

Table ronde enrochements – Aix en Provence – 12 novembre 2013

CONFORTEMENT DE LA DIGUE DU LARGE

O. Soulat – Chargé d'Etudes – Activité Maîtrise d'Œuvre Etudes.

11/2013

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

An aerial photograph of the Marseille harbor, showing the dense urban area of the city and the extensive 'Digue du Large' (Outer Dike) structure that extends into the sea. The dike is a long, narrow structure with several smaller structures along its length, designed to protect the harbor from storms and sea level rise. The water is a deep blue-green color, and the city buildings are visible in shades of brown and grey.

PRESENTATION DE LA DIGUE DU LARGE

Il était une fois une vieille dame bien connue des marseillais...

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large



La digue du large est l'ouvrage le plus important du port de Marseille de part ses dimensions mais surtout parce qu'il conditionne l'ensemble de la vie même des bassins Est du port.

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large



Cet ouvrage est constitué de 3 parties distinctes :

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large



Au sud, la digue Sainte Marie protégeant l'avant-port de la Joliette est une digue mixte constituée de caissons à parois verticales posés sur une digue à talus sur 500 m de long

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large



Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large



Au Nord jusqu'à la passe d'entrée Nord, une digue verticale fondée sur des fonds de 30 à 35 mètres constituée d'une digue à talus sous-marine jusqu'à 14 mètres de profondeur sur laquelle sont posés de caissons bétons de 10 mètres de haut, sur 1,9 km

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large



Il a fallu plus de 130 ans pour construire la Digue du Large depuis la digue Sainte-Marie au Sud, engagée en 1844, jusqu'à la digue de la forme 10 au Nord finie dans les années 1970...

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large



C'est la partie centrale de cette digue (digue à talus) qui fait l'objet des travaux de confortement prévus.

Les extrémités Sud et Nord composées par des digues verticales répondent à d'autres logiques d'entretien et feront l'objet de campagnes d'investigation différentes, centrées sur les désordres internes aux bétons plutôt que sur l'étude des mouvements des blocs.

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

PROBLEMATIQUE D'ENTRETIEN

Il était une fois une vieille dame un peu trop...coquète !

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

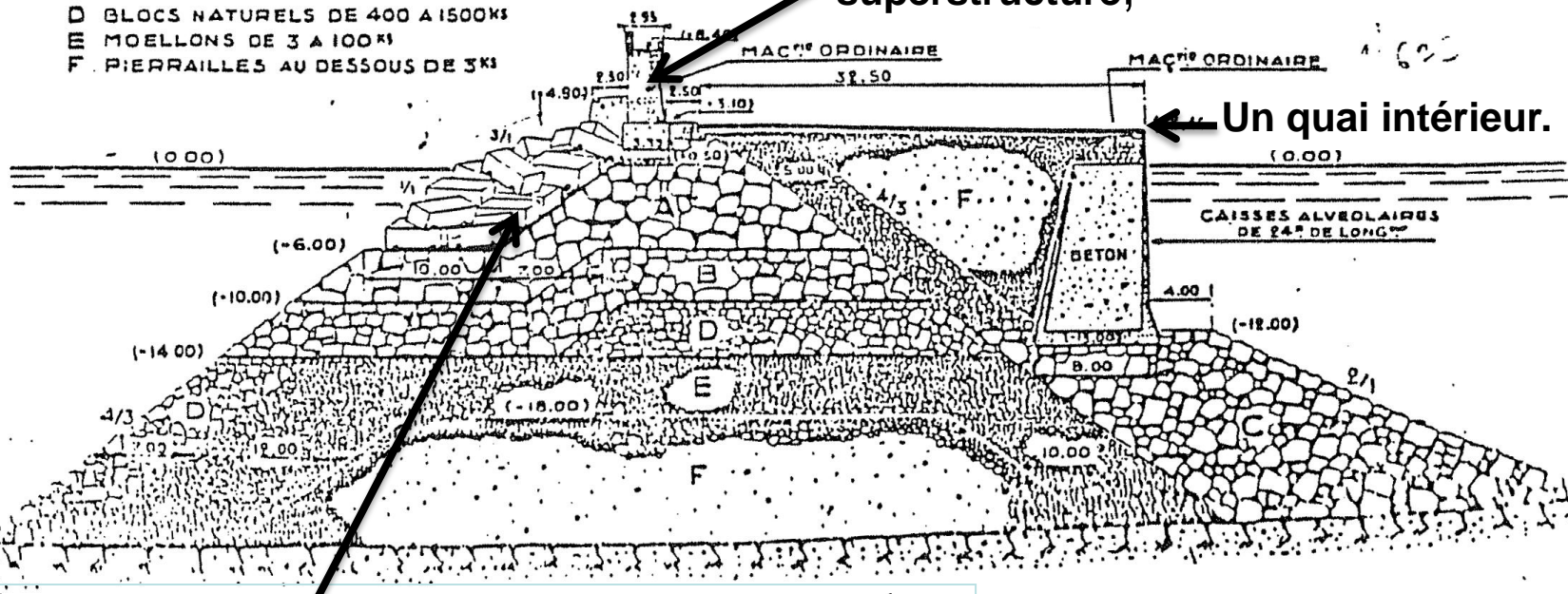
Dans sa partie centrale, la digue à talus comprend :

- A BLOCS NATURELS AU DESSUS DE 4000^{kg}
- B BLOCS NATURELS DE 1500 A 4000^{kg}
- C BLOCS NATURELS DE 400 A 4000^{kg}
- D BLOCS NATURELS DE 400 A 1500^{kg}
- E MOELLONS DE 3 A 100^{kg}
- F PIERRAILLES AU DESSOUS DE 3^{kg}

Un mur abri formant la
superstructure,

-1
1 P. K. 4,625.

Un quai intérieur.



Un noyau formant l'infrastructure et protégé du coté large par une carapace de blocs artificiels construits en béton de chaux puis en maçonnerie ordinaire, puis en béton non armé

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

La Digue du Large subit les attaques répétées de la houle. Sous ses coups de boutoirs certains blocs artificiels les plus exposés s'érodent et des enrochements formant la carapace protectrice se déplacent laissant apparaître des brèches qui peuvent vite s'agrandir sous l'action de la houle.



Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

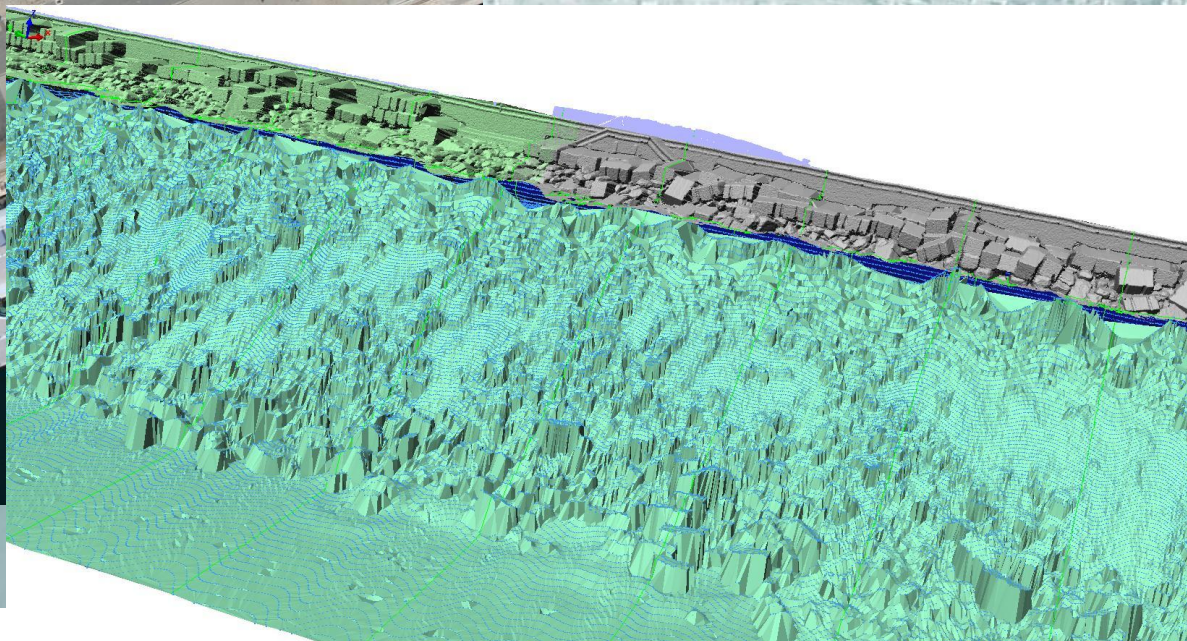
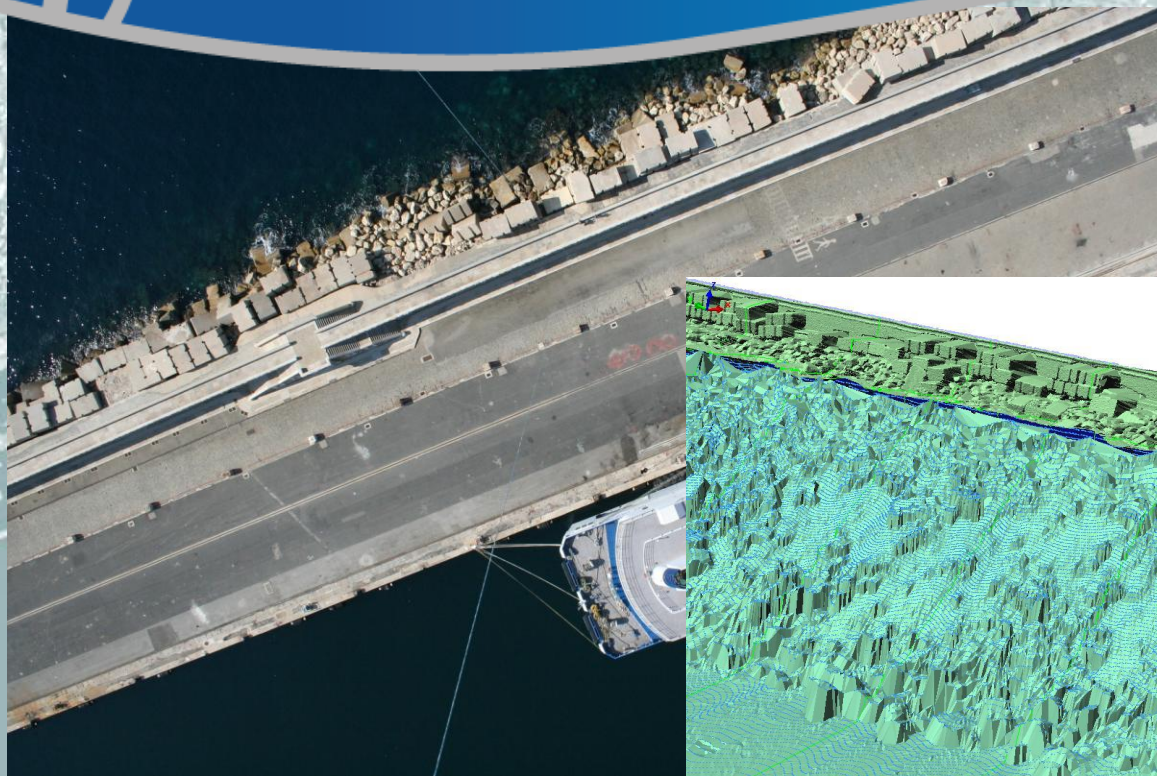


Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

L'ENTRETIEN DE LA DIGUE a été effectué pendant de très nombreuses années par rechargements et confortement alliant des blocs artificiels en béton avec des blocs maçonnés posés à l'origine ainsi que des enrochements naturels.

