

Travaux de confortement de la digue des Alliés à Dunkerque

Reinforcement of the Alliés dike in Dunkirk

X. Hamard¹, N. Nerinx¹, G. Brassart², C. Doumeng², A. Moubariki³, S. Partouche⁴

¹ ISL Ingénierie, Lille, hamard@isl.fr

² DREAL Hauts de France, Lille, gregory.brassart@developpement-durable.gouv.fr

³ Grand Port Maritime de Dunkerque, Dunkerque, moubarikia@portdedunkerque.fr

⁴ NGE Fondations groupe NGE, Lyon, spartouche@ngefondations.fr

Résumé

La digue des Alliés est un ouvrage de 900 m de longueur appartenant à l'État, sous maîtrise d'ouvrage déléguée au Grand Port Maritime de Dunkerque (GPMD). Elle sépare la mer du canal Exutoire, l'un des principaux exutoires à la mer des eaux continentales des Wateringues. La digue protège environ 17 000 personnes de l'arrière-pays dunkerquois.

La digue a été édifée en 1876 et a fait l'objet de travaux de réparation importants notamment suite aux tempêtes de 1949 et 1953 qui ont chacune occasionné des brèches. Sa structure est atypique : un noyau béton, des recharges sableuses de part et d'autre, un parement côté mer en maçonneries en pente douce et un parement côté canal revêtu de dalles en béton armé.

La digue des Alliés est le siège d'infiltrations sous l'effet des gradients imposés par la marée et par le marnage quotidien du canal qui ont été à l'origine d'une érosion interne avérée, suite à laquelle des désordres importants sont apparus, en particulier sur le parement et en crête avec un affaissement au droit de la zone reconstruite après la brèche de 1949.

Suite à différentes études, et en complément d'une opération massive de rechargement en sable de la plage devant la digue, des travaux de confortement ont été réalisés de juin 2017 à juillet 2018. Les conditions d'interventions sont complexes, en particulier en pied côté canal noyé par le canal Exutoire, dont le niveau varie en fonction des marées et des apports en eaux continentales.

L'article présente le contexte de l'opération et les travaux qui ont consisté en :

- la mise en œuvre de palplanches par moyens fluviaux,
- la réalisation d'un complexe de drainage filtration granulaire en pied,
- la reprise partielle du parement côté canal,
- le comblement des cavités par injection basse pression,
- la reprise de la crête, avec mise en œuvre de micro-pieux.

Mots-Clés

Digue maritime, érosion interne, marnage, travaux fluviaux

Abstract

This paper presents the reinforcement works of the Alliés dike in Dunkirk. The 900 m dike protects 17 000 inhabitants of Dunkirk area against sea-flooding. It is also a limit between the North Sea and the "canal Exutoire", the main outlet of the Dunkirk polder. It is currently state owned.

The current dike has been built in 1876, and reconstructed twice, after the 1949 and 1953 storms that each caused breaches.

The dike is made of a concrete core, with sandy fills on sea and canal sides. The slope at sea side is protected by masonry and at canal side by anchored reinforced concrete slabs.

The dike is attacked by severe internal erosion because of internal flows due to sea tide but also due to daily canal level variation. This led to severe damages, particularly on the stretch rebuilt after the 1949 storm, with numerous broken protection slabs, large voids under underneath and crest lowering.

After several studies and massive reclamation works behind the dike, reinforcement works were conducted from June 2017 to July 2018.

Work conditions are complex, especially at the toe at canal side as it is under water with a level varying daily.

This paper presents the context of the dike and the following works:

- Sheet piling with help of a barge on the canal,
- Realization of a granular filter and drain system at the toe at canal side
- Refurbishment of the reinforced concrete protection structure at canal side
- Void filling by low pressure injection
- Crest rehabilitation with micropiles

Key Words

Sea dike, internal erosion, tidal range, in-river works

Introduction

La digue des Alliés est un ouvrage appartenant à l'État, sous maîtrise d'ouvrage déléguée au Grand Port Maritime de Dunkerque (GPMD). La digue est rétrocédée à la Communauté Urbaine de Dunkerque, porteuse de la compétence GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations), au 1^{er} janvier 2019

Elle est située entre la jetée Est de l'avant-port qui fait partie des ouvrages du GPMD et le perré de Malo-les-Bains gérée par la Communauté Urbaine de Dunkerque.



