures de mise en protection sont déclenchées graduellement. On notera notamment ;

- La mise en alerte du personnel qui se traduit par leur information, le rappel des consignes d'évacuation, la mobilisation d'engins pour intervenir en cas de désordres réparables.
- La mise en sécurité du chantier qui se traduit par l'évacuation des engins, des stocks de matériaux et du matériel, non indispensable...
- La mise en sécurité des ouvrages et du remblai (les mesures à mettre en œuvre seront définies à l'avancement du chantier sur la base des dossiers d'exécution).
- L'arrêt des chantiers avec dans l'ordre ceux côté ségonnal puis ceux côté zone protégée.
- L'arrêt de toute intervention de personnel (surveillance) sur, ou à proximité de l'ouvrage (base vie).

5/ Formation

Le chantier en lui-même présente des problématiques peu courantes en terrassement ou en génie civil « classique », aussi SNCF RESEAU a prévu de former (par l'intermédiaire d'IRSTEA) les principaux intervenants sur le chantier (entreprises, bureaux d'études...) sur le thème de la sécurité des ouvrages hydrauliques (mécanismes de dégradation et de rupture, principes de conception, surveillance...). Cette formation permettra une prise en compte de l'ensemble des contraintes dans la conception, la réalisation et la surveillance de l'ouvrage afin de limiter voir éviter des désordres, mauvaises conceptions et mauvaises réalisations.

6/ Expertise et appui technique

Afin de pouvoir intervenir au mieux sur des problématiques spécifiques en termes de sécurité de l'ouvrage et du chantier en crues, SNCF RESEAU s'est adjoint l'appui technique d'IRSTEA qui sera amené à donner des avis sur des documents projet, documents de chantier, notes d'exécution ou en lien avec la surveillance de l'ouvrage et/ou du chantier. Par exemple, un premier de ces avis a consisté en des recommandations portant sur la gestion de la végétation suite à une visite sur le terrain. Ont ainsi été constatés des éléments tels que :

- L'absence de protection du remblai entre la période de déboisement et celle de chantier (2017-2018) pour lesquels des mesures de surveillance adaptées ont été recommandées.

