

maître d'ouvrage

Voies navigables de France

Direction Territoriale du Nord-Pas de Calais



---

## Canal d'Aire et de Neufossé

Réfection des digues du canal d'Aire et de Neufossé

N° pièce

**001**

## PROJET

Maître d'oeuvre



INGEROP

5 rue Baudouin IX - Activotel 1

BP10020

59651 Villeneuve d'Ascq Cedex

tél. : 03.20.59.15.50

Conducteur d'opération

V.N.F.

Service Maîtrise d'Ouvrage - COP2

37 rue du Plat - BP 725

59034 LILLE CEDEX

Tel 03 20 17 19 62 Fax 03 20 17 04 31

**Notice technique**

**Echelle : -**

**Décembre 2017**

**Indice C**

Réfection de digues sur le canal d'Aire  
entre les PK 71349 et 92668 (62)  
et sur le canal de Neufossé  
entre les PK 92668 et 95490 (62)



## Etudes PROJET

### Pièce n°001 - Notice globale



REVISIONS DE CE DOCUMENT

PAGE	A	B	C	D	E	PAGE	A	B	C	D	E	PAGE	A	B	C	D	E
1	X		X			31	X	X	X			91					
2	X		X			32	X	X	X			92					
3	X		X			33	X	X	X			93					
4	X		X			34	X	X	X			94					
5	X		X			35	X	X	X			95					
6	X		X			36	X	X	X			96					
7	X		X			37	X					97					
8	X	X	X			38	X					98					
9	X	X	X			39	X					99					
10	X	X	X			40	X					100					
11	X	X	X			41						101					
12	X	X	X			42						102					
13	X	X	X			43						103					
14	X	X	X			44						104					
15	X	X	X			45						105					
16	X	X	X			46						106					
17	X	X	X			47						107					
18	X	X	X			48						108					
19	X	X	X			49						109					
20	X	X	X			50						110					
21	X	X	X			51						111					
22	X	X	X			52						112					
23	X	X	X			53						113					
24	X	X	X			54						114					
25	X	X	X			55						115					
26	X	X	X			56						116					
27	X	X	X			57						117					
28	X	X	X			58						118					
29	X	X	X			59						119					
30	X	X	X			60						120					

D																	
C	Décembre 2017	Repris suivant remarques MOA			YH	PW	GL	-									
B	Août 2017	Repris suivant remarques MOA			YH	PW	GL	-									
A	07 Janvier 2015	Première diffusion			PW	GL	HHC	-									
Indice	Date	Modifications			Etabli par	Vérifié par	Approbation	Statut									

SOMMAIRE

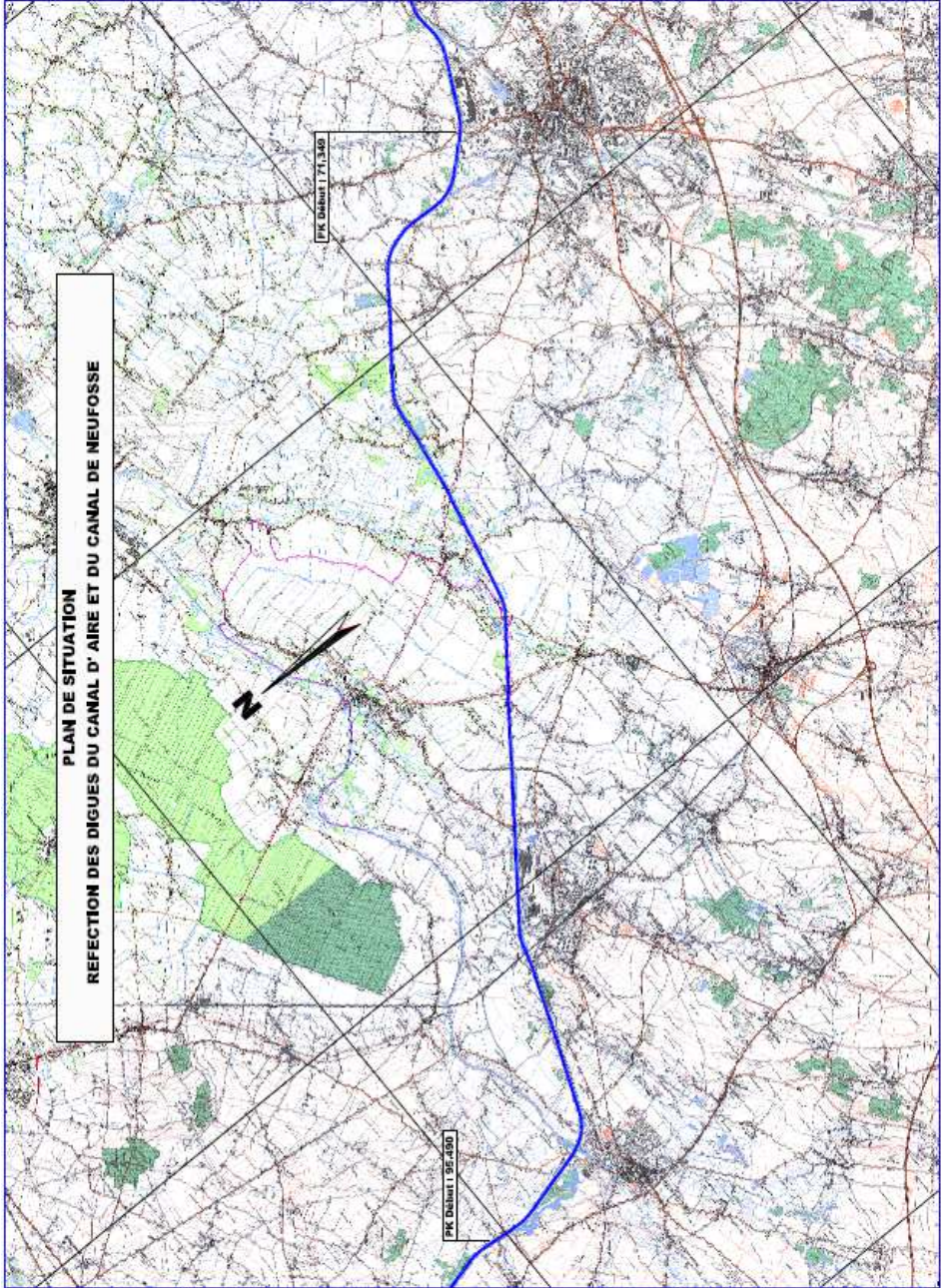
1.	INTRODUCTION .....	4
1.1.	Objet de la note et des études Projet.....	4
1.2.	Documents de références.....	6
1.3.	Données d’entrée transmises suite aux études préliminaires .....	6
2.	ETUDES TECHNIQUES.....	8
2.1.	Analyse des données d’entrée.....	8
2.1.1.	Profils bathymétriques et profils théoriques.....	8
2.1.2.	Analyse des sédiments .....	9
2.1.3.	Inventaire des environnements du site .....	12
2.2.	Enchainements des études suite aux études préliminaires .....	13
2.3.	Etudes des solutions de réfection .....	15
2.3.1.	Choix des solutions .....	15
2.3.2.	Modifications apportées par rapport aux études préliminaires .....	15
2.3.3.	Répartition des solutions techniques .....	15
2.3.4.	Solution PAL .....	16
2.3.5.	Solution ENR.....	20
2.3.6.	Solution AME ENR .....	25
2.3.7.	Solution AME PAL.....	30
2.3.8.	Présentation des lots et tranches de travaux.....	30
2.3.9.	Chiffrage des aménagements proposés.....	30
2.3.10.	Phasage de réalisation des travaux .....	31
2.3.11.	Valorisation des délais après traitement .....	31
3.	CONCLUSION .....	32
4.	ANNEXES.....	33
4.1.	Annexe n°1 : Bilan des solutions.....	33



# 1. INTRODUCTION

## 1.1. OBJET DE LA NOTE ET DES ETUDES PROJET

Le projet concerne la réfection de digues sur le Canal d'Aire entre les PK 71,349 et 92,668 (62) et sur le Canal de Neufossé entre les PK 93,190 et 95,490 (62). Le projet est motivé par la présence de digues à criticité forte (type 4) déterminée à partir des critères de gravité et de fréquence. La présente note s'inscrit dans le cadre des études Projet.



Plan de localisation de la zone d'étude – Extrait du dossier de consultation

**La Phase Projet consiste en la consolidation des Etudes Préliminaires et à l'intégration des améliorations nécessaires au projet.** Elle reprend cette phase, la complétant dans tous les aspects techniques nécessaires, par des plans de détail, notes de calculs explicatives, détails quantitatifs et estimatifs, de façon à ce que l'on puisse disposer d'une base technique précise pour la consultation des entreprises.

L'étude du projet portera globalement sur les terrassements, les digues et défenses de berges et la signalisation. Les éléments de mission seront conformes au décret 93-1268 du 29 novembre 1993, complété par l'arrêté du 21 décembre 1993.

L'étude du projet a pour objectifs de :

- Préciser les enchaînements des études suite aux Etudes Préliminaires ;
- Analyser les données d'entrée transmises suite aux Etudes Préliminaires ;
- Préciser la solution d'ensemble au niveau de chacun des ouvrages d'infrastructure qu'elle implique ;
- Confirmer les choix techniques (type d'ouvrage, dimensionnement des ouvrages, méthodes de construction) et préciser la nature, la qualité des matériaux et équipements, et les conditions de leur mise en œuvre,
- Fixer, avec toute la précision nécessaire, les caractéristiques et dimensions des différents ouvrages de la solution d'ensemble ainsi que leurs implantations topographiques, en vue de leur exécution,
- Vérifier au moyen de notes de calculs appropriées, que la stabilité et la résistance des ouvrages est assurée dans les conditions d'exploitation auxquelles ils pourront être soumis y compris en phase de réalisation,
- Préciser les tracés des alimentations et évacuations de tous les fluides ou réseaux ainsi que des réseaux souterrains existants et, en fonction du mode de dévolution des travaux, coordonner les informations et contraintes nécessaires à l'organisation spatiale des travaux,
- Préciser les dispositions générales et les spécifications techniques des équipements répondant aux besoins de l'exploitation ;
- Réaliser le dossier de phasage des travaux et prévoir les modalités d'exploitation sous chantier,
- Décomposer le coût prévisionnel des travaux en éléments techniquement homogènes,
- Permettre au maître d'ouvrage de fixer l'échéancier d'exécution et d'arrêter s'il y a lieu, le partage en lots.

### Méthodologie

#### Etudes techniques

Après recensement des contraintes techniques et des contraintes particulières du site (contraintes environnementales, incidences sur les eaux souterraines, etc.), le dossier Projet répond en particulier aux objectifs listés ci-après pour chacune des rubriques suivantes :

#### Géologie, géotechnique, ouvrages en terre et défenses de berges

Les sondages et essais géotechniques effectués par le Maître d'Ouvrage permettent d'appréhender définitivement l'ensemble des aléas géotechniques et de guider le Maître d'œuvre dans ses choix techniques d'exploitation des sols présents sur le site.

Au stade du PROJET, il est prévu de réaliser une mission géotechnique de type G2-Projet portant spécifiquement sur la restauration des défenses de berges.

Ces études géotechniques intègrent :

- la définition et le repérage sur plan des reconnaissances géotechniques nécessaires, qui seront à la charge de Voies Navigables de France,
- l'interprétation et la synthèse des reconnaissances géotechniques réalisées,
- la vérification de la stabilité des berges et digues,

Les défenses de berges et digues sont étudiées avec le logiciel de stabilité de pente Talren v.4 et du logiciel RIDO.

Les points techniques suivants sont abordés pour l'élaboration du dossier PRO :

- Analyse détaillée des études géotechniques
- Définition et justification d'éventuels compléments géotechniques à réaliser par la maîtrise d'ouvrage ou par l'entrepreneur dans le cadre du marché



- Synthèse et modélisation géotechnique sur l'ensemble du linéaire de canal
- Dimensionnement des défenses de berges (restauration)

A l'appui des dimensionnements, sont définis les caractéristiques techniques des défenses de berges, les modalités de mise en œuvre, les éventuels travaux préparatoires. Des plans d'ensemble et de détails sont également produits.

Selon les désordres constatés au niveau des jonctions avec les ouvrages hydrauliques, une analyse spécifique de ces zones est également réalisée.

■ **Terrassements**

Concernant les terrassements nous réaliserons le calcul des cubatures sur la base de la bathymétrie avec prise en compte de la distinction entre déblais en eau et déblais hors d'eau, compte tenu des engagements pris par VNF sur les terrains de dépôt. Ce point fera l'objet d'une attention particulière et sera débattu en comités techniques.

Le projet présente une quantité importante de matériaux non inertes, ils seront identifiés et métrés indépendamment des matériaux inertes. Dans la mesure du possible, les matériaux inertes seront réutilisés en remblais.

Nous définirons en accord avec la Maîtrise d'Ouvrage, les méthodes d'exécution qui seront imposées aux entreprises dans le cadre des marchés de travaux et définirons le phasage des travaux.

■ **Signalisation / Exploitation sous chantier**

La maîtrise d'œuvre se rapprochera des services des Voies Navigables de France et ses partenaires ainsi que des gestionnaires des voies bordant le canal pour définir les besoins en matière d'équipements.

INGEROP établira :

- une notice méthodologique des travaux et exploitation sous chantier ;
- les avant-métrés et l'estimation.

■ **Réseaux**

Les chemins étant pour majorité propriété des VNF, le recensement des réseaux a été mené sur la base des informations communiquées par les demandes de renseignements ainsi que par les services VNF et notamment l'Unité Territoriale d'Itinéraire Flandres-Lys en charge de l'exploitation du canal ainsi qu'en tenant compte des retours des DICT lancés dans le cadre de la réalisation des investigations géotechniques sur le site. Les demandes de renseignements ont été envoyées dès le démarrage des études préliminaires auprès de tous les concessionnaires susceptibles d'être concernés par les travaux afin de confirmer et compléter ce recensement. Les plans et informations fournis par les différents services des concessionnaires ont été reportés sur les vues en plan afin de pouvoir les superposer aux plans du projet. Il est à prévoir une diffusion des plans du projet aux exploitants du réseau pour vérifier les informations reportées sur les plans et renseigner les ouvrages sur lesquels il manque des informations.

Les vues en plan, transmises pour les études de Projet, permettent d'identifier tous les réseaux impactés, ou susceptibles de l'être et ainsi permettent à la Maîtrise d'Ouvrage d'informer les concessionnaires concernés. Les réseaux étant situés sur le domaine public fluvial, les concessionnaires auront à leur charge le déplacement de ceux-ci ainsi que les études éventuelles de dévoiement. Des réunions spécifiques, organisées par la Maîtrise d'Ouvrage, en présence du Maître d'Œuvre, permettront de finaliser les projets de dévoiement et définir leur planification de manière à éviter toute co-activité avec les travaux de réfection des digues.

L'ensemble des données concernant les siphons nous a été fourni par VNF, ils sont repérés sur les plans. Ils seront à prendre en compte notamment lors de la réalisation de palplanches.

Ce recensement des réseaux permettra enfin d'identifier, dans le cadre du Dossier de Consultation des Entreprises, toutes les contraintes d'intervention et mesures de sécurité à respecter à proximité des réseaux non directement impactés mais situés dans l'emprise immédiate du chantier.

Lors de la reprise du dossier en version B, des plans de réseaux spécifiques ont été produits à partir de l'ensemble des demandes de DICT réalisées par VNF. Sur ces plans ne sont représentés que les réseaux concessionnaires.

■ **Estimation du coût du projet**

Dans le cadre de l'étude, des avant métrés détaillés et une estimation des travaux sont prévus. Le coût prévisionnel de travaux sera systématiquement comparé au coût prévisionnel fixé à l'issue des Etudes Préliminaires. Une analyse des éventuels écarts sera ensuite menée pour justifier les évolutions du coût.

Cette estimation détaillée permettra d'apprécier par nature de travaux les coûts respectifs notamment :

- des terrassements et dragages,
- des défenses de berges,
- des évacuations de matériaux non inerte,
- des rétablissements des ouvrages hydrauliques,
- des équipements et signalisations,
- etc.

■ **Phasage et planning de réalisation**

Dans le cadre de l'étude PRO, nous établirons un planning de déroulement des travaux ainsi que les cahiers de phasage tenant compte de l'ensemble des contraintes identifiées.

■ **Rendu**

Le contenu du dossier projet sera conforme au CCP et satisfera aux exigences et recommandations énoncées par les textes réglementaires, les guides techniques et les directives en vigueur.