FIGURE 1 : LOCALISATION DE LA DIGUE DES ALLIES (FOND GOOGLE EARTH)

La digue, longue d'environ 900 m sépare la mer du canal Exutoire, l'un des principaux moyens d'évacuation à la mer des eaux continentales des Wateringues (débit pouvant dépasser 100 m³/s). La digue se raccorde à l'aval du canal à l'ouvrage Tixier constitué de cinq pertuis vannés permettant d'isoler le canal de la mer. Les vannes sont ouvertes à marée

basse pour évacuer les eaux drainées par le canal, et se ferment à marée haute pour éviter les intrusions d'eau de mer dans le canal. La digue protège environ 17 000 personnes de l'arrière-pays dunkerquois, ainsi qu'une forte activité industrielle. La digue est classée B au titre du décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques (classement du système d'endiguement en cours).



FIGURE 2 : BRECHE OUEST SUITE A LA TEMPETE DE 1953 [1]

Historique, conception et fonctionnement de l'ouvrage

Historique et conception

La digue a été édifée en 1876 et a fait l'objet de travaux de réparation importants suite aux tempêtes de 1949 et 1953 qui ont chacune occasionné des brèches ayant provoqué des inondations importantes dans la zone protégée par remontée d'eau de mer.

Le principe de conception est relativement homogène sur le linéaire (Figure 3), avec un noyau béton surmontant un double rideau de palplanches, des recharges sableuses de part

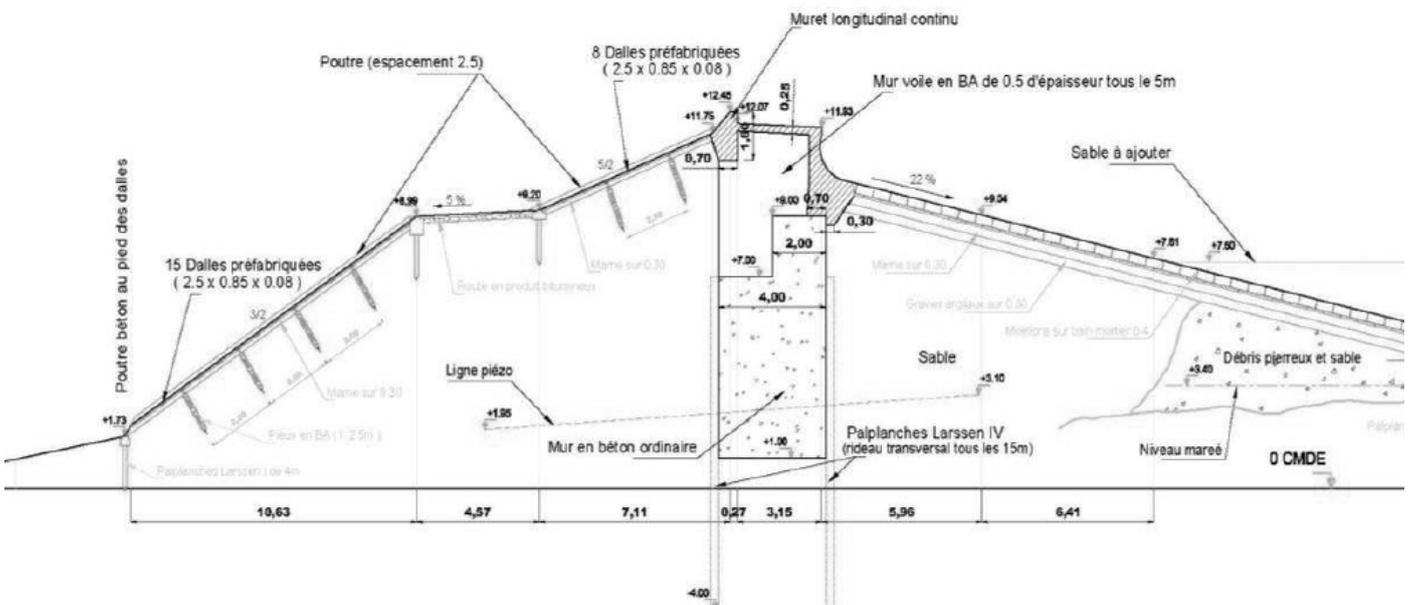


FIGURE 3 : COUPE TYPE DE LA ZONE REPRIS EN 1953 [1]

et d'autre, un parement côté mer en maçonneries en pente douce (~5H/1V) et un parement côté canal avec risberme intermédiaire, revêtu de dalles en béton armé (2,5H/1V en partie supérieure et 2H/1V en partie inférieure). En pied côté canal se trouve un rideau de palplanches surmonté d'une poutre de couronnement qui sert de butée au parement en béton armé.

Les réparations successives ont amené un certain degré d'hétérogénéité à l'ouvrage (Figure 4), avec une partie centrale (réparée en 1949) nettement plus faible que les extrémités (réparées en 1953). En particulier, ces extrémités sont dotées de voiles transversaux tous les 5 m surmontant le noyau (voile absent sur la zone centrale confortée en 1949), ainsi que des principes de ferrillages et bétonnages nettement plus sécuritaires.