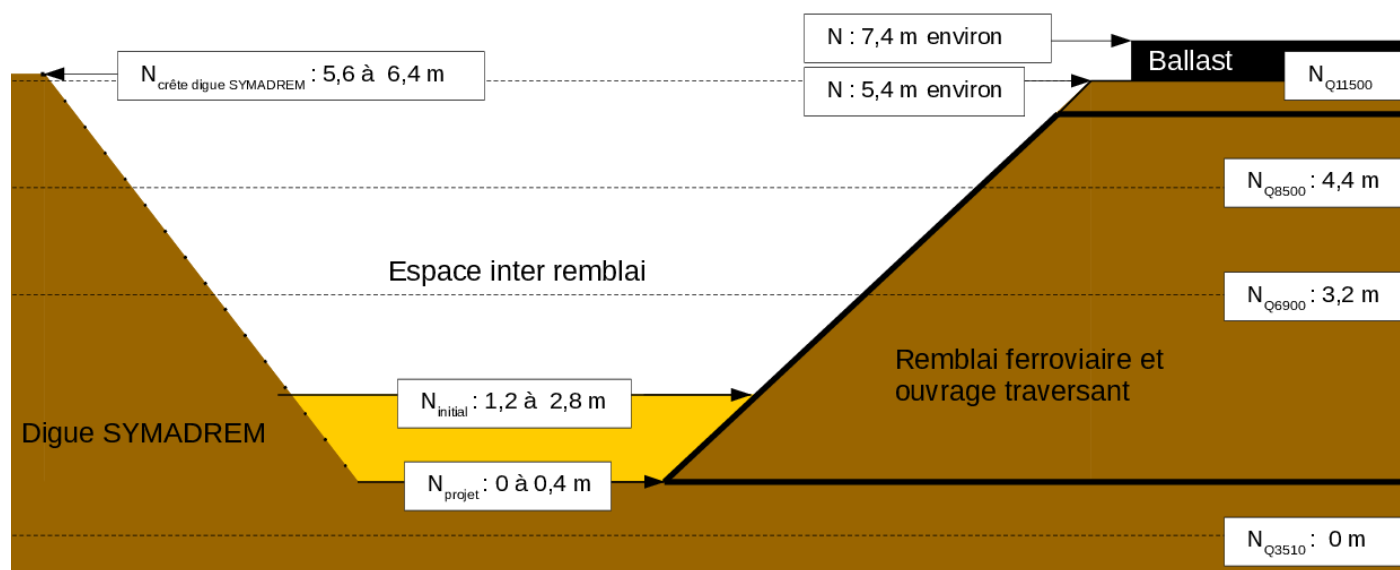


FIGURE 5 : PROFIL TYPE DE LA DIGUE (COTE RELATIVES AU NIVEAU D'EAU DANS LE RHONE POUR UN DEBIT D'ENVIRON 3 510 M³/S).

- La présence des souches laissées suite au déboisement. Le plan de gestion de la végétation prévoit de maintenir ces souches, ce qui est contre indiqué pour des ouvrages hydrauliques. Il sera donc nécessaire de mener des actions spécifiques afin de concilier les contraintes relatives au milieu ferroviaire et au milieu hydraulique.

Ces recommandations ont abouti à maintenir la VTA annuelle réalisée par SNCF RESEAU tout au long de la phase chantier afin de suivre l'évolution du remblai suite à la coupe des arbres.

7/ Autres actions spécifiques :

- La réalisation des phases les plus à risque en termes de sécurité hors des périodes les plus à risque de crue.
- La mise en place des ouvrages traversants tandis que le remblai doit encore servir de protection contre les inondations oblige SNCF RESEAU à obturer provisoirement ces ouvrages après leur mise en place et jusqu'à la mise en service de la digue SYMADREM. Si la conception de ces obturations sera précisée dans les dossiers d'exécution, on peut déjà noter que celles-ci nécessiteront une conception répondant à des contraintes de durabilité (UV pendant plus de 2 ans, chantier à proximité...), étanchéité et stabilité (plusieurs mètres de haut), avec un point sensible qui est l'interface entre l'ouvrage et les composants formant l'obturation, des procédures spécifiques notamment en termes de surveillance (suivi de débits de fuite... ?) seront également nécessaires et seront définies ultérieurement.

Ces différentes mesures sont mises en place de manière graduelle pour toutes et/ou certaines phases particulières du chantier. Nous ne détaillerons pas cela spécifiquement dans

cet article.

Gestion des alertes

Dans le cadre des consignes, ces différentes mesures et actions sont mises en œuvre à des degrés divers, suivant des niveaux d'alerte. Afin de prendre en compte le phasage complexe du chantier entre 2017 et 2020, une organisation des niveaux d'alerte suivant 3 « phases de chantier » distinctes a été retenue.

1/Phase 1 :

Celle-ci concerne la majorité de la période de travaux (138 semaines sur les trois ans de travaux) puisque concernant notamment ceux situés sur les parements du remblai ferroviaire, dans l'espace inter-remblai et la construction de l'OA8 côté Rhône. L'objectif de sécurité dans cette phase est d'assurer un suivi du Rhône permettant la mise en sécurité et au besoin le repli des chantiers avant l'arrivée d'une crue.

2/Phase 2 :

Celle-ci est a priori la plus critique pour l'ouvrage puisqu'elle consiste en la mise en place des ouvrages traversants. Les périodes de chantier étant déjà réservées, cette phase présente deux enjeux distincts :

- La période pré-ripage qui est une période au cours de laquelle la MOAD décidera si les travaux seront réalisés ; mobilisera le matériel... Il s'agit donc de déterminer si les conditions hydro-météorologiques seront « bonnes » sur la période de ripage.
- La « période de ripage » regroupant le ripage lui-même mais aussi la mise en place de l'obturation au cours de laquelle on cherchera à savoir s'il est nécessaire de mettre en œuvre des mesures de protection particulières du chantier pour achever le ripage et éventuellement de

bouchage d'urgence.