Le dossier PRO comprendra donc à minima :

- 1- les documents écrits:
  - Une notice globale de présentation de l'opération intégrant :
  - ✓ les réponses aux observations formulées lors de l'approbation des études préliminaires et les adaptations proposées avec justification,
  - ✓ une analyse des études géotechniques accompagnée de ses éventuelles annexes graphiques et cartographiques,
  - ✓ les caractéristiques géométriques des ouvrages,
  - ✓ les caractéristiques techniques des défenses de berges et digues : dimensionnement, modalités de mise en œuvre, travaux préparatoires,
  - ✓ le déroulement de l'opération : planning, allotissement des travaux, planning opérationnel ;
  - Une notice de dimensionnement des ouvrages avec les notes de calculs et les hypothèses géotechniques ;
  - Une notice méthodologique des travaux et exploitation sous chantier ;
  - L'estimation du projet: métrés, détail estimatif des travaux, comparaison avec le cout d'objectif du projet, avec explication, le cas échéant des écarts ;

- 2- Les documents graphiques:
  - Un plan de situation général;
  - Des cahiers de profils en travers reprenant le rectangle de navigation, les défenses de berges existantes et celles à réaliser;
  - L'établissement de vues en plan par planche ;
  - L'ensemble des plans de repérage des réseaux concessionnaires ;

Les linéaires de digues en rives droites et gauches concernés par l'étude sont répertoriés sur les documents graphiques suivants, joints au dossier d'études Projet :

- un plan de situation au 1/50 000e,
- 6 planches au 1/3 000e – Vues en plan des rives à traiter avec identification des solutions de réfection prévues au terme du Projet.

### 1.2. DOCUMENTS DE REFERENCES

Les études sont menées sur la base des documents du marché ainsi que des études déjà réalisées par VNF et d'ouvrages de référence dont la liste non exhaustive est reprise ci-dessous :

- Dossier marché :
  - l'acte d'engagement (A.E.), et ses annexes,
  - par dérogation à l'article 4.1 du CCAG-PI, le CCP et son annexe (cahier des charges), valant Cahier des Clauses Administratives Particulières et Cahier des Clauses Techniques Particulières au sens de l'article 13 du CMP ;
  - la décomposition analytique de la rémunération de la prestation ;
  - le dossier de plans :
    - ✓ de situation,
    - ✓ de repérage des zones d'intervention sur le Canal d'Aire,
    - ✓ de repérage des zones d'intervention sur le Canal de Neufossé ;
  - le Cahier des Clauses Administratives Générales applicables aux marchés publics de prestations intellectuelles (C.C.A.G) approuvé par le l'arrêté du 16 septembre 2009 (NOR : ECEM0912503A) ;

- Études réalisées :
  - Étude d'analyse des risques au niveau national : 60 km de digues identifiées pour le Nord Pas de Calais avec une criticité croissante de 1 à 4 (VNF / DECEMBRE 2006 à AOUT 2008).
  - Étude réhabilitation des berges du réseau à grand gabarit Nord Pas de Calais (SEM-COYNE ET BELLIER / SEPTEMBRE 2006 à AOUT 2008).
  - Étude diagnostique phase 1 sur les digues à très forte criticité, niveau 4 (SEM-GINGER CEBTP / MARS 2009).
  - Étude diagnostique phase 2 sur les digues à très forte criticité, niveau 4 (SEM-GINGER CEBTP / MAI 2010).
  - Étude diagnostique phase 1 sur les digues à forte criticité, niveau 3 (SEM – ROYAL HASKONING / MAI 2010).
  - Historique des travaux réalisés en liaison avec la subdivision de Saint-Omer.

- Texte ou ouvrage de référence :
  - Circulaire 76.38 du 1er mars 1976 relative aux caractéristiques des voies navigables, modifiée par la circulaire 95.86 du 6 novembre 1995 ;
  - RÉSOLUTION N° 92/2 RELATIVE À LA NOUVELLE CLASSIFICATION DES VOIES NAVIGABLES [CEMT/CM(92)6/FINAL] ;
  - CETMEF, 1996, « Défenses de berges en enrochements » ;
  - CETMEF, 2000, « Définition des fonctionnalités écologiques des berges des canaux pour la navigation – application pour leur végétalisation » ;
  - VNF, 1995, « Catalogue des défenses de berges ;
  - CETMEF, juin 2010, « Digue et berges des voies navigables, retour d'expériences sur les désordres et les réparations » ;
  - CETMEF, juin 2009, « Aménagement des berges des voies navigables, retour d'expériences ».
  - les Eurocodes et le Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG) applicables aux marchés publics de travaux.

### 1.3. DONNEES D'ENTREE TRANSMISES SUITE AUX ETUDES PRELIMINAIRES

Les données d'entrée transmises depuis le rendu des études préliminaires sont les suivantes:

- Analyse des sédiments - 30/01/2014 ;
- Coupe des sondages carottés - 22/05/2014 ;
- PT bathymétriques en pdf - 02/06/2014 ;
- Rapport géotechnique (pressio - pénétro statique - carotté) - 10/06/2014 ;
- Essais laboratoire - CR factuel - 06/10/2014 ;
- PT bathymétriques en dwg - 16/10/2014 (correspondant aux profils fournis en phase E.P. – document modifié) ;
- Carte de vocation des terrains de dépôt - 10/11/2014 ;
- PT bathymétriques en dwg (correspondant à l'envoi au format pdf du 02/06/2014) - 18/11/2014 -> **profils retenus dans le cadre de la présente étude** ;
- Diagnostic – Analyse de sédiments – 24/11/2014 ;
- Fiches descriptives des terrains de dépôt sur le secteur - 24/11/2014 ;
- Fiches descriptives des terrains de dépôt sur le secteur - 27/11/2014 ;

Il a été transmis 2 versions dwg des profils bathymétriques complémentaires demandés. Ces données présentent des divergences.

Après vérifications, les profils bathymétriques les plus récents et complets sont ceux transmis le 18/11/2014.

Ces profils ont donc été retenus dans le cadre de la présente étude.

Depuis la diffusion du dossier PRO version A, les données d'entrées suivantes ont été mises à notre disposition :

- Réalisation de prélèvements et analyses de terres franches sous eau sur le canal de Neufossé depuis Aire-sur-la-Lys jusqu'à Béthune – réalisé par Airele en 07/2016 (16040054 – V01) ;
- Ensemble des réponses des DICT.

Depuis la diffusion du dossier PRO version B, les données d'entrées suivantes ont été mises à notre disposition :

- Plans des siphons présents sur le linéaire du projet.



## 2. ETUDES TECHNIQUES

### 2.1. ANALYSE DES DONNEES D’ENTREE

#### 2.1.1. Profils bathymétriques et profils théoriques

Les profils théoriques définissent le concept d’origine des talus sous eau et du niveau du plafond par secteur du canal d’Aire et de Neufossé.

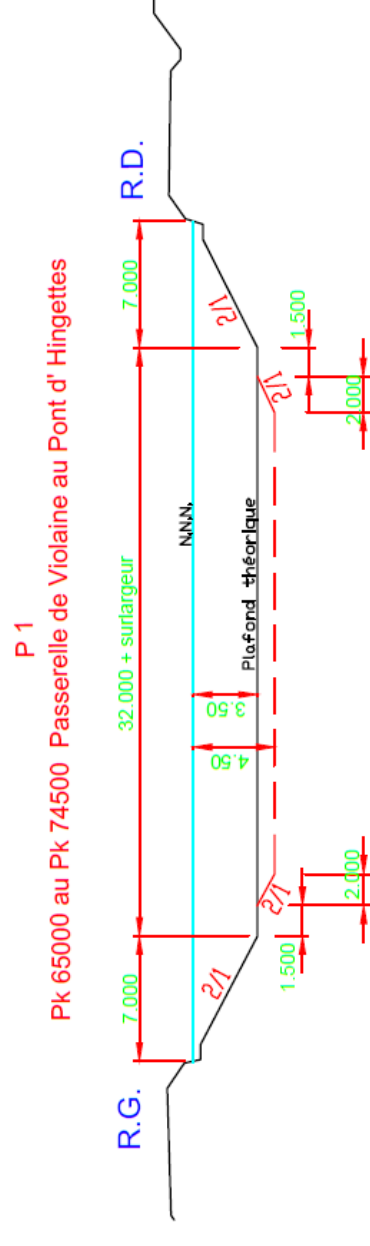
Les relevés bathymétriques réalisés sur le site dans le courant du 1<sup>er</sup> semestre 2014 (profils retenus au paragraphe 1.4.) ont permis d’analyser l’état des profils sous eau au regard des profils théoriques. Ces relevés ont également permis l’analyse des talus hors d’eau (berges) au regard des défenses actuellement en place.

L’analyse des profils bathymétriques transmis a permis :

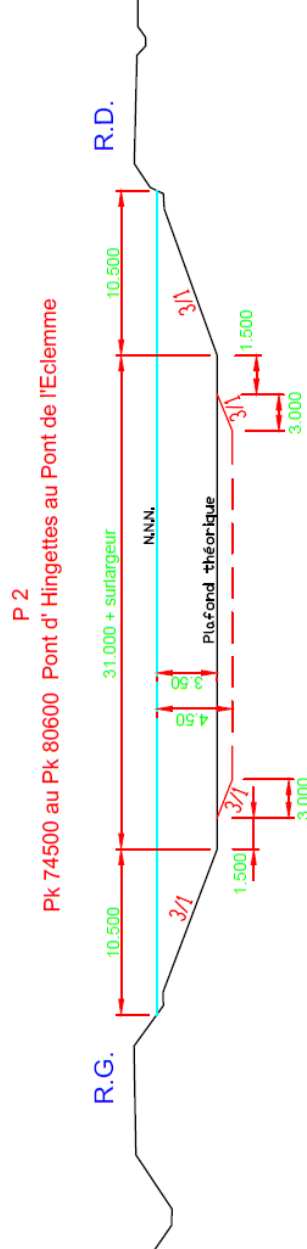
- De vérifier leur correspondance avec le profil en travers théorique en fonction du Pk;
- De repérer les dégradations des profils théoriques ;
- De repérer les dégradations éventuelles des défenses de berges existantes pour une confirmation ou non de l’état des lieux mentionné au stade des études préliminaires ;
- D’établir, par tronçon, des coupes représentatives et par conséquent des profils en travers Projet ;
- De proposer une nouvelle répartition de solutions.

Les 7 profils théoriques sont rappelés ci-après.

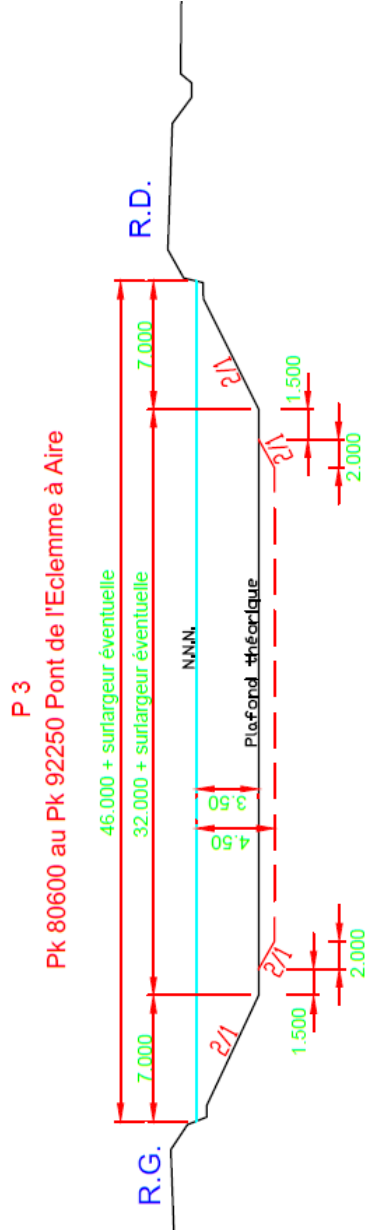
#### profil théorique type 1 : PT 1



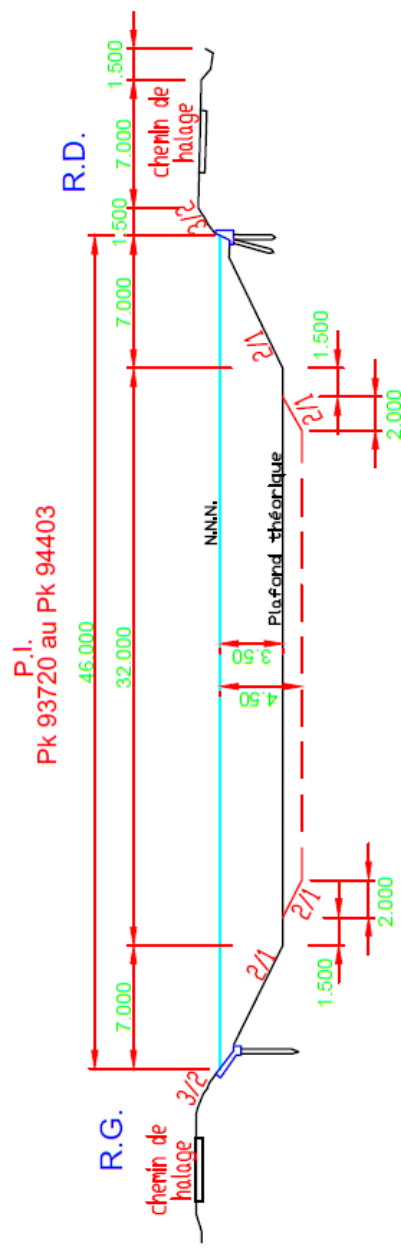
#### profil théorique type 2 : PT 2



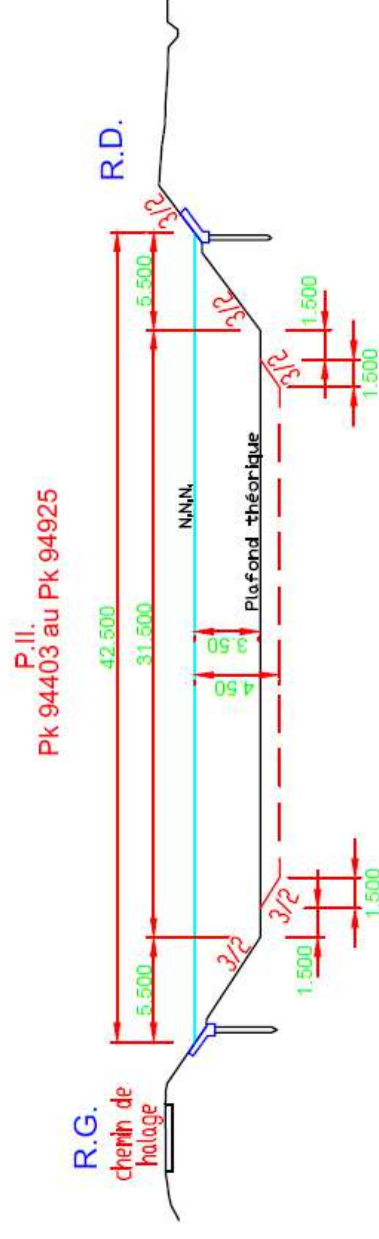
#### profil théorique type 3 : PT 3



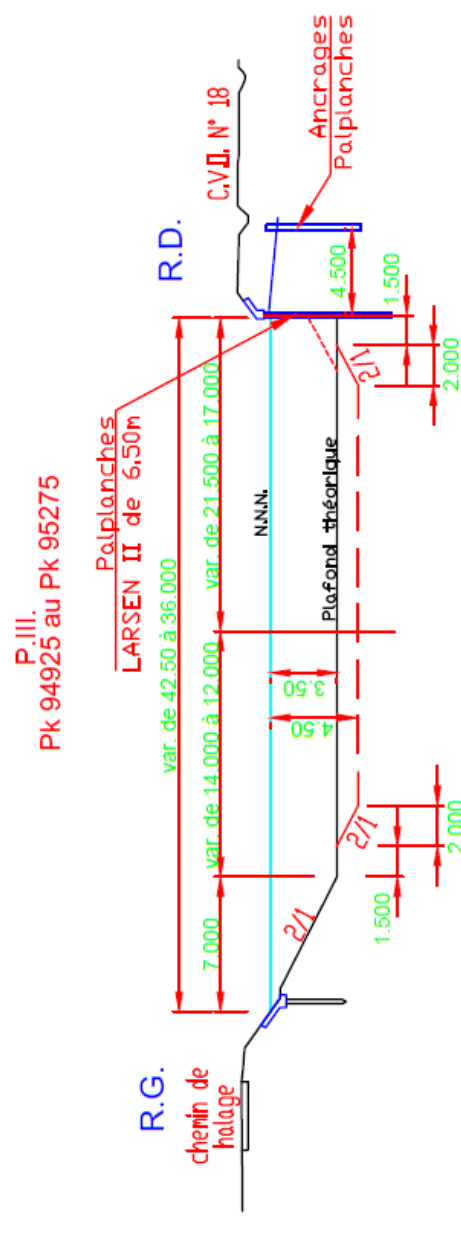
#### profil théorique type 4 : PT 4



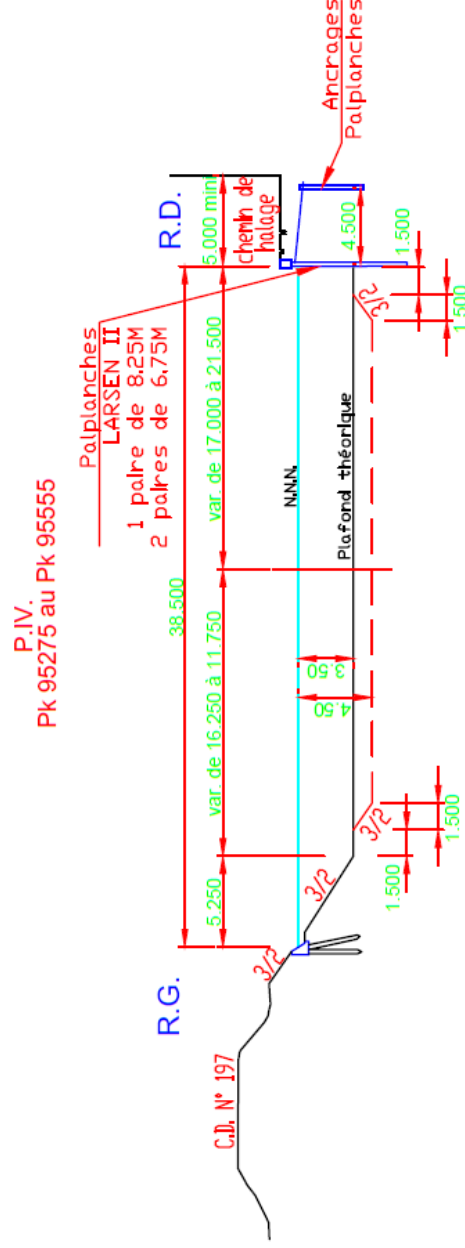
profil théorique type 5 : PT 5



profil théorique type 6 :



profil théorique type 7 : PT 7



On peut noter que sur les profils théoriques 1, 2 et 3, il n'y a pas de défense de berge, on peut cependant retrouver les défenses de berges en place sur chaque tronçon dans le tableau présenté en annexe. Ces défenses de berges ont pu être ajoutées après la réalisation du canal.