FIGURE 4: ZONES REPARÉES SUITE AUX BRECHES DE 1949 ET 1953

Enfin, la plage devant l'ouvrage a fait l'objet d'un rechargement massif (environ 1,5 millions de m³, entre 2011 et 2014) permettant d'atteindre la cote +7,5 mCMD (2,7 m Cote Marine de Dunkerque = 0 m NGF) pour un niveau aux alentours de +2 à +3 mCMD avant travaux. Ce rechargement fait l'objet d'un suivi bathymétrique et topographique sur 5 ans par l'Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO).

Fonctionnement hydraulique de l'ouvrage

Côté mer, sous réserve de son maintien dans le temps, le réensablement massif, permet de considérer que les niveaux d'eau associés à des tempêtes de période de retour 10, 20 et 50 ans ne sont plus suffisants pour submerger la plateforme du rechargement de plage. Ils ne présentent donc aucune surcote de déferlement au niveau du pied de la digue. Les modélisations montrent également une réduction significative de la surcote de déferlement sur l'ouvrage en cas de tempête de période de retour centennale. Hors tempête, le pied de digue n'est plus sollicité directement par la mer. À noter que le gestionnaire futur de l'ouvrage s'engage à maintenir le niveau de sable à l'aide de rechargements réguliers.

Côté canal, l'ouvrage est soumis au marnage quotidien

directement lié à la marée : le canal Exutoire draine en effet un territoire de 850 km², dont les eaux ne peuvent être évacuées qu'à marée basse ou par pompage. Le niveau du canal en pied d'ouvrage varie quotidiennement, avec une amplitude maximale généralement entre 0,5 et 3 mCMD. Une élévation du canal au-delà de 3,5 mCMD entraîne des inondations en amont du canal ; de ce fait, la station de pompage de Tixier (aval du canal Exutoire) est sollicitée en cas de difficulté d'évacuation gravitaire vers la mer pour limiter l'élévation du canal au-delà de cette cote.

Diagnostic et pathologies

Les éléments de diagnostic repris ci-dessous synthétisent les observations ayant guidé la conception du confortement. Ils ne visent pas être exhaustifs.

Diagnostic côté mer

Côté mer, le rechargement massif empêche l'inspection du perré. Les parties visibles du perré maçonné sont en bon état. Le mur chasse-mer est localement fissuré, avec des défauts d'enrobage locaux résultant en une mise à nu des armatures. Cependant, les sollicitations marines sont très significativement atténuées par le rechargement massif.

Diagnostic de la crête

En crête les principales observations concernent

- La fissuration des dalles sur la zone confortée en 1949 (Figure 5),
- Les fissures (longitudinales et verticales au droit des joints des dalles) et épaufrures sur le muret côté canal.
- Un affaissement généralisé du muret de crête sur la zone confortée en 1949 (Figure 5).

Les investigations géotechniques ont permis de déceler des vides localement significatifs sous la dalle (> 10 cm) ainsi qu'une dalle peu épaisse et faiblement ferrillée sur la zone 1949.





FIGURE 5 : ZONE 1949 - HAUT - FISSURE LONGITUDINALE EN CRETE / BAS – AFFAISSEMENT DU MURET DE CRETE

Diagnostic côté canal

En partie haute, les désordres se matérialisent par de nombreuses épaufrures, avec aciers apparents et quelques fractures de longrines du parement (Figure 6).



FIGURE 6 : PAREMENT SUPERIEUR, LONGRINE FRACTUREE

En partie basse, zone confortée en 1953, plusieurs exutoires dans le rideau de palplanches sont observés dont certains sont en pression (Figure 7). Quelques longrines et dalles du parement sont fracturées, et des épaufrures et aciers apparents sont relevés. Des vides et zones décomprimées sont relevés suite aux investigations (radar et sondages)



FIGURE 7 : ZONE 1953 – EXUTOIRE SOUS PRESSION

En partie basse, zone confortée en 1949, les désordres sont conséquents et nombreux (Figure 8) : fracturation de la

majorité des dalles et longrines du parement avec affaissements, venues d'eau, cavités visibles à l'œil nu... Les investigations (sondages) ont confirmé la présence de cavités significatives.



FIGURE 8 : ZONE 1949 – DEGRADATIONS TYPIQUEMENT OBSERVEES

Analyse des pathologies : causes et conséquences

Les observations sur le terrain et les investigations permettent d'identifier l'origine des désordres. Il est démontré qu'une partie des circulations d'eau provient d'infiltrations de la mer sous l'effet de la marée. Par ailleurs, des écoulements, probablement limités à une profondeur modeste (métrique) sous le parement, sont créés par le phénomène de saturation / désaturation quotidien du pied de l'ouvrage sous l'effet du marnage du canal. Ces deux phénomènes provoquent une érosion interne sévère du corps sableux de l'ouvrage.

