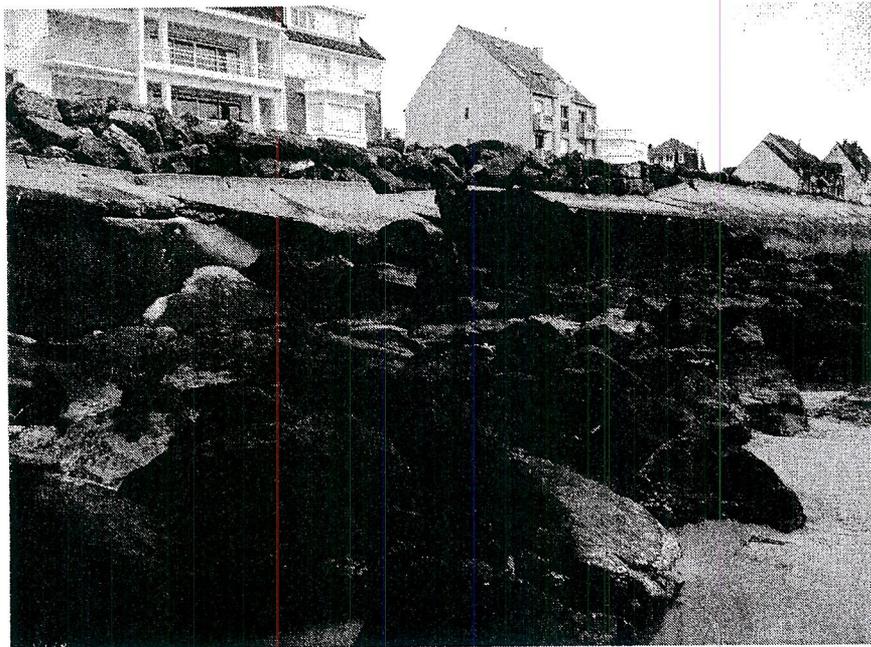


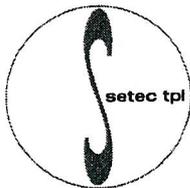


COMMUNE DE WISSANT

RECONSTRUCTION DE LA DIGUE



- AVANT-PROJET SOMMAIRE -



Tour Gamma D
58, quai de la Rapée
75583 Paris Cédex 12
Tél : 01 40 04 62 89
Fax : 01 43 46 89 95
Mel : tpi@tpi.setec.fr



		Référence :				Indices :	
Société :	Affaire	Emet.	Type :	Phase :	Numéro :	Dif. :	Rev. :
	003	23976	S T	APS	0001		A

SOMMAIRE

1	PRESENTATION GENERALE.....	5
1.1	<i>Objet de ce mémoire</i>	5
1.2	<i>La digue de Wissant.....</i>	5
1.3	<i>Résumé historique</i>	6
1.4	<i>Description résumée de l'état actuel de la digue.....</i>	6
2	LES DONNEES ET LES HYPOTHESES	7
2.1	<i>Données générales relatives au site</i>	7
2.1.1	<i>Situation</i>	7
2.1.2	<i>Classement, protection.....</i>	7
2.1.3	<i>La côte</i>	7
2.1.4	<i>Le réseau hydrographique</i>	9
2.2	<i>Données fonctionnelles.....</i>	9
2.2.1	<i>Rôle de soutènement, de protection face à la mer</i>	9
2.2.3	<i>Accès des véhicules</i>	10
2.3	<i>Données géométriques.....</i>	10
2.4	<i>Données géologiques, géotechniques et hydrogéologiques</i>	10
2.5	<i>Données climatiques.....</i>	12
2.6	<i>Séisme</i>	13
2.7	<i>Evolution du niveau de la mer.....</i>	13
2.8	<i>Détermination du niveau de la mer devant la digue</i>	13
2.9	<i>Houle.....</i>	14
2.10	<i>Durée d'utilisation du projet.....</i>	14
3	LES CONTRAINTES	15
3.1	<i>La prise en compte de l'existant</i>	15
3.2	<i>Les contraintes liées à la protection du site.....</i>	15
3.3	<i>Les emprises, le maintien des accès</i>	15
3.4	<i>Les contraintes d'exécution</i>	15
4	LES SOLUTIONS ETUDIEES POUR LA RECONSTRUCTION.....	16
4.1	<i>Les réponses attendues</i>	16
4.2	<i>Les deux solutions</i>	16
4.3	<i>Les points communs aux deux solutions.....</i>	16
5	SOLUTION 1.....	18
5.1	<i>Description de la structure.....</i>	18
5.2	<i>Collecte et évacuation des eaux</i>	20
5.3	<i>Les escaliers</i>	20

5.4	<i>Phasage de construction</i>	21
5.6	<i>Dimensionnement des micropieux</i>	25
5.7	<i>Dimensionnement des palplanches</i>	26
5.8	<i>L'entretien</i>	27
6	SOLUTION 2	28
6.1	<i>Description</i>	28
6.2	<i>Collecte et évacuation des eaux</i>	28
6.3	<i>Les escaliers</i>	28
6.4	<i>Justification</i>	28
6.5	<i>Dimensionnement des palplanches</i>	32
6.6	<i>Entretien</i>	32
7	PLANIFICATION	33
7.1	<i>La suite des études</i>	33
7.2	<i>Les travaux</i>	33
8	ESTIMATION	34
8.1	<i>Méthode suivie</i>	34
8.2	<i>Perspectives d'économie</i>	35
8.2.1	<i>Sur les palplanches</i>	36
8.2.2	<i>Sur les micropieux</i>	36
9	COMPARAISON	37
10	SUITE DES ETUDES ET DES TRAVAUX	38
10.1	<i>Etudes à produire</i>	38
10.2	<i>Consignes pour la suite des études</i>	38
11	CONCLUSION	39
	ANNEXE 1 BIBLIOGRAPHIE ET DOCUMENTS UTILISES	40
	ANNEXE 2 : ETAT DE LA DIGUE EXISTANTE	42
	ANNEXE 3 : JUSTIFICATION DES SOUTÈNEMENTS	45

DESSINS: cahier séparé format A3.

1 PRESENTATION GENERALE

1.1 Objet de ce mémoire

SETEC TPI a été désigné comme maître d'œuvre par Monsieur Dorp, expert auprès des tribunaux, pour la reconstruction de la digue à la mer de Wissant dans le département du Pas-de-Calais, avec pour mission d'établir un avant-projet sommaire (APS).

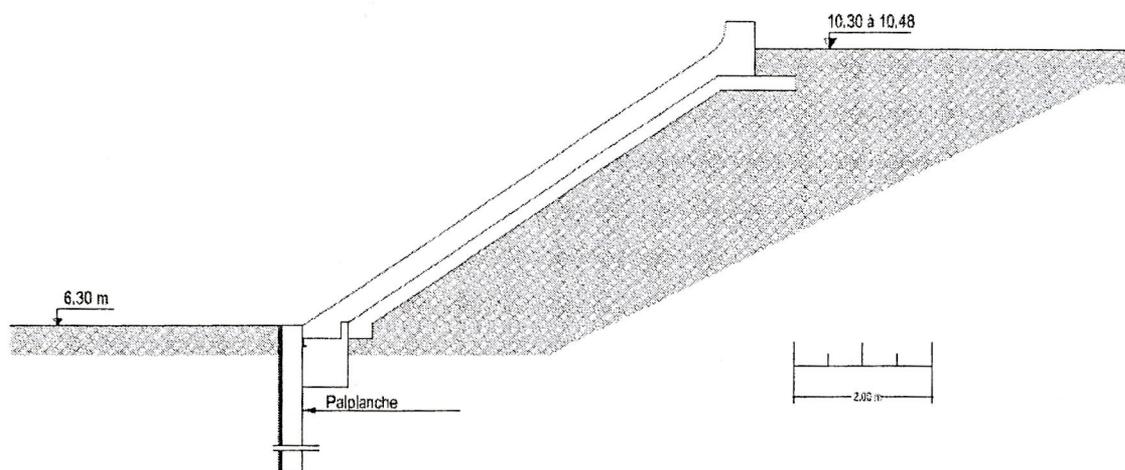
Ce mémoire donne les résultats de l'avant-projet sommaire (APS) établi par SETEC TPI. Il fait le point sur les données du problème, présente deux solutions pour la reconstruction de la digue et donne des indications pour la suite des études et pour les travaux.

1.2 La digue de Wissant

La digue de Wissant est un ouvrage rectiligne qui assure la protection du front de mer sur une longueur d'environ 600 m. Les sondages réalisés dans cette digue montrent qu'il s'agit simplement d'un remblai sableux d'environ 4 m de hauteur revêtu par un perré en béton armé côté mer et appuyé en pied sur un rideau de palplanches de 4 m de profondeur.

A marée haute, la mer atteint la digue. A marée basse se découvre un estran sableux de plusieurs centaines de mètres de largeur. Lors de tempêtes, certaines vagues franchissent le haut de la digue actuelle.

Coupe type de la digue actuelle.



La digue existante a subi des dégâts très importants lors d'une tempête en mars 2007. Depuis, la dégradation se poursuit et des mesures de sauvegarde ont été prises.

1.3 Résumé historique

Une première digue avait été construite en 1906-1907. Elle avait été partiellement ruinée en 2000.

Une seconde digue l'a remplacée en 2002, qui a été partiellement détruite lors de ses travaux de construction. Les travaux ont été poursuivis sans changement de la conception. C'est cette deuxième digue qui a été partiellement ruinée à son tour lors de deux tempêtes, le 22 janvier 2007 et surtout le 19 mars 2007 (au cours de laquelle se sont produits les dégâts les plus importants) et qu'on peut voir en place en 2008.

1.4 Description résumée de l'état actuel de la digue.

La digue actuelle a subi des dégâts importants dans deux secteurs séparés l'un de l'autre par un secteur central montrant peu de dommages. Les deux extrémités ont également peu de dommages apparents.

Dans les secteurs les plus endommagés, le perré a été rompu, en général selon une fracture longitudinale horizontale située environ à mi-hauteur. Des matériaux provenant de l'intérieur de la digue ont été emportés vers la plage.

Le fait que certains secteurs montrent peu de dommages ne signifie pas que l'intérieur de la digue est intact. Des matériaux de l'intérieur de la digue ont pu être emmenés vers l'aval, avant ou après le sinistre du 19 mars 2007. Le maintien d'un perré et d'un revêtement de chaussée en bon état peut masquer ces affouillements.

Des enrochements ont été mis en place sur les tronçons ruinés de la digue au cours de deux campagnes en 2007 (environ 9 000 tonnes) et 2008 (environ 7 000 tonnes).

Récemment, nous avons visité le site à plusieurs reprises (les 5-12-2007, 18-3-2008, 16-6-2008 et 7-7-2008).

2 LES DONNEES ET LES HYPOTHESES

2.1 Données générales relatives au site

2.1.1 Situation

La commune de Wissant est située sur la côte de la Mer du Nord dans le département du Pas-de-Calais, entre le Cap Blanc-Nez (altitude 158 m près du monument) à 6 kilomètres à l'est et le Cap Gris-Nez (altitude environ 35 m sur le parking près du phare) à 5 kilomètres à l'ouest). Entre les deux caps la côte forme une baie à la courbure peu marquée. L'agglomération de Wissant s'étend au bord de cette baie depuis le niveau de la mer jusqu'à la cote 25-30 à proximité de la RD 940. Le niveau s'élève encore un peu vers l'intérieur au-delà de la RD.

Wissant fait partie de la communauté de communes de la Terre des Deux Caps.

Les coordonnées géographiques au centre de la digue sont :

Latitude 50°53' 08" nord

Longitude 01°39' 20" est.

L'orientation de la côte à Wissant est approximativement SO-NE (azimut 40°).

2.1.2 Classement, protection.

Le Site des Deux Caps est classé depuis 1987. La Baie de Wissant est un des sites remarquables de cet ensemble.

La commune de Wissant fait partie du Parc Naturel régional des Caps et des Marais d'Opale.

A proximité :

- la réserve naturelle de la Motte du Bourg se situe à l'emplacement d'anciennes gravières, à l'intérieur des terres au sud-ouest de la digue
- la falaise proche de Strouanne, à l'est de la digue, bénéficie d'un arrêté préfectoral de protection réglementant la collecte des fossiles.

Il n'existe pas de bâtiments bénéficiant d'un classement sur la commune de Wissant.

2.1.3 La côte

Entre les caps, la côte est sableuse et présente, de la mer vers l'intérieur, la succession des dunes littorales (dunes blanches / dunes vertes) typique de ce type de côte lorsqu'elles sont soumises au régime combiné de fortes marées et de vents dominants venant de la mer. Au droit de l'agglomération, les dunes sont absentes ou remplacées par l'espace bâti sur une longueur de 1000 m environ. La digue étudiée occupe une longueur d'environ 600 m devant les constructions du front de mer. A marée haute, la mer arrive contre la digue, recouvrant toute la plage; à marée basse elle découvre un estran sableux sur plusieurs centaines de mètres de largeur avec quelques rares affleurements de tourbe vers l'est de la plage au pied de la digue. A marée basse, la largeur découverte s'accroît quand on va de l'ouest vers l'est.

A l'ouest de la digue existe un petit promontoire où subsistent les ruines de plusieurs blockhaus du Mur de l'Atlantique.

Cette côte a subi pendant la période historique une évolution avec d'une part des montées du niveau de la mer et d'autre part des ensablements et désensablements successifs.

Histoire résumée des variations du niveau de la mer

Les dernières étapes de la transgression post-glaciaire peuvent être repérées localement par les phases suivantes (source n°4)

- Transgression Dunkerque I : 2^e siècle avant JC, 1^{er} siècle après
- Transgression Dunkerque II : 4^e au 8^e siècle (la plus importante)
- Transgression Dunkerque III : 10^e et 11^e siècle

Depuis, le niveau de la mer n'a plus eu de variations aussi importantes. L'élévation à venir du niveau de la mer pour le vingt et unième siècle est traitée plus loin au 2.8.

Histoire résumée des ensablements et désensablements

Les étapes des ensablements et désensablements sont connues par les sources historiques (source n°5) :

- Le port antique situé à cet endroit a été abandonné au milieu du 16^e siècle, au profit de Calais, pour cause d'ensablement.
- En 1738 un vent de tempête recouvre de sable soixante-trois maisons de Wissant.
- En 1777 a lieu un nouvel ensablement, avec destruction du port. Le village actuel est reconstruit plus à l'intérieur des terres.
- En 1789, la demande des habitants dans le Cahier de Doléances pour qu'on plante des oyats afin de stabiliser le sable peut indiquer qu'il y avait alors des dunes mobiles, alimentées par le vent à marée basse et attaquées par les vagues à marée haute, l'effet résultant étant à l'époque une avancée des sables vers la terre. Cela ne permet pas de savoir où exactement se posait ce problème. Etait-ce à l'emplacement de la digue actuelle ?
- En 1910, le niveau du sable devant le perré est haut (source n°6)
- En 1920, le niveau du sable devant le perré est bas (source n°6)
- En 1930, le sable est à mi-hauteur du perré (source n°6)
- En 1948, le sable est au niveau de la digue (source n°6)
- En 1950, le niveau du sable est haut, des dunes avec oyats apparaissent devant la digue. (source n°6)
- De 1975 à 1986, le niveau du sable est encore haut. (source n°6)
- En 1996, le niveau de la plage est redescendu au niveau de 1920 (source n°6)
- En 2001, estran "au plus bas". Les dunes sont érodées à la base (source n°6).
- Depuis, le niveau du sable est resté bas, avec des affouillements au pied de la digue formés lors des tempêtes. Il est à noter que, plus à l'est, en face des dunes d'amont, c'est actuellement au contraire un ensablement qui se produit.
- A l'ouest, les blockhaus du Mur de l'Atlantique, donc construits entre 1940 et 1944 sur les dunes, sont maintenant sur l'estran. Cela montre que du sol a été emporté dans ce secteur.

Pour la période qu'on peut reconstituer, la tendance globale a donc été un ensablement pendant 2000 ans puis, depuis quinze ou vingt ans, un désensablement, sauf localement (ensablement à l'est). Seuls les épisodes les plus spectaculaires ont laissé des traces et il n'est pas exclu que des phases d'ensablement ou de désensablement de courte durée aient été oubliées par l'histoire.

SOGREAH a réalisé une étude dont les résultats sont présentés dans un rapport de 2006 intitulé "requalification du site de la Baie de Wissant - réensablement de la partie centrale".

Pour les justifications de stabilité et de résistance de la digue, nous prenons en considération un niveau minimal du sable devant la digue à la cote marine 3,80 soit 2,50 m au-dessous du pied de perré de la digue existante. Nous fixerons comme consigne d'exploitation (voir plus loin) que dès que la baisse du niveau de sable atteint 2 m, il faut intervenir pour remettre du sable ou des enrochements.