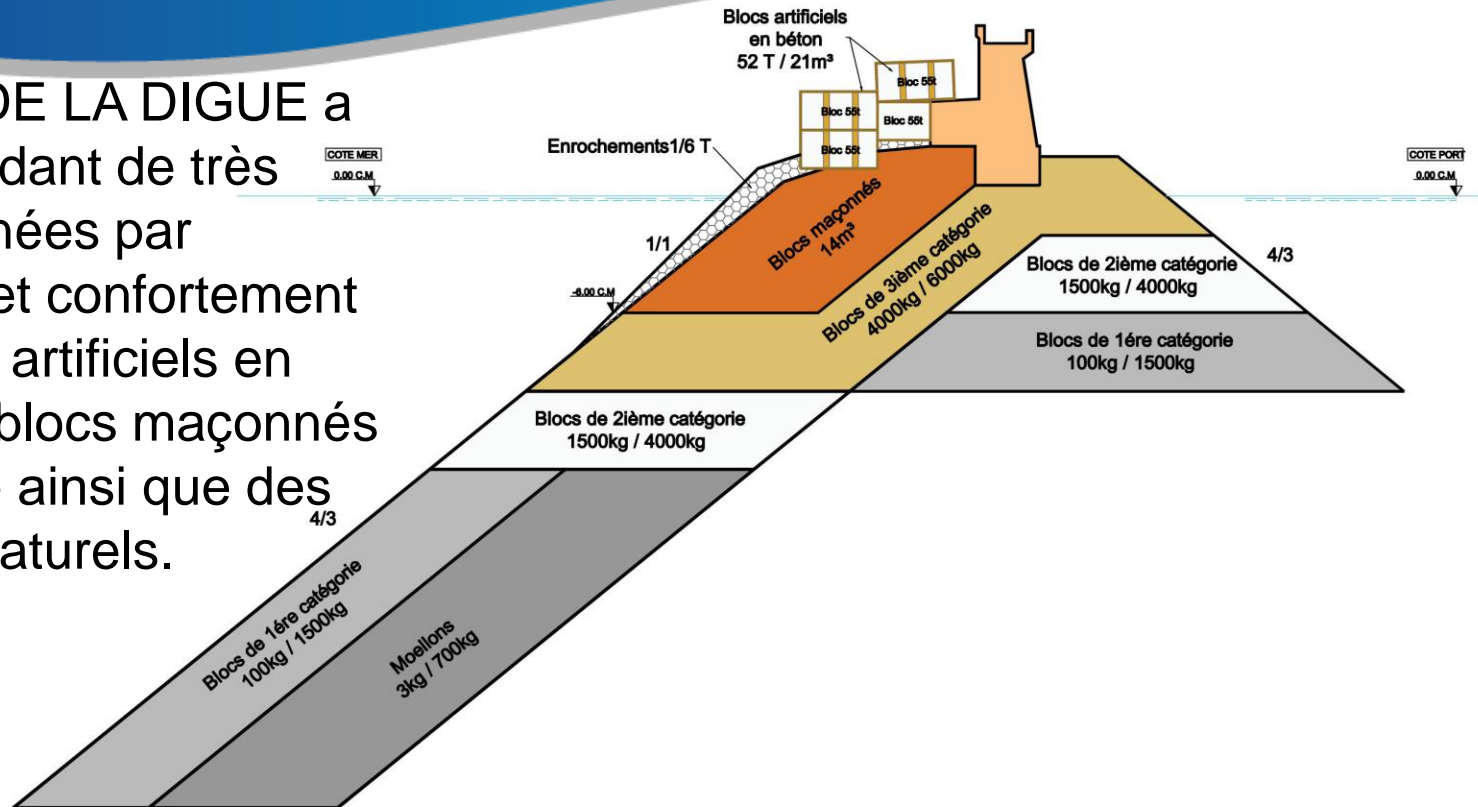


Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

AVANTAGE :

le Port de Marseille disposait de moyens lourds pour son entretien. La vigilance permanente a permis de maintenir l'intégrité de l'ouvrage sur plusieurs dizaines d'années.

INCONVENIENT :

la stabilité de ces réparations face à la mer n'était pas démontrée, notamment dans les parties les plus exposées de la digue où les travaux de confortement régulièrement réalisés étaient l'objet d'un syndrome « mythe de Sisyphe ».

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

INCONVENIENT :

D'autre part, compte tenu des moyens nautiques importants à déplacer, les interventions ponctuelles régulières sont relativement coûteuses.

Enfin, le port n'a plus souhaité avoir en propre les moyens de levage nautique de capacité importante (coût/entretien/requalification/certification).

Le port a donc souhaité définir une méthode d'entretien qui garantisse une **durée de vie de l'ordre de 20 ans** pour les réparations effectuées.

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

ETAT DES LIEUX / ETUDE DU COMPORTEMENT DE LA DIGUE

Il était une fois une vieille dame pas trop mal en point...

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

Le port de Marseille a confié à la société ACRI-IN en 2007 l'expertise complète de la digue avec pour objectif de conforter l'ouvrage de façon pérenne dans les dizaines d'années à venir.

L'étude engagée en 2007 s'est déroulée suivant les étapes :

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

1 - Définition de l'état de référence de l'ouvrage actuel sur la base d'une expertise visuelle sur site et des données topo-bathymétriques établies par le port.

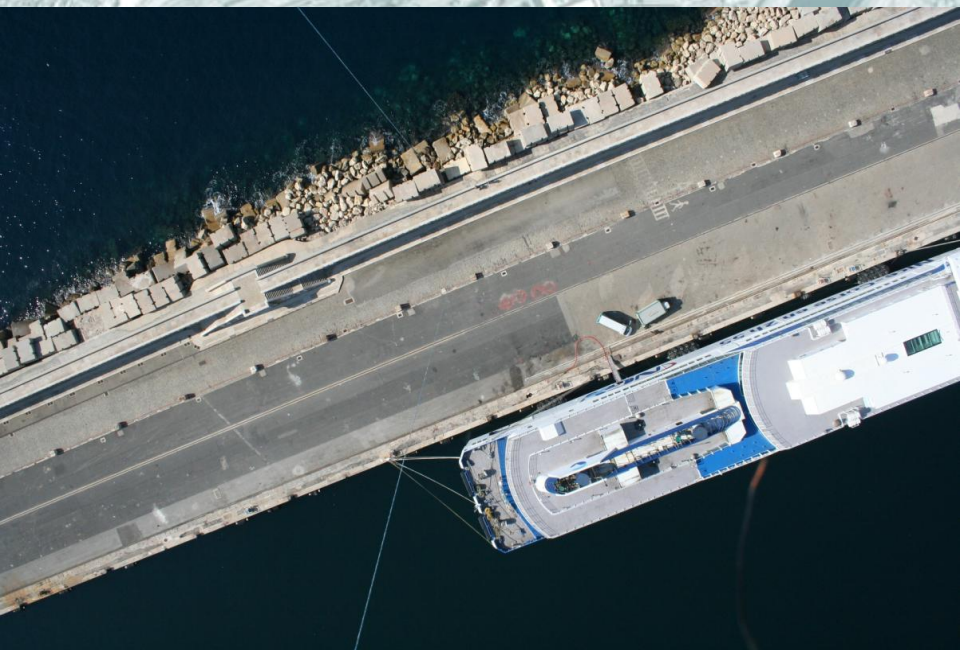
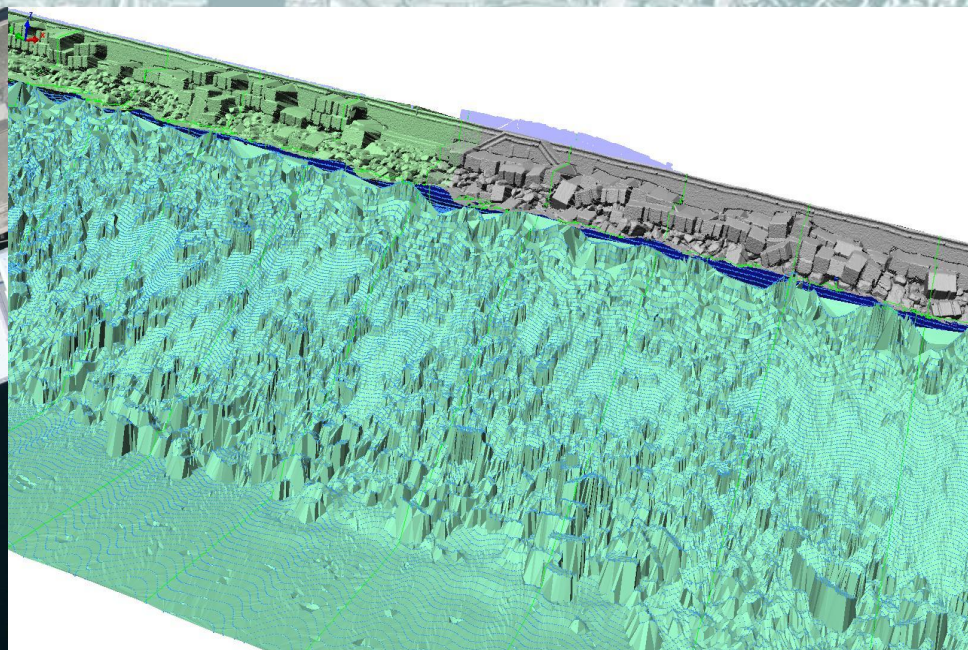


Photo aérienne



Levé topo-bathymétrique par lasergrammétrie

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

Cet état des lieux a permis de déterminer, par bande de 100 m de large, l'état de dégradation de la digue.