Cette érosion interne se manifeste essentiellement en pied d'ouvrage avec un départ important de particules côté canal et la création de cavités. Ce départ de particules a des conséquences sur le pied de l'ouvrage, mais également en partie haute.

Au pied de l'ouvrage, les cavités sont à l'origine des fractures du parement observées. Ces désordres sont nettement plus sévères sur la zone confortée en 1949, probablement du fait d'un dimensionnement plus léger du parement. Cependant, la zone confortée en 1953, et en particulier le rideau en pied ont également fait l'objet de désordres : des courants concentrés par un rétrécissement temporaire de la section d'écoulement du canal ont amené à la ruine localisée du rideau et la fracturation du parement, lors des travaux de réalisation d'une passerelle traversant le canal.

On constate aussi un réarrangement progressif des matériaux du remblai, qui migrent de la partie haute du talus vers la partie basse et tend à créer des vides sous la crête de l'ouvrage. La conception avec voiles transversaux et un dimensionnement sécuritaire permet à la crête de la zone 1953 de rester en place, alors que la crête sur la zone 1949, sans voiles et avec un dimensionnement léger, s'affaisse.

Enfin, les analyses de stabilité au grand glissement

démontrent la stabilité précaire en l'état actuel, non justifiée au regard des recommandations CFBR, et l'importance du parement et de son ancrage pour éviter tout risque de glissement du talus.

Conception des travaux de confortement

Il convient de noter en préambule que le niveau de protection de l'ouvrage n'est pas modifié par les travaux.

Il faut aussi préciser que les travaux ont été conçus pour une durée de vie de 50 ans. Compte tenu de cet objectif, la stratégie ne s'est pas orientée vers une remise à neuf complète.

Pied de l'ouvrage

Les opérations suivantes sont réalisées sur tout le linéaire de la digue (Figure 9) :

1. Un rideau de palplanches continu, décalé de 4 m par rapport au pied existant. Il a pour objectif d'assurer la stabilité au grand glissement et de soutenir le dispositif de filtration et drainage ;
2. Un dispositif de filtration et drainage granulaire, qui descend jusqu'à une cote inférieure à la cote des plus basses eaux et remonte jusqu'à +4 mCMD, soit au-delà de la cote entraînant des inondations à l'amont. Ce dispositif est composé d'un filtre avec deux granulométries successives définies à l'aide des règles de filtre classique, en fonction de la granulométrie du corps de digue (2/20 et 31,5/150). À noter qu'un filtre géotextile n'a pas été retenu compte tenu de la fréquence de saturation/désaturation et du risque de colmatage induit ;
3. Une protection en petits enrochements contre l'érosion de surface liée aux écoulements longitudinaux du canal, considérant une vitesse moyenne maximale de 3 m/s.

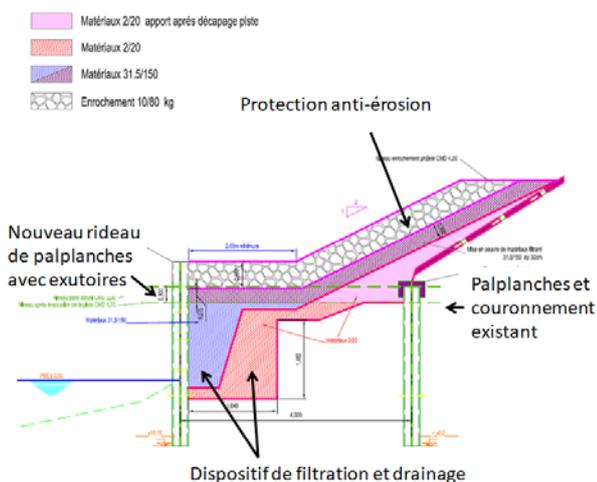


FIGURE 9 : COUPE TYPE CONFORTEMENT DU PIED (TOUTE LONGUEUR)

La conception met l'accent sur le dispositif de filtration et drainage. En effet, le diagnostic a mis en lumière le rôle de l'érosion interne dans la zone de marnage sur les désordres observés. Il est donc indispensable de maîtriser les écoulements internes, et ce sur le linéaire complet et sur toute la hauteur potentiellement sollicitée.