Donc, pour les justifications de la digue :

niveau minimal du sable devant la digue = 4,30 (cote marine)
--

2.1.4 Le réseau hydrographique

Le ruisseau d'Herlen se jette au nord-est de l'agglomération.

2.2 Données fonctionnelles

2.2.1 Rôle de soutènement, de protection face à la mer

La digue a un rôle de protection de l'agglomération contre la mer :

- en empêchant l'érosion du sol où sont implantées les constructions, particulièrement celles du front de mer qui sont les premières exposées
- en empêchant l'inondation de l'agglomération lors de la montée des eaux
- en limitant l'effet des vagues qui dépassent le niveau de la voirie, grâce au muret qui se trouve en crête, ce muret est toutefois interrompu au droit de cinq escaliers d'accès à la plage.

La limitation de l'érosion du sol n'est assurée que s'il n'y a pas transport de particules fines à travers cette digue.

La limitation des inondations est relative et si on voulait la rendre totalement efficace, il faudrait tenir compte des vagues les plus hautes et des projections d'eau qui les accompagnent en construisant au sommet de la digue un mur continu d'au minimum 1 m de hauteur et capable de réfléchir les vagues. Un mur d'une telle hauteur est difficilement envisageable dans le contexte d'une station balnéaire.

Le muret existant est très bas et a une face côté mer verticale qui ne limite pas les projections d'eau. Il est interrompu par les cinq escaliers d'accès à la plage et constitue une protection seulement partielle contre les vagues qui dépassent le niveau de la voirie.

Dans sa partie concernée par cette étude, la digue ne se retourne pas à ses extrémités pour assurer la protection contre une élévation uniforme du niveau de l'eau. Du côté ouest, cette protection est assurée par le terrain naturel, qui s'élève en promontoire plus haut que le niveau de la digue. Du côté est, il n'y a pas d'élévation particulière le long de l'estuaire du ruisseau.

L'élévation du niveau de la mer dans les cent ans à venir n'amènera pas le niveau moyen de la mer au-dessus du haut de la mer, mais aura pour effet que les vagues franchiront beaucoup plus facilement la digue. La digue ne peut pas être rehaussée, mais le muret en tête doit l'être. Nous retenons comme données pour la digue future qu'elle doit protéger l'agglomération contre l'érosion du sol par la mer, sans rehaussement, et que le muret en tête doit être plus haut et plus efficace que l'existant.

2.2.2 Accès des piétons à la plage

La digue est traversée par cinq escaliers qui donnent accès à la plage pour les piétons. Ils n'ont pas de garde-corps latéraux, mais une main courante centrale.

Il faut rétablir ces accès pour piétons.

2.2.3 Accès des véhicules

Deux rampes, l'une à l'ouest et l'autre à l'est donnent l'accès à la plage pour les remorques portant un bateau (plaisanciers, pêcheurs), les véhicules qui les tirent, les véhicules de secours et les chars à voile. Ces rampes ne sont utilisables que s'il y a un niveau suffisant de sable en pied.

L'accès aux utilisateurs de fauteuil roulant n'est pas envisagé puisque le sable de la plage ne convient pas à ce genre de matériel.

Les deux rampes doivent être maintenues ou rétablies.

2.3 Données géométriques

L'ouvrage existant a été partiellement ruiné. Les enrochements mis en place cachent une partie de la digue. Sa géométrie est donc surtout connue par les plans disponibles, en particulier les plans d'exécution du perré qui a été partiellement détruit en 2007.

Une campagne de levé topographique sera toutefois nécessaire au stade d'études plus détaillées, afin de définir la géométrie des ouvrages.

Cote marine = cote IGN 69 + 3,88 m

2.4 Données géologiques, géotechniques et hydrogéologiques

Les données géologiques, géotechniques et hydrogéologiques dont nous disposons sont issues de la campagne de reconnaissances menée par la société FUGRO en 2007.

Lors de cette campagne, ont été réalisés :

- A l'arrière de la digue, sur la chaussée : 8 essais au piézocône (CPTu)
- A l'arrière de la digue, sur la chaussée : 2 sondages carottés équipés en piézomètres
- Devant la digue, sur la plage : 4 essais de pénétration statique à la pointe électrique (CPT).

Les essais ont été régulièrement répartis sur le linéaire de la digue existante en béton. Les sondages carottés ont été jumelés avec des essais CPTu. Les sondages et essais ont atteint des profondeurs variant de 11 à 16 m.

L'ensemble des résultats est détaillé dans le document de synthèse n°07P-123a1 établi par FUGRO le 12/11/2007 auquel on se reportera pour plus d'éléments.

On présente ici les coupes de sol et hypothèses qui ont été retenues pour les calculs.

Le site présente une bonne homogénéité du point de vue de la nature des matériaux et de leurs caractéristiques mécaniques observées lors des essais de pénétration. Seule l'épaisseur des couches peut varier le long de la digue et nous avons choisi de retenir deux coupes « extrêmes » en termes d'épaisseur, qui sont présentées ci-après.

Entre les escaliers 1 et 3, on observe une certaine variabilité entre les terrains situés devant et derrière le rideau de palplanches. Notons que le matériau de remblai qui a servi à la réalisation de la digue sous le perré bétonné n'a pas été reconnu mais est vraisemblablement constitué de sables et graviers qui ont été affouillés par les écoulements et sont désormais visibles entre les enrochements mis en place devant la digue sinistrée.

Il existe à l'arrière de la digue un niveau de matériaux plus ou moins tourbeux et de sables riches en matières organiques qui seront à purger lors des travaux de reconstruction de la digue de manière à ce que les remblais constituant son corps soient mis en œuvre au-dessus des sables denses '1'.

Le tableau suivant présente les caractéristiques qui seront considérées pour les terrains dans la suite des études. Certaines sont issues directement des reconnaissances réalisées par FUGRO ; d'autres en sont déduites et constituent des hypothèses (elles sont indiquées en italique). Lorsqu'elles n'étaient pas pertinentes ou non nécessaires aux études, certaines caractéristiques n'ont pas été déterminées (/).

Caractéristique	Numéro identifiant la couche de sol						
	'1'	'2'	'3'	'4'	'5' tourbeux	'5' sables à MO	'6'
Poids volumique (kN/m ³)	19,6	/	/		10,5	11	19
Teneur en eau W (%)	20	/	/		250	130	/
Cohésion non drainée c_u (kPa)	/	/	/	-	50	50	/
Cohésion drainée c' (kPa)	0	0	/	0	/	/	0
Angle de frottement ϕ' (°)	36	30	/	33	/	/	35
Résistance de pointe q_c (MPa)	10 à 25	10 à 12	>20	10	1 à 2,5	7 à 14	10
Ratio de frottement F_r (%)	1	1	2 à 4	1	>4	1	1
Perméabilité k (m/s)	2.10 ⁻⁵ à 5.10 ⁻⁵	/	1.10 ⁻⁵ à 3.10 ⁻⁵	/	2.10 ⁻⁶		/
Module pressiométrique E_m (MPa)	15 à 40 (25)	15 à 18	/	15	/	/	/
Coefficient rhéologique α	0,33	0,33	/	0,33	/	/	/
Pression limite (MPa)	2,5	1,5	/	/	/	/	/
Frottement latéral unitaire des micropieux (q_s) ; scellement gravitaire	80	80	80	/	/	/	/
Coefficient de réaction latéral pour les calculs de palplanches (MPa/m)	25	18	/	18	/	/	/

2.5 Données climatiques

Le climat de Wissant est de type océanique. Les températures extrêmes y sont rares. Les précipitations y sont modérées et le seul phénomène remarquable est le vent qui peut atteindre des vitesses élevées comme sur toutes les façades maritimes au nord-ouest de la France.

Il est à noter que du fait de son orientation au nord-ouest et de son inclinaison sur l'horizontale, la face côté mer de la digue subit de façon atténuée les effets directs de l'ensoleillement.

Les valeurs caractéristiques des phénomènes météorologiques peuvent être connues à partir des relevés de Météo-France pour Boulogne et Calais.

2.6 Séisme

Il n'y a pas de coïncidence entre un événement sismique et une tempête ou l'arrivée de vagues importantes. La digue est un ouvrage à risque normal vis-à-vis du séisme.

Le code de l'environnement dans son article R 563-4 et son annexe place la totalité du département du Pas de Calais en zone 0. Par conséquent, il n'y a pas à prendre en compte de risque sismique pour la conception et la justification des ouvrages à risque normal dans la région de Wissant.

2.7 Evolution du niveau de la mer

Actuellement le niveau moyen de la mer a tendance à monter. Il a gagné de l'ordre de 10 à 20 cm au cours du vingtième siècle et sa vitesse d'élévation a été récemment de 3 mm/an, soit 30 cm par siècle. Les prévisions du GIEC - groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat - sont que cette montée va s'accélérer, par l'effet combiné de la dilatation thermique des océans et de l'augmentation de la quantité d'eau liquide suite à la fonte partielle des glaces présentes sur les continents. Le troisième rapport du GIEC, paru en 2001, annonce une élévation moyenne comprise entre 9 et 88 cm pour le vingt et unième siècle.

Les valeurs annoncées pour les 100 ans à venir ne font pas encore l'unanimité et aucune donnée réglementaire n'existe à ce jour en France, alors qu'il existe de telles valeurs pour le vent, la neige ou les séismes auxquels doivent résister les constructions. Etant donné que pour cet ouvrage nous visons une durée d'utilisation de 100 ans (voir plus loin) et que son rôle premier est celui de la protection contre la mer, nous ne pouvons pas ignorer le phénomène. Nous retenons une valeur de **50 cm**, valeur moyenne arrondie entre 9 et 88 cm.

	cotes IGN69	cotes marines
élévation prévisible du NMLM dans les cent ans à venir	+ 0,50 m	+ 0,50 m
niveau maximal hors houle	6,00 m	9,88 m

2.8 Détermination du niveau de la mer devant la digue

Le niveau d'eau devant la digue se détermine à partir des paramètres suivants :

- L'onde de marée (hauteur d'eau à marée haute).
- Les surcotes (liées aux phénomènes météorologiques).
- L'augmentation du niveau de la mer dans 100 ans.
- L'agitation de la surface libre (houle, clapot, etc.).

Les recommandations pour le calcul des états limites en sites aquatiques (ROSA 2000) permettent de déterminer le niveau d'eau maximum devant la digue. L'article présent dans rosa 2000 « Action quasi statique des niveaux d'eau – annexe 1 : Niveau extrême de la mer » a pour objet de représenter les niveaux extrême de la mer dans les ports et sur le littoral. Les données des pleines mers pour les ports de Boulogne et Calais sont présentées dans le tableau si dessous.

Analyse des niveaux extrêmes de pleine mer (Action quasi statique des niveaux d'eau – annexe 1 : Niveau extrême de la mer – extrait ROSA 2000.)

Période de retour (années)	1	5	10	20	50	100	1000
Boulogne (m)	5.27	5.45	5.53	5.61	5.71	5.79	6.04
Calais (m)	4.36	4.55	4.62	4.7	4.8	4.88	5.15

(Cotes exprimées en IGN 69).

Il n'existe pas de données spécifiques pour la baie de Wissant, cependant l'analyse graphique du rapport donne une estimation des niveaux extrêmes de pleine mer.

Estimation des niveaux extrêmes de pleine mer (Action quasi statique des niveaux d'eau – annexe 1 : Niveau extrême de la mer – extrait ROSA 2000)

Période de retour (années)	1	5	10	20	50	100
Wissant (m)	ND	ND	5.2	5.3	5.4	5.5

(Cotes exprimées en IGN 69).

L'ouvrage doit être dimensionné pour 100 ans (voir plus loin). La cote à prendre en compte est 5,50 m IGN69. Cette valeur représente le plus haut niveau de pleine mer qui pourrait être atteint sur une période de 100 ans en prenant en compte les effets des surcotes. En cote marine ce niveau correspond à : $3.88+5.5=9.38\text{m CM}$. Soit environ 1 m sous le niveau de la promenade.

Cette valeur semble représentative de la situation à Wissant. En effet, si on ajoute les différentes valeurs correspondant aux paramètres énoncés plus haut, en prenant comme valeur de surélévation de la mer dans 100 ans de 50 cm, et une surcote de 0.50cm, la cote marine dans 100 ans serait de :

Marée haute d'équinoxe (coefficient =120) :	8,55 m (CM)
Les surcotes (liées aux phénomènes atmosphériques):	0,50 m
L'augmentation du niveau de la mer dans 100 ans:	0,50 m
Niveau d'eau dans 100 ans:	9,55 m (CM)

Pour cette étude, le niveau de la marée de vive eau à prendre en compte sera égal à 9,50 m.

2.9 Houle

L'effet de la houle sur la digue est équivalent à une charge d'eau supplémentaire.

2.10 Durée d'utilisation du projet

L'Eurocode 0 "bases de calcul des structures" définit la durée d'utilisation du projet en distinguant cinq catégories, de durée croissante. La catégorie 5, la plus élevée, est définie ainsi:

catégories de durée d'utilisation de projet	durée indicative d'utilisation de projet	exemples
5	100 ans	structures monumentales de bâtiment, ponts et autres ouvrages de génie civil

Nous sommes dans le cas des "autres ouvrages de génie civil", catégorie 5, pour lesquels il faut viser une durée d'utilisation de 100 ans.

3 LES CONTRAINTES

3.1 La prise en compte de l'existant

Le niveau de la voirie devant les maisons du front de mer doit être conservé. Cela revient à ne pas modifier le niveau actuel de la voirie sur digue.

Le muret en tête de digue peut être modifié sans répercussion sur l'existant.

Les escaliers d'accès à la plage doivent être rétablis dans le même alignement que ceux qui existent actuellement.

3.2 Les contraintes liées à la protection du site

Voir le 2.1.2 plus haut. Le classement du site des Deux Caps peut avoir un effet sur les projets menés à Wissant.

3.3 Les emprises, le maintien des accès

Le chantier de reconstruction de la digue pourra occuper une partie de la promenade en front de mer, l'emprise de la digue elle-même et une partie de la plage.

Il faut maintenir l'accès aux propriétés privées pour les piétons et cycles par les façades côté mer.

Il faut maintenir un accès à la plage en toute circonstance, dont au moins une des deux rampes.

3.4 Les contraintes d'exécution

Les travaux à réaliser le seront en site urbain, à proximité des façades du front de mer. Il y aura donc lieu de limiter le bruit, conformément aux textes existants.

- Les travaux sur la promenade et sur la digue doivent être suspendus en période estivale et pendant les week-ends.
- Limitation des vibrations transmises par le sol.
- Les véhicules se rendant au chantier ou en provenant devront suivre un itinéraire imposé entre la RD 940 et le chantier.
- Propreté du chantier.
- Clôture du chantier.

4 LES SOLUTIONS ETUDIEES POUR LA RECONSTRUCTION

4.1 Les réponses attendues

Les solutions que nous avons recherchées devaient apporter une réponse durable aux problèmes suivants :

- utilisation de matériaux sableux pour le corps de la digue, c'est-à-dire réutilisation des matériaux en place.
- arrivée d'eau douce souterraine à l'arrière de la digue (côté terre)
- arrivée d'eau dans la digue par infiltration des eaux de ruissellement (vagues ayant franchi le muret de la digue, eau de pluie sur la promenade, sans doute aussi eaux de pluie des toitures des constructions en front de mer sans doute rejetées dans le sol en pied des descentes en façade
- effet des variations du niveau de la mer du fait des marées
- effets dynamiques des vagues heurtant la digue.

4.2 Les deux solutions

Deux pistes sont apparues pour les solutions à étudier :

- "solution n°1". Une solution aboutissant à un aspect très voisin de celui qui existait avant la ruine de l'ouvrage actuel, avec un perré en béton armé. La constitution de cette solution diffère toutefois notablement de celle de l'actuelle.
- "solution n°2". Une solution privilégiant les enrochements.

4.3 Les points communs aux deux solutions

Que faut-il reconstruire ? La totalité ou des parties seulement ?

Comme nous l'avons exposé en mairie de Wissant lors de la réunion convoquée par M. Dorp, expert, le 7 juillet 2008, la digue apparaît aujourd'hui partiellement ruinée. La situation peut être décrite simplement en disant que la digue est constituée de cinq parties successives, numérotées de 1 à 5, et que les dégâts sont dans les zones 2 et 4. Il faut sans aucun doute reconstruire les parties 2 et 4 détruites. Faut-il en rester là et considérer que les parties 1, 3 et 5 où le perré n'est pas détruit sont sûres et qu'elles peuvent rester inchangées ?