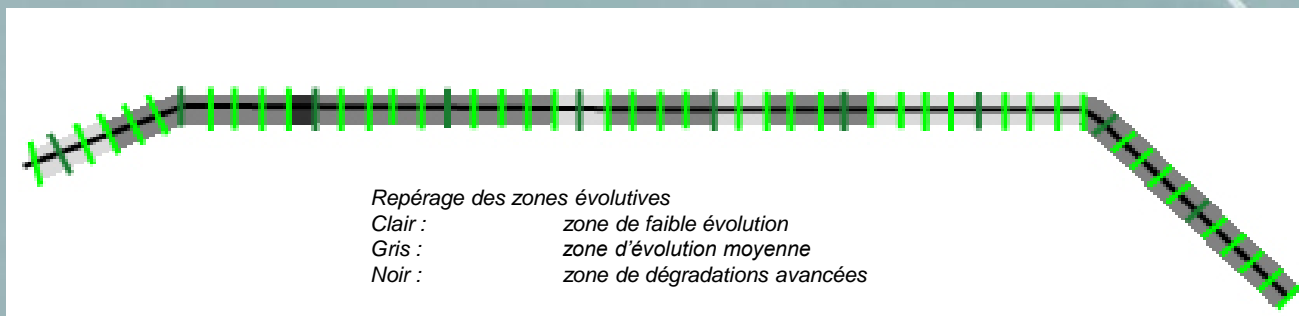


Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

2 - Reproduction en modèle réduit des tronçons les plus représentatifs des désordres constatés et tests dans un canal à houle pour apprécier le comportement de l'ouvrage en fonction des sollicitations des houles.

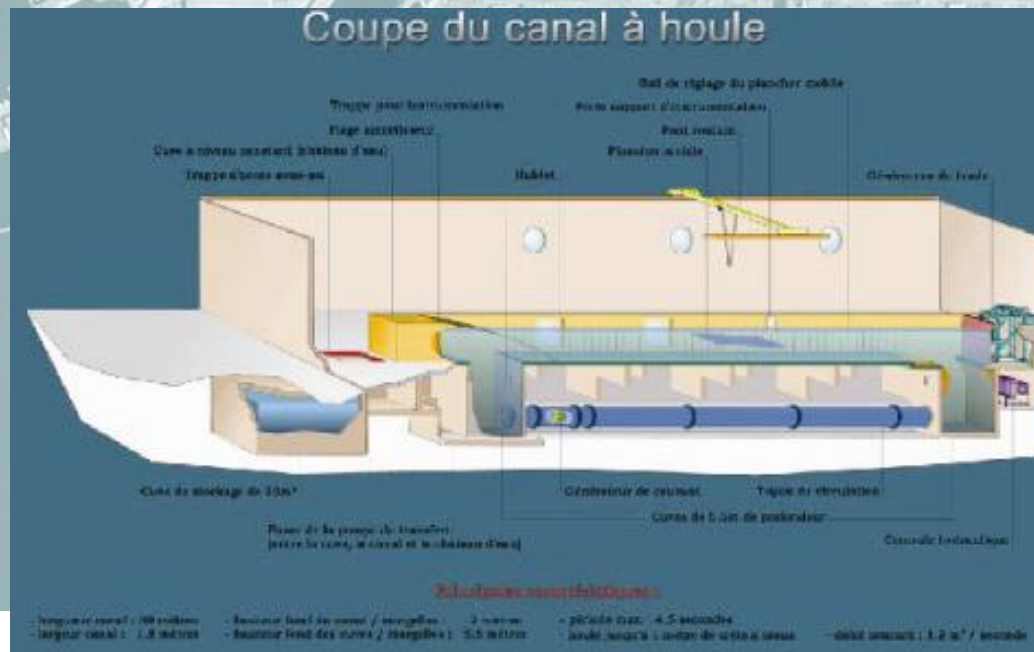


Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large



Test en canal à houle avant et après tempête cinquantennale

Nota : Ces deux premières étapes ont permis de reconstituer le comportement de l'ouvrage en fonction des événements météo survenus depuis 50 ans. Cette étape importante a démontré une bonne stabilité des profils en place. Ceci corrobore la méthode traditionnelle de faible entretien mise en œuvre jusqu'à présent périodiquement sur la digue

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

3 - Proposition de différentes solutions de confortement périodique (avec test).

La solution retenue consiste en un rechargement par des enrochements de 9 à 12 tonnes incluant un reprofilage du talus pour renforcer l'assise des blocs de carapace à 6 mètres sous le niveau de la mer.

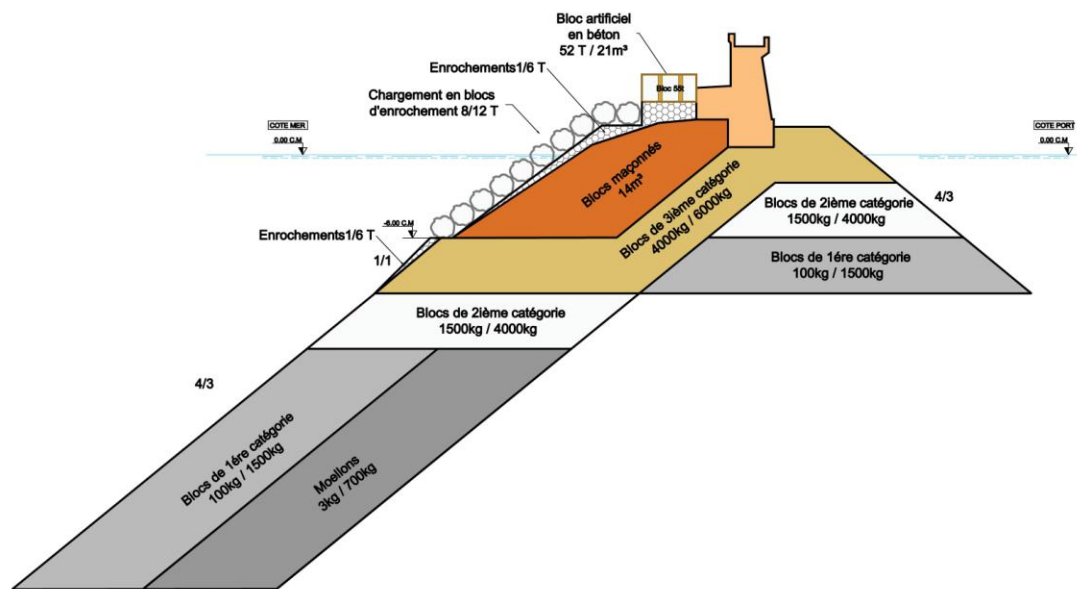
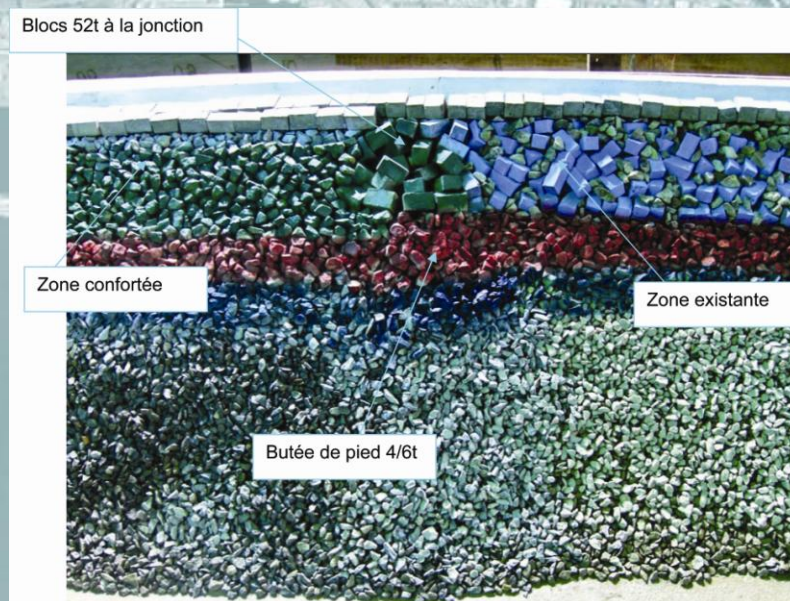


Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

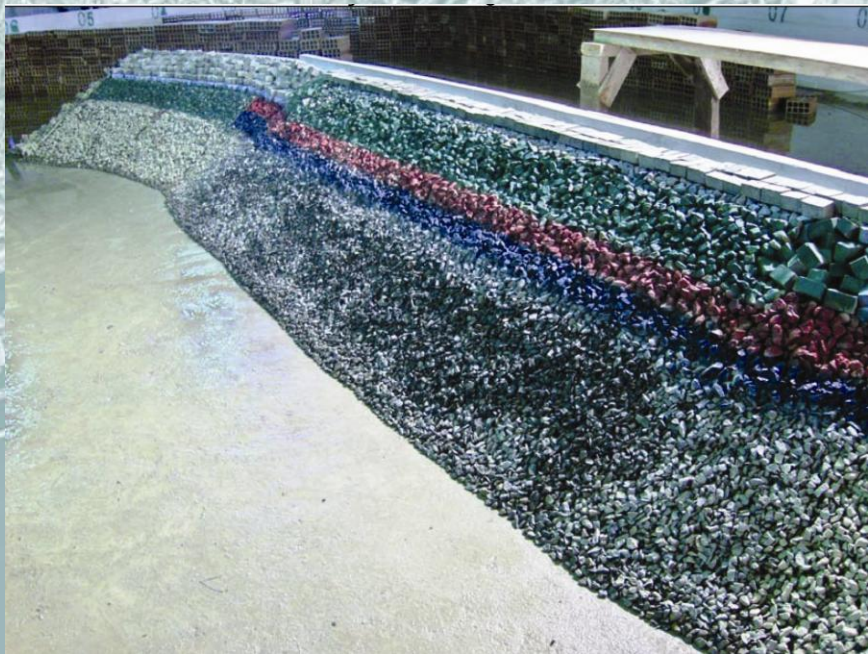
4 - Vérification en canal à houles et en bassin à houles de la tenue à des houles obliques et à des phénomènes de concentration.



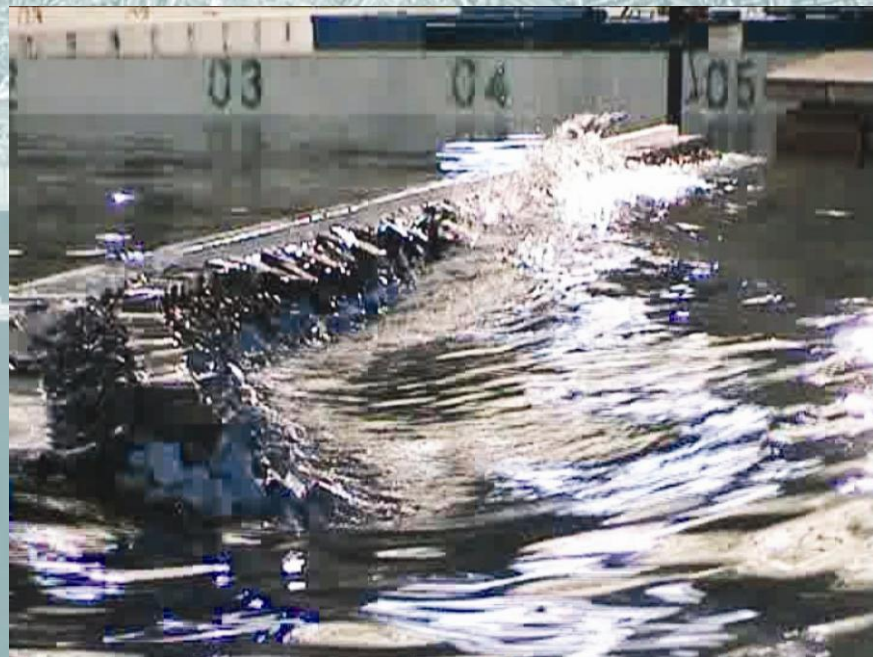
Modélisation à l'échelle 1/60 d'une portion de digue en bassin à houles

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large



Vue d'ensemble du modèle réduit



Simulation de tempête centennale

La solution a été testée avec une très bonne stabilité.

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

REALISATION DES TRAVAUX

Il était une fois une vieille dame qui impressionne...

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

Le port de Marseille a pris la décision de faire réaliser ces travaux de confortement à raison de 300m de digue traités par an en moyenne jusqu'en 2013 (dans un premier temps) pour un coût total de plus de 16 M€.

2 principales difficultés pour la réalisation de ces travaux :

1 – L'approvisionnement en « gros » enrochements 9/12 T

2 – Mise en œuvre des travaux

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

Les exigences du GPMM concernant la fourniture des enrochements caractéristiques générales

- Classe granulaire déterminée conformément à l'article 6 de la NF EN 13383-2 sur la base de 6 échantillons prélevés sur un tas ségrégué
- Concernant la forme par dérogation à l'article 4.3.4 de la NF EN 13383 le rapport longueur/épaisseur doit rester inférieur à 2.
- Les matériaux fournis doivent être anguleux
- Masse volumique minimale de 2.6 t/m³, vérifiée conformément à l'article 8 de la NF EN 13383-2

Classe granulaire	1-3 tonnes	9-12 tonnes
Catégorie	HMA _{1000/3000}	HMA _{8000/12000}
Masse moyenne kg	1700 à 2100	9500 à 10500
Masse kg	Pourcentage (en masse) inférieur à la masse des blocs (%)	
15.000		97 à 100
12.000		70 à 100
8.000		0 à 10
6.000		0 à 5 (fragments)
4.500	97 à 100	
3.000	70 à 100	
1.500		
1.000	0 à 10	
650	0 à 5 (fragments)	