Pour certaines zones, les profils théoriques n'étaient pas fournis, une hypothèse a donc été faite en fonction de la largeur du canal et de l'état actuel des berges. Ces hypothèses sont retranscrites sur les plans.

### 2.1.2. Analyse des sédiments

Afin de compléter les données d'entrée, il a été nécessaire de réaliser une analyse des sédiments en place afin de pouvoir étudier une possible revalorisation des matériaux terrassés sous eau. En effet, le passé industriel de la région et les phénomènes de sédimentation ont pu apporter de la pollution des matériaux en place. Ce point a donc fait l'objet d'une étude spécifique afin de prendre en compte les coûts complémentaires éventuels.

Cadre des missions réalisées :

- Analyses de sédiments dans le cadre des travaux de réfection de berges sur le canal de Neufossé – BC20 – réalisée en Octobre 2014 par le cabinet Airele ;
- Réalisation de prélèvements et analyses de terres franches sous eau sur le canal de Neufossé depuis Aire-sur-la-Lys jusqu'à Béthune – réalisé par Airele en Juillet 2016 (16040054 – V01)

Etude de 2014 :

L'objet de l'étude de 2014 est la réalisation de prélèvements et d'analyses complémentaires de sédiments afin de les caractériser en vue d'une éventuelle valorisation.

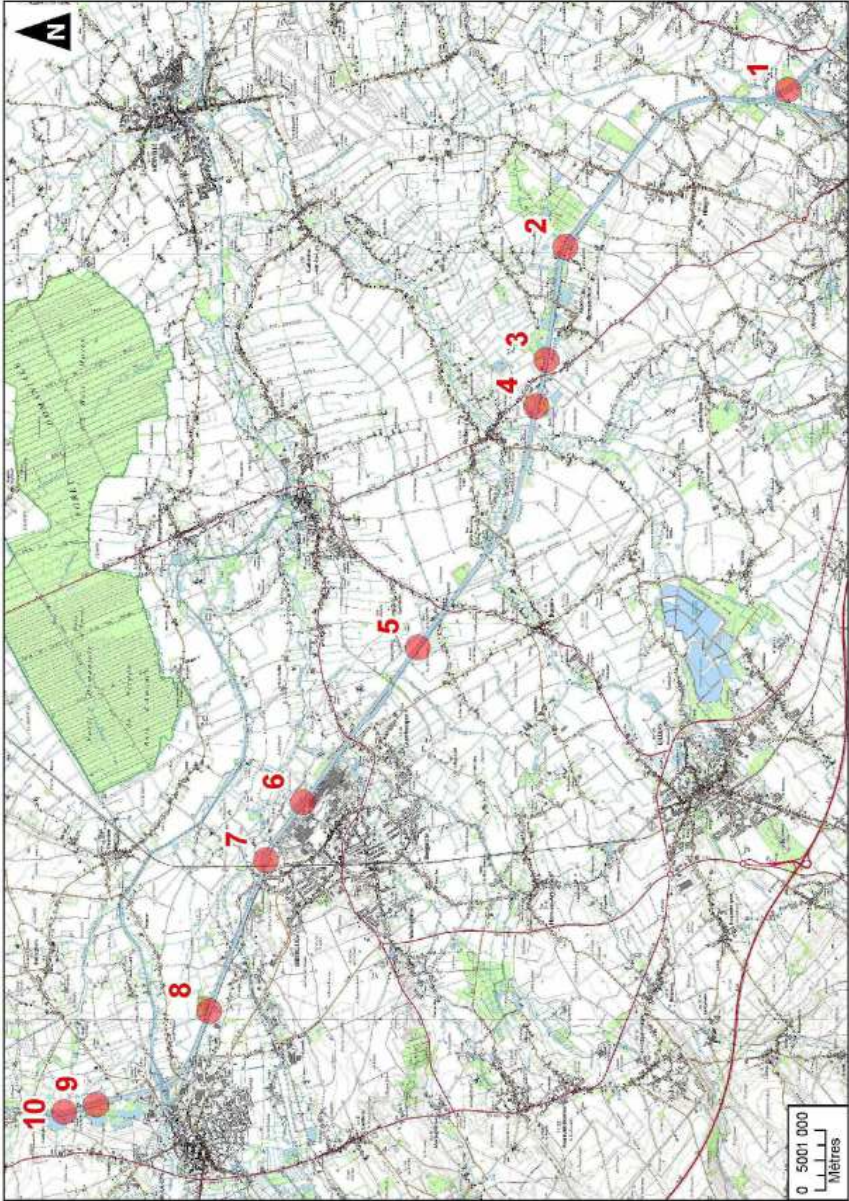
La méthodologie appliquée pour la réalisation de cette étude suit celle indiquée par les guides suivants :

- Textes du Ministère de l'Environnement en date du 8 février 2007 ;
- Guides méthodologiques du Ministère de l'Environnement sur la gestion des sites et sols pollués, version de février 2007 ;
- Norme NFX 31-620 «prestations de services relatives aux sites et sols pollués »parties 1, 2 et 3, juin 2011 ;
- Arrêté ministériel du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes ;
- Valeurs Seuils S1 fixées dans l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux ;
- Les normes NF EN 206-1 et NF EN 1992-1-1 relatives à l'agressivité des bétons.

Les prélèvements ont été réalisés le 11 septembre 2014 sur le canal de Neufossé entre Béthune et Aire-sur-la-Lys.

La carte ci-dessous précise la localisation du canal investigué.





Carte de situation du tronçon du canal investi

Au total, 10 prélèvements de sédiments ont été réalisés sur le long du tracé. Les coordonnées en Lambert93 des zones de prélèvements sont les suivantes :

Prélèvement de sédiments	X	Y
Sed1	674769	7050468
Sed2	672181	7054178
Sed3	670306	7054512
Sed4	669535	7054683
Sed5	665535	7056684
Sed6	662968	7058617
Sed7	662014	7059237
Sed8	659506	7060199
Sed9	657962	7062090
Sed10	657839	7062625

Coordonnées des zones de prélèvement

Les analyses réalisées sont résumées dans le tableau suivant :

Matrice	Echantillon réalisé	Analyses réalisées
Sédiments	Sed1 à Sed10	Par échantillon : <ul style="list-style-type: none"><li>- Pack ISDI :<ul style="list-style-type: none"><li>o Sur brut : COT, BTEX, HAP, HCT</li><li>o Sur lixivié : métaux lourds, HAP, PCB, sulfates, fluorures, indice phénol, COT et fraction solubles</li></ul></li><li>- COHV et métaux sur brut</li><li>- Détermination de l'agressivité des matériaux vis-à-vis des bétons</li></ul>

Programme analytique

Les résultats d'analyses sur les sédiments sont les suivants:

- Evaluation de la contamination sur la fraction brute

Les résultats d'analyses sur les parties brutes des sédiments mettent en évidence que l'ensemble des sédiments, un indice QSm supérieur à 0,5, correspondant à un risque non négligeable et nécessitant un diagnostic approfondi. Le cadmium est le paramètre le plus défavorable dans ce calcul de risque.

- Evaluation du caractère inerte

Les résultats d'analyses sur les parties brutes et lixiviables des sédiments mettent en évidence que les sédiments sont non inertes selon la réglementation déchet.

- Evaluation de l'agressivité vis-à-vis du béton

Sur les 10 échantillons de sédiments analyses, 8 sont considérés comme « non agressif » et 2 comme « faiblement agressif ».

Tableau de synthèse :

	Sédiments
Nombre d'échantillons analysés	10
Calcul du QSm	Min : 0,794 Max : 3,399 <b>Moyenne : 1,59</b>
Caractère inerte	L'ensemble des échantillons est <b>non inerte</b>
Agressivité des bétons	Sur les 10 échantillons de sédiments analysés, 8 sont considérés comme « non agressifs » (XA0) et 2 comme « faiblement agressifs » (XA1)

Tableau de synthèse des résultats analytiques

Les résultats d’analyses sur les parties brutes des sédiments mettent en évidence que l’ensemble des sédiments, un indice QSm supérieur à 0,5, correspondant à un risque non négligeable et nécessitant un diagnostic approfondi.

Les résultats d’analyses sur les parties brutes et lixiviables des sédiments mettent en évidence que les sédiments sont non inertes selon la réglementation déchet.

Etude de 2016 :

Cette première étude a été complétée par l’étude de 2016 qui porte uniquement sur le caractère inerte ou non-inerte des terres franches.

Elle présente l’analyse de 47 échantillons, chaque échantillon étant constitué de 3 prélèvements espacés d’un mètre chacun. Le caractère inerte/non-inerte est évalué selon la réglementation relative aux déchets (arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées).

Les points de prélèvements ont été définis sur les zones ayant les volumes de déblais les plus importants.

Les résultats d’analyses sur les parties brutes et lixiviables des sédiments mettent en évidence, sur certains échantillons, des dépassements de seuil pour les paramètres suivants :

- Indice hydrocarbures (C10-C40) ;

- Sulfates ;
- Fraction soluble totale ;
- Carbone Organique Total par Combustion ;
- Fluorures ;
- Antimoine sur éluat ;
- Sélénium sur éluat.

Au final, au vu des dépassements pour les composés cités ci-dessus, au regard des seuils fixés dans l’arrêté ministériel du 12 décembre 2014 qui modifie l’arrêté du 28 octobre 2010 : 23 échantillons de terres franches peuvent être considérés comme non inertes et 24 échantillons de terres franches peuvent être considérés comme inertes.



TRONCON	N° PROFIL	N° PK	Linéaire	SOL PRO	Déblais non inerte
RG1	1	71450	415	ENR	inerte
RG3	3	72350	235	ENR	non inerte
RG5-1	5	73000	650	ENR	inerte
RG5-1	7	73400	205	ENR	inerte
RD1	8	73600	350	AME	inerte
RG5-3	9	73850	410	AME	inerte
RG7	10	75750	715	ENR	inerte
RD3-1	11	75900	510	AME	non inerte
RD3-2	12	76350	430	AME	non inerte
RG7	14	76750	575	ENR	non inerte
RD3-2	15	76850	375	AME	non inerte
RD3-2	16	77250	300	AME	non inerte
RG7	17	77250	500	ENR	non inerte
RD3-2	18	77350	425	AME	non inerte
RG7	19	77750	600	ENR	non inerte
RD3-2	20	77850	376	AME	non inerte
RD3-6	24	78650	373	AME	non inerte
RD3-6	25	79150	418	AME	inerte
RD3-8	27	79700	363	AME	non inerte
RD3-9	28	80100	450	AME	non inerte
RD4-1	29	80400	259	AME	non inerte
RD4-3	30	80700	115	AME	inerte
RD4-4	31	80800	185	AME	inerte
RD4-4	32	81050	422	AME	inerte
RD4-5	33	81600	528	AME	non inerte
RD4-5	34	82000	240	AME	inerte
RD4-7	35	82300	378	AME	inerte
RD4-8	36	82800	452	AME	inerte
RD4-8	37	83200	540	AME	inerte
RD4-11	40	84800	212	AME	inerte
RD4-12	42	85000	138	AME	inerte
RD4-14	45	85950	906	AME	inerte
RD4-14	47	86450	355	AME	inerte
RD5	51	87850	1430	AME	non inerte
RD5	53	88350	500	AME	non inerte
RD5	57	88850	50	AME	inerte
RD6-1	59	90150	317	AME	inerte
RD6-1	60	90250	100	ENR	inerte
RD6-1	61	90500	250	AME	inerte
RD6-3	64	90800	364	AME	inerte
RD6-3	65	91200	450	AME	inerte
RG17-2	66	91200	705	ENR	non inerte
RG17-2	67	91650	600	ENR	non inerte
RD6-4	68	91700	390	AME	inerte
RD6-4	69	92200	622	AME	non inerte
RG17-2	70	92200	275	ENR	non inerte
RD6-8	73	92900	237	AME	non inerte
RD6-12	74	93300	439	AME	non inerte

Tableau de synthèse caractère inerte / non inerte

L'étude réalisée définit clairement le caractère non-inerte d'environ la moitié des échantillons du site. Il est donc nécessaire de prendre en compte des surcoûts pour l'évacuation de ces matériaux.

2.1.3. Inventaire des environnements du site

L'objectif de cet inventaire est de répertorier l'ensemble des données sur les environnants du site avec l'analyse de tous les ouvrages pouvant avoir un impact sur la réalisation des travaux.

L'origine du projet est située depuis le Pont d'Essars, au PK 71349 et se termine au PK 95490, située 204m après le Pont de Guarlinghem.

Les ouvrages rencontrés sont les suivants :

- des ouvrages d'art avec des hauteurs libres et des largeurs de passe réduite (par exemple : hauteur libre minimale de 5m26 au pont d'Avelettes ; largeur de passe minimale de 28m87 au pont de Guarlinghem),
- des quais de déchargement dont 1 quai embarcadère bateau à passer,
- des passerelles (de halage ou non),
- des cales de mise à l'eau.

Les réseaux enterrés sont les suivants :

- des siphons en fonctionnement,
- des vestiges d'anciens siphons (bouchés aux extrémités par des argiles),
- des prises d'eaux,
- des rejets,
- des canalisations d'assainissement en réseaux dirigés,
- des déversoirs,
- une vanne mobile,
- des réseaux gaz,
- un réseau de fibre optique sur le linéaire en rive droite,
- des réseaux électriques sous conduites dirigées,

Les réseaux aériens sont en partie des lignes Hautes Tensions.

L'ensemble des réseaux recensés par les DICT sont retranscrits sur des vues en plan spécifique (pièces 021 à 027).

La crête des berges est un chemin privé VNF en enrobé ou enherbé, praticable pour des véhicules légers. Les charges maximum d'exploitation sont de 5T.

Des habitations, usines, zones de dépôts VNF, anciennes ballastières et zones rurales constituent les abords proches du site.

Une zone sur Aire/l'ys se situe dans un périmètre de protection du Patrimoine architectural urbain et paysager.

Le tableau en Annexe 1 récapitule l'ensemble des données environnementales des sites traversés à traiter.

## 2.2. ENCHAINEMENTS DES ETUDES SUITE AUX ETUDES PRELIMINAIRES

L'étude de réfection des digues a été menée en considérant un scénario défini par la Maitrise d'Ouvrage et repris ci-dessous :

- Scénario : **scénario de restauration dans les conditions actuelles de navigation.**
  - Rectangle de navigation existant de 32m \* 3,5m avec rayon de courbure normal de 6000/R
  - Unité de navigation de 110m \* 11,40m, type Va

Les études préliminaires ont permises de faire un inventaire des environnements du site avec notamment les ouvrages rencontrés, les réseaux divers enterrés ou aériens ainsi que la constitution des défenses de berges actuelles. La crête des berges est un chemin privé VNF en enrobé ou enherbé, praticable pour des véhicules légers. Les charges maximum d'exploitation sont de 5T.