Ce que nous savons tous de l'état actuel de la digue résulte d'un examen visuel, et a été complété par l'examen des pièces du dossier, mais il n'y a pas eu d'investigations particulières, par exemple pour rechercher des vides éventuels sous le revêtement en enrobé de type routier de la promenade. Donc nous ne savons pas tout. Si les zones 2 et 4 sont détruites aujourd'hui, c'est sans doute qu'elles étaient un peu plus fragiles ou un peu plus sollicitées que les autres. Les circulations d'eau dans la digue sont difficiles à appréhender. Avec ces informations, il nous a paru légitime d'envisager la reconstruction des cinq zones. Cela ne signifie pas que nous jugeons que les trois parties « encore en place » sont promises à la même fin que les deux autres, mais une autre attitude ne serait pas prudente.

Etant donné l'importance et le coût des travaux à réaliser, la commune de Wissant pourra envisager une approche différente, mais nous insistons sur la nécessité dans ce cas de mener une recherche importante des faiblesses éventuelles du reste de l'ouvrage, comportant des sondages dans le béton armé et dans la digue elle-même et peut-être de nouveaux calculs.

Un autre point à prendre en considération est qu'il serait difficile de faire alterner les parties refaites et les parties conservées intactes car, comme cela apparaît dans la suite de ce rapport, les coupes en travers de ces différentes solutions sont différentes et les faire alterner créerait

des décrochements ne pouvant qu'être à l'origine de faiblesses pour l'ouvrage. L'aspect résultant serait au demeurant certainement jugé peu plaisant.

Nous avons admis que les rampes situées aux deux extrémités de la digue pouvaient être conservées en l'état. Des vérifications sur place par sondages à travers le perré et la chaussée seraient utiles. **La portion de digue dont nous étudions la reconstruction est donc un tronçon d'un seul tenant d'environ 450 m de longueur qui commence après le débouché sur la plage de la rampe ouest et s'achève au poste de garde avant le haut de la rampe est.**

Pour chaque solution, des variantes sont envisageables. Elles portent sur des points secondaires.

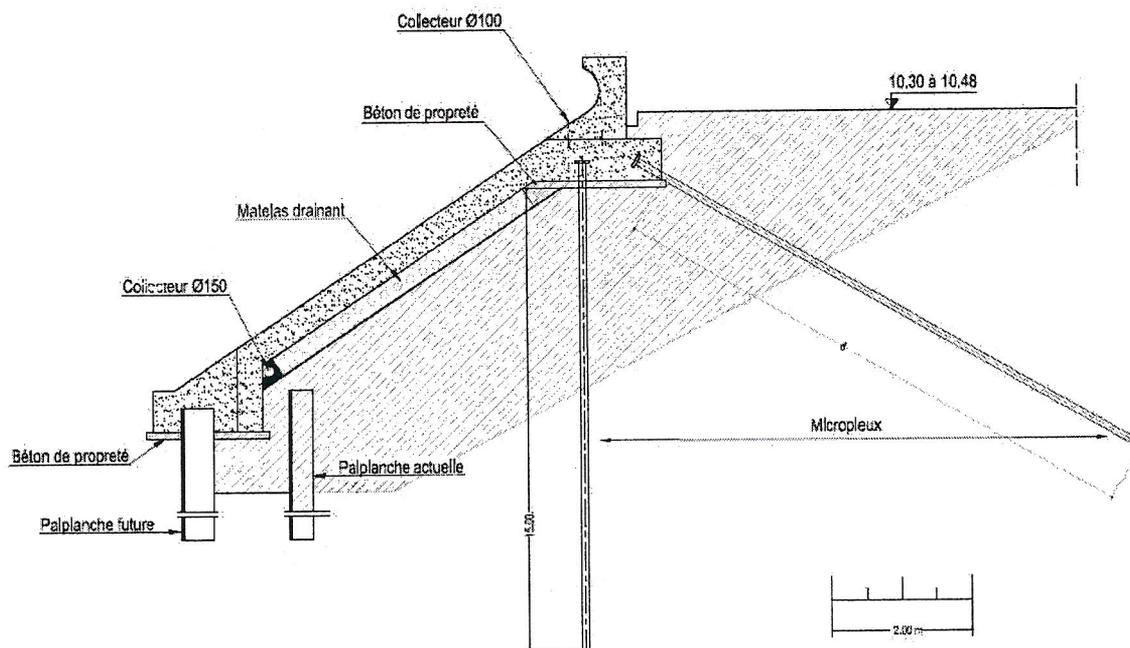
4.4 Remarques sur la prise en compte de la corrosion de l'acier

Les aciers des palplanches sont exposés à la corrosion de l'eau de mer. L'épaisseur résistante de l'acier des palplanches va se réduire dans le temps du fait de cette corrosion et, au bout de 100 ans - durée exigée pour ces ouvrages - les palplanches auront perdu 3,5 mm par face, soit 7 mm en tout. Les palplanches retenues dans le prédimensionnement des ouvrages ont été prises en compte dans les calculs avec cette épaisseur réduite de 7 mm, de façon à encore avoir la résistance et la rigidité suffisante au bout de 100 ans. Elles sont donc trop épaisses aujourd'hui. Cette prise en compte de la corrosion s'impose. Elle a été faite en conformité avec l'Eurocode 3 (Calcul structure acier partie 5 pieux palplanches §4.4 Taux de corrosion pour le calcul).

5 SOLUTION 1

5.1 Description de la structure

Cette solution associe rideau de palplanches, micropieux et béton armé dans une structure très peu déformable.



Coupe transversale

Sur cette vue, micropieu central et palplanches ont été représentés coupés. Une figure complète à l'échelle est donnée plus loin.

La solution de digue présentée ci-dessus a le même aspect que la digue existante. Dans cette solution, le perré en béton armé, d'une inclinaison de 33°, est soutenu à chaque extrémité. Le perré est donc une structure en béton armé de type "dalle".

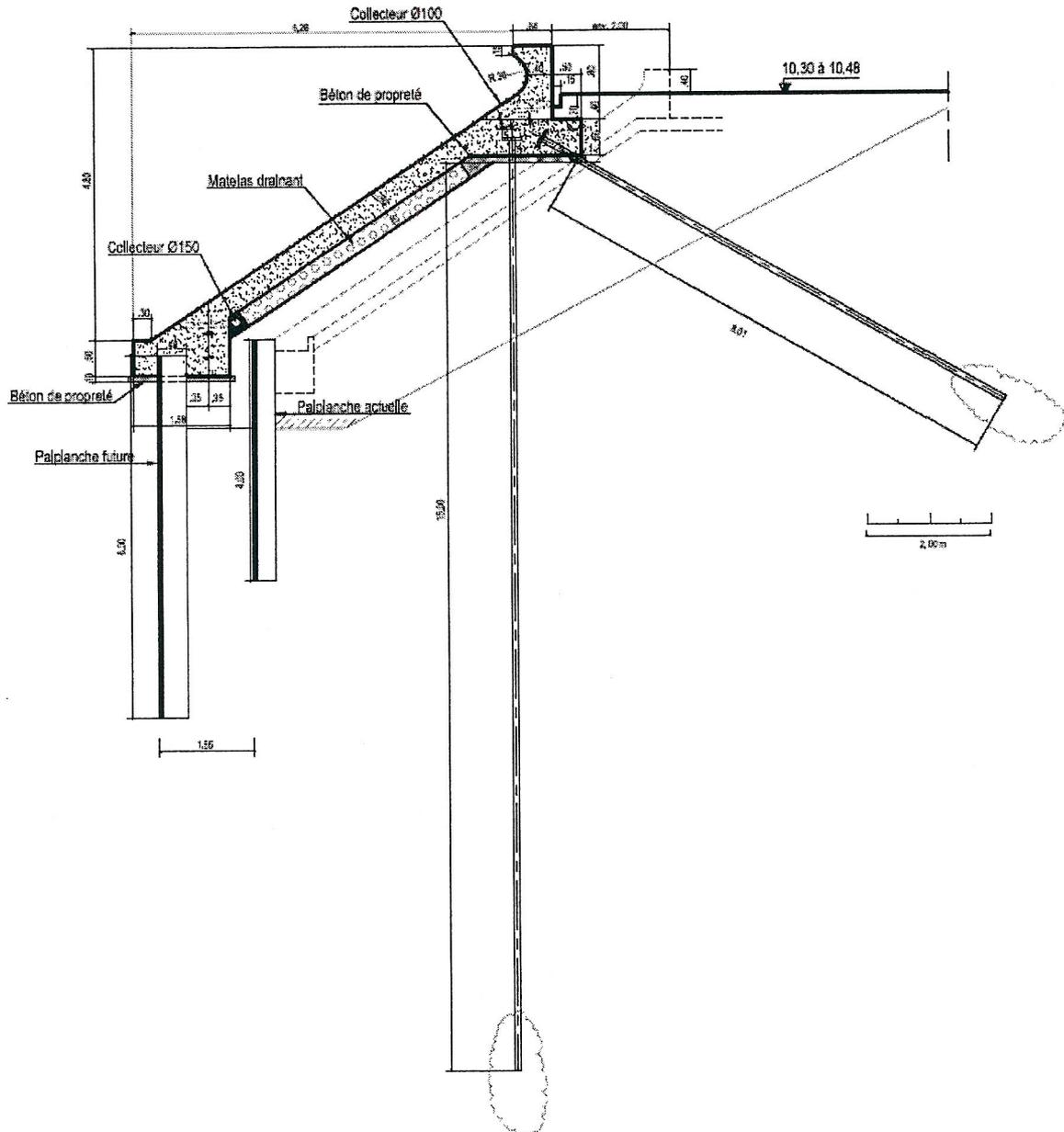
En pied de digue, le haut du rideau de palplanche est encastré dans une semelle bétonnée, assurant la continuité avec la dalle en béton armé. En haut du perré, une longrine est utilisée pour encastrer des micropieux. Ces micropieux sont inclinés afin de reprendre les différentes forces sollicitant l'ouvrage (marée, houle etc.).

Sur la longrine, et dans le prolongement du perré, un muret en béton armé est mis en place. Sa géométrie a pour but de renvoyer vers la mer les vagues dont la hauteur d'ascension sur la digue (le RUN UP) serait trop importante par rapport au niveau de la promenade. Afin de limiter les eaux dans la digue.

Les palplanches existantes ont une longueur trop faible pour être réutilisables dans le nouveau schéma, compte tenu des hypothèses d'affouillement retenues. Elles sont donc laissées en place mais ne sont plus utilisées. La nouvelle structure tient compte de leur encombrement et le nouveau rideau de palplanches a de ce fait été décalé vers la mer et c'est tout le nouveau perré qui se trouve décalé vers la mer par rapport à l'existant. Le rideau de palplanches doit assurer

son rôle pour tous les niveaux d'eau possibles et aussi dans le cas où se produisent des affouillements.

La figure suivante montre le décalage de 2 m entre la digue selon la solution n°1 et la digue actuelle en superposant les deux profils, l'actuel en pointillé et celui de la solution n°1 en trait continu.



Coupe transversale

Dessin à l'échelle, y compris les rideaux de palplanches et les micropieux.

5.2 Collecte et évacuation des eaux

Il y a à collecter les eaux de pluie, les eaux souterraines venant de l'intérieur des terres et aussi l'eau de mer, qui peut accéder à l'intérieur de la digue par différents chemins, notamment grâce aux vagues qui passent au dessus de la digue.

Un caniveau longe l'arrière du muret, en dehors des escaliers, afin de collecter les eaux de ruissellement sur la digue. Nous n'avons pas introduit de pente générale vers la mer sur la promenade, car cela en aurait bouleversé la géométrie mais n'aurait pas apporté une grande efficacité supplémentaire vis-à-vis des eaux amenées par les vagues qui dépassent le muret. Des barbacanes reprennent les eaux de ce caniveau et en passant sous le muret à travers le perré les renvoient à la mer. Nous avons évité de faire déboucher ces barbacanes dans la face courbe du muret, car c'est la zone où la pression de l'eau sera augmentée par la trajectoire en courbe des vagues renvoyées par le muret. Cela aurait donc favorisé l'entrée d'eau de mer par les barbacanes en les faisant fonctionner à l'envers. Ces barbacanes donneront lieu à des entrées d'eau de mer, c'est inévitable, mais en quantité moindre et comme elles déboucheront dans un caniveau à leur partie haute, il y aura moins de projections.

Sous le perré, un matelas drainant repose sur un géotextile anti-contaminant. Ce géotextile a pour rôle de retenir les fines, (matériaux de petite granulométrie tel que les grains de sables) afin éviter qu'elles ne se mélangent avec le matériau drainant et quelle ne réduisent la capacité drainante du matelas. L'effet de drain sous le perré peut bien sûr être réalisé plus simplement, avec une membrane drainante, mais le recours à ce matelas a l'avantage d'apporter une bonne protection au talus pendant sa construction. L'effet de masque drainant du matelas améliorera la stabilité du talus soumis à la présence d'eau pendant les travaux. En phase de service, l'effet de cette couche drainante sera de ramener vers le bas du perré les eaux circulant à l'intérieur de la digue.

La présence de barbacanes en pied de digue, directement raccordées à un collecteur situé en pied du matelas drainant, permet le rejet des eaux du matelas vers la mer. Ici encore, les barbacanes fonctionneront dans les deux sens et lorsque la pression de l'eau sera plus forte à l'extérieur qu'à l'intérieur, l'eau entrera dans le matelas drainant, mais de façon modérée car les sections d'ouverture en jeu sont faibles.

Les eaux qui n'auraient pas été captées au niveau de la promenade le seront donc en pied du perré.

Nous n'avons pas retenu l'idée de placer des clapets anti-retour sur les barbacanes afin de n'y autoriser le passage de l'eau que dans le sens vers la mer, car ces dispositifs seraient vite bloqués par le sable et apporterait plus d'inconvénients que d'avantages.

5.3 Les escaliers

Les escaliers d'accès à plage n'ont pas été vraiment modifiés. Ils gardent la même largeur et la même pente. Ils ont été décalés vers la mer comme l'ensemble du perré, mais restent par rapport à ce perré dans une situation identique à la situation actuelle. Un muret de hauteur identique à celle du muret courant du perré est placé devant les escaliers, en haut, un peu décalé vers l'intérieur de la promenade. Les piétons devront contourner ce muret pour emprunter l'escalier. Compte tenu du décalage vers la mer du perré et l'élargissement de la promenade qui en résulte, ce muret devant les escaliers ne sera pas bien éloigné de la position du muret actuel. Il a un rôle important car, dans cette solution N°1, le muret courant est interrompu au droit des escaliers et ceux-ci deviennent des points privilégiés d'entrée des vagues sur la promenade lorsque la mer est haute. Ce muret particulier, un peu plus long que la largeur de l'ouverture dans le muret courant pour le passage de l'escalier, limitera l'intrusion de la mer sur la promenade. Un caniveau identique à celui qui longe le muret courant est prévu le long de ce muret spécial, mais cette fois sur la face côté mer. Des conduites d'évacuation de

l'eau assurent la vidange du caniveau et le rejet de l'eau vers la mer. Cette disposition nouvelle par rapport à l'existant est justifiée par la nécessité de limiter les entrées d'eau de mer dans la digue en tenant compte de l'élévation à venir du niveau de la mer. L'obligation pour les piétons de passer par cette chicane ne semble pas réhabilitaire eu égard aux enjeux pour la digue.

5.4 Phasage de construction

Le phasage de construction de cet ouvrage est un point important. Il influence sa conception même.

Ce chapitre est une présentation générale du phasage. Des dessins des phases successives sont joints en annexe. Les niveaux N1, N2, etc. dont il est question dans le texte renvoient à ces dessins.

La contrainte majeure dans la réalisation d'un ouvrage maritime situé en zone de marnage, est de travailler lorsque la marée le permet, ou de se protéger de la mer, (marée, vagues, tempêtes) pendant les phases de travaux. La plus grande partie de l'ouvrage à construire se trouve en effet dans la zone de marnage et le reste se trouve exposé aux effets des vagues à marée haute. Si on ne se protège pas de la mer pendant les travaux, le travail ne sera possible pour l'entreprise que lorsque la mer sera suffisamment basse pour qu'aucune vague n'arrive plus au pied de la digue, et ce qui aura été construit à marée basse a toutes les chances d'être dégradé, voire détruit, quand la mer remonte. Les contraintes d'horaires correspondantes sont sévères (plages de travail trop courtes se décalant le jour et la nuit) et le retour des vagues à chaque marée sur l'ouvrage en travaux ne permet pas d'assurer la qualité du résultat final. Dans le phasage des travaux décrit ci-dessous, le choix de protéger la digue pendant les travaux a été retenu puisqu'il semblait plus pertinent en termes de qualité de l'ouvrage réalisé, mais aussi de conditions de travail pour l'entreprise, de délais et de coût. Cela a une conséquence importante, qui agit elle aussi sur le coût et les délais, c'est qu'il faut utiliser les palplanches pour protéger le chantier. Nous proposons donc d'utiliser des palplanches de 10 m de hauteur, donc plus hautes que la hauteur nécessaire en phase définitive, et de les enfoncer par battage de 6 m dans le sol. Le chantier sera ainsi protégé, pas en totalité pour ce qui est de la remontée des eaux, mais efficacement contre les vagues, sauf en cas de très forte marée et de tempête. Une fois les parties les plus sensibles de l'ouvrage réalisées à l'abri de cette surhauteur, le rideau de palplanches sera découpé (recépé) à sa hauteur finale et l'ouvrage pourra être achevé. C'est cette façon de procéder qui est décrite ci-dessous.