Parement inférieur

Sur la zone réparée en 1953, l'état de dégradation ne justifie pas impérativement la reprise complète (démolition et reconstruction) du parement inférieur. Il est décidé de procéder à des réparations localisées sur toutes les zones dégradées (épaufrures avec armatures apparentes). Par ailleurs, des injections gravitaires sont réalisées sur la zone réparée en 1953, en pied d'ouvrage, jusqu'à la cote maximale d'implantation du dispositif de filtration et drainage (+4,00 mCMD). L'objectif est de combler les vides en partie inférieure de l'ouvrage. La mise en œuvre gravitaire vise à limiter les risques sur la structure existante. Par ailleurs, des barbacanes sont percées dans le parement pour éviter la mise en pression du parement et contrôler les écoulements.

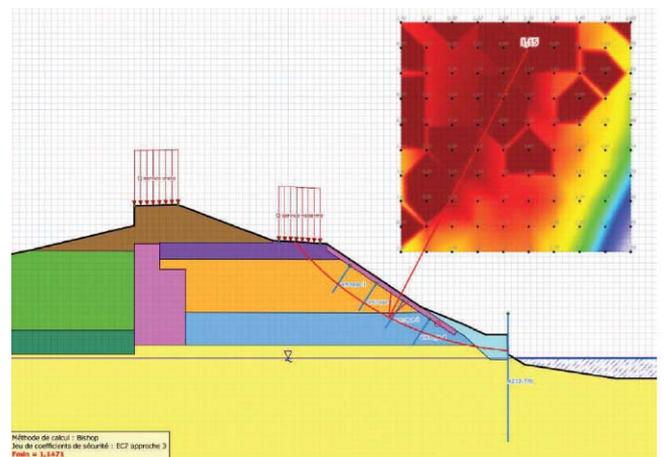


FIGURE 10 : CALCUL D'EXECUTION DU PAREMENT CLOUÉ

Sur la zone réparée en 1949, l'état de dégradation exige la démolition complète du parement, par plots, le comblement des vides, la mise en œuvre de clous d'ancrage et la réalisation d'un nouveau parement en béton armé.

Parement supérieur

L'état de dégradation ne justifie pas impérativement la reprise complète (démolition et reconstruction) du parement supérieur. Il est décidé de procéder à des réparations localisées sur toutes les zones dégradées (épaufrures avec armatures apparentes ainsi que quelques longrines fracturées).

Crête et côté mer

La dalle en crête est entièrement démolie sur la zone reprise

en 1949, zone de fissuration et d'affaissement généralisés. Afin de pallier le risque futur d'affaissement et pour garantir la pérennité du nouveau cheminement de crête, une dalle en béton armé de 40 cm d'épaisseur est mise en œuvre, en appui sur le mur chasse-mer existant et sur des micropieux scellés dans le noyau béton (Figure 11). À noter que la tête des micropieux est également scellée au muret de crête afin de limiter les mouvements de celui-ci.

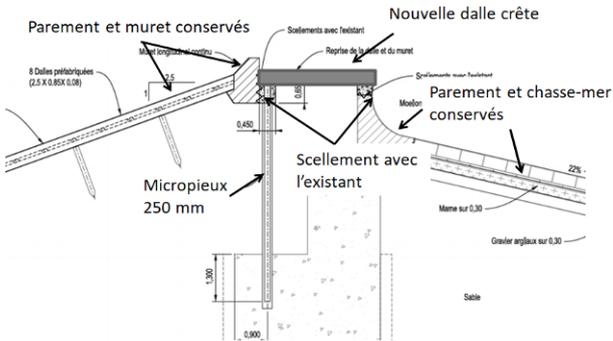


FIGURE 11 : COUPE TYPE DE LA REPRISSE DE LA CRETE

Aucune opération sur le mur chasse-mer n'est intégrée au programme de travaux.

Contraintes de chantier, méthodes et adaptations

Les réparations ponctuelles ont fait l'objet de méthodes de chantier classiques, moyennant la mise en œuvre de mesures de sécurité particulières pour travail en hauteur.

De même, les opérations en crête sont également classiques et ne sont pas détaillées ci-après.

L'accent est mis sur les travaux en pied d'ouvrage, qui ont fait l'objet des travaux les plus complexes techniquement et du point de vue des accès.

Contraintes d'accès

De façon générale, les circulations d'engins lourds sur la crête et sur la risberme ont été interdites pendant toute la durée des travaux ainsi qu'ultérieurement en phase exploitation. De plus, la configuration des lieux fait qu'une boucle de circulation est impossible, tant par la crête que la risberme. Les méthodes de chantier se sont donc orientées vers la mobilisation de matériel fluvial et d'engins légers. Un quai et une rampe de chargement provisoires ont été mis en place en pied, en extrémité amont d'ouvrage, pour permettre l'approvisionnement en matériels et matériaux (Figure 12).