- **Linéaire de berges à traiter : 26'116 m**
  - dont 15'231m en rive droite (14'881m classés en criticité 4 et 350m en criticité 3),
  - et 10'885m en rive gauche (5'889m classés en criticité 4, 1'620m en criticité 3 et 3'376m non repris en criticité 3 ou 4).
- **Nature des défenses de berges : perrés type Sensée ou perré béton pour la quasi-totalité du linéaire (22'464m soit environ 86%)** et des zones en palplanches, enrochements et berges naturelles; le linéaire de 3'376m non repris en criticité 3 ou 4 a été identifié en perrés.
- **Montant global du traitement des zones de criticités 3 et 4 environ 12 millions d'euros HT.** Attention ce coût n'intégrait que le traitement hors d'eau et n'intègre pas les 3,4 kms non repris dans les criticités 3 et 4.
- **Coût du traitement proposé dans les rapports de criticité compris entre 300 €HT/ml et 2'300 €HT/ml (pour un traitement par rideaux de palplanches).**
- **Budget travaux alloué à l'opération (selon le programme) # 20 millions d'euros HT** soit un ratio moyen de traitement d'environ 800 €HT/ml.

D'une manière générale, pour le diagnostic hors d'eau, les mécanismes de rupture qui affectent une digue sont les affouillements, l'érosion de berges, l'érosion interne, l'instabilité d'ensemble et la surverse.

Les désordres observés sont également le signe du batillage, phénomène courant sur les canaux d'Aire et de Neufossé.

Sur la base des états des lieux sous eau établis à partir des données d'entrée Profils bathymétriques, le diagnostic hors d'eau a été complété afin d'en déterminer un profil représentatif complet (sous eau, berge et hors d'eau) par rive pour chacun des tronçons et de consolider l'analyse des dégradations affectant les digues et berges et donc les orientations techniques de réfection à envisager.

Les conclusions de l'analyse géométrique établie lors des études préliminaires sont reprises ci-après :

**En alignement droit :**

- **Scénario** : Les largeurs répondent globalement aux largeurs NNN nécessaires, les quelques largeurs incompatibles sont induits par la proximité de ponts. **Les tronçons présentant une différence notable, hors ouvrage d'art, entre la largeur nécessaire et la largeur représentative sont très réduits soit 1265 m, ce qui représente 7% du linéaire en alignement droit.**

**En courbe :**

- Scénario : Les largeurs répondent en partie aux largeurs NNN nécessaires, les quelques largeurs incompatibles sont induits par la proximité de ponts. Les tronçons présentant une différence notable entre la largeur nécessaire et la largeur représentative représentent la moitié du linéaire d'étude.

**Les incompatibilités en courbe sont présentes, hors ouvrage d'art, sur un linéaire de 1818 m soit 23% du linéaire en courbe.**

**3 Choix des dispositifs de réfection des digues ont été retenus suite à l'étude des données disponibles pour les études préliminaires.**

Famille de solution 1 : Palplanches (PAL),

Famille de solution 2 : Mise en œuvre d'enrochements avec démolition de la défense de berge (ENR),

Famille de solution 3 : Aménagement hors d'eau et/ou sous eau avec conservation de la défense de berge (AME),

Les propositions de solutions ont été établies selon les critères suivants :

Pour les désordres hors d'eau :

- les rapports de criticité : Etat des lieux et propositions,
- les propositions de solutions au regard des désordres d'après les photos

Pour des désordres sous eau :

- les profils bathymétriques établis par VNF avec leur interprétation pour l'interprétation des désordres sous eau,
- les profils théoriques.

Différentes solutions peuvent être proposées en fonction, par ordre décroissant, des désordres constatés suivants :

- Un profil sous eau très dégradé notamment à l'amont conjugué à une défense détériorée,
- Un profil sous eau moyennement dégradé avec une défense de berge en bon état,
- Une dégradation à l'amont uniquement soit un profil très proche du profil théorique.

Pour le scénario 1 – Réfection en place, nous avons opéré des choix quant aux solutions techniques sur la base des éléments suivants :

- la description des ouvrages existants, de leur état de dégradation et des solutions de confortement désignés dans les rapports de criticité,
- la possibilité d'aménagement en fonction des illustrations des désordres,
- l'analyse des désordres associés au profil sous eau,
- la possibilité de mettre en place de l'enrochement,
- la possibilité de conforter le rideau de palplanches existantes.

A l'issue de cette analyse et avec la prise en compte de ces éléments, 5 solutions type de réfection se sont dégagées (scénario 1 uniquement). Elles sont reprises ci-après :

- **PAL 2 : Mise en œuvre d'un rideau de palplanches avec démolition de la défense de berge compatible avec le scénario 1 et la conservation des talus sous eau,**

- **PAL 4 : Mise en œuvre d'une palplanche sous eau avec conservation de la défense de berge et du talus sous eau pour le scénario 1,**
- **ENR : Mise en œuvre d'enrochements avec démolition de la défense de berges,**
- **AME 1 : Remblaiement à l'arrière du perré et remise en état du perré pour le scénario 1,**
- **AME 3 : Réparation ou création de couronnement en béton armé des rideaux de palplanches existants, remblaiement à l'arrière et mise en œuvre d'enrochements à l'avant pour le scénario 1.**

Les choix de solutions tiennent compte des arguments suivants :

- **Etat de dégradation issu des rapports de criticité ou issu d'une inspection visuelle succincte,**
- **Reportage photographique issu du rapport de criticité,**
- **Désignation des travaux par le rapport de criticité et leur adaptation en fonction des dimensionnements issus de la présente étude,**
- **Analyses bathymétrique et géométrique.**

**Le montant global à l'issue des études préliminaires s'élève à 28 M€ HT, cette estimation ne comprend pas l'évacuation des terres non inertes.**



2.3. ETUDES DES SOLUTIONS DE REFECTION

2.3.1. Choix des solutions

3 grands axes de type de solutions ont été définis conformément aux études préliminaires : PAL, ENR et AME.

- PAL : Mise en œuvre de palplanches avec démolition de la défense de berge,
- AME : Conservation de la défense de berge et mise en œuvre d’enrochements,
- ENR : Mise en œuvre d’enrochements avec démolition de la défense de berge.

La géométrie de chaque solution est définie par :

- le respect du profil sous eau,
- l’état de la défense de berge (bon état ou dégradé),
- l’état de dégradation du profil sous fluvial.

2.3.2. Modifications apportées par rapport aux études préliminaires

Les solutions retenues au terme des études Projet sont cohérentes avec celles proposées aux études préliminaires. Sur les 42 tronçons, la solution a été modifiée pour 8 d’entre eux :

- Tronçon RG7 prévu initialement en solution AME1 - Désordres non définis dans le rapport de criticité : une visite approfondie du secteur nous permet d’affirmer que ce tronçon connaît de forts affouillements et des défenses en mauvais état. La solution proposée à l’issue du PRO est donc une solution en enrochements (ENR).
- Tronçon RD3-2 prévu initialement en solution ENR – En phase EP, il avait été envisagé dans le rapport de criticité un déversement du perré et une possible réparation du perré en béton. Il avait été retenu à défaut une solution en enrochements (ENR). Compte tenu de la visite sur site permettant de juger un bon état des défenses de berges, la solution proposée à l’issue du PRO est donc une solution de type aménagement (AME).
- Tronçons RD3-6, RD3-8, RD3-9, RD4-1 et RD4-3 prévus initialement en solution ENR – En phase EP, il avait été envisagé dans le rapport de criticité un déversement du perré et une possible réparation du perré en béton. Il avait été retenu à défaut une solution en enrochements (ENR). Compte tenu de la visite sur site permettant de juger un bon état des défenses de berges, la solution proposée à l’issue du PRO est donc une solution de type aménagement (AME).
- Tronçon RD6-1 : sur ce tronçon de 667 m, il a été conservé la solution de type aménagement (AME) prévue aux études préliminaires sauf pour un linéaire de 100 m où la défense de berge est particulièrement dégradée et des affouillements à l’arrière étaient présents, une solution en enrochements (ENR) est donc retenue sur ce linéaire.

2.3.3. Répartition des solutions techniques

Compte tenu des solutions retenues au terme des études préliminaires et de l’analyse des récents profils bathymétriques, il a été retenu 4 solutions techniques appliquées sur l’ensemble du projet. Chacune des

solutions sera adaptée en fonction du profil bathymétrique existant de chaque tronçon pour limiter les mouvements de terre et les quantités d’enrochement.

- PAL : Mise en œuvre de palplanches avec démolition de la défense de berge. Eventuellement, déblai sous eau pour dégager le rectangle de navigation.
- ENR : Mise en œuvre d’enrochements avec démolition de la défense de berge, les enrochements sont disposés avec une pente à 3 H pour 2 V jusqu’à intercepter le talus sous fluvial de pente 3 H pour 1 V. Le talus sous fluvial en remblai est soit le talus existant qui s’est stabilisé à la pente de 3/1, soit un talus remodelé en remblai ou déblai sous eau.
- AME ENR : Conservation de la défense de berge et mise en œuvre d’enrochements suivant le même principe que la solution ENR (pente d’enrochement à 3/2 et pente de talus sous fluvial à 3/1).
- AME PAL : Réparation ou création de couronnement en béton armé des rideaux de palplanches et remblaiement à l’arrière.

Contrairement à la version A du projet, les solutions sont adaptées à chacune des coupes bathymétriques pour optimiser les quantités de déblais, de remblais et d’enrochements. En effet, suite à la réception des analyses des terres franches, il a fallu optimiser les solutions techniques et notamment les déblais afin de réduire l’estimation et la rendre compatible avec le budget.

Les profils retenus ont été choisis selon leur représentativité de concept général de tracé géométrique hors et sous eau sur le linéaire de chaque tronçon. Ils ne peuvent être considérés comme une représentation rigoureusement identique sur un même linéaire de tronçon.

Les profils Projet sont établis tous les 500m environ, des profils complémentaires ont été réalisés quand ils étaient nécessaires (particularité de profil ou de défense).

Les linéaires d’applications des solutions ont été choisis selon l’ensemble des paramètres ci-dessous au regard de chaque profil.

- l’état de dégradation ou non de la défense actuelle de la berge,
- le niveau de la jonction du talus sous eau/plafond qui détermine la position de la clé d’ancrage des enrochements,
- la pente de talus sous eau selon les profils théoriques indiquant la position du rectangle de navigation.

Le binôme choix solution/linéaire d’application répond idéalement à une réfection de la berge avec un choix de solution unique sur un linéaire le plus long possible dans le but de simplifier les travaux.

Il est à noter que les solutions ENR et AME ENR diffèrent, dans le concept général, par la suppression ou non de la défense actuelle et par déduction en la mise en œuvre hors d’eau d’enrochements ou non. Par conséquent, ces 2 solutions peuvent être « interchangeables » selon le critère suivant : dégradation accentuée des défenses sur un linéaire très ponctuel nécessitant ENR sur un linéaire de tronçon majoritairement en AME ENR. Sur un tronçon majoritairement en ENR, il paraît peu judicieux d’opter, par des linéaires très ponctuels, pour une solution AME ENR.



2.3.4. Solution PAL

PAL : Mise en œuvre de palplanches avec démolition de la défense de berge,

Les palplanches sont un dispositif de protection des berges constitué de longs profilés métalliques, moulurés pour se solidariser entre eux, à haute résistance à la flexion de façon à résister à la pression des terres et de l’eau. Ils sont enfoncés au sol par battage au mouton ou par vibrofonçage, par panneaux de plusieurs palplanches descendus en gradins successifs jusqu’à leur cote définitive, des poutres horizontales en tête de ceux-ci assurant leur couronnement seront positionnées pour éviter leur déboitage et permettre un meilleur guidage au fonçage. Elles forment un ensemble jointif retenant la terre et assurant une relative étanchéité, alliant facilité de mise en œuvre et autostabilité en phase de réalisation.

Les palplanches seront coiffées d’un couronnement BA de manière à assurer la rigidité de la tête des futurs rideaux et de prévenir de tout risque d’accident par chute sur les têtes de palplanches. Le couronnement permettra une meilleure pérennité des ouvrages en s’affranchissant du risque de désagrafage des palplanches.

Cette solution peut être proposée à l’arrière des défenses de berges par perrés inclinés béton et de type Sensée détériorés ou lorsque le rectangle de navigation est insuffisant.

La solution PAL a subi des modifications par rapport aux études EP et à la version A du PRO.

Il est défini une seule géométrie de solution PAL quel que soit l’état actuel.

Cette solution consiste à ficher des palplanches à l’arrière des perrés et à supprimer ces derniers.

Afin de limiter les déblais, seule la défense de berge est démolie et évacuée à l’avant du rideau de palplanche. Le talus sous fluvial est laissé en état sauf dans les cas où il entre dans le rectangle de navigation, dans ce cas le talus est terrassé avec une pente de l’ordre de 2 H pour 1 V.

La mise en place d’un rideau de palplanches, susceptible de réfléchir davantage les ondes de battillage que le perré existant, risque d’amplifier l’érosion du talus sous-fluvial. Donc, dans les calculs de dimensionnement des palplanches, il sera pris en compte un talus sous fluvial de pente 3H pour 1 V démarant à l’angle inférieur du rectangle de navigation. Cette pente correspond à la pente stable d’après les retours d’expérience sur ce type de canaux.

Intérêts :

- Les palplanches permettent de retenir le terrain de la berge et d’arrêter le phénomène d’érosion régressive,
- Il y a possibilité de garder les palplanches au niveau du chemin de halage pour élargir ce dernier,
- Facilité de mise en œuvre,
- Possibilité d’élargir le gabarit de navigation du canal.

Contraintes :

- La butée de pied doit être impérativement sauvegardée avec une pente minimum de 3 H pour 1 V. Elle doit assurer la stabilité de l’ouvrage en phases provisoire et définitive,
- Le phasage des travaux devra tenir compte de la purge des perrés existants.

Remarques :

- Le rideau devra être autostable (la solution de rideau de palplanches ancrées est discutée dans le paragraphe suivant pour l’unique cas où la solution autostable n’est pas réalisable).
- Des adaptations sont à prévoir au droit des réseaux traversant le canal, les palplanches seront de longueur réduite localement. Une reconnaissance précise de ces réseaux est à prévoir.
- Le dimensionnement des rideaux doit se faire en tenant compte d’un aménagement durable de la butée de pied.

La forte résistance au battillage ainsi que la faible emprise sur le gabarit du canal sont les atouts de ce mode constructif. La coupure de la liaison berge-canal (flore) étant son principal inconvénient, on limitera un linéaire trop important de ce dispositif. Les coûts totaux élevés (matériaux et mise en œuvre) sont également à prendre en compte dans le cadre du respect budgétaire du projet.

Ce type de défense de berge semble être néanmoins, celui qui assure, immédiatement comme dans le temps, la meilleure tenue des berges.

D’un point de vue du dimensionnement, il s’agit de déterminer les caractéristiques propres du rideau (fiche, profil de palplanches et nuance d’acier) et du système d’ancrage éventuel associé.

Le dimensionnement du rideau s’effectue pour diverses situations de calcul prenant en compte :

- des affouillements possibles du terrain devant le rideau : la plupart des désordres constatés dans les rideaux légers proviennent de la diminution de la butée due à ces affouillements, dans notre cas il sera considéré un talus sous fluvial de pente 3 H pour 1 V,
- des surcharges que le rideau aura à supporter (passage de grue, d’engins,...),
- des niveaux d’eau connus ou prévisibles dans le canal ou la berge : abaissement du plan d’eau lors du passage des bateaux, chômage, décrue, présence d’une nappe en arrière du rideau.

Les calculs sont effectués pour des caractéristiques physiques (poids volumique) et de résistance au cisaillement des sols (cohésion et angle de frottement) déterminés à partir de l’analyse des reconnaissances géotechniques effectués sur le linéaire d’étude. Les ouvrages singuliers et les aspects associés de mise en œuvre des palplanches sont également à prendre en compte dans le dimensionnement du rideau.