Phase 1 :

- Dépose du perré existant.
- Terrassement jusqu'au niveau N1 (cote marine 6.30 m env.) sur une largeur d'environ 3.60m derrière les palplanches existantes. La pente du talus est de 1/2.
- Battage des palplanches de longueur d'environ 10 m sur 6m de profondeur environ 1.60m devant les palplanches existante.

La partie découverte des palplanches permet de réaliser les travaux dans de bonnes conditions sans se préoccuper des vagues courantes. La largeur de la promenade est réduite de moitié.

Phase 2 :

- Réalisation des micropieux à partir de la cote N2 (niveau de la sous face de la longrine). La machine qui réalise les micropieux est installée en haut.
- Remblaiement jusqu'à la cote N2 permettant aux engins de forage de travailler.

- Une partie du remblai s'appuie sur la palplanche. La plateforme haute de ce remblai a une largeur d'environ 7 m pour forer les micropieux verticaux de 15m et oblique de 8 m.

Phase 3 :

- Coulage de la longrine en béton armé sur les micropieux.
- Remblaiement jusqu'au niveau N3.

Phase 4

- Terrassement jusqu'au niveau N1. Le pied du nouveau talus est à 70 cm des palplanches.
- Une bêche de 35 cm de large est coulée à 35 cm de la palplanche pour permettre le repage de celle-ci en phase finale.
- Mise en place sur le talus bien réglé d'un géotextile anti-contaminant entre la bêche et la longrine limitant la circulation de fines provenant de l'intérieur de la digue vers la couche drainante.

Phase 5 :

- Coulage du perré en béton armé, de la bêche jusqu'à la longrine. La jonction entre ces éléments se fait par reprise de bétonnage.
- Mise en place du muret réflecteur à la partie supérieure.
- Remblaiement jusqu'au niveau définitif de la promenade.
- Reprise de la palplanche jusqu'au niveau N4.
- Coulage du pied de perré.

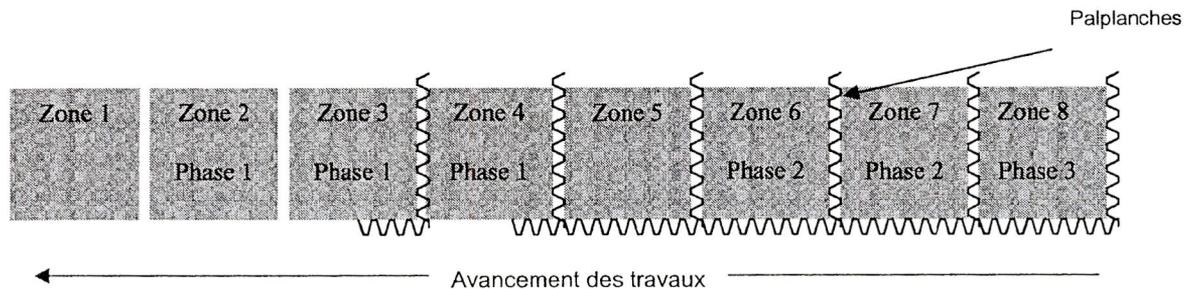
Réalisation des travaux :

Etant donné la longueur de la digue (environ 450m), les travaux pourront être réalisés par portions cloisonnées de 50 à 100 mètres de long (Cf. schéma ci-dessous.). Pour une longueur de 56 m, par exemple, il y a 8 zones de travaux successives le long de la digue, les phases de travaux pouvant s'enchaîner de l'une à la suivante, et les équipes se déplaçant d'une zone à l'autre. Cela devrait aller dans le sens d'une utilisation rationnelle des matériels de chantier. Des rideaux de palplanches perpendiculaires au rideau principal seront donc réalisés à travers la largeur de la digue. En phase de travaux ils empêcheront le contournement du rideau principal par la mer. En phase finale ils seront recépés selon la pente du perré et s'opposeront aux circulations de l'eau dans le sens longitudinal à l'intérieur de la digue.

Nota : la longueur de ces zones de 50 m à 100 m pourrait être laissée au choix des entreprises concurrentes – à condition de ne pas dépasser 100 m pour garder des recouvrements de la digue en phase finale - en fonction des moyens propres de l'entreprise. Nous avons établi le planning de cette solution dans le cas d'un partage en 8 zones de travail.

Illustration de l'avancement des travaux.

Le planning des travaux joint en annexe a été fait à partir du principe d'avancement présenté ci-dessous.



Pour la réalisation des travaux, nous avons décidé de cloisonner la digue. Il est nécessaire d'avoir 2 ateliers de palplanches pour diminuer le temps des travaux mais aussi pour limiter la durée pendant laquelle la digue n'a aucune protection contre les vagues.

- Zone 1 : Les travaux de démolition n'ont pas encore commencé.
- Zone 2 : Les travaux de déblaiement des enrochements et des ruines du perré sont en cours.
- Zone 3 : La phase 1 est en cours. Battage des palplanches.
- Zone 4 : La phase 1 est en cours. Battage des palplanches.
- Zone 5 : Les travaux de déblaiement des ruines de l'ancien perré sont faits et les palplanches ont été battues. En attente de l'équipe de terrassement.
- Zone 6 : Les travaux de terrassement sont en cours, avant la réalisation des micropieux.
- Zone 7 : Réalisation des micropieux
- Zone 8 : Réalisation de la longrine haute recouvrant les têtes de micropieux.

5.5 Les actions considérées pour la justification par le calcul

Il convient pour cette solution de définir les caractéristiques des sols et les actions à considérer dans les calculs. Les caractéristiques des sols considérées pour les études sont conformes au paragraphe consacré à l'analyse des résultats des reconnaissances réalisées par FUGRO. Dans cette solution, il n'est pas nécessaire de renforcer le remblai situé sous le perré par des géotextiles ; en revanche, il sera indispensable de mettre en œuvre un géotextile permettant de se prémunir contre les fuites de matériaux via les chemins de drainage des eaux de la digue.

Actions à considérer :

Les actions appliquées sur la structure du perré et de ses appuis sont dues principalement d'une part au contexte hydraulique et d'autre part aux terrains.

Les actions des terrains sur les palplanches ou les micropieux font l'objet de modèles spécifiques qui permettent d'établir la raideur des appuis du perré béton en tête (micropieux) et en pied (palplanches). Ces raideurs sont introduites dans le modèle structural du perré, de même que les actions qui lui sont directement appliquées.

Les actions appliquées directement sur le perré sont :

- Les actions de l'eau côté mer : marées, houle
- Les actions de l'eau côté terre : pressions d'eau issues des écoulements en provenance de la terre, pressions d'eau dans les matelas drainants en cas de tempête
- Les actions des terres : les écoulements en provenance de la mer peuvent rendre le talus du corps de digue instable, ce qui conduit à des pressions de terre sur le perré.

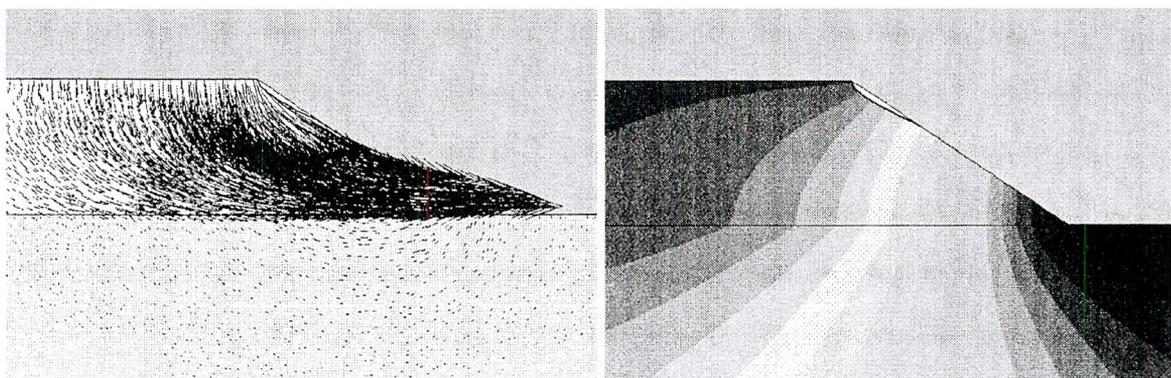
Actions des terres :

Nous avons évalué les pressions de terre par un calcul spécifique en plusieurs étapes.

La première étape consiste à calculer les vitesses d'écoulement dans le talus lorsque des écoulements en provenance des terres se dirigent vers le matelas drainant (modélisation de l'écoulement via Plaxis2D).

On fait l'hypothèse que le niveau d'eau derrière le perré est alimenté par des écoulements venant des terres à la cote 10,3 CM (cette hypothèse se place du côté de la sécurité).

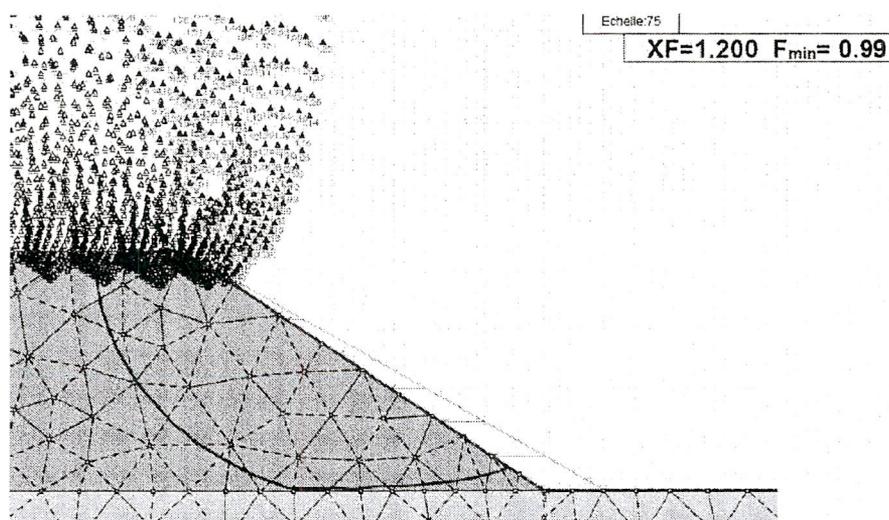
La vitesse d'écoulement maximale calculée est de 7.10^{-4} m/s, mais on souligne que des conditions hydrauliques diverses peuvent être rencontrées par l'ouvrage et que les vitesses d'écoulement dans la digue peuvent être très variables et vraisemblablement plus fortes que le résultat du calcul.



Etude des écoulements dans la digue : à gauche le champ de vitesse et à droite la variation de la charge entre l'amont (10,3 CM) et l'aval (6,3 CM)

Ces pressions d'eau sont ensuite intégrées dans un modèle de calcul de stabilité de talus (Talren4) afin d'étudier la stabilité du talus non soutenu, puis des pressions appliquées par le perré au talus pour le soutenir en présence de l'écoulement. Pour ce calcul, on ne tient compte que des surfaces de rupture potentielles qui traversent uniquement le corps de digue mais pas les terrains sous-jacents.

Le principe consiste à réaliser un calcul à la rupture en considérant une répartition d'efforts horizontaux sur le parement représentant l'action du perré sur les sols. On retient la répartition d'efforts permettant d'obtenir un coefficient de sécurité de 1,2. Par le principe des actions réciproques, on en déduit que les sols appliquent sur le parement les efforts horizontaux inverses (ces efforts intègrent une pondération de 1,2)



Suite à ce calcul, on peut considérer que l'action appliquée par les terres sur le parement à marée basse lorsqu'un écoulement en provenance des terres circule dans les matériaux de la digue est modélisable par une répartition triangulaire d'efforts horizontaux sur le parement telle que la pression horizontale au pied du perré soit de 11 kPa. Ces efforts intègrent un coefficient majorateur de 1,2.

5.6 Dimensionnement des micropieux

Le sommet du perré est constitué d'une longrine reposant sur des groupes de micropieux. Le modèle structurel a permis de calcul les réactions d'appui en tête, qui seront transmises par la longrine et la semelle de répartition à des groupes de micropieux.

Deux situations ont été étudiées :

1. Ouvrage à marée haute sans houle et sans écoulement en provenance des terres
2. Ouvrage à marée basse avec écoulement en provenance des terres.

Les descentes de charges à considérer en tête des groupes de micropieux sont, par mètre linéaire de digue et en considérant que l'axe vertical est orienté du haut vers le bas et que l'axe horizontal est orienté vers les terres :

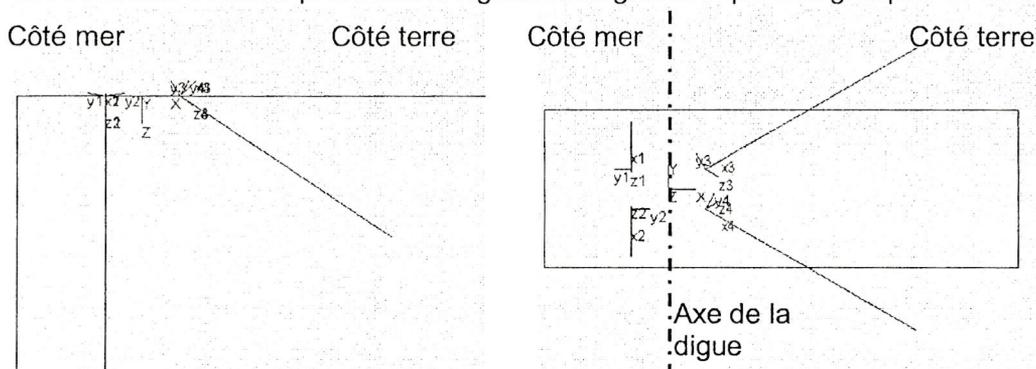
Cas de charge	Effort vertical	Effort horizontal	Moment (rotation > 0 vers la mer)
1	53 kN/ml	102 kN/ml	130 kNm/ml
2	16,5 kN/ml	-135 kN/ml	-77 kNm/ml

Les micropieux ont été dimensionnés de manière à constituer des groupes mis en œuvre tous les 5 m de digue. Les charges indiquées ci-dessus correspondent à des combinaisons ELS. Chaque groupe de micropieux est constitué ainsi :

- deux micropieux verticaux de 15 m, de 25 cm de diamètre, armés par un tube de 146 mm de diamètre extérieur et de 10 mm d'épaisseur avant corrosion, espacés de 70 cm parallèlement à la digue
- en retrait de 1,3 m par rapport au front de mer, deux micropieux de 8 m, inclinés de 60° par rapport à la verticale, de 25 cm de diamètre, armés par un tube de 168 mm de diamètre extérieur et de 12,5 mm d'épaisseur avant corrosion, espacés de 70 cm parallèlement à la digue.

Pour des considérations de réalisation, il a été choisi de donner une angulation aux micropieux par rapport à la perpendiculaire à la digue. Notons qu'il est tout à fait envisageable de réaliser les micropieux par groupe de 2 espacés de 2,5 m, auquel cas ils pourront être réalisés perpendiculairement à la digue.

Les schémas suivants présentent l'organisation géométrique des groupes de micropieux :



Organisation géométrique des groupes de micropieux répartis tous les 5 m de digue : à gauche, vue de côté ; à droite, vue de dessus

Les longueurs de micropieux ont été calculées de manière à ce que l'effort axial admissible à l'ELS quasi-permanent dans le micropieu soit de l'ordre de 130% à 140% de l'effort axial calculé dans chaque micropieu après répartition du torseur d'efforts sur les quatre unités. A ce stade du projet, et avant les études de détail qui seront à réaliser dans des phases ultérieures, cette sécurité doit permettre de se prémunir contre les phénomènes de fatigue qui résulteront des cycles de chargement par les marées.

Les longueurs de micropieux ont été calculées en prenant en compte un scellement gravitaire, le plus simple à mettre en œuvre et le plus économique. Il serait néanmoins envisageable de réaliser des micropieux moins longs en considérant un scellement sous pression, qui a l'inconvénient d'être plus complexe à mettre en œuvre et plus coûteux.