Par ailleurs, une piste temporaire a été créée en pied d'ouvrage après la mise en œuvre du rideau de palplanches. Cette piste à sens unique et sans issue de 5 m de large environ a constitué l'unique moyen d'accès en pied, pour les engins et matériaux, ainsi que d'évacuation des produits de démolition et déblais. Le planning du chantier a donc intégré cette contrainte forte en termes de circulation.



FIGURE 12 : QUAI ET RAMPE DE CHARGEMENT PROVISOIRE EN COURS DE MISE EN PLACE

Contraintes liées au canal

Le graphique ci-après (Figure 13) illustre la variation naturelle type du niveau du canal sur une période donnée. La présence de ce canal en pied d'ouvrage impose donc une parfaite coordination entre l'Entreprise de travaux et le gestionnaire du canal (GPMD).

Le gestionnaire dispose d'une certaine marge de manœuvre quant au niveau du canal, en fonction de la gestion qu'il opère des portes aval (évacuation gravitaire à la mer). Cette gestion est bien entendu liée aux apports amont (pluviométrie sur le bassin versant) et à la marée (flexibilité moindre aux marées de mortes eaux). Enfin, le gestionnaire n'avait pas prévu et n'a pas été sollicité pour la mise en route des pompes en cas d'élévation du niveau d'eau pénalisante pour le chantier.

Ces variations de niveau impactent différentes opérations :

- Le niveau du canal doit rester suffisamment haut pour éviter l'échouage de la barge servant à la mise en œuvre des palplanches et à l'approvisionnement en matériaux (> 1,5 mCMD en moyenne)
- Le niveau du canal doit rester suffisamment bas pour éviter de noyer les engins évoluant en pied (< 2,0 mCMD environ), lors de la mise en place du dispositif de filtration / drainage ainsi que lors de la démolition et reconstruction du parement inférieur sur la zone 1949
- De façon ponctuelle, le canal a dû être géré à niveau bas lors du passage de la grue treillis sous une passerelle en extrémité amont du chantier.

Les mesures prises par l'Entreprise pour prévenir cette difficulté ont été :

- Prévision à 3 semaines, mises à jour de façon hebdomadaire, des souhaits en termes de niveau d'eau ; communication en réunion de chantier.
- Mise en relation directe avec le gestionnaire pour prévenir les situations extrêmes
- Mise en place d'un système d'alerte local pour prévenir les

équipes d'une montée rapide du canal et permettre le repli des hommes à minima, et si possible du matériel.

Ces mesures, couplées à une météo relativement favorable, ont permis de limiter l'impact de cette contrainte sur le chantier :

- 10 jours sur les 13 mois de chantier d'interruption pour niveau haut
- Un seul engin n'a pas pu être replié et a subi quelques dommages
- Respect du planning prévisionnel de l'opération (13 mois), optimisé par rapport au planning contractuel du marché (18 mois).

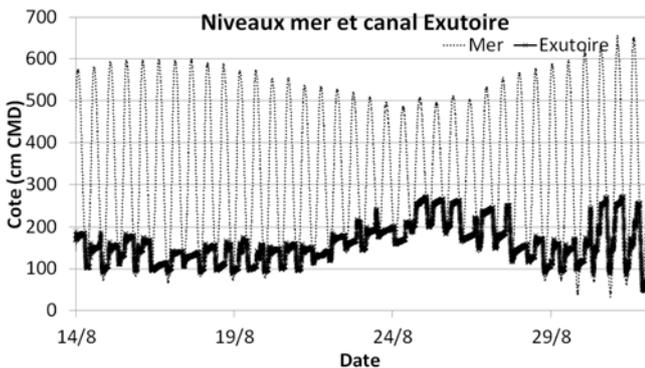


FIGURE 13 : VARIATIONS TYPES DU NIVEAU DU CANAL EXUTOIRE ET DE LA MER

Travaux de mise en œuvre des palplanches et adaptations au droit de l'ouvrage Tixier

La mise en œuvre des palplanches a été réalisée par voie fluviale, moyennant les contraintes de marnage du canal évoquées ci-avant (Figure 14).

La mise en œuvre a été réalisée sans autre difficulté particulière hormis :

- Présence quasi continue d'un ancien perré en pierres sèches, non détecté du fait de la sédimentation ; il a pu être évacué à l'aide de la mobilisation rapide d'une pelle amphibie
- Présence ponctuelle d'une ancienne poutre en béton armé, non détectée initialement pour les mêmes raisons, démolie au brise roche hydraulique monté sur pelle amphibie
- Présence d'un radier de 60 cm en béton armé sur les 60 derniers mètres (aval) du linéaire, aux abords immédiats de l'ouvrage Tixier.