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

Les exigences du GPMM concernant la fourniture des enrochements, fragilité

- Indice de continuité supérieur ou égal à 70, degré de fissuration inférieur ou égal à 20 souhaités par le GPMM. La mesure est réalisée sur un échantillon de 30 pièces de chaque catégorie
- Usure mesurée par essai Micro Deval avec une valeur inférieure à 10 souhaitée

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

Les exigences du GPMM concernant la fourniture des enrochements, fragilité

- Le CCTP prévoit une **campagne d'essai initiale** dont le coût est intégré dans le prix de fourniture des enrochements
 - Porte sur 30 pièces
 - Pour chacune des pièces mesure de l'indice de continuité dans 3 axes
 - Essai de chute de 3 m ou plus sur surface dure ou lit d'enrochements de même nature
 - Etablissement d'une corrélation entre les résultats des essais de chute et les indices de continuité mesurés
 - Eventuelle redéfinition de l'Ic acceptable en fonction des résultats de la corrélation

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

Les exigences du GPMM concernant la fourniture des enrochements, fragilité

- Le CCTP prévoit une campagne **d'essais complémentaires**
 - Dans le cas où la corrélation établie entre l'Ic et les résultats des essais de chute conduit à un rebut de plus de 20% des pièces
 - Augmentation du nombre d'essais de chute pouvant aller jusqu'à 100% des pièces testées
 - Eventualité à intégrer dans le coût par le biais d'un prix spécifique au BPUF (rémunération à la tonne d'enrochements testés et acceptés)

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

1 –L’approvisionnement en « gros » enrochements 9/12 T

- Spécifications exigées par le port (dureté, résistance aux chocs, etc.). Ces spécifications ont conduit les carriers à effectuer des tests de résistance à la chute pour 100 % des enrochements fournis !
- Taille des enrochements : taille non conventionnelle d’où nécessité d’affiner voire d’explorer les techniques de tirs en carrière
- Quantité à fournir : par bande de 100m traitée, 6 000 T d’enrochements 9/12 T (environ 600 pièces)
- Recours à un marché à bons de commande multi-attributaires

Le contrôle de la qualité des enrochements s’effectue de la manière suivante :

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

- La carrière trie les enrochements correspondant à la blocométrie désirée



Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

- Toutes les pièces triées sont testées à la chute



Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

- les pièces « rescapées » sont numérotées pour livraison au port
- Le transport est effectué par porte-char à raison de 3 pièces par voyage



Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

2 – Mise en œuvre des travaux

- Tolérances d'exécution fixées par le port de Marseille
- Nécessité d'avoir des moyens de levage par voie maritime de capacité très importante (blocs béton de 52 T à manutentionner avec une portée de 25 à 40 m)
- Atelier maritime pour la dépose des blocs béton 52T très dépendant des conditions de houles
- Accès à la zone de travaux pour les moyens terrestres : derrière le mur abri d'une hauteur de plus de 6m.
Innovation pour le système de levage (télécommande)

La réalisation et le contrôle d'exécution s'effectuent de la manière suivante

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

-Le port effectue un relevé bathymétrique initial de la zone de travaux (100m) par sondeur multifaisceaux.

De ce relevé sont extraits des « profils » de la digue tous les 2 m.

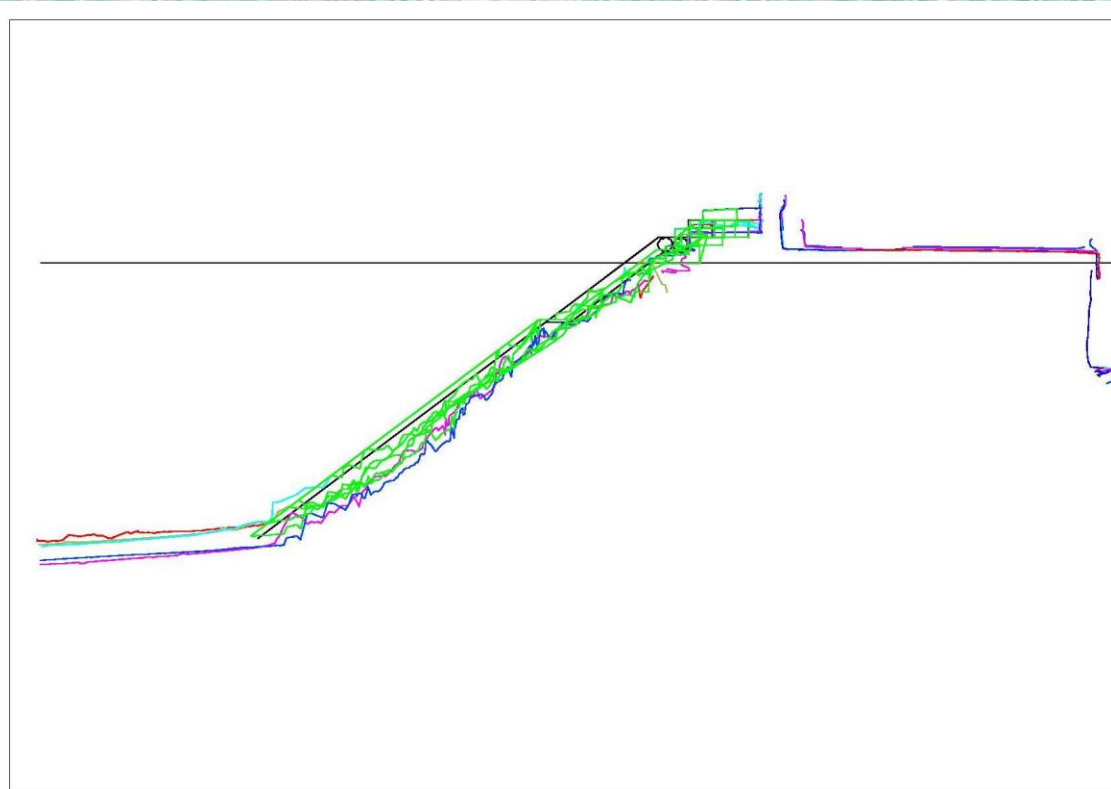


Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

-L'entreprise et le port positionnent le « profil théorique » à obtenir avec la pose des enrochements 9/12T et la remise en place des blocs béton 52T

Cette étape permet entre autre d'estimer les volumes et donc les tonnages d'enrochements à approvisionner.