5.7 Dimensionnement des palplanches

Les palplanches sont dimensionnées d'abord pour résister à la poussée de l'eau à marée haute en phase de chantier (la corrosion n'a alors pas encore réduit l'épaisseur de métal), ensuite pour limiter les déplacements du perré sous l'effet des différents cas de charge en service.

Les palplanches ont été dimensionnées avec le logiciel RIDO.

Cas de charge :

- Les palplanches sont enfoncées dans le sol et soumises à la marée.
- Le niveau haut des palplanches correspond au niveau de la promenade (10.30m CM).
- le niveau de la mer est pris à 10.30 m CM, afin de prendre en compte les vagues pouvant atteindre ce niveau.

Les déplacements obtenus en tête de palplanches sont acceptables environs 5 cm.

Dans la suite de l'étude, la structure de la digue a été modélisée avec Pythagore (logiciel d'étude de structure aux éléments finis développé par SETEC TPI). Le phénomène de corrosion sur 100ans a été pris en compte (suivant les recommandations de l'Eurocode 3 « Calcul structure acier Partie 5 Pieux et palplanches »), ainsi qu'un affouillement de 2 m devant le rideau. La palplanche mise en place « AZ46 » donne un déplacement égal à 13 mm.

Nous avons choisi cette palplanche afin de limiter les déplacements. Avec un déplacement plus important, soit avec une palplanche plus mince, les micropieux seraient d'avantages sollicités. L'effet de la corrosion serait proportionnellement plus important.

5.8 L'entretien

Cette solution ne nécessite pas d'entretien particulier. Une surveillance normale devra toutefois être faite afin de limiter les affouillements devant les palplanches. La valeur limite qui a été admise pour ce dimensionnement est de 2 m. Il peut être nécessaire de ramener du sable ou des enrochements devant le pied de la digue en cas d'affouillement important.

6 SOLUTION 2

Cette solution utilise une digue en sols renforcés avec carapace d'enrochements.

6.1 Description

Cette solution consiste à réaliser une digue dont le corps est constitué de matériaux sableux voire sablo-graveleux, renforcés par des nappes de géotextile, et protégé par une carapace d'enrochements.

Le dimensionnement des enrochements est réalisé de manière à pouvoir réutiliser sur le site les enrochements mis en place provisoirement suite aux sinistres de mars 2007. Ces blocs sont de catégorie 1-2 tonnes.

Le remblai renforcé sera surmonté en tête par un muret en béton armé qui servira de couronnement tout en réduisant l'accès des piétons à la carapace d'enrochements.

6.2 Collecte et évacuation des eaux

Un caniveau analogue à celui de la solution n°1 longe le muret supérieur sur sa face côté promenade, mais il est continu car dans cette solution les escaliers ne coupent pas le muret (voir ci-après). Des barbacanes rejettent les eaux dans les enrochements.

6.3 Les escaliers

Des escaliers en béton armé sont difficilement compatibles avec cette solution, car ils obligeraient à interrompre les enrochements ou, au moins, à en réduire l'épaisseur localement ce qui créerait un pont de faiblesse. Nous prévoyons donc des escaliers métalliques qui, à partir du niveau de la promenade s'élèvent d'abord d'environ 1 m (6 marches), franchissent la partie supérieure des enrochements par un palier horizontal, puis descendent sur la plage en passant toujours au-dessus des enrochements. Ils sont appuyés côté bas sur une longrine en béton armé.

6.4 Justification

Hypothèses :

On reprend ici l'hypothèse de houle formulée par Fugro qui considère $H_s=2$ m.

La masse volumique des enrochements est considérée de $2,7$ tonnes/m³.

Les hypothèses de sols sont conformes à celles présentées dans le paragraphe relatif à la solution de perré béton.

Dimensionnement des enrochements :

- Carapace :

Pour des enrochements de catégorie 1-2 tonnes, on calcule un diamètre moyen D_{n50} de l'ordre de 0,8 m.

Le nombre de stabilité associé est : $N_s=H/(\Delta.D)=1,5$, qui est compris dans la fourchette 1-4 représentative des ouvrages stables statiquement, c'est-à-dire que les structures d'enrochements ne doivent connaître, au pire, que des dommages très limités.

La formule d'Hudson, qui détermine les poids des blocs à mettre en œuvre pour garantir « zéro » dommage à la structure, et qui se place donc du côté de la sécurité, conduit à obtenir un poids de blocs de 1,5 tonnes à 3 tonnes (en fonction de la valeur retenue pour le paramètre K_D : 1 pour une structure à cœur imperméable ou 2 pour une structure d'enrochements angulaires sur 2 couches) avec les mêmes hypothèses que précédemment.

La taille des blocs disponibles est donc adaptée au type de structure et aux conditions de houle du site.

Pour la carapace, il conviendra de mettre en œuvre les enrochements sur 2 couches, soit une épaisseur globale de l'ordre de : $e_c = n.k.(W/\gamma_s)^{1/3} = 1,9 \text{ m}$

- *Filtre* :

Sous la carapace, il convient de mettre en œuvre une couche de filtre permettant la transition granulométrique et hydraulique entre les matériaux de carapace et les matériaux de base et du corps de digue.

Cette couche sera épaisse de : $e_f = 3/4.e_c = 1,4 \text{ m}$.

- *Base* :

Afin que les matériaux grossiers et anguleux du filtre ne détériorent pas le géotextile constituant le corps de la digue, il convient de mettre en œuvre une base constituée de matériaux granulaires roulés.

Conditions sur les granulométries des différents matériaux :

Dans la suite, on utilisera les indices c , f et b selon que l'on se réfère aux matériaux de la carapace, du filtre ou de la base.

1. Pour chacun des matériaux, la granulométrie doit vérifier la condition suivante de manière à être garantie contre les risques d'érosion interne :

$$D_{60}/D_{10} < 10.$$

2. Afin de garantir la stabilité d'interface entre les couches, c'est-à-dire éviter que les éléments des couches fines passent au travers des pores des couches plus grossières, les granulométries devront vérifier :

$$D_{15c}/D_{85f} < 5$$

$$D_{15f}/D_{85b} < 5$$

3. Les enrochements doivent remplir des conditions de perméabilités relatives pour éviter toute surpression interstitielle : les couches les plus grossières doivent être en mesure de drainer les couches les plus fines. Les conditions en termes de granulométrie s'écrivent ainsi :

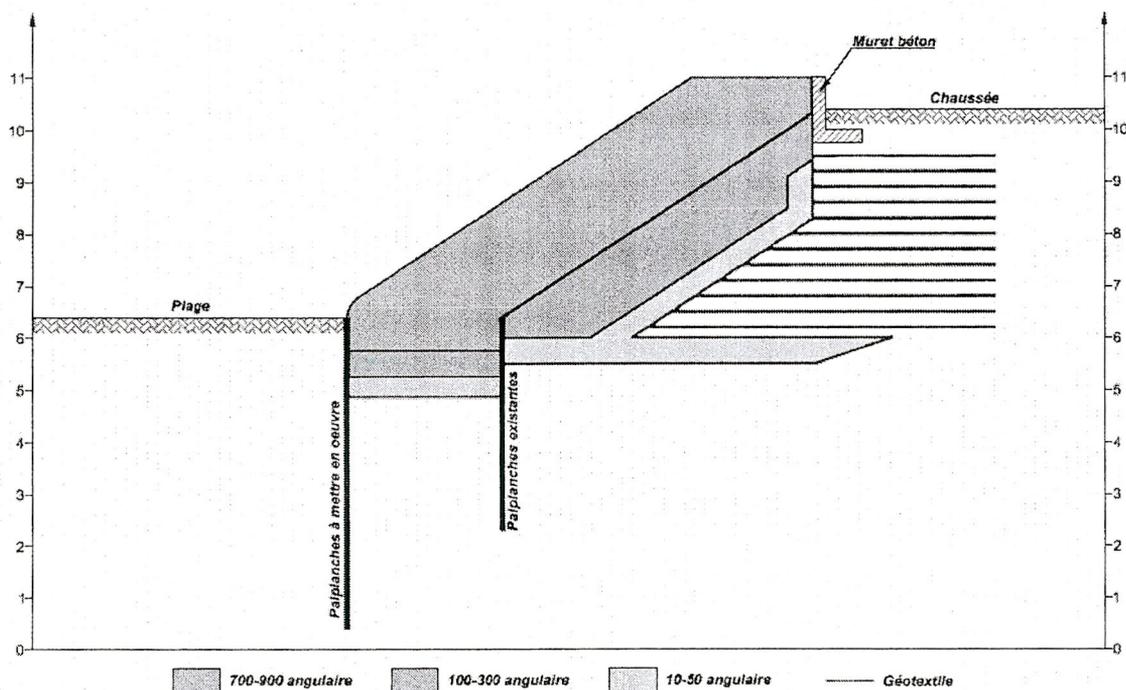
$$D_{15c}/D_{15f} > 5$$

$$D_{15f}/D_{15b} > 5$$

Etant donné ces différentes conditions et la granulométrie des blocs disponibles pour constituer la carapace de la digue, on retient :

- Carapace : $D_{50c} = 0,8 \text{ m}$; $D_{15c} = 0,7 \text{ m}$; $D_{85c} = 0,9 \text{ m}$.
- Filtre : $D_{15f} = 0,1 \text{ m}$; $D_{85f} = 0,3 \text{ m}$
- Base : $D_{15b} = 0,01 \text{ m}$; $D_{85b} = 0,05 \text{ m}$.

Les épaisseurs et les granulométries définies par les conditions présentées ci-avant permettent de définir la coupe de la digue présentée ci-dessous.



Dimensionnement du corps de la digue en remblai renforcé de géotextile :

Le corps de la digue sera constitué de remblai renforcé de géotextile, le remblai sera vraisemblablement de nature sableuse.

Les nappes de géotextiles devront remplir à la fois un rôle mécanique grâce à leur résistance en traction (elles armeront le remblai), et un rôle de filtre de manière à garantir que les particules du remblai ne fuiront pas vers les enrochements.

Nous présentons ici une solution pour laquelle un second rideau de palplanches est mis en œuvre 3 m devant le rideau de palplanches actuel avec le double avantage de protéger en partie la digue face au dessablement de la plage et de faciliter la réalisation des travaux à marée haute selon le même principe que pour la réalisation de la digue à perré en béton présentée dans ce rapport.

La mise en œuvre d'un tel rideau n'est pas indispensable ; dans le cas où elle serait écartée, il conviendrait d'approfondir le pied des enrochements devant le rideau actuel.

- *Dimensionnement mécanique :*

Le dimensionnement mécanique du remblai renforcé par géotextile est réalisé grâce au logiciel Talren, de manière à s'assurer que le corps de digue est stable vis-à-vis des ruptures par grand glissement des terrains.

Au stade actuel des études, on considère de manière conservatrice que les palplanches et les enrochements n'apportent pas de sécurité complémentaire vis-à-vis du glissement (hormis par le poids propre des enrochements). Du point de vue hydraulique, on considère la solution la plus défavorable, c'est-à-dire un niveau d'eau au niveau de la chaussée dans le remblai et au niveau de la plage devant le remblai en sol renforcé.

Les caractéristiques considérées pour le géotextile sont les suivantes :

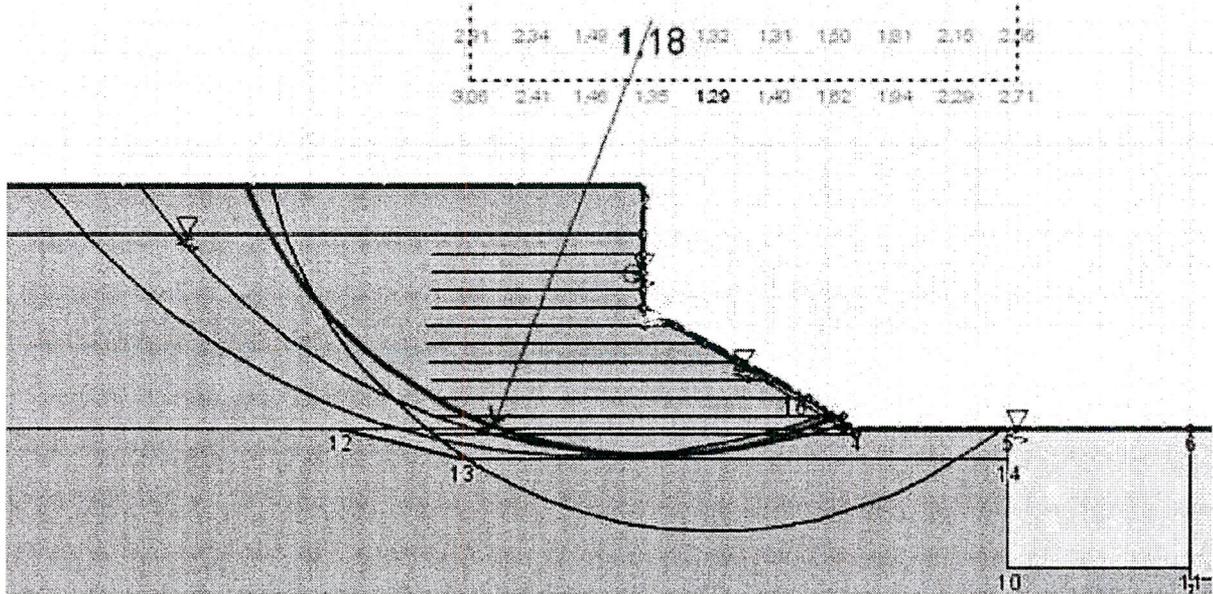
- Résistance à la traction de 120 kN/ml (après application des différents coefficients minorateurs)
- $\mu_0^* = 1,25$ et $\mu_1^* = 0,48$

Le dimensionnement montre que le talus est stable en mettant en œuvre les lits de géotextile suivants :

Cote CM	9,5	9,2	8,9	8,6	8,3	8,0	7,7	7,4	7,1	6,8	6,5	6,2
Longueur (m)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4,1	4,6	5,1	5,6	6,2	6,8	7,2

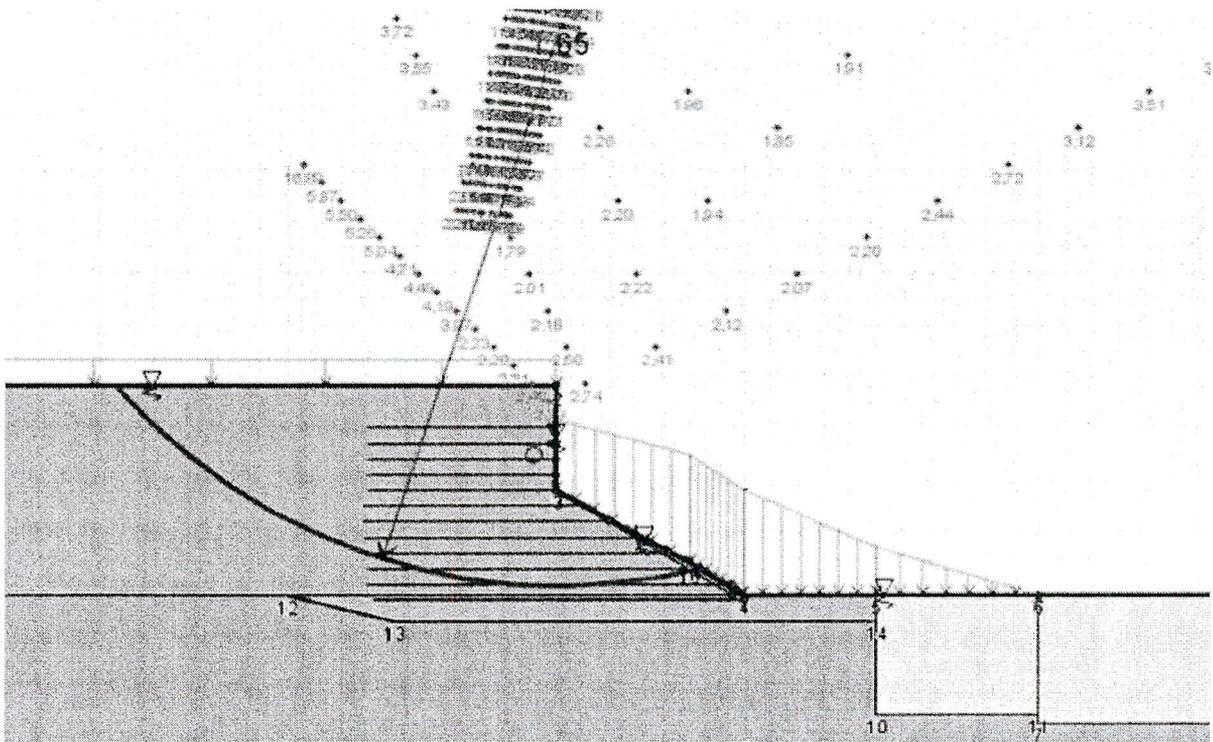
En effet, à court terme, avant la mise en place des enrochements devant le remblai renforcé, la stabilité est assurée :

- avec un coefficient de sécurité de 1,4 (> 1,3),



Surface de rupture critique en situation provisoire

- et avec un coefficient de sécurité de 1,8 (> 1,5) en situation définitive.