La présence de ce radier a empêché la mise en œuvre du projet tel que prévu au marché. La collaboration efficace entre le Maître d'œuvre, le Maître d'Ouvrage et l'Entreprise a permis de rapidement dégager une solution technique pour pallier cet aléa et limiter l'impact sur le planning, et donc les coûts de l'opération, un objectif étant de limiter, voire éviter les frais d'immobilisation.



FIGURE 14 : MISE EN ŒUVRE DES PALPLANCHES PAR VOIE FLUVIALE

La solution a consisté en la mise en place par moyens subaquatiques d'une structure mécano-soudée scellée sur le radier (Figure 15). La structure est autostable en situation définitive mais a été étayée pour la phase provisoire par des jambes de forces reposant sur le perré (avec sollicitation uniquement en compression grâce à des dispositions particulières évitant la sollicitation en traction).

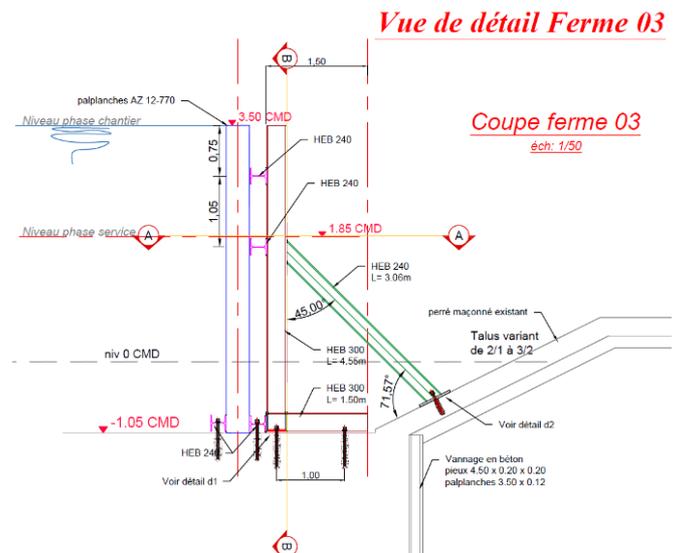


FIGURE 15 : COUPE TYPE DE LA STRUCTURE MECANO-SOUDEE AU DROIT DU RADIER AMONT DE L'OUVRAGE TIXIER

Cette solution présente les avantages suivants :

- Utilisation partielle des palplanches prévues au marché
- Encombrement compatible avec les besoins en surface mouillée pour l'évacuation des eaux
- Mise en place possible du dispositif de filtration et drainage prévu au projet.
- Pas d'atteinte à l'intégrité du radier existant.

À noter que cette solution a pu être effectivement mise en œuvre après vérification du bon état structurel du radier.



FIGURE 16 : MISE EN PLACE PAR MOYENS SUBAQUATIQUES DE LA STRUCTURE MECANO-SOUDEE AU DROIT DU RADIER DE TIXIER

En fin de chantier, après mise en place du dispositif de filtration et drainage et après mise à la côte du rideau de palplanches, des exutoires ont été percés dans le rideau afin d'éviter toute mise en pression hydrostatique du rideau. Les exutoires sont dimensionnés pour éviter le départ des matériaux du filtre.

Travaux de reprise du parement inférieur (zone 1949)

- Les travaux de reprise du parement inférieur ont consisté en
- Démolition par plot, sur toute la hauteur du parement inférieur ;
 - Comblement des cavités à l'aide de béton projeté par voie sèche ;
 - Percements de barbicanes ;
 - Forage et scellement des clous ;
 - Mise en place des treillis soudés et armatures des longrines ;
 - Mise en œuvre du béton projeté de parement ;
 - Mise en œuvre du béton coulé en place des longrines (Figure 17).

L'entreprise a retenu la méthode du béton projeté par voie sèche en lieu et place du béton coulé en place prévu au marché pour la réalisation des dalles du parement, avec un résultat satisfaisant.

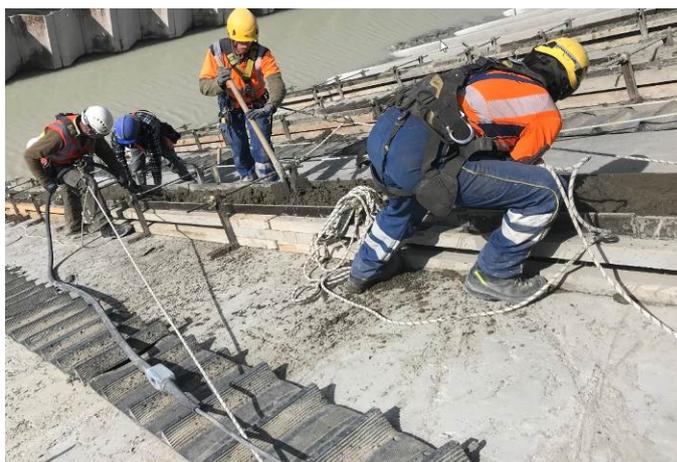


FIGURE 17 : BETONNAGE DES LONGRINES

Mise en œuvre et protection du dispositif de filtration et drainage

Le dispositif de filtration et drainage illustré à la figure 9 a été mis en œuvre par phases :