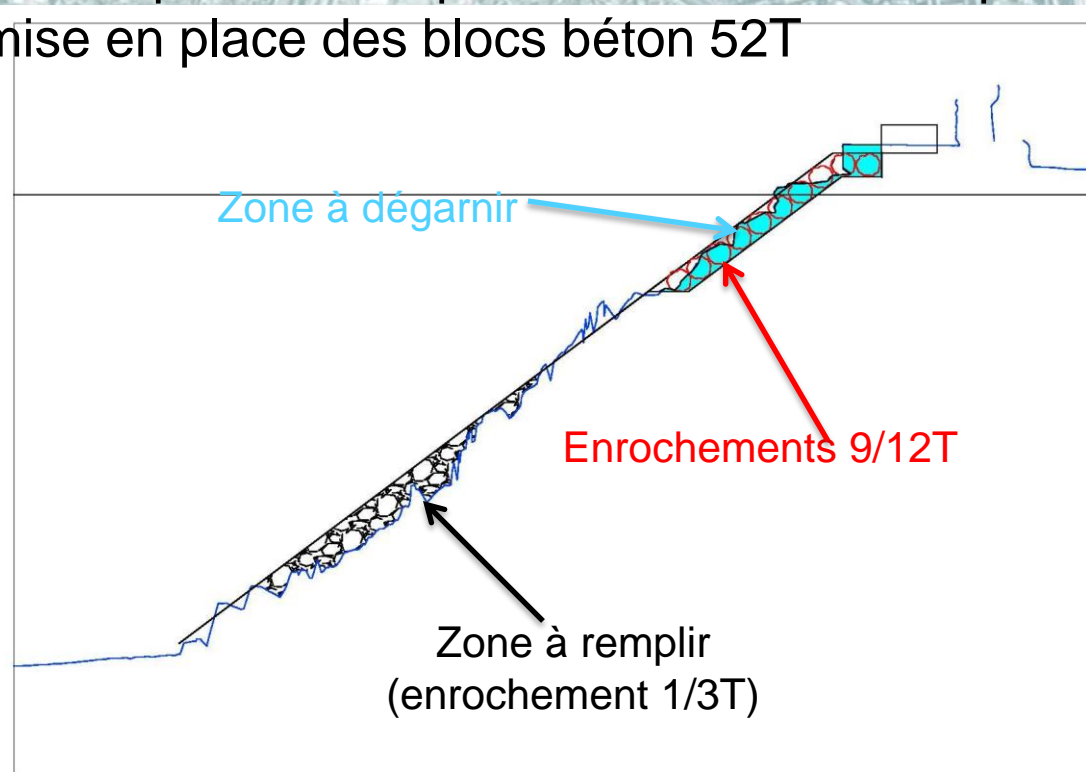


Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

Tolérances d'exécution fixées par le GPMM

Nature des travaux		Tolérance profil		Epaisseur/ nombre	Tolérance sur les vides/position
		pente	Profil enveloppe		
Réalisation sous-couche d'enrochement 1/6 t	Réglage de la pente jusqu'à -6m	4/3 à 3/2	+/- 0.2 m	Sans objet	Sans objet
	Réglage de la risberme -6m	Sans objet	+/- 0.2 m	Sans objet	Sans objet
	Réglages berme haut du talus	Sans objet	+/- 0.2 m	Sans objet	Sans objet
	Réglage de la pente en dessous de - 6m	4/3 à 3/2	+/- 0.5 m	Sans objet	Sans objet
Réalisation couche d'enrochement 9/12t	pente	4/3 à 3/2	+/- 0.4 m	1 couche	0.5 m ² maximum
	Partie supérieure plane	Sans objet	+/- 0.4 m	2 enrochements	0.5 m ² maximum
Pose blocs artificiels 21m ³ /52t		Sans objet	Sans objet	1 bloc	+ 5° maximum d'inclinaison/ horizontale, + 30cm maxi entre blocs

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

- L'entreprise réalise les travaux avec le phasage suivant

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

1 - Dépose des blocs béton 52T. Matériel utilisé : ponton bigue 200T



Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

1 - Dépose des blocs béton 52T. Matériel utilisé : ponton bigue 200T



Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

1Bis – Evacuation par voie terrestre vers zone de stockage des blocs béton 52 tonnes en surplus



Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

1Bis – Evacuation par voie terrestre vers zone de stockage des blocs béton 52 tonnes en surplus



Les blocs en surplus sont évacués vers une zone de stockage pour être réutilisés par ailleurs

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

2 – Remaniement enrochement 1/3T jusqu'à -6m.
Matériel utilisé : grue terrestre à télécommande

Les enrochements en surplus sont déposés dans les creux en pied de digue

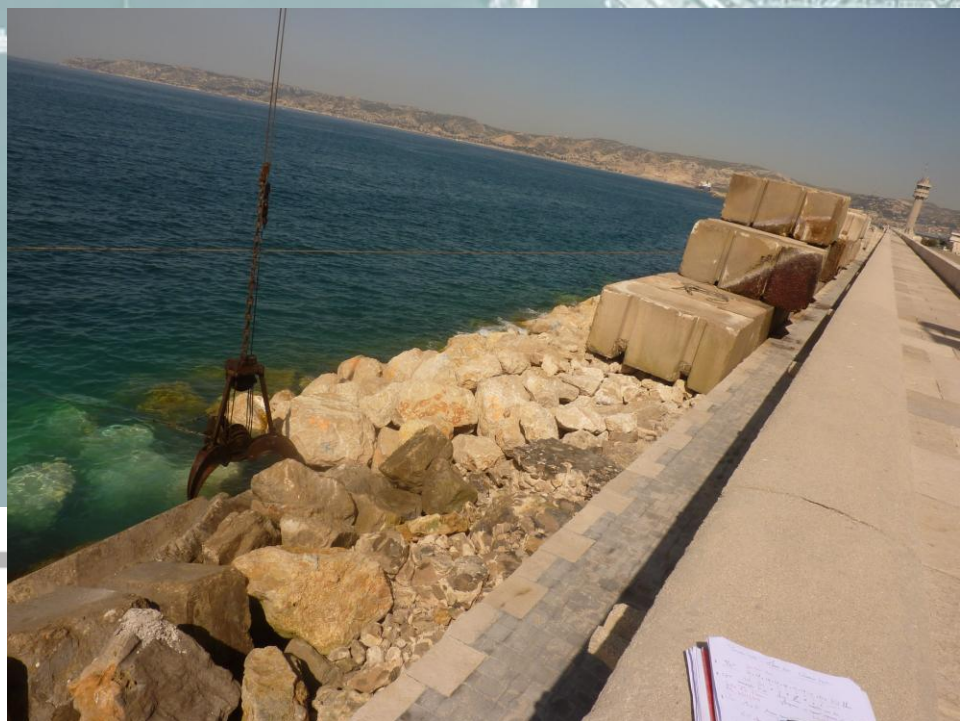


Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

3 – Pose de la carapace d'enrochement 9/12T jusqu'à -6m.
Matériel utilisé : grue terrestre télécommandée