Surface de rupture critique en situation définitive

- *Dimensionnement des caractéristiques de filtre :*

Les conditions de filtre devront être adaptées en fonction de la granulométrie du matériau de remblai et de sa densité (conditions de Giroud ou conditions de Lafleur).

La perméabilité du géotextile devra également être adaptée aux matériaux du cœur de digue. On retiendra à ce stade que l'épaisseur t_g du géotextile et sa perméabilité k_g doivent vérifier :

$$T_g/k_g < 0,1/k \quad \text{où } k \text{ est la perméabilité du matériau de cœur de digue.}$$

Les lits de géotextile devront être mis en œuvre avec un recouvrement suffisant entre les nappes pour que le confinement des matériaux soit garanti à long terme.

6.5 Dimensionnement des palplanches

Les palplanches ont été dimensionnées seulement pour se protéger contre la marée pendant les travaux. L'étude a été réalisée avec des palplanches type AZ19 (petite section). Dans ce cas la corrosion à 100 ans n'est pas prise en compte.

En phase travaux les déplacements obtenus en tête de palplanches sont de 11.2cm.

6.6 Entretien

Comme toute solution utilisant des enrochements, la solution n°2 nécessite une surveillance et un entretien. Des affouillements peuvent se produire devant le pied de la digue et des blocs d'enrochements peuvent se déplacer à l'occasion de tempêtes et il faudra périodiquement en remettre en place.

7 PLANIFICATION

7.1 La suite des études

Les différentes phases qui mèneront au choix d'une entreprise pour la réalisation des travaux sont listées au 10.1 de ce rapport. Le temps que cela prendra dépend de plusieurs facteurs, et nous ne l'avons pas reporté sur nos plannings, qui se limitent aux travaux.

7.2 Les travaux

Les plannings prévisionnels des travaux ont pour but de déterminer un bon ordre de grandeur du délai nécessaire. En augmentant les moyens des entreprises, on pourrait aller un peu plus vite, mais la dépense serait plus élevée, et en imposant un délai plus court, on limiterait le nombre d'entreprises capables de s'attaquer à ce chantier. Le dossier de consultation des entreprises pourra ouvrir la porte à une réduction des délais par les entreprises qui s'engageront.

8 ESTIMATION

8.1 Méthode suivie

Pour établir l'estimation, nous sommes partis du dimensionnement des deux solutions, qui a donné les quantités, et aussi du phasage de construction qui a donné des indications sur les moyens à mobiliser.

Détail des quantités nécessaires à la réalisation de la digue en perré en béton armé (solution1)

Désignation	Quantité	Unité	Prix unitaire	prix HT
Etudes et Plans de recollements (4% des travaux)	1	ft	250 000,00 €	250 000,00 €
Imprévu divers (5% des travaux)	1	ft	350 000,00 €	350 000,00 €
Installation chantier (7% des travaux)	1	ft	450 000,00 €	450 000,00 €
Amenée et repli de l'atelier et du matériel de forage	1	ft	5 000,00 €	5 000,00 €
Amenée et repli atelier palplanche	1	ft	5 000,00 €	5 000,00 €
Palplanches type AZ 46				
Fourniture de palplanches	1994340,00	kg	1,60 €	3 190 944,00 €
Mise en fiche de palplanches	2700,00	m ²	69,00 €	186 300,00 €
Recépage de palplanches	450,00	m	24,00 €	10 800,00 €
récupération de palplanche	709450,00	kg	-0,20 €	-141 890,00 €
Parements coffrés				
Surface à coffrer	7310,00	m ²	70,00 €	511 700,00 €
Reprise de bétonnage haute	835,00	m ²	35,00 €	29 240,00 €
Béton armé				
Volume de béton	2415,00	m ³	180,00 €	434 700,00 €
Béton de propreté	3769,00	m ²	25,00 €	94 220,00 €
Armatures de béton armé HA+DX	199584,00	kg	1,70 €	339 300,00 €
Micropieux				
Armatures micropieux e=2,50m	87056,00	kg	3,00 €	261 170,00 €
Tête de tube métallique	360,00	u	165,00 €	59 400,00 €
Béton micropieux verticaux e=2,5m	213,00	m ³	200,00 €	42 680,00 €
assainissement				
Matelas drainant	608,00	m ³	150,00 €	91 125,00 €
Caniveaux 15*15	450,00	m	75,00 €	33 750,00 €
Barbacanes Ø100 (PEHD)	450,00	u	25,00 €	11 250,00 €
Collecteur Ø150	450,00	m	55,00 €	24 750,00 €
Géotextiles anti-contaminent	2835,00	m ²	6,00 €	17 010,00 €
Terrassement				
Déblai enrochement et mise en dépôt	14000,00	T	13,00 €	182 000,00 €
Apport de remblai	2311,00	m ³	8,00 €	18 490,00 €
Découpage de la voirie	450,00	ml	65,00 €	29 250,00 €
Reconstitution de la chaussée.	3045,00	m ²	92,00 €	280 140,00 €
Polyane = 6m * longueur de la digue	4347,00	m ²	6,00 €	26 082,00 €
Surface de perré à démolir	3150,00	m ³	40,00 €	126 000,00 €
Déblai	8268,75	m ³	25,00 €	206 720,00 €
Remblai	14370,30	m ³	9,00 €	129 340,00 €
TOTAL				7 254 471,00 €
arrondi à				7 300 000,00 €
TTC				8 730 800,00 €

Détail des quantités nécessaires à la réalisation de la digue en enrochement (Solution 2).

Désignation	Quantités	Unité	PRIX unitaire	Prix HT
Etudes (4% du prix total)	1,00	ft	200 000,00 €	200 000,00 €
Imprévu divers (5% du prix total)	1,00	ft	250 000,00 €	250 000,00 €
Installation chantier	1,00	ft	350 000,00 €	350 000,00 €
Amenée et repli atelier palplanche	1,00	ft	5 000,00 €	5000
Palplanches type AZ 19				
Fourniture de palplanches	918580,00	kg	1,60 €	1 469 728,00 €
Mise en fiche de palplanches	2700,00	m ²	69,00 €	186 300,00 €
Recépage de palplanches	900,00	m	24,00 €	21 600,00 €
Récupération de palplanche	367430,00	kg	-0,20 €	-73 486,00 €
Parements coffrés				
Béton muret en L	737,10	m ²	60,00 €	44 226,00 €
Béton de propreté	283,50	m ³	180,00 €	51 030,00 €
Armatures de béton armé HA+DX	661,50	m ²	25,00 €	16 537,50 €
Géotextiles de fond de déblai	22680,00	kg	1,70 €	38 556,00 €
Géotextiles renforcement de sol	5197,50	m ²	8,00 €	41 580,00 €
Caniveaux 15*15	35437,50	m ²	12,00 €	425 250,00 €
Barbacanes Ø100 (PEHD)	450,00	m	75,00 €	33 750,00 €
	450,00	u	25,00 €	11 250,00 €
Terassement (obtenu avec autocad)				
Apport de remblai	8980,00	m ³	8,00 €	71 840,00 €
Découpage de la voirie	450,00	ml	65,00 €	29 250,00 €
Reconstitution de la voirie	4950,00	m ²	92,00 €	455 400,00 €
Polyane =10m * longueur de la digue	4725,00	m ²	6,00 €	28 350,00 €
Surface de perré à démolir	3150,00	m ³	40,00 €	126 000,00 €
Déblai	22210,00	m ²	25,00 €	555 250,00 €
Remblai 10 - 30	9390,00	T	40,00 €	375 600,00 €
Remblai 100 - 300	12540,00	T	40,00 €	501 600,00 €
Remblai 700 - 900	6910,00	T	40,00 €	276 400,00 €
Escalier (inox)	5,00	u	20 000,00 €	100 000,00 €
TOTAL				5 591 011,50 €
TOTAL Arrondi				5 600 000,00 €
TOTAL TTC				6 697 600,00 €

Nous n'avons pas différencié les escaliers de la section courante dans ce détail estimatif de la solution n°1 car la différence n'est pas significative.

L'estimation a été établie avec des prix en base juin 2008.

8.2 Perspectives d'économie.

A partir des dimensionnements établis pour cet avant-projet sommaire, il sera possible d'affiner certaines quantités au stade du projet. Nous envisageons quelques pistes ci-après.

8.2.1 Sur les palplanches

On pourrait gagner un peu de quantités sur les palplanches, qui représentent un poste très important, en acceptant un déplacement un peu supérieur en tête. Cela permettrait de diminuer un petit peu la fiche des palplanches.

- Il faut être très prudent sur la réduction d'épaisseur, car du fait de la perte de matière par corrosion à prendre en compte, on perd proportionnellement plus de matière sur des laminés plus fins.
- Nous n'avons pas regardé la possibilité d'associer des palplanches et des pieux métalliques de section circulaire dans un même rideau (solution retenue à Ambleteuse par exemple). C'est une solution moins classique que le rideau de palplanches mais qui pourrait éventuellement avoir un intérêt, sans bouleverser les quantités que nous avons estimées. Nous n'avons pas envisagé de rideau "mixte" alternant profilés H et palplanches comme pour certains murs de quai car cela paraissait une solution beaucoup trop lourde pour ce projet. De plus la présence en bord de plage de têtes de profilés en H serait gênante.

L'économie qui consisterait à raccourcir les palplanches par le haut, en supprimant la protection vis-à-vis des vagues pendant le chantier peut paraître tentante, mais il y a deux raisons pour garder cette protection :

- L'abandonner reviendrait à renoncer à toute garantie de qualité du résultat pour l'ouvrage à construire. Pour les deux solutions proposées, la qualité de l'exécution des remblais est capitale pour la durabilité de l'ouvrage et ces remblais ne pourront pas être réalisés de façon satisfaisante s'ils sont attaqués par les vagues à chaque marée haute. Il y a même un risque d'avoir un coup de vent ou une tempête pendant le chantier.
- Pendant les travaux, une fois les enrochements actuels enlevés et la digue existante en partie ouverte par les engins de terrassement, les constructions du front de mer n'auraient plus aucune protection vis-à-vis de vagues un peu fortes qui pourraient attaquer leurs fondations.

8.2.2 Sur les micropieux

La longueur à donner aux micropieux dépend du type utilisé. Les micropieux scellés gravitairement sont les plus longs, mais ils ont le prix de réalisation au mètre le plus faible. D'autres types de micropieux permettent de diminuer les longueurs, mais ils ont un prix au mètre plus élevé. Trouver la version la plus avantageuse pourrait se faire en ouvrant aux variantes sur ce point dans la consultation des entreprises.

9 COMPARAISON

Nous résumons la comparaison des deux solutions sur plusieurs aspects.

Comparaison	Solution n°1	Solution n°2
Coût des travaux	7 300 000 € HT	5 600 000 € HT
Coût d'entretien estimé par an	20 000 € HT	40 000 € HT
<u>En phase de chantier</u>		
Durée des travaux	36 semaines	33 semaines
Largeur restante pour la circulation sur la promenade pendant les travaux (promenade fermée aux piétons)	7 m	4 m
Perturbation visuelle pendant les travaux (présence de palplanches hautes devant la promenade)	identique	
Trafic de poids lourds induit par le chantier	équivalent	
<u>En phase de service</u>		
Efficacité de l'ouvrage vis à vis d'une marée haute - hors effet des vagues	identique	
Ascension des vagues sur la digue (run-up)	élevée en raison de la surface lisse du perré, mais effet du muret réflecteur	plus faible en raison de la rugosité de la digue
Largeur de la promenade	élargie de 2 m dans les deux solutions	
Accès à la plage par les escaliers	escaliers plus courts	escaliers plus longs (on monte et on redescend)
Aspect général	presque identique à l'aspect actuel (avant destruction)	aspect différent - digue plus épaisse en pied

10 SUITE DES ETUDES ET DES TRAVAUX

10.1 Etudes à produire

La présente étude a permis de définir deux familles de solutions. Les phases suivantes sont :

- La définition d'une stratégie de consultation des entreprises. Il s'agira d'un appel d'offres selon code des marchés publics. Interroge-t-on les entreprises sur les deux solutions ou sur une seule, l'autre solution étant abandonnée?
- La publicité de la consultation des maîtres d'œuvre
- La consultation des maîtres d'œuvre pour le marché d'études et le suivi des travaux
- La réception des offres, leur analyse, le choix du titulaire du marché
- La production par le maître d'œuvre retenu d'un dossier de projet précisant le détail des ouvrages
- La production d'un dossier de consultation des entreprises
- La publicité de la consultation
- La consultation des entreprises pour le marché de travaux
- La réception des offres, leur analyse, le choix du titulaire du marché
- La consultation pour les contrôles extérieurs pendant les travaux
- La réalisation des travaux par l'entrepreneur retenu à l'issue de la consultation et, finalement, la réception des travaux.

10.2 Consignes pour la suite des études

Prendre en compte les données et les contraintes listées plus haut.

Si dans l'intervalle de temps qui séparera la remise de cet APS et les études de projet, l'état fixait une valeur de l'élévation du niveau de la mer dans les cent prochaines années (voir 2.8 de ce mémoire), il faudrait tenir compte de cette nouvelle donnée pour la suite des études.

Dans le dossier de consultation des entrepreneurs, il est recommandé de limiter les variantes proprement dites, c'est-à-dire celles qui modifient le projet, à des ajustements tout en respectant les contraintes et les performances attendues. Le choix par les entrepreneurs de méthodes différentes de celles présentées ici est à autoriser.

10.3 Informations complémentaires à recueillir, reconnaissances

Il conviendra de réaliser quelques reconnaissances en particulier dans la partie ouest de la digue, au droit de la rampe ouest et au-delà afin de vérifier l'état de ce tronçon, et en particulier la présence éventuelle de vides sous la chaussée et le perré. Faute d'informations actuellement, nous avons considéré que cette partie ne nécessitait pas de travaux. C'est à vérifier pour la suite.

11 CONCLUSION

Cet APS présente deux solutions de reconstruction de la digue de Wissant offrant des performances équivalentes comme protection face à la mer. Elles visent toutes deux à obtenir une digue de durée de vie satisfaisante. Elles n'empêcheront pas le franchissement de la digue par les plus hautes vagues.

ANNEXE 1 BIBLIOGRAPHIE ET DOCUMENTS UTILISES

1 Sources de documentation utilisées

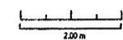
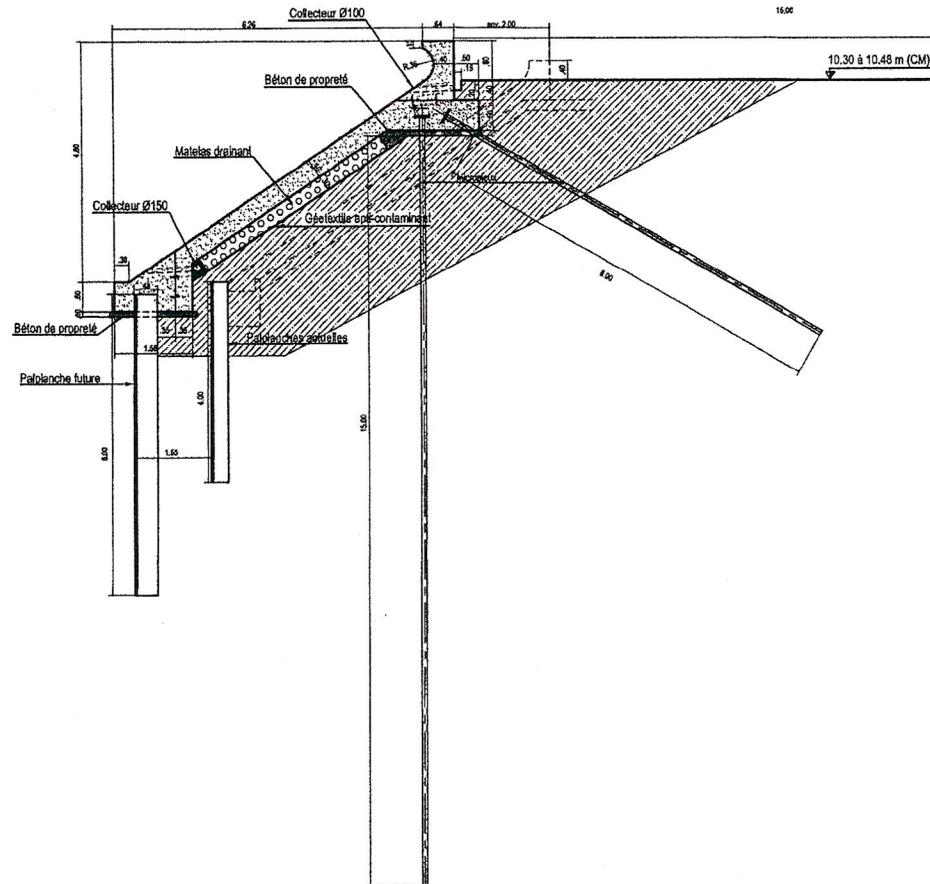
- Source n°1 - Carte IGN au 1/25 000 n°2103 ET édition 1982
- Source n°2 - Carte IGN au 1/25 000 n°2103 ET édition octobre 2006.
- Source n°3 - La Manche de Dunkerque au Havre (série Guides naturalistes des côtes de France éd. Delachaux et Niestlé 1983. Par M. Bournérias, C. Pomerol et Y. Turquier.
- Source n°4 - Région du Nord – Guides géologiques régionaux – éd. Masson et C^{ie} 1973. Par G. Delattre, E. Mériaux et M. Waterlot.
- Source n°5 – Ph. Gallois cité sur *Wissant.com*.
- Source n°6 - "requalification du site de la baie de Wissant. rensemblement de la partie centrale". rapport SOGREAH juillet 2006
- Source n°7 - "Variation du niveau de l'estran depuis la création de la nouvelle digue - 2001-2008" par M. Admont.