- Une première phase (Figure 18) avant la réalisation du parement sur la zone 1949 avec excavation et remplacement du sol en place par les matériaux filtre, jusqu'au niveau du pied de l'ouvrage et couverture temporaire du filtre par du laitier pour permettre la circulation des engins
- Une seconde phase (Figure 19), après la réalisation du parement sur la zone 1949, avec enlèvement de la piste temporaire en laitier la finition complète du dispositif.

Outre les vestiges évacués en parallèle de la mise en œuvre des palplanches, la réalisation du dispositif de filtration et drainage a fait face aux difficultés d'approvisionnement d'un volume conséquent de matériaux par la piste et de gestion du niveau du canal.



FIGURE 18 : FILTRE ET DRAIN PHASE 1 ; REALISATION DE LA PISTE



FIGURE 19 : FILTRE ET DRAIN PHASE 2 ; REALISATION DE LA PARTIE SUPERIEURE, Y COMPRIS PROTECTION EN ENROCHEMENTS

Conclusion

La digue des Alliés se distingue par le contexte dans lequel l'ouvrage s'inscrit : elle défend l'arrière-pays dunkerquois contre les submersions marines et fait office de digue rive droite du canal Exutoire, l'un des principaux moyens d'évacuation des eaux continentales vers la mer sur le territoire. Côté mer, la digue est en état correct et le niveau de plage a été significativement rehaussé. C'est donc le contexte côté canal Exutoire qui a dicté d'une part la conception des travaux de confortement, et d'autre part l'organisation de ceux-ci.

Sur le volet conception, outre l'amélioration de la stabilité au grand glissement par l'implantation d'un rideau de palplanches, l'enjeu principal a été d'arrêter définitivement le processus d'érosion interne provenant d'une double sollicitation : écoulements à travers le corps de digue depuis la mer et phénomène de saturation/désaturation quotidien (à la marée) du talus côté canal. Une spécificité de cette opération est donc le dispositif de filtration et drainage largement dimensionné, et contrôlant une hauteur de 4 m d'ouvrage. Un dispositif granulaire a été retenu compte tenu de la fréquence et l'intensité des sollicitations.

Les autres composantes du confortement (palplanches, reprise du parement, confortement de la crête) ont fait l'objet de conceptions relativement classiques.

L'organisation du chantier, tant en pied d'ouvrage qu'en crête, a dû tenir compte d'une part de la présence du canal, et d'autre part des surcharges modestes admissibles sur la crête et la risberme. De ce fait, l'Entreprise a opté pour une mise en œuvre par voie fluviale, contrainte par les variations du niveau dans le canal Exutoire, et donc du tirant d'eau (et tirant d'air, pour le passage sous un ouvrage). Compte tenu des impératifs de tirant d'eau exigeants, voire parfois contradictoires, une planification précise et des échanges permanents avec le gestionnaire du canal ont été mis en place. Un système de prévention et d'alerte sur les variations

du niveau du canal, permettant de garantir la sécurité des personnes et matériels a également dû être mis en œuvre.

Par ailleurs, la gestion des aléas liés à des vestiges d'ouvrages anciens ou à des ouvrages existants en service a exigé une excellente coordination entre Maîtrise d'Ouvrage, Maîtrise d'Ouvrage déléguée, Maîtrise d'œuvre et Entreprise pour limiter l'impact financier et l'impact planning, ainsi que pour garantir le maintien de la qualité technique des travaux.

Enfin, il faut préciser que les travaux ont été dimensionnés techniquement avec un objectif d'une durée de vie de 50 ans. Dans cette optique, certains choix ont été posés par la Maîtrise d'Ouvrage, avec l'appui technique du Maître d'œuvre et du Maître d'Ouvrage délégué. Comme tout ouvrage classé, le suivi visuel et l'auscultation permettront le cas échéant de prévoir à moyen ou long termes des travaux sur les secteurs qui n'ont pas fait l'objet de travaux lors de cette opération.

Références

- [1] ISL-Ingénierie, Grand Port Maritime de Dunkerque. (2016). *Maîtrise d'œuvre de confortement de la digue des Alliés – rapport de Projet.*