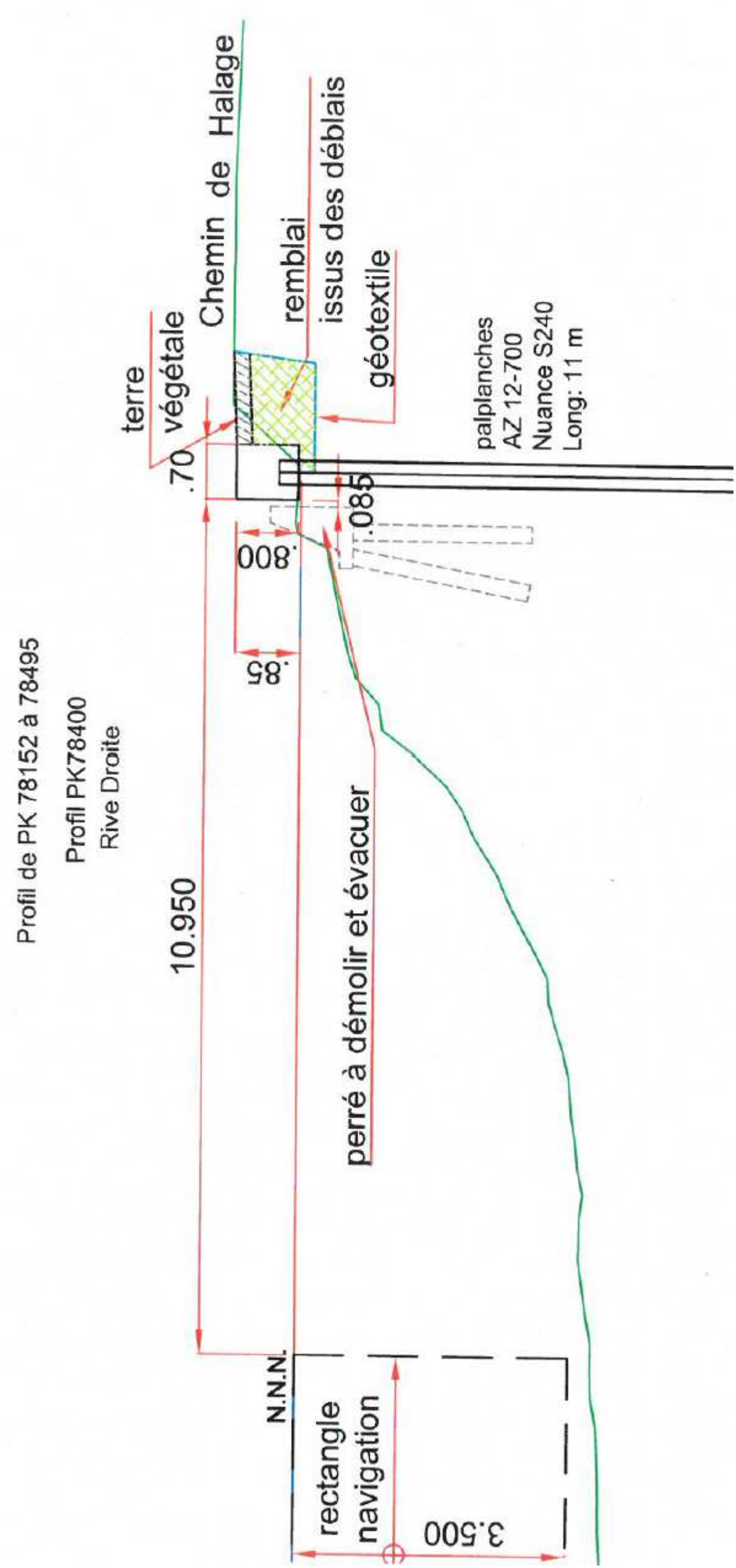
Au regard de notre dimensionnement cette solution est envisageable. Elle nécessitera des palplanches dont les dimensions et les caractéristiques seront les suivantes :

- Hauteur : variable de 8.5 à 15.0 m suivant les coupes
- Type : AZ12-700 ou AZ36-700 de nuance S240 ou de produit d’inertie équivalent (EI)

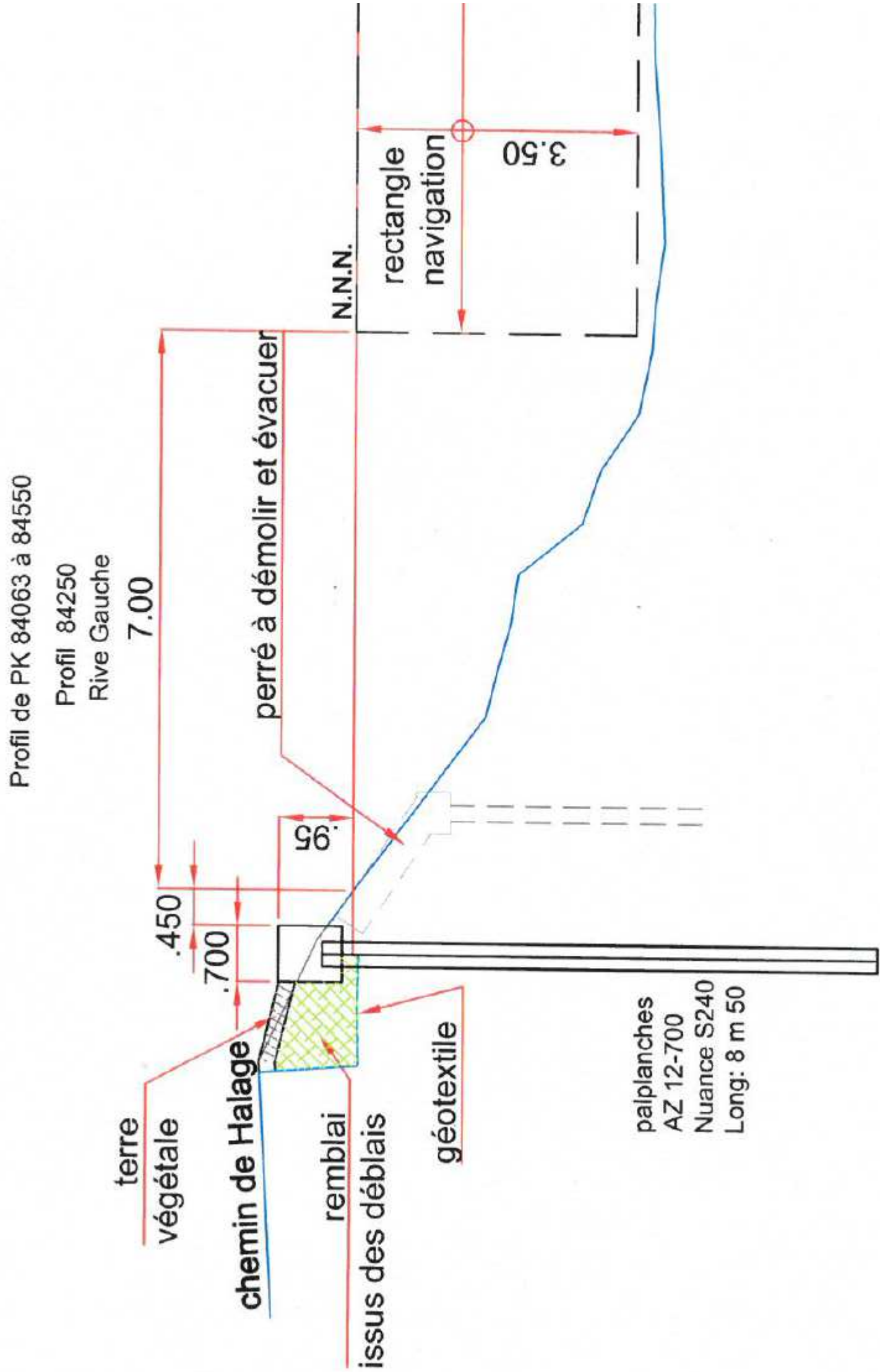
Maintenance et mesures préventives :

- Surveillance de l’état des berges (altération du revêtement et création de dentelle laissant s’infiltrer l’eau) et de l’état de corrosion des palplanches,
- Inspection visuelle périodique du rideau de palplanches et du couronnement,
- Suivi bathymétrique régulier des talus sous fluviaux pour vérifier qu’ils gardent des pentes supérieures à 3/1.

Des exemples de dispositions de palplanches avec ou sans reprise du talus sous fluvial sont donnés en pages suivantes.

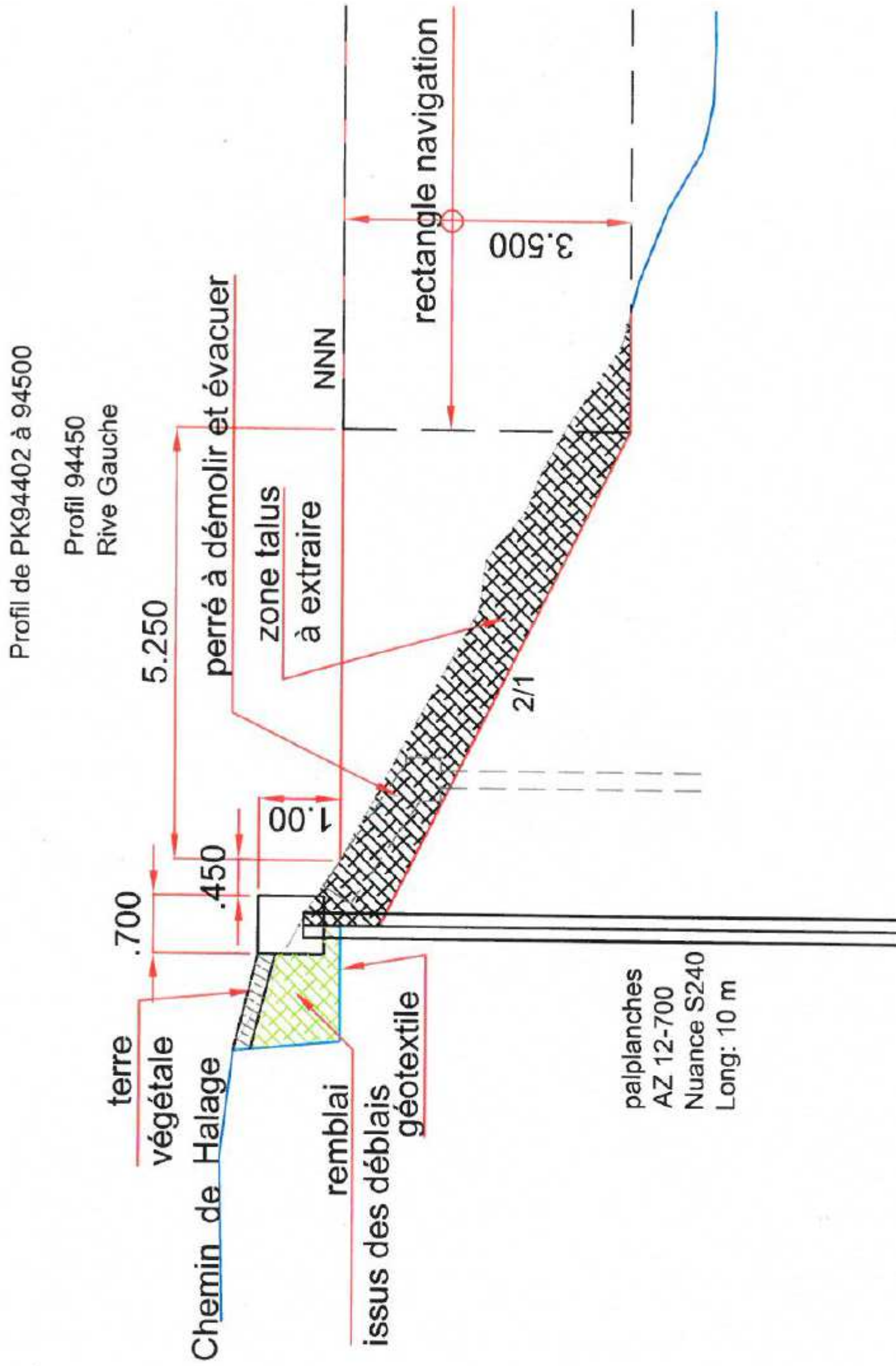


Solution PAL avec profil théorique à 2/1 et défense actuelle de type perré Sensée



*Solution PAL avec profil théorique à 2/1 et défense actuelle de type perré incliné*





Solution PAL avec rectangle de navigation à libérer (déblais sous eau)



2.3.5. Solution ENR

ENR : Mise en œuvre d’enrochements avec démolition de la défense de berges

La solution ENR consiste en la mise en œuvre d’enrochements avec démolition de la défense de berge lorsque les défenses de berge sont jugées en mauvais état et lorsque l’espace disponible entre la berge et le rectangle de navigation est jugé suffisant afin de pouvoir mettre en place ce type de berge.

Les enrochements sont constitués par une couche de matériaux non gélifs et d’un poids unitaire relativement importants. Ces matériaux peuvent être d’origine naturelle ou préfabriqués (pavés béton libres ou liaisonnés).

Les sollicitations hydrauliques (phénomènes naturels : courant, marnage et artificiels : battillage) déterminent, pour une pente donnée, la zone à protéger (protection totale de la berge ou partielle : détermination des cotes hautes et basse), la dimension des blocs et l’épaisseur de la protection.

Il est donc, dans la plupart des cas, nécessaire de stabiliser le dispositif par une butée de pied, ou un ancrage en tête.

De même, un filtre (matériaux granulaires ou géotextile) doit être interposé entre le terrain naturel et la couche d’enrochements, afin d’éviter l’entraînement des fines du terrain au travers de cette dernière.

Les adaptations par rapport aux études préliminaires consistent en l’adéquation du profil projeté avec le profil bathymétrique réel et donc la géométrie de la clé d’ancrage. Dans la version B du projet, l’ensemble des coupes sont reprises en adaptant la géométrie de l’enrochement à l’état actuel du talus sous fluvial. Ces adaptations ont pour objectif de réduire les déblais sous eau et les quantités d’enrochement.

La solution d’enrochement consiste en un talus sous eau de pente 3/1 puis d’une protection du talus en enrochement avec une pente à 3/2. Etant donné les largeurs disponibles assez variables sur le projet, les enrochements descendent entre 2.3 m et 3.0 m sous le NNN afin de se raccorder au talus sous fluvial en matériaux du site.

Il faudra ajouter une structure filtrante enveloppe à l’interface entre l’enrochement et le sol en place, afin de retenir les sols fins. Le remblaiement du talus hors d’eau derrière les enrochements est prévu en matériau pulvérulent de type Marne ou argile afin d’assurer une meilleure mise en œuvre tout en favorisant l’intégrité du perré.

Cette solution avec une clé d’ancrage de l’enrochement au-dessus du fond du canal ne permet pas de renforcer la stabilité du talus mais a uniquement un rôle de protection vis-à-vis de l’érosion sur la partie supérieure du talus. Une attention particulière sera à avoir lors des dragages du rectangle de navigation pour ne pas dégrader le talus sous eau de pente 3/1 en remblai qui est le support de l’enrochement.

Intérêts :

- Dispositif souple vis-à-vis des déformations,
- Ne modifie pas la section du canal,
- Possibilité d’accentuer légèrement les pentes sous eau (jusqu’à 3/2).

Contraintes :

- La pose d’un filtre géotextile est obligatoire,
- Travail sous eau,

- Nécessite des terrassements sous eau pour réaliser l’enrochement (ex : creusement pour la clé d’ancrage) et éventuellement reconstituer un talus sous eau de pente 1/3,
- Nécessite la reconstruction totale de la berge,
- L’enrochement doit se faire bloc par bloc de bas en haut.

Remarques :

- Il est nécessaire de créer une butée de pied pour éviter les affaissements ou les glissements sous-fluviaux. Cette butée s’intègre dans le talus sous fluvial en remblai de pente 3/1.

Description des Travaux : Purge des terrains en amont et en aval avec reprofilage, reconstitution d’un talus sous eau de pente maximale 3/1 avec éventuellement du remblai d’apport, mise en œuvre d’enrochements suivant une pente de 3/2 avec géotextile simultanément avec le remblaiement en matériaux argileux à l’arrière de l’enrochement, puis mise en œuvre de terre végétale avec engazonnement.

Le dimensionnement des enrochements est établi à partir des recommandations ROSA 2000 édition n°1 – METL/CETMEF et de la formule d’Isbach :

D50 > 0.7 (V^2 / (2 \* g \* Δ)) \* R

Avec : V = 2 m/s – Vitesse du courant due à la circulation sur le canal

Δ = γs-γw/γw = 1.4 pour un enrochement de masse volumique 24 kN/m³

G = 1.5 – paramètre de courbure – Lit à sinuosité modérée

R = cosφ √(1-tan²φ/tan²θ) avec φ : angle de talus et θ : angle au repos de l’enrochement

On obtient : D50 > 0.31 m soit 40 kg

Suivant le guide du Cetmef « Aménagement des berges des voies navigables – Retour d’épérience », l’épaisseur de l’enrochement devra être égale à 2 fois le diamètre moyen des blocs. Les enrochements LMA 40/200 ont un poids moyen d’environ 80 kg, soit un diamètre moyen de 40 cm, on fixe donc l’épaisseur de la couche à 80 cm.

Les enrochements feront 80 cm d’épaisseur et seront constitués de blocs de catégorie LMA 40/200 et auront une densité réelle minimale de 2.4 T/m³.

Pour les solutions enrochements, il convient également de préciser les hypothèses de dimensionnement de la couche de filtration.

En effet, le filtre joue un rôle essentiel dans la pérennité et donc dans l’efficacité d’un dispositif de protection de berges en assurant la transition et le sol constitutif de la berge et les enrochements. Placé sous les enrochements, il doit avoir et conserver dans le temps :

- une porométrie ou une granulométrie apte à empêcher la migration des fines du sol,
- une perméabilité permettant les écoulements et la dissipation des sous-pressions,
- des propriétés mécaniques leur permettant de résister aux efforts qui lui sont appliqués, en particulier lors de la mise en œuvre des enrochements.

Deux familles de matériaux sont utilisées pour assurer les fonctions filtration-séparation : les filtres granulaires, et les filtres géotextiles. Pour ce projet, nous optons pour une solution de filtre par géotextile.