2 Les pièces du dossier reçues par SETEC TPI.

Voir tableau page suivante.

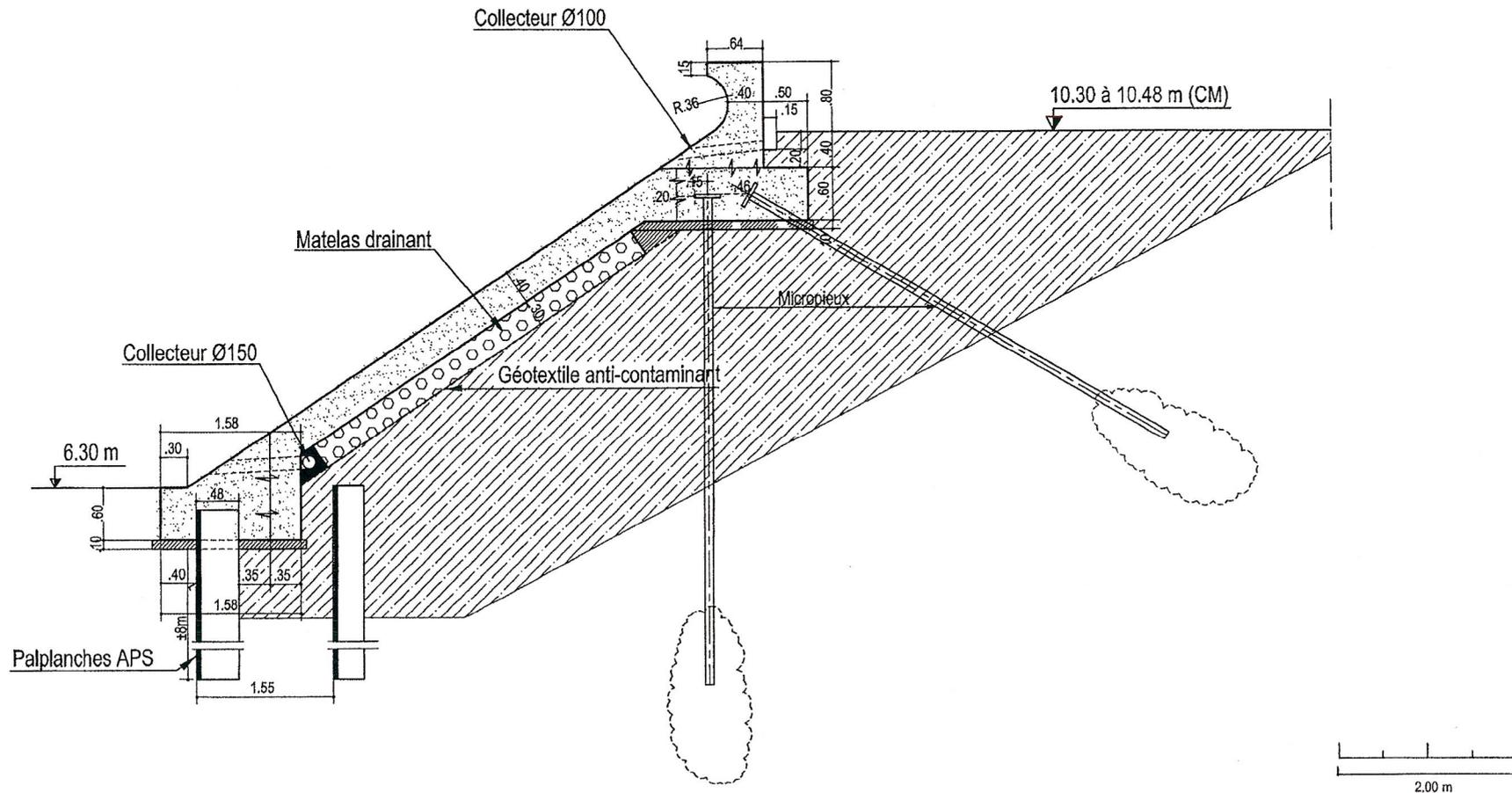
Coupe APS superposée à la coupe existante

ECH:1/100



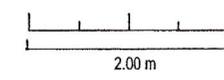
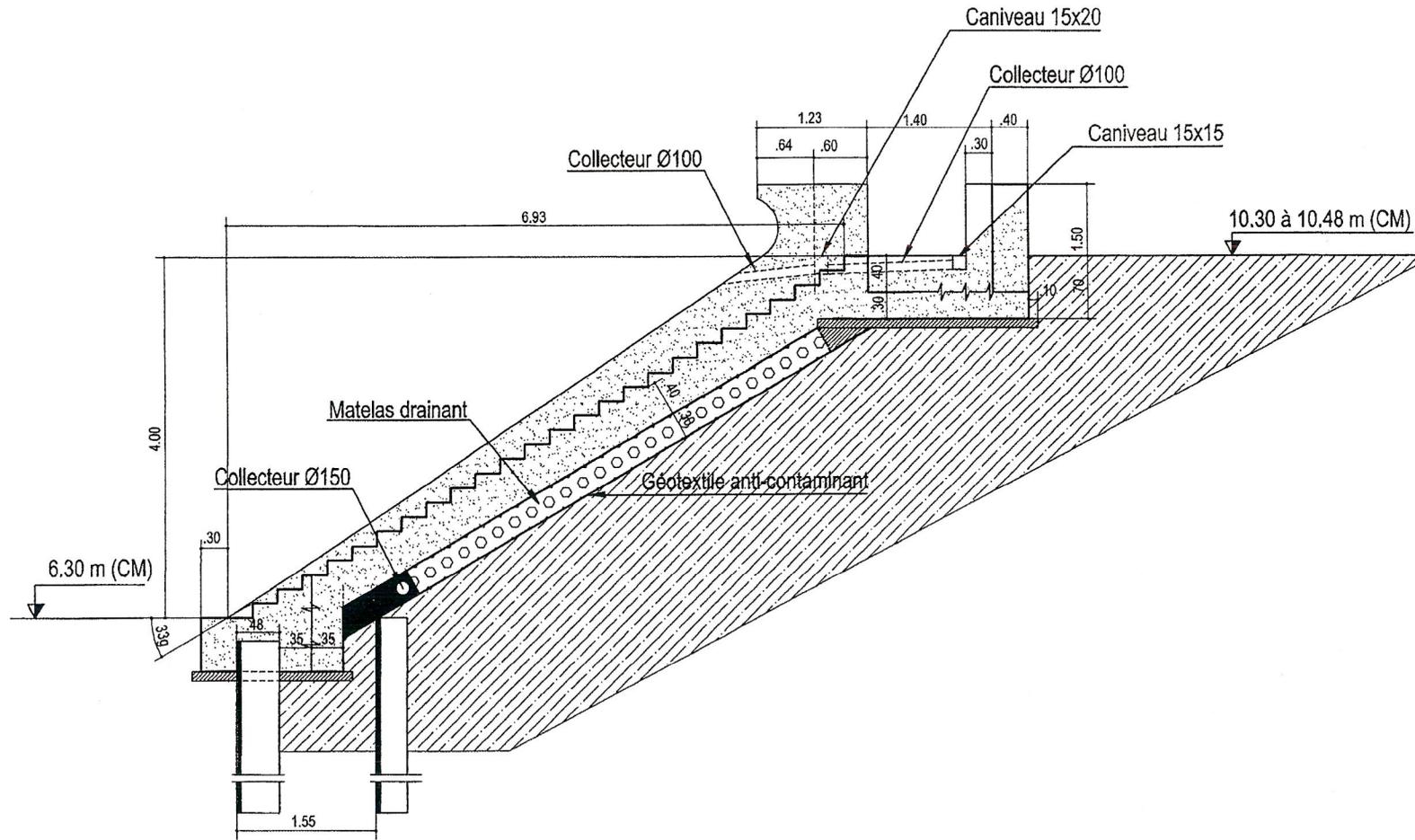
Coupe APS sur perré