3/Phase 3 :

Cette phase est envisagée dans le cas où la digue SYMADREM ne serait pas opérationnelle à la fin de l'ensemble des travaux réalisés sur le remblai ferroviaire. C'est une phase d'attente, au cours de laquelle les enjeux en termes de chantier auront été évacués ; reste uniquement la base vie et du matériel qui permettra la réouverture des obturations. L'enjeu sera donc d'adapter au mieux la surveillance et la mobilisation du personnel au risque.

Pour chacune de ces « phases de chantier » des niveaux de vigilance [FIGURE 6], ont été définis selon des critères de débit et de niveaux d'eau [FIGURE 5] (modélisations réalisées par la CNR et le SYMADREM complétées par SNCF RESEAU) et des considérations présentées dans le chapitre précédent. Notons qu'afin de prendre en compte un besoin d'alerte précis pour les crues de faibles débits, deux niveaux d'alerte supplémentaires par rapport à ce qui est retenu par SNCF RESEAU en exploitation du remblai ferroviaire ont été ajoutés : « Suivi renforcé » et « Alerte 0 ».

Phase chantier (1) : Travaux hors période de ripage	Période normale	Suivi renforcé chantier	Pré-alerte chantier	Alerte chantier 0	Alerte chantier 1	Alerte 2	Alerte 3	Alerte 4
Déclenchement								
Vigicrue Beaucaire/Tarascon		3510 m3/s à 3800 m3/s	3800 m3/s à 4650 m3/s	4650 m3/s à 6800 m3/s	6800 m3/s à 7300 m3/s	7300 m3/s à 9400m3/s	9400 m3/s à 10500 m3/s	>10500m3/s
Hauteur d'eau estimée au pied du remblai		0 m	0 m	0-1 m	0-1 m	1-2 m	2-3 m	3-4 m
Phase chantier (2) : Mise en place des ouvrages par ripage			Pré-alerte chantier	Alerte chantier 0	Alerte chantier 1	Alerte 2	Alerte 3	Alerte 4
Période pré-ripage								
Déclenchement	Phase de préparation du ripage (de J-5 à J-1)							
Vigicrue Beaucaire/Tarascon				4650 m3/s à 6800 m3/s	6800 m3/s à 7300 m3/s	7300 m3/s à 9400m3/s	9400 m3/s à 10500 m3/s	>10500m3/s
Hauteur d'eau estimée au pied du remblai				0-1 m	0-1 m	1-2 m	2-3 m	3-4 m
Période ripage								
Déclenchement	Pendant la phase de ripage (44h30 et 55h) et d'obturation des OA							
Vigicrue Beaucaire/Tarascon			3800 m3/s à 4650 m3/s	4650 m3/s à 6800 m3/s	6800 m3/s à 7300 m3/s	7300 m3/s à 9400m3/s	9400 m3/s à 10500 m3/s	>10500m3/s
Hauteur d'eau estimée au pied du remblai			0 m	0-1 m	0-1 m	1-2 m	2-3 m	3-4 m
Période de transition (3) : Attente MES digue SYMADREM	Période normale		Pré-alerte chantier		Alerte chantier 1	Alerte chantier 2	Alerte 3	Alerte 4
Déclenchement								
Vigicrue Beaucaire/Tarascon			3800 m3/s à 4650 m3/s		6800 m3/s à 7300 m3/s	7300 m3/s à 9400m3/s	9400 m3/s à 10500 m3/s	>10500m3/s
Hauteur d'eau estimée au pied du remblai			0 m		0-1 m	1-2 m	2-3 m	3-4 m

FIGURE 6 : DÉFINITION DES NIVEAUX D'ALERTE

Conclusion

La mise en transparence du remblai ferroviaire entre Arles et Tarascon est un chantier d'envergure pour SNCF RESEAU, présentant de nombreuses contraintes, incertitudes et problématiques.