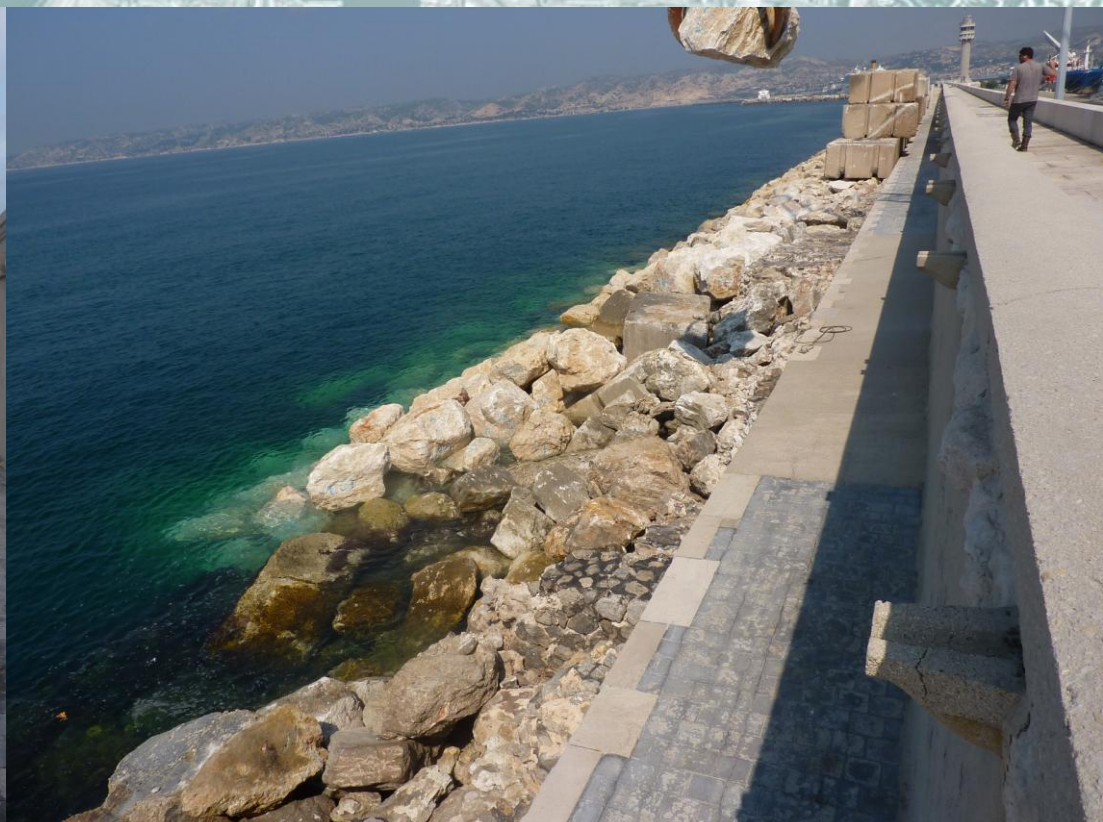
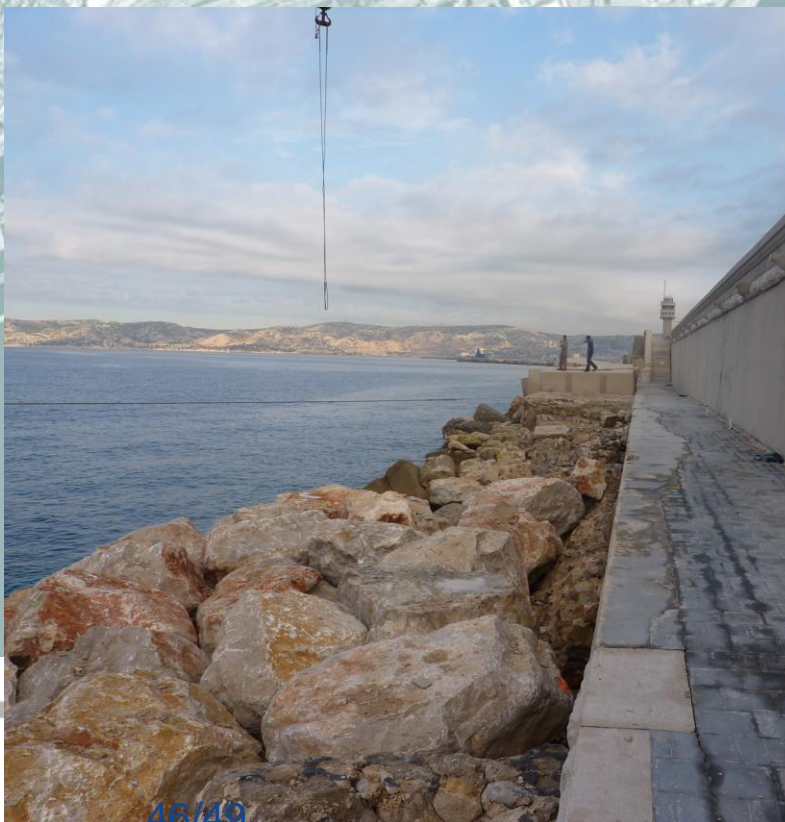


Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

4 – Contrôle par bathymétrie des profils obtenus.

Reprise éventuelle, calcul des quantités facturables :

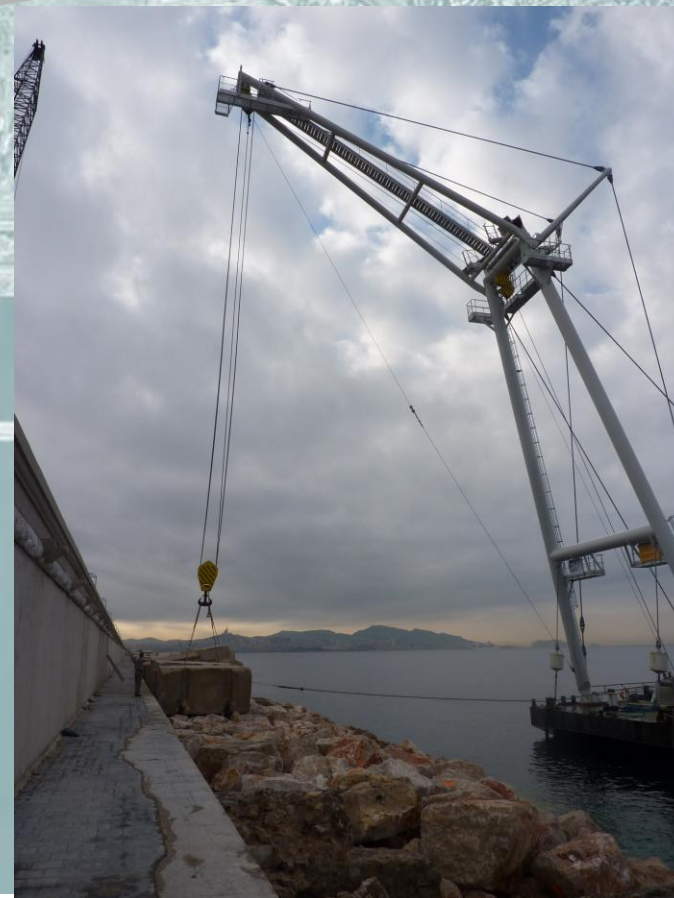
- Volume des 1/6 tonnes déplacées (nécessite un levé intermédiaire par l'entreprise avant mise en place des 9-12 tonnes)
- Masse de 1/3 tonnes et 9/12 tonnes d'apport mis en place
- Facturation à l'unité pour les blocs en béton de 52 tonnes.

Contrôle visuel par reportage photo plongeurs (repérage des « trous » dans la carapace d'enrochement 9/12T)

Table ronde enrochements - Aix 2013

Confortement de la digue du large

5 – Repose d'une rangée de blocs béton 52T.
Matériel utilisé : ponton/bigue 200T



Merci de votre attention