ECH:1/50



Coupe escalier APS

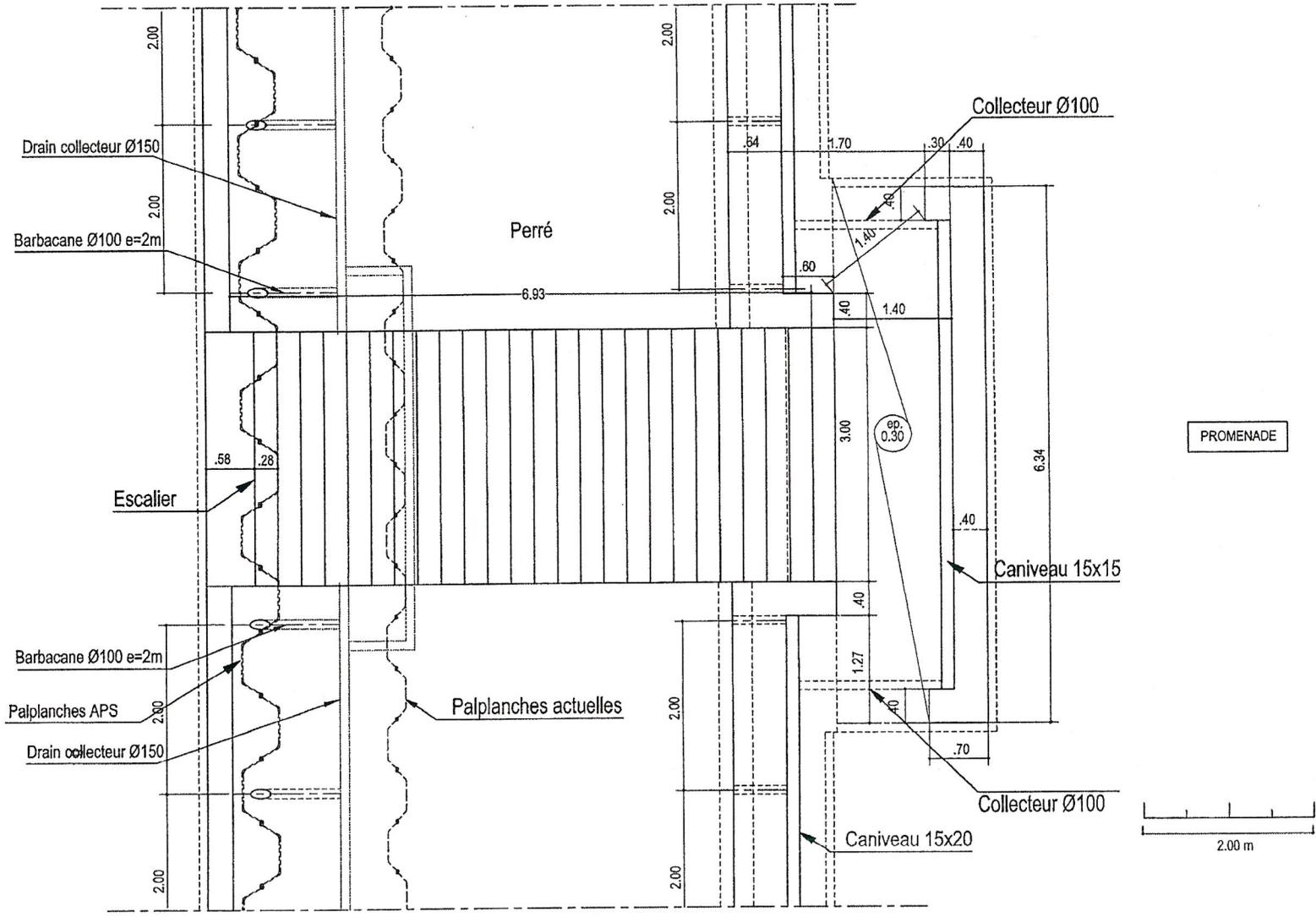
ECH:1/50



Vue en plan escalier APS

ECH:1/50

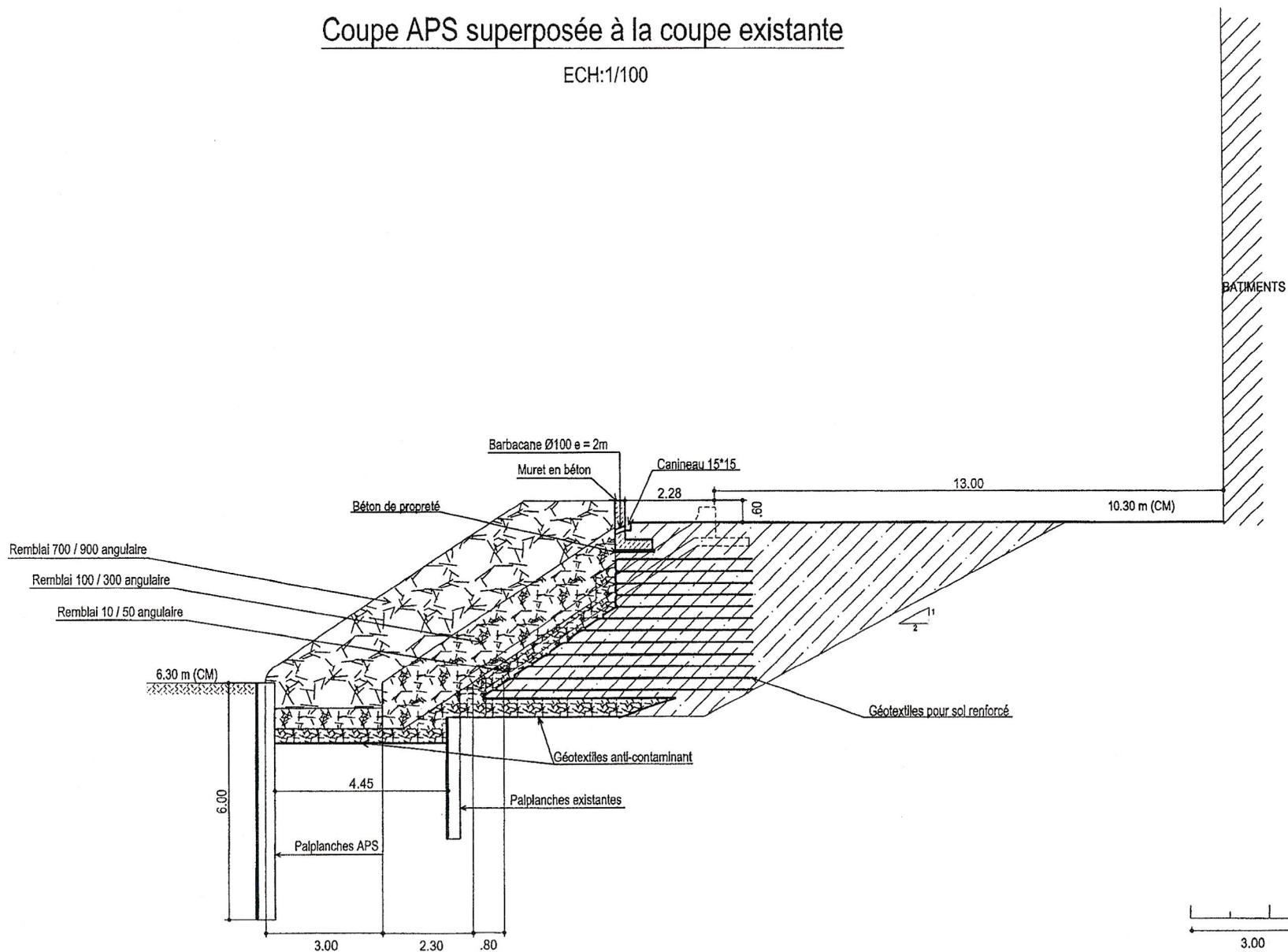
PLAGE



PROMENADE

Coupe APS superposée à la coupe existante

ECH:1/100



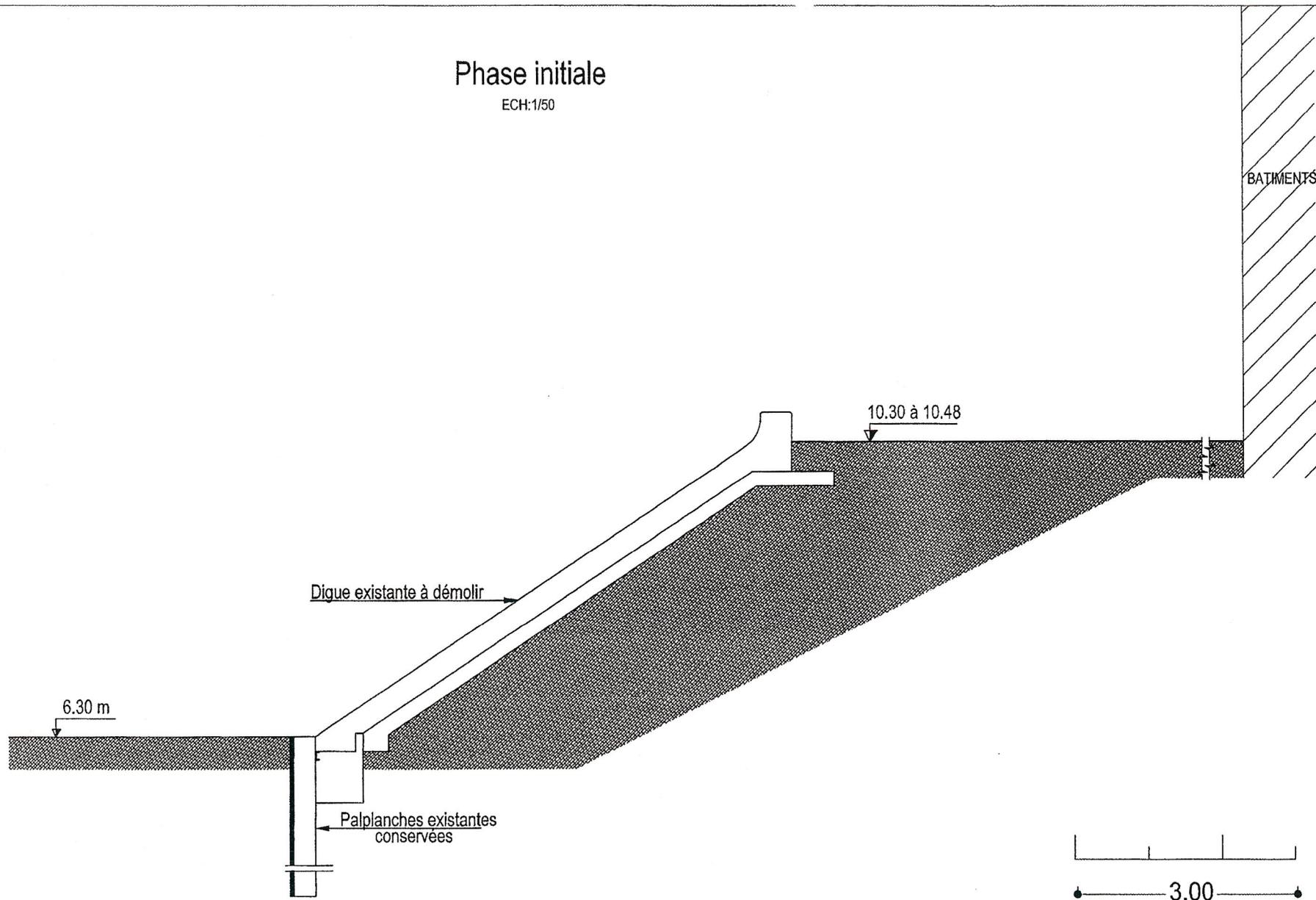
Phasage des travaux

Solution n°2

Digue en enrochement

Phase initiale

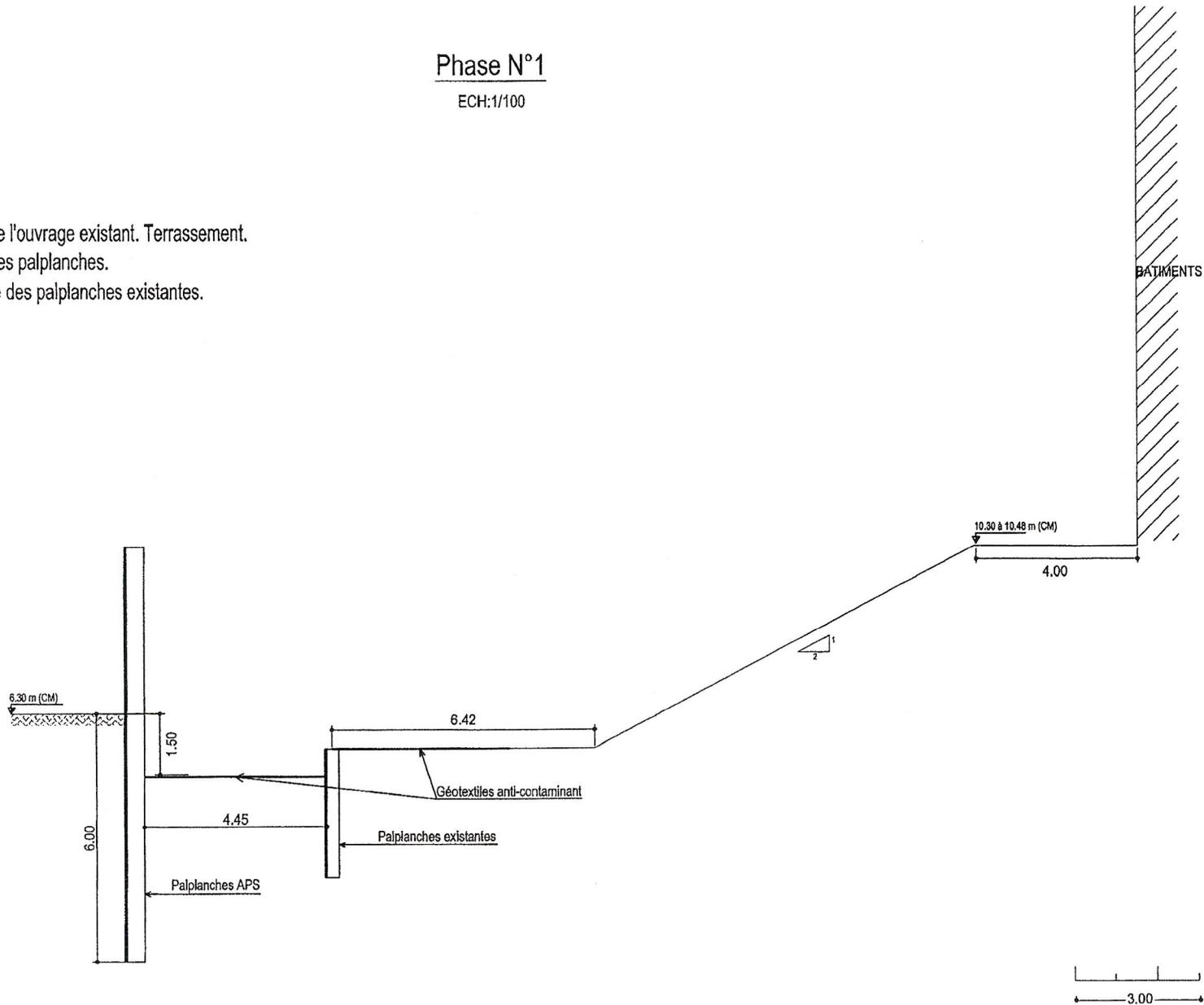
ECH:1/50



Phase N°1

ECH:1/100

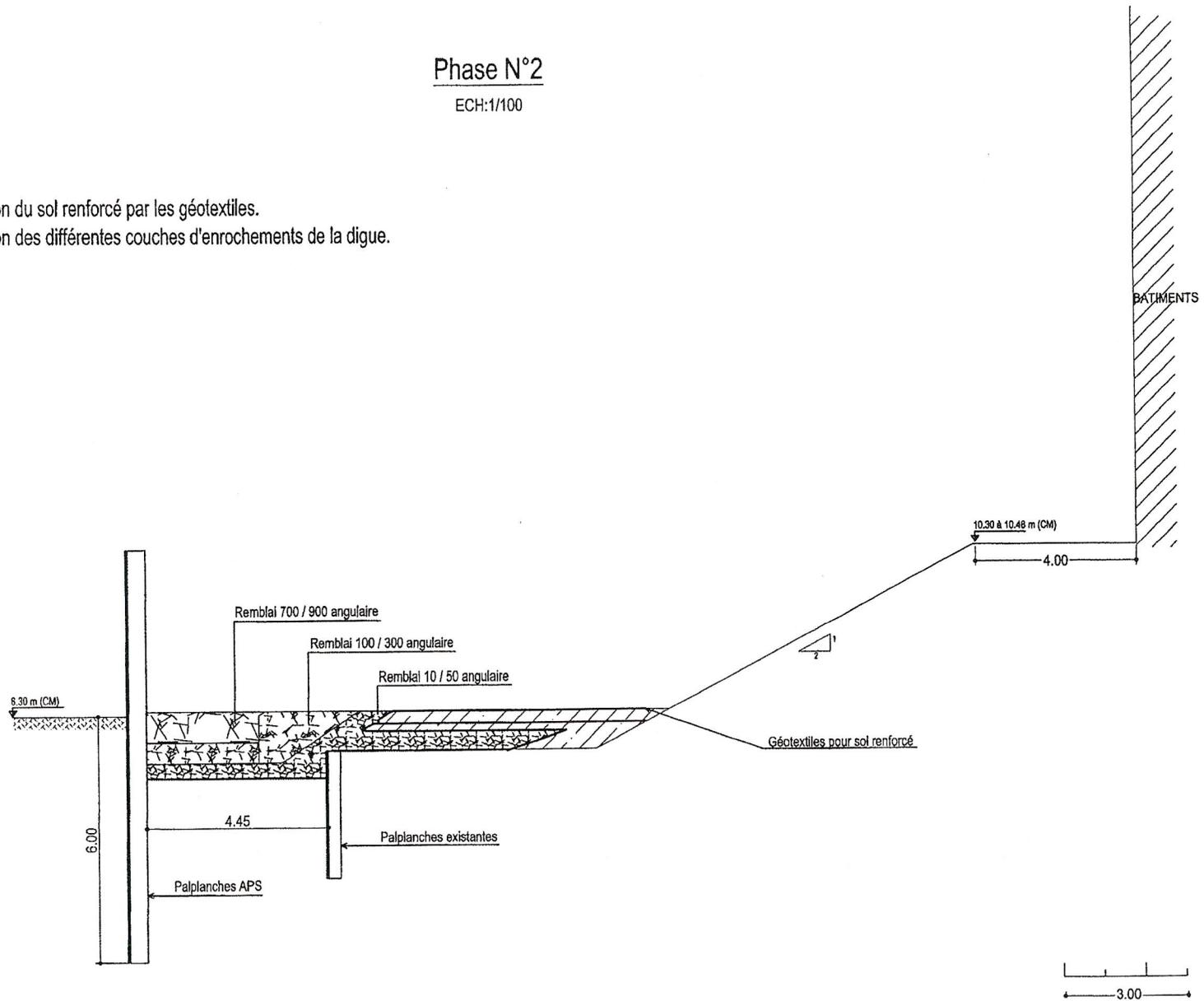
- 1.1 Dépose de l'ouvrage existant. Terrassement.
- 1.2 Battage des palplanches.
- 1.3 Recépage des palplanches existantes.



Phase N°2

ECH:1/100

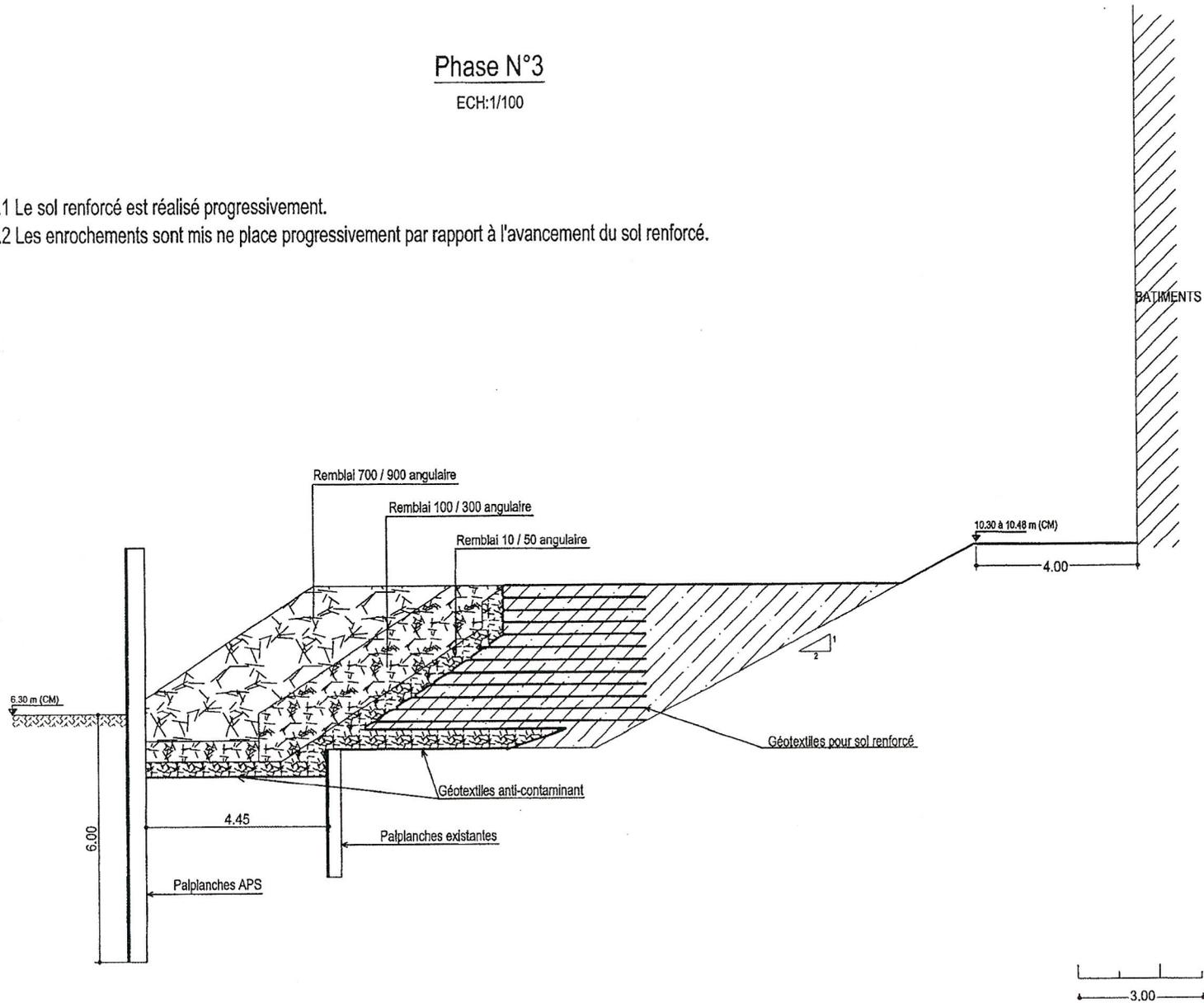
- 2.1 Réalisation du sol renforcé par les géotextiles.
- 2.2 Réalisation des différentes couches d'enrochements de la digue.



Phase N°3

ECH:1/100

- 3.1 Le sol renforcé est réalisé progressivement.
- 3.2 Les enrochements sont mis en place progressivement par rapport à l'avancement du sol renforcé.



Phase N°4

ECH:1/100

- 4.1 Remblaiement jusqu'au niveau de la sous face du muret.
- 4.2 Réalisation du muret.
- 4.3 Remblaiement jusqu'au niveau définitif de la promenade (réalisation de la chaussée).
- 4.4 Les derniers enrochements sont mis en place devant le muret.
- 4.5 Recépage des palplanches.