Il est en outre nécessaire de choisir un géotextile qui offre une bonne résistance à la mise en œuvre des enrochements (risque de déchirure, poinçonnement).

Pour la réfection des défenses de berge détériorées, la solution ENR consiste donc à protéger la berge par la mise en place d'un tapis de pierres non liées (quartiers de roche de 40/200 kg s'imbriquant parfaitement les uns des autres afin de combler les vides, granulométrie décroissante de bas en haut) disposé de façon à obtenir une surface uniforme et stable, posé sur une membrane en géotextile. Afin d'assurer sa stabilité, le tapis est incliné au plus à 3/2 et présente une clé d'ancrage en pied, il ne doit pas recouvrir la plus grande partie du talus existant. Cette technique présente également une forte résistance au battillage, elle a en outre, l'avantage d'être économique par rapport à d'autres techniques, notamment la mise en œuvre de palplanches. Parmi ses inconvénients, on notera une emprise plus importante sur la largeur disponible depuis la berge au rectangle de navigation. On notera également un risque de glissement et d'affaissement, parfois même lors de la mise en place ; cette technique requiert certaines précautions lorsqu'elle doit être utilisée en milieux argileux à cause de la plus faible capacité portante du sol. Le terrassement de la berge est nécessaire afin de créer la clé d'ancrage ainsi qu'un nouveau talus de pente inférieure à 45°. L'enrochement doit reposer sur un matériau filtrant pour éviter les affouillements sous l'action des eaux souterraines ou superficielles.

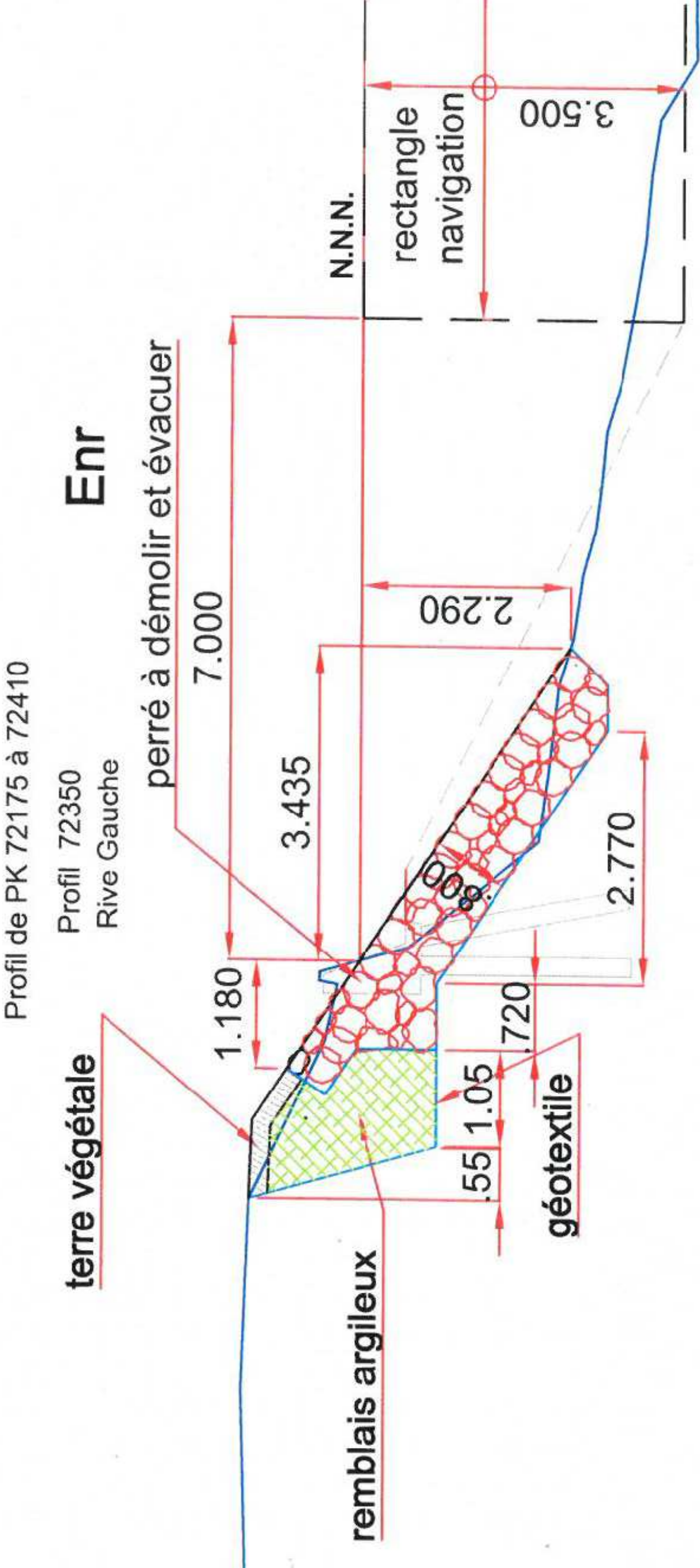
On accèdera à cette technique de confortement dans les cas où la réparation de perrés inclinés ou Sensée ne peut s'opérer du fait de leurs dégradations trop importante.

Pour les zones disposant déjà d'enrochement, un réagencement est à envisager pour une remise en état.

L'expérience sur le site démontre que l'enrochement ne présente pas toutes les garanties de durabilité de stabilité des berges. Elle a le mérite néanmoins de proposer une solution relativement économique sur une durée à moyen terme.

Maintenance et mesures préventives :

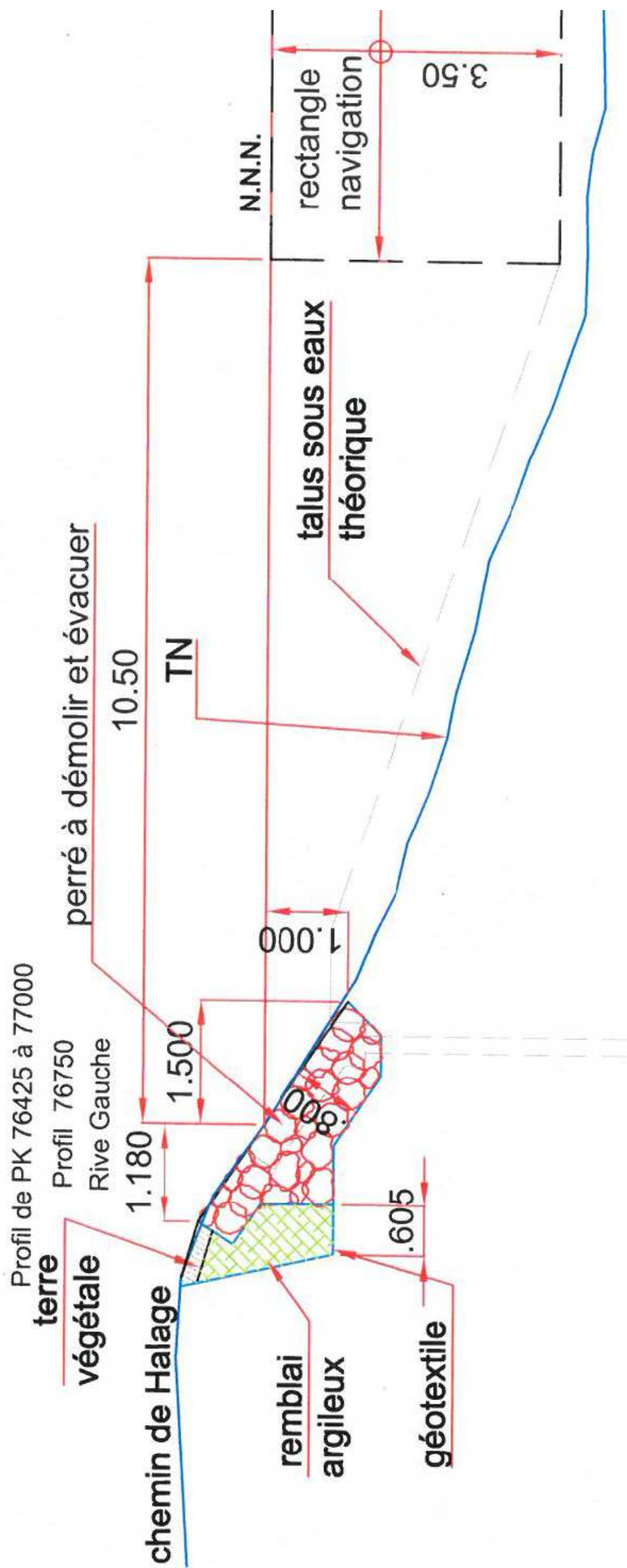
- Suivi du dispositif relatif aux phénomènes de glissements ou d'affaissements et notamment un suivi bathymétrique régulier des talus sous fluviaux,
- Inspection visuelle périodique.



Solution ENR avec profil théorique à 2/1 et défense actuelle de type perré Sensée

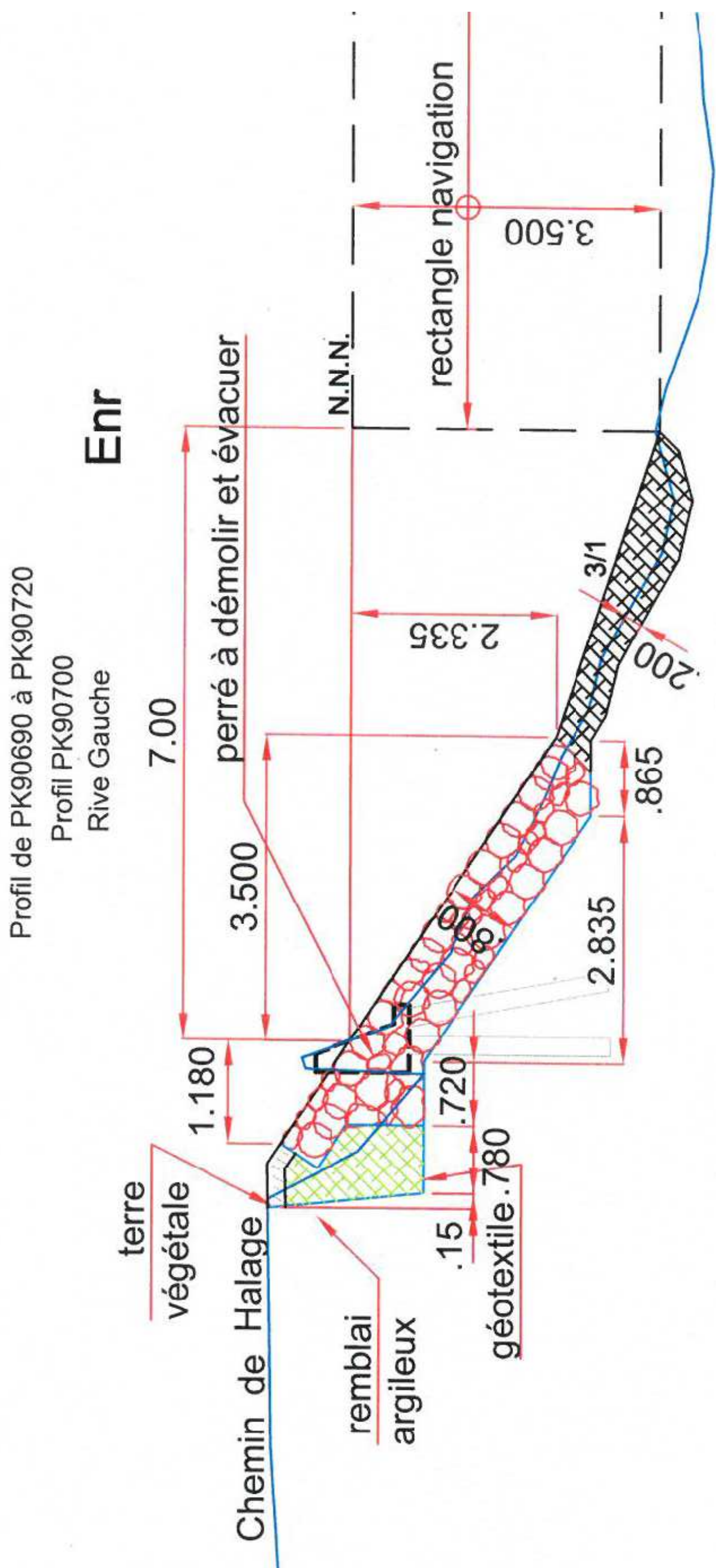


# Enr



Solution ENR avec profil théorique à 3/1 et défense actuelle de type perré incliné





Solution ENR avec profil théorique à 2/1 et repris du talus sous eau suivant une pente de 3/1

2.3.6. Solution AME ENR

AME ENR : Conservation de la défense de berge et mise en œuvre d’enrochements

Quand les désordres affectant les protections existantes des berges sont de natures telles qu’elles ne remettent pas en cause leur stabilité structurelle, une remise en état des dégradations peut être opérée. Elle s’accompagnera des confortements décrits ci-dessus.

Nous rappelons que les affouillements à l’arrière des perrés sont certainement associés aux affouillements à l’avant des perrés. Ainsi le remblaiement à l’arrière des perrés, sans autre aménagement, n’empêchera pas les phénomènes d’érosion sur le long terme.

Pour réparer les nombreux affouillements et effondrements des talus en pied de berge, il est envisagé de réaliser un remblai de type argileux à l’arrière de la défense de berge qui sera combiné à un enrochement à l’aval. Pour les défenses de type perrés type Sensée ou inclinés, il est prévu un remblai en argile à l’arrière combiné à un remblai de type grave sous le perré et un enrochement à l’avant des perrés. Le compactage des remblais et la pose des enrochements devront être effectués précautionneusement et par couches successives.

L’entraînement progressif des fines aux abords immédiats de défenses de berges existantes, risque de provoquer à plus ou moins long terme, l’accentuation des désordres liés à l’effet conjugué de la poussée des terres à l’arrière du dispositif et de l’érosion des fines, affaiblissant l’ouvrage et provoquant à terme effondrements, glissements et tassements des berges. Pour remédier à cela, on pourra là où les plafonds actuels sont trop en deçà du plafond théorique, consolider les fines par un apport en remblai.

La mise en place et le profilage de l’enrochement devront faire l’objet d’études particulières, la solution ne devant pas remettre en cause la stabilité de l’ouvrage existant d’une part, et ne pas interférer dans le rectangle de navigation d’autre part.

Par rapport à la phase EP, nous avons supprimé la solution consistant à remblayer uniquement à l’arrière du perré et à une remise en état du perré. En effet, d’après les éléments à notre disposition, nous constatons que « les affouillements à l’arrière sont certainement associés aux affouillements à l’avant des perrés ». Ainsi le remblaiement à l’arrière des perrés, sans autre aménagement, n’empêchera pas les phénomènes d’érosion à long terme ». Cela nous conduit donc à combiner cette solution avec la mise en œuvre d’enrochements à l’avant de la défense de berge.

Dans la version B du projet, l’ensemble des coupes sont reprises en adaptant la géométrie de l’enrochement à l’état actuel du talus sous fluvial et en modifiant les pentes d’enrochement à 3/2. Ces adaptations ont pour objectif de réduire les déblais sous eau et les quantités d’enrochement.

Quelques dépôts d’enrochements en pied de perré ont déjà été effectués le long du canal sans avoir d’efficacité particulière sur l’érosion et la stabilité des berges.

La solution d’enrochement consiste en un talus sous eau de pente 3/1 puis d’une protection du talus en enrochement avec une pente à 3/2. Il faudra descendre les enrochements suffisamment profondément sous les perrés pour s’appuyer sur le talus sous fluvial à 3/1 et ajouter une structure filtrante enveloppe à l’interface, afin de retenir les sols fins. Le remblaiement sous et à l’arrière du perré est prévu en matériau pulvérulent de type Marne ou Argile afin d’assurer une meilleure mise en œuvre tout en favorisant l’intégrité du perré. Il est

également prévu la réalisation d’une couche de revêtement de finition en terre végétale de 20 cm d’épaisseur minimum par-dessus le remblai argile.

Cette solution avec une clé d’ancrage de l’enrochement au-dessus du fond du canal ne permet pas de renforcer la stabilité du talus mais a uniquement un rôle de protection vis-à-vis de l’érosion sur la partie supérieure du talus. Une attention particulière sera à avoir lors des dragages du rectangle de navigation pour ne pas dégrader le talus sous eau de pente 3/1 en remblai qui est le support de l’enrochement.

Intérêts :

- Dispositif souple vis-à-vis des déformations,
- Ne modifie pas la section du canal.

Contraintes :

- Nécessite des terrassements sous eau pour réaliser l’enrochement (ex : creusement pour la clé d’ancrage) et éventuellement reconstituer un talus sous eau de pente 1/3,
- Remblaiement sous perré difficile,
- Travail sous eau,
- L’enrochement doit se faire bloc par bloc de bas en haut,
- Nécessité de retrait des enrochements déjà en place (réutilisable en vue d’une redistribution).