Afin d'en assurer la sécurité et celle du remblai lui-même, une approche complexe reposant sur une surveillance hydro-météorologique et des modélisations hydrauliques visant à déterminer avec précision des niveaux d'eau déclencheur d'alerte pour le chantier et des mesures lourdes de surveillance aurait été une solution.

Cet article montre que la modélisation n'est pas l'unique solution et qu'elle pose des problèmes d'incertitude liée aux données de prévision disponibles et qu'une approche plus globale reposant sur des méthodologies éprouvées, et adaptées à la marge aux particularités du chantier est tout à fait envisageable, à condition que ces particularités soient recensées de manière exhaustive, ce qui nécessite un

important travail d'analyse lors des phases préparatoires au chantier, voire des possibilités d'adaptations cadrées en cours de chantier.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble des personnes, appartenant aux organismes SYMADREM, SPC, DREAL, CNR et PREDICTSERVICE dont les interactions ont permis de définir ce système de gestion de la sécurité.

Références

- [1] M. Cheetham, R. Tourment, P. Pelt (2016). Risk Assessment and economic appraisal of protection methods for the Tarascon-Arles railway embankment. 3rd European Conference on Flood Risk Management FLOODrisk 2016, Oct 2016, Lyon, France. E3S Web Conf. Volume 7 2016. 3rd European Conference.
- [2] M. Cheetham, T. Mallet, E. Chastel et al.. Building a resilient system of defence against flooding from the Rhône, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water Management 168 April 2015 issue WM2, pages 74-84.
- [3] Plan Rhône <http://www.planrhone.fr>

- [4] Symadrem (Syndicat Mixte Interrégional d'Aménagement des Dignes du Delta du Rhône et de la Mer) (2012) Programme de Sécurisation des Ouvrages de Protection Contre les Crues du Rhône du Barrage de Vallabregues à la Mer.
- [5] T. Mallet, A. Salmi, P. Billy, J.B. Faure, P. Mériaux et al.. Sécurisation des digues du Rhône entre Beaucaire et Arles : conception hydraulique du système et des digues résistantes à la surverse. 2^{ème} Colloque National Dignes Maritimes et Fluviales de Protection contre les Submersions (DIGUES 2013), Jun 2013, Aix-en-Provence, France. Pp. 640-649, 2013.
- [6] D.Chaussée, P. Soulat, J.C. Palacios, T.Mallet, P. Lemoine (2017). Travaux de sécurisation de la digue du Rhône entre Beaucaire et Fourques : retour d'expérience sur le mode de construction et la gestion du chantier en période de crue, colloque CFBR-SHF : Hydraulique des barrages et des digues (29-30/09/2017), Chambéry.
- [7] JO, circulaire du 06 août 2003 relative à l'organisation du contrôle des digues de protection contre les inondations fluviales intéressant la sécurité publique.
- [8] Préfecture des Bouches-du-Rhône, arrêté préfectoral de prescription relative à l'exploitation et la surveillance du remblai ferroviaire entre Arles et Tarascon, 25 août 2010.
- [9] Préfecture des Bouches-du-Rhône, arrêté préfectoral autorisant au titre de l'article L214-3 du Code de l'environnement la société SCNF-Réseau à réaliser les travaux de mise en transparence hydraulique et le confortement du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles.
- [10] SNCF, Surveillance du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles, version n°01, avril 2017.
- [11] C.Girard, J.Schaguene, A. Masson, R. Tourment, J.B. Faure, S. Rabaseda (2013). Modélisation hydraulique de la mise en transparence du remblai ferroviaire entre Tarascon et Arles. 2^{ème} colloque digues maritimes et fluviales de protection contre les submersions. Jun 2013, Aix en Provence.