Remarques :

- Le perré retrouve sa fonction initiale et permettra des réparations pérennes.
- La bêche en enrochement crée une butée de pied pour éviter les affaissements ou les glissements sous-fluviaux. Cette bêche devra descendre sous le niveau bas du lit du canal pour éviter tout glissement des rochers.
- Cette solution ne peut s’appliquer que sur les secteurs où les perrés en béton n’ont pas été trop endommagés (basculement, destruction ou effondrement des perrés).
- Cette solution demandera systématiquement un repérage par pige des berges pour vérifier la présence ou l’absence de vide sous les perrés.

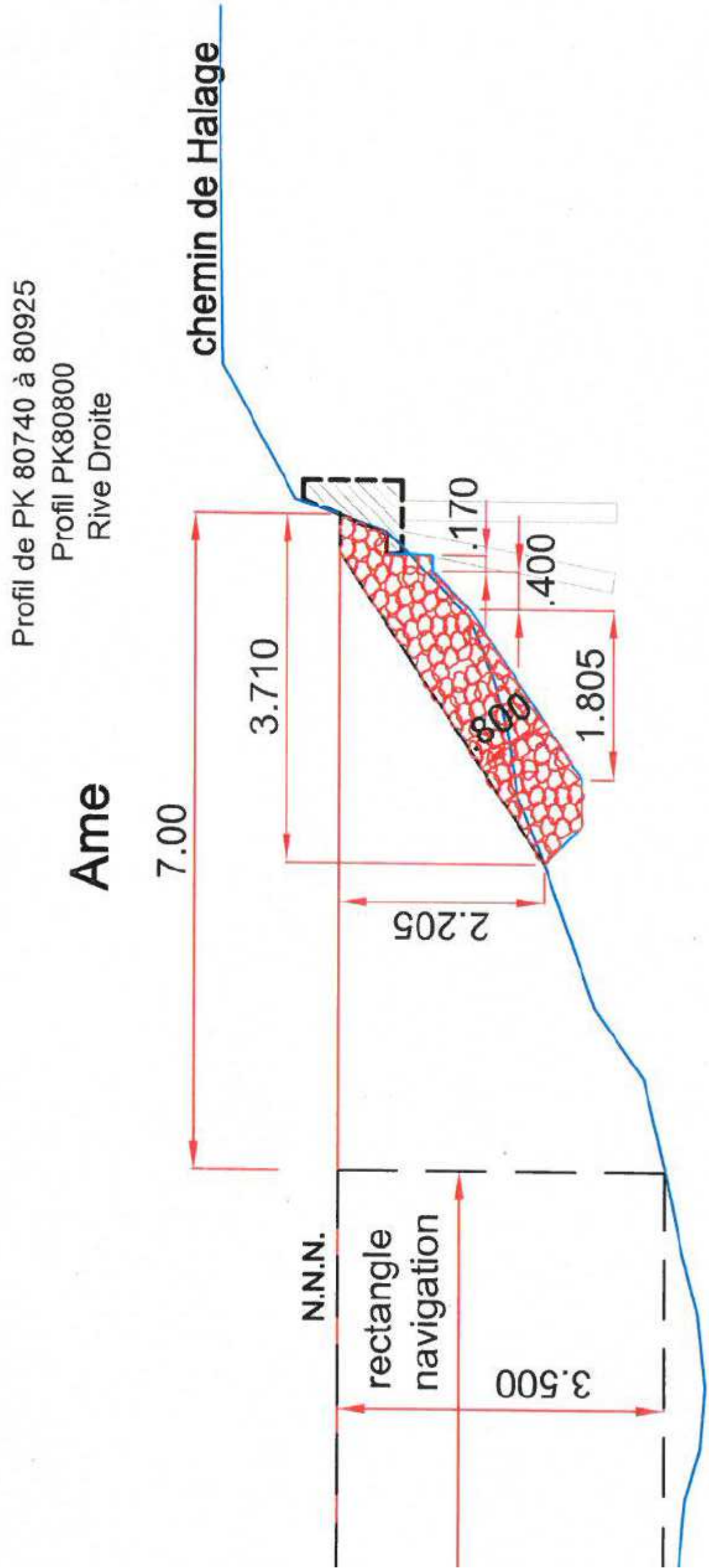
Description des Travaux : Purge des terrains en amont et en aval avec reprofilage, reconstitution d’un talus sous eau de pente maximale 3/1 avec éventuellement du remblai d’apport, mise en œuvre d’enrochements suivant une pente de 3/2 à l’avant du perré avec géotextile. Et sur les zones présentant des affouillements du talus hors d’eau, mise en place d’un géotextile remontant sur le perré, remblaiement avec une pente de talus maximale de 3/2 en matériaux argileux et mise en œuvre de terre végétale avec engazonnement.

Le dimensionnement des enrochements est le même que celui présenté au § ENR, soit 80 cm d’épaisseur constitué de blocs de catégorie LMA 40/200 de densité réelle minimale de 2.4 T/m³

Des coupes de solutions AME ENR sont données en exemples en pages suivantes.



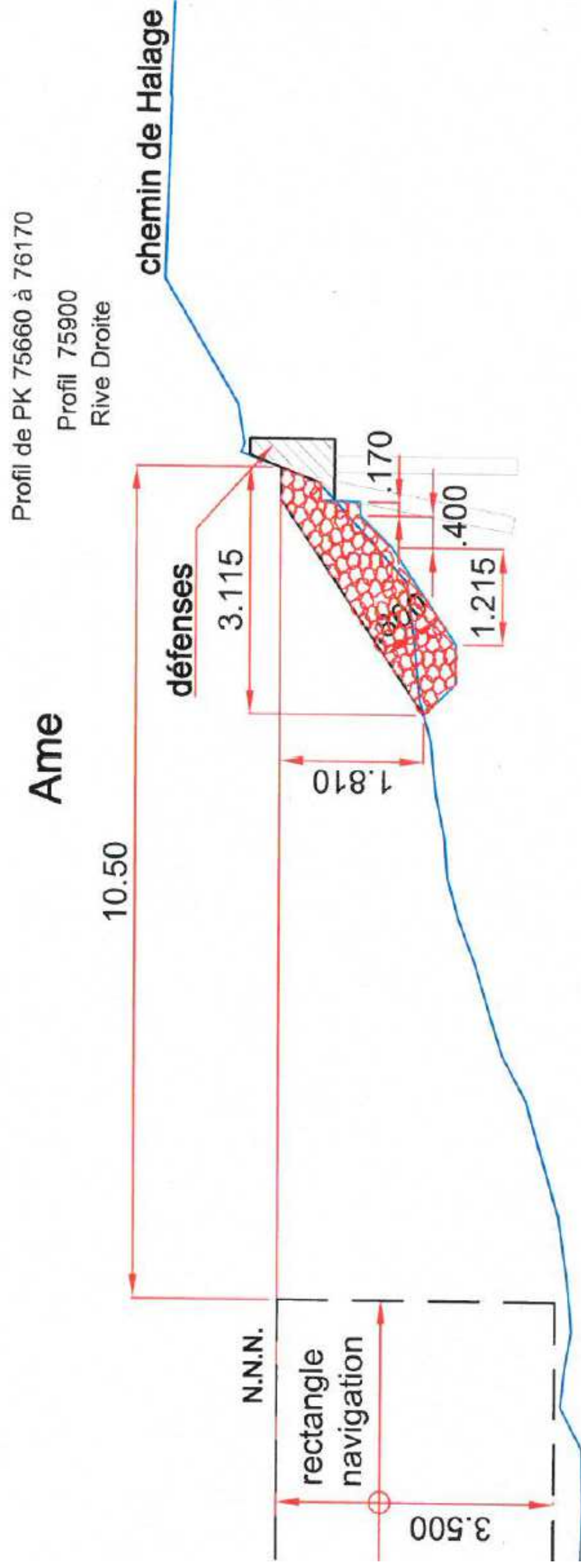
# ETAT PROJETÉ



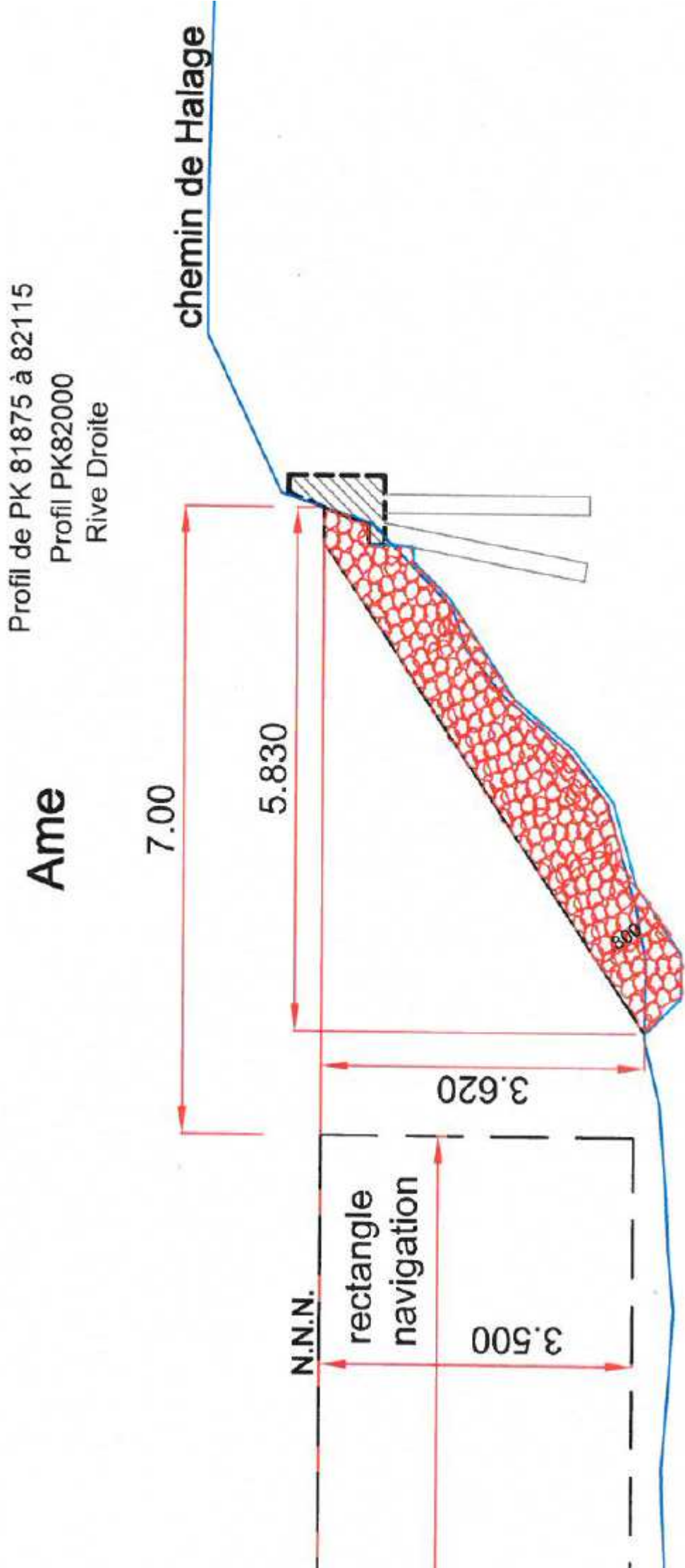
Solution AME avec profil théorique à 2/1 et défense actuelle de type perré Sensée



ETAT PROJETÉ



Solution AME avec profil théorique à  $3/1$  et défense actuelle de type perré Sensée

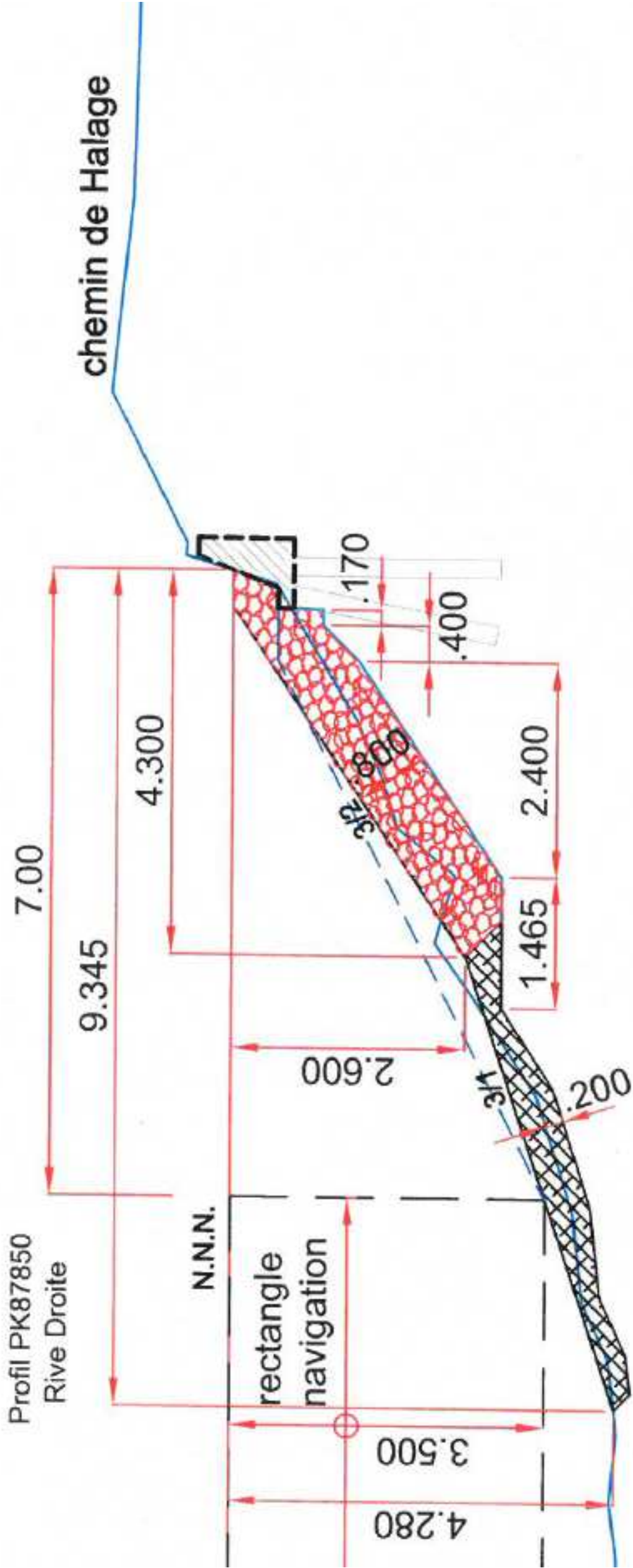


*Solution AME ENR avec enrochement descendu jusqu'au terrain actuel*

# ETAT PROJETÉ

Profil de PK 87200 à 87325  
et de PK 87375 à 88325  
et de PK 88875 à 89230

## Ame



Solution AME avec reprofilage du talus sous eau suivant une pente de 3/1



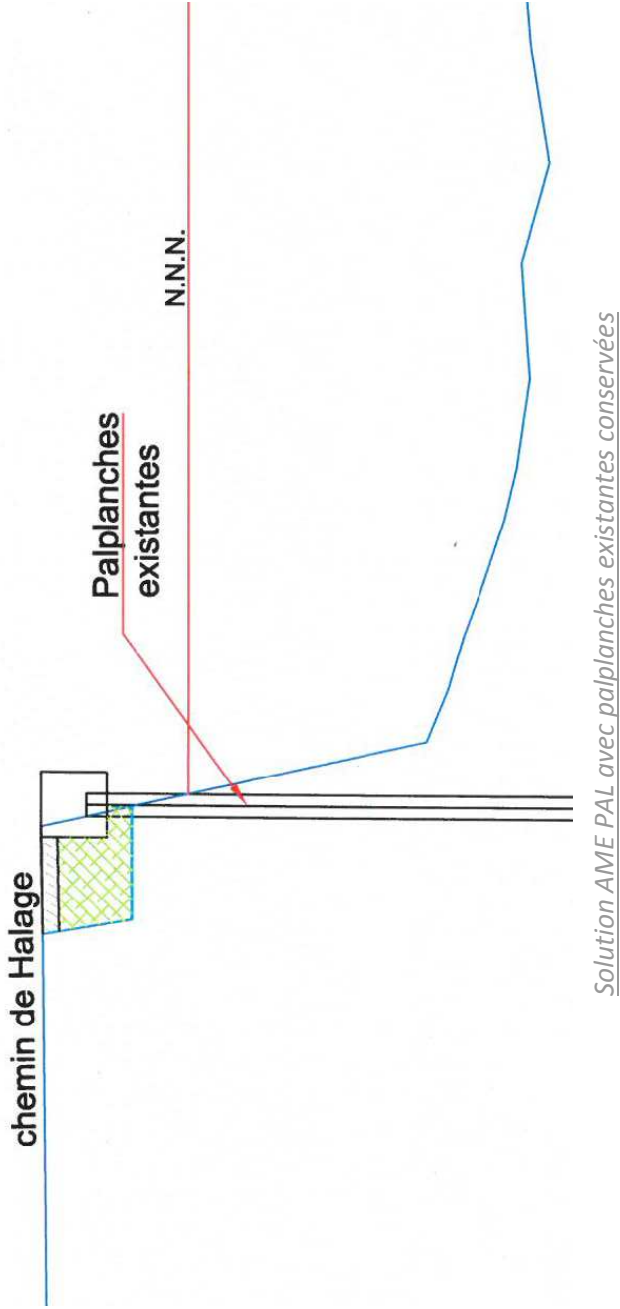
2.3.7. Solution AME PAL

AME PAL : Conservation des palplanches existante et réfection de la poutre de couronnement.

La solution AME PAL consiste, dans les secteurs de palplanches existantes, en une réfection du couronnement béton armé et éventuellement un comblement des affouillements à l’arrière des palplanches. Le talus hors d’eau est terrassé et la poutre de couronnement existante est démolie. Un nouveau couronnement est créé en tête de palplanche. Le talus est remblayé en matériaux issu des déblais et recouverte de 20 cm de terre végétale engazonnée.

Profil de PK 88590 à 88627

Profil 88600  
Rive Gauche



Solution AME PAL avec palplanches existantes conservées

L’ensemble des solutions sont répertoriées sur le tableau présenté en annexe 1 intitulée « Bilan des solutions » ainsi que sur les vues en plan-planches n°1 à n°7.

2.3.8. Présentation des lots et tranches de travaux

Le marché de travaux est à réaliser en 2 lots soit 2 DCE. Un lot est défini par chaque type de solution retenu sur les linéaires d’application de chaque tronçon du projet (un tronçon désigne un linéaire continu de berge d’une même rive et délimité par les Pk) répartis à partir d’une logique d’itinéraire sur un axe allant des villes de Bauvin vers St Omer. Le lot est lui-même décomposé en 1 tranche ferme (TF) et une tranche conditionnelle (TC) en fonction du degré d’urgence de la remise en état des berges.

La répartition sur chacun des 2 lots est réalisée suivant la technique de réfection, soit les techniques d’enrochements (ENR et AME ENR) dans le lot 1 et les techniques de palplanches (PAL) dans le lot 2. Les

travaux d’AME PAL correspondant à des linéaires relativement faibles et de plus ce sont des travaux sans technicité particulière, ils sont répartis dans les 2 lots en fonction du type de travaux réalisés de part et d’autre. Un AME PAL situé entre des zones d’ENR et d’AME ENR est placé dans le lot 1 et un AME PAL situé entre des zones de PAL est placé dans le lot 2.

La répartition entre la tranche ferme et la tranche conditionnelle du lot 1 est réalisé uniquement suivant le critère de criticité.

La répartition suivante a donc été envisagée :

- **LOT 1 : solutions ENR, AME ENR et AME PAL**
  - **TF : ENR et AME en criticité 4 ;**
  - **TC : ENR et AME en criticité 3 ou criticité non définie ;**
- **LOT 2 : solutions PAL et AME PAL**
  - **TF : PAL en criticité 4 ;**

2.3.9. Chiffrage des aménagements proposés

Afin d’établir un avant-métré le plus proche possible des quantités qui seront métrées par l’Entreprise pour les travaux de réfection des défenses de berges, nous avons adopté la démarche suivante :

- Choix des profils en travers représentatifs de chaque tronçon.  
Les profils fournis ont été choisis selon leur représentativité de concept général de tracé géométrique hors et sous eaux sur le linéaire du tronçon. Ils ne peuvent pas être considérés comme une représentation rigoureusement identique sur un même linéaire de tronçon. Ils sont néanmoins, à même de renseigner au plus près de la réalité, l’établissement des métrés.  
Les profils sont établis tous les 500 m environ, des profils complémentaires ont été réalisés quand ils étaient nécessaires (particularité du profil)
- Choix des coupes types sur les profils et du linéaire d’application.  
Les choix de solutions ont été déterminés par :

- L’état de dégradation ou non de la défense actuelle de la berge
- Le niveau de la jonction talus sous eaux / plafond qui détermine la position de la clé d’ancrage des enrochements
- La pente du talus sous eaux selon les profils théoriques indiquant la position du rectangle de navigation

Les linéaires d’applications des solutions ont été établis selon l’ensemble des paramètres ci-dessus au regard de chaque profil.

Le binôme choix solution/ linéaire d’application réponds idéalement à une réfection de la berge avec un choix de solution unique sur un linéaire le plus long possible dans le but de simplifier les travaux.

- Etablissement d’un Détail Estimatif commun usuellement réalisé pour des marchés similaires et adapté aux caractéristiques du site.
- Pour chacun des profils en travers projet identifié et aménagé (doc n° 122, 123 et 222), un avant-métré en 2 dimensions est effectué, il est propre à chacun des profils en travers.
- Pour chacun des tronçons, les quantités de déblais sont classées et inertes ou non-inerte en fonction des résultats de l’analyse de sol réalisée par Airele.

- Multiplication des éléments métrés (2D) par le linéaire concerné par la présente coupe (PK fin – PK début). Cela permet d'établir un avant-métré par profil en travers projet.
- En fonction du choix (tranche ferme ou tranche conditionnelle), effectué en début de phase projet, une somme de l'ensemble des métrés élémentaires est réalisée, regroupée par lot (1 ou 2).
- Un aléa de 5 % est retenu sur l'ensemble des quantités métrées permettant d'assurer une souplesse, pour le MOE et le MOA, vis-à-vis de tout éventuel aléa chantier.

Pour une bonne lecture et compréhension des quantités annoncées au Détail Estimatif, nous proposons dans le cadre de la présente phase PROJET de joindre nos avant-métrés. Ceux-ci sont présentés par lot et regroupés par tranche. Pour chaque profil, le lecteur trouvera une illustration de l'aménagement proposé au droit de cette dernière et l'avant métré partiel relatif présenté sous forme de tableau.

En termes d'équipements, il n'est pas prévu la mise en place de bollards ou d'équipements de mise à quai ou de stationnement sur l'ensemble du linéaire d'étude.

En termes de réseaux, il n'est pas prévu de mesures de dévoiement. Il est néanmoins prévu une reconnaissance concernant les réseaux passant sous le canal dans les zones de travaux de palplanches. Cependant, les adaptations liées à la présence de ces réseaux sont à prévoir dans la conception et le chiffrage des solutions techniques.

Les quantités des prix 1202-Abattage d'arbres et dessouchage d'arbres, 1203-3-Démolition d'ouvrage hydraulique, 1204-1-Dépose et repose de barrières d'accès, 1204-2-Dépose d'enrochements, 1204-3-Dépose de panneaux divers et balises de signalisation, 1205-Enlèvement des réseaux, 1206-Arrachage de palplanches et 1304-Exécution de purges et curages sont établies sur des estimatifs. En effet, ces données ne sont pas quantifiables. Le cadre du DCE notamment le BPU sera suffisamment détaillé et explicité sur la nature des prestations afin d'éviter tout recours lors du déroulement des travaux.

Les quantités de rétablissements des rejets existants sont donnés en faisant l'hypothèse d'un rejet <Ø300 tous les 200 m et un rejet >Ø300 tous les 2 km.

Le prix 1303-Evacuation des déblais est établi en retranchant la quantité de matériaux de remblais provenant de l'emprise (1305-1) aux quantités de déblais du site (1302-1 et 1302-2). Lorsque les matériaux sont inertes, ils peuvent être réutilisés en matériaux de remblai après analyse (1305-1), et le surplus sera évacué au frais de l'entreprise (1303-1). Lorsqu'ils sont non-inertes, ils sont automatiquement évacués au frais de l'entreprise (1305-2).

L'estimation est établie par tranche et par lot (doc n° 141 et 241). Le prix « 2602 : Fourniture des palplanches » sera retiré en phase ACT car la prestation est directement prise en charge par la maîtrise d'ouvrage. **Il en ressort une évaluation du budget d'opération d'un montant de 22.8 millions d'euros HT (y compris marge de 5%),** ce qui est inférieur aux estimations de la phase Etudes Préliminaires.

Remarque : Le budget entre tranches pour le lot 1 peut être rééquilibré en basculant certains tronçons de la tranche conditionnelle vers la tranche ferme. La logique de répartition des tronçons par tranche établie serait ainsi modifiée.

### 2.3.10. Phasage de réalisation des travaux

Les informations liées à la méthodologie des travaux, au cadencement ainsi qu'au phasage par type de solutions sont formulées à la pièce 002 du dossier Projet.

### 2.3.11. Valorisation des déblais après traitement

La valorisation des déblais visant une planification de la gestion des déchets offre une solution et concourt à l'économie des ressources naturelles non renouvelables en leur substituant des produits de réemploi.

A l'issue des métrés, les volumes en déblais sont estimés à :

- 72 320 m<sup>3</sup> pour le lot 1, dont 44 170 m<sup>3</sup> inerte et 28 150 m<sup>3</sup> non inerte ;
- 9 150 m<sup>3</sup> pour le lot 2 (inerte).

Les matériaux de déblais seront analysés pour valider qu'ils sont bien inertes et évaluer leur réutilisation en matériau de remblai du talus sous fluvial.

Tous les matériaux non-inertes seront évacués à la charge de l'entreprise.

Une valorisation des déblais est également fonction de la caractérisation géotechnique des sols en place.

Les stipulations techniques doivent permettre l'emploi en remblais des sols fins A et ou graveleux B de la norme NF P 11-300.

### 3. CONCLUSION

A l’issue des études Projet, il en ressort une évaluation du budget d’opération pour le scénario de réfection d’un montant de **22.8 millions d’euros HT** (y compris marge de 5%), ce qui est conforme aux estimations de la phase Etudes Préliminaires.

Les études Projet indice B ont consisté en l’optimisation des solutions prévues en phase Etudes Préliminaires et d’études projet indice A compte tenu des observations mentionnées par la maîtrise d’ouvrage, des résultats de l’analyse des terres franches ainsi que des contraintes du site sur la base des profils bathymétriques transmis.

Au terme des études, il se dégage 4 solutions techniques (PAL, ENR, AME ENR et AME PAL), ces solutions techniques sont adaptées sur chaque tronçon afin d’optimiser au maximum les quantités de déblais et d’enrochement.

En comparaison avec les solutions proposées à l’indice A, les solutions de l’indice B sont moins qualitatives. C’est principalement le cas pour les solutions d’enrochements (ENR et AME ENR) pour lesquels la clé d’ancrage a été remontée, cette disposition ne permet plus de renforcer la stabilité générale du talus, elle offre uniquement une protection vis-à-vis du batillage.

Les techniques de réfection résident dans des méthodes simples et faciles à mettre en œuvre.

Suite à la réception des études de pollution réalisée par Airele, les volumes de déblais non-inertes ont pu être évalués plus précisément afin de fiabiliser l’estimation du projet.

Les investigations complémentaires menées notamment géotechniques ont permis de conforter les hypothèses de dimensionnement des solutions avec également la mise en évidence d’horizons de bonne capacité mais à partir de 10 m de profondeur.

Des sondages complémentaires sont prévus dans le marché pour affiner les caractéristiques notamment sur les zones où les informations sont insuffisantes pour définir une maquette géotechnique. Les sondages complémentaires seront accompagnés de l’élaboration d’un rapport géotechnique mission G3. Les zones d’essai sont les suivantes (elles sont détaillées dans la pièce 003) :

- PK 71.3 – 71.9
- PK 80.2 – 82.6
- PK 86.0 – 86.7
- PK 90.0 – 91.5
- PK 91.5 – 95.5







N° de planche	N° du tronçon	Synthèse	Criticité	Gravité	Pk début	Pk fin	Longueur [m]	Rive	Numéro de profil	Description ouvrage existant	Dégradations observées par le rapport de criticité	Dégradations non définies par le rapport de criticité	Désignations des Travaux par le rapport de criticité	Elément géométrique	Profil théorique PT	Choix de la solution quant au scénario 1	Solution proposée Scénario 1 - en EP	Solution retenue - en PRO	Points particuliers de l'environnement du tronçon NNV : 95 52 PK 71349 à 92 668 : Canal d'Aire PK 93133 à 95 286 : Canal de Neufossé	Réseau présent à proximité du tronçon
6	RG6-8	LOT1 TF	4	3	92 691	92 926	235	RD	73	Perré béton type Sensée	Éclats du perré béton Effondrement du terrain en cête de digue		Enrochements en arrière du perré Réparation du perré béton	2,35 m en courbe	/	Photo 382 -> Rvu de désordres -> déflexion du perré avec remblaiement à l'arrière	AME1	AMIE ENR	* chemin praticable 3m émulsion gravillonnée * présence habitations au PK 92850	* Réseau BT enterré * Réseau SFR enterré
6	RG6-12	LOT1 TF	4	3	93 190	93 679	489	RD	74 75	Perré béton type Sensée	Éclats du perré béton avec éclats apparents au PK 93153 Rupture du perré béton (PK 93492) Effondrement du terrain en cête de digue		Enrochements en arrière du perré Réparation du perré béton	439 m en AD et 50 m en courbe	/	Photo 399 -> Rvu de désordres -> déflexion du perré avec remblaiement à l'arrière	AME1	AMIE ENR	* Rejets PK 93578 * Cale de mise à l'eau PK 93580 * chemin praticable 3m émulsion gravillonnée * présence habitations PK 93190	* Réseau Gaz enterré PK 93546 * Réseau Gaz enterré PK 93610 * Réseau SFR enterré
7	RG20-1	LOT2	4	3	93 610	93 727	117	RG	76	Perrés inclinés béton	Multiples fissures et éclats du perré béton Disjonctionnement entre plaques du perré Effondrements en cête de digues		Mise en oeuvre de palplanches (PU88 de lg 5m) avec couronnement béton ou métal derrière le perré béton Remblai technique arrière	AD	/	Photos 419 et 420 -> Déversement significatif et préconsolidation de palplanches -> mise en oeuvre d'un rideau de palplanche auto stable	PAL2	PAL	* Calé de mise à l'eau PK 93580 * OAH 27 - commune d'Aire (95) - p 69 690 assemblés des baux d'habitation (voir portées privées) - dans pont 4,55x14,743m linéaire, PK 93 610 à 93 690 * anciennes ballastières d'Aire sur la lys du PK 93690 à 95110	* Réseau Gaz enterré PK 93610 et environ 93700
7	RG20-3	LOT2	4	3	93 763	94 402	639	RG	77 78	Perrés inclinés béton	Multiples fissures et éclats du perré béton Disjonctionnement entre plaques du perré Début d'effondrements en cête de digues		Mise en oeuvre de palplanches (PU88 de lg 5m) avec couronnement béton ou métal derrière le perré béton Remblai technique arrière	20 m en courbe et 619 m en AD	PT4 (2/1)	Photo 430 -> Déversement significatif et préconsolidation de palplanches -> mise en oeuvre d'un rideau de palplanche auto stable	PAL2	PAL	* anciennes ballastières d'Aire sur la lys du PK 93690 à 95110 * présence d'habitations au PK 93849	* Réseau Electricité Aérien PK 94334
7	RG20-4	LOT2	4	3	94 402	94 500	98	RG	79	Perrés inclinés béton + enrochements	Éclats et déversement du perré béton (PK 94481) Multiples effondrements en cête de digues		Mise en oeuvre de palplanches (PU88 de lg 5m) avec couronnement béton ou métal derrière le perré béton Remblai technique arrière	AD	PTS (3/2)	Photo 432 -> Déversement significatif et préconsolidation de palplanches -> mise en oeuvre d'un rideau de palplanche auto stable	PAL2	PAL	* anciennes ballastières d'Aire sur la lys du PK 93690 à 95110	-
7	RG20-5	LOT2	4	3	94 500	95 270	770	RG	80 81 82	94500-94930 Perrés inclinés béton 94930-95430 perré béton type Sensée	Multiples éclats du perré béton Multiples effondrements en cête de digues		Mise en oeuvre de palplanches (PU88 de lg 5m) avec couronnement béton ou métal derrière le perré béton Remblai technique arrière	230 m en AD et 540 m en courbe	PTS (3/2) Jusque p68495, ensuite PTS (2/1)	Photo 448 -> Déversement significatif et préconsolidation de palplanches -> mise en oeuvre d'un rideau de palplanche auto stable	PAL2	PAL + AMIE PAL	* andenne ballastières d'Aire sur la lys du PK 93690 à 95110	* Réseau Electricité Aérien PK 94900
7	RG20-7	LOT2	4	3	95 355	95 490	135	RG	83	Perrés béton type Sensée	Multiples éclats du perré béton et déversement (PK 95 360) Multiples effondrements en cête de digues		Mise en oeuvre de palplanches (PU88 de lg 5m) avec couronnement béton ou métal derrière le perré béton Remblai technique arrière	AD	PT7 (3/2)	Photo 469 -> Déversement significatif et préconsolidation de palplanches -> mise en oeuvre d'un rideau de palplanche auto stable	PAL2	PAL	* présence d'habitations au PK 95400	-