

Ports maritimes : schéma de principe

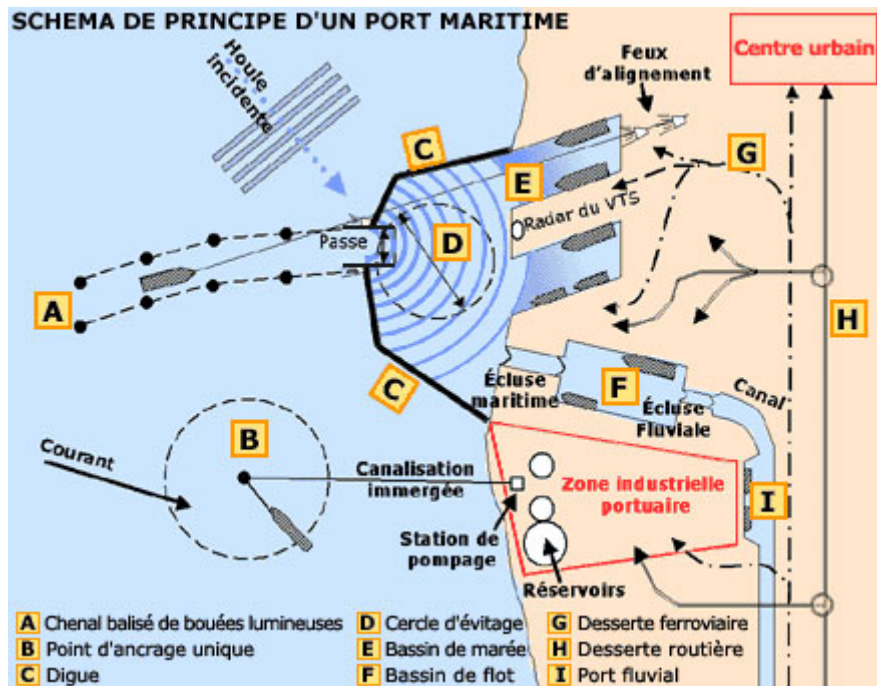


Schéma de principe d'un port maritime

Schéma de principe d'un port maritime

- Pour entrer dans le port, ou en sortir, le navire emprunte un **chenal balisé (A)**, aidé dans sa circulation par le radar du VTS (Visual Traffic System) et par les feux d'alignement.
- **L'avant-port (D)** est protégé de la houle par des **digues (C)**. Le navire peut y effectuer des manœuvres "d'évitage" (c'est à-dire tourner sur lui-même de 180°), de façon à pouvoir être amarré à son poste d'opérations cap vers la sortie (ce qui facilite grandement l'abandon du poste en cas de nécessité).
- **Les postes d'accostage** (conçus sous forme de quais, d'appontements ou de **ducs d'Albe**) sont établis en bordure :
 - * **de bassins de marée (E)** en liaison directe avec l'avant-port
 - * **ou de bassins à flot (F)** reliés à l'avant-port par une écluse maritimeLes postes sont desservis par des voies de transport intérieures (routes, rails, voies navigables (G, H, I) et équipés de terre-pleins permettant le stockage des cargaisons.

Lorsque l'agitation due à la houle n'est pas trop forte, les navires transportant des cargaisons liquides ou en vrac peuvent être reçus à des **postes non protégés (B)**. Ils chargent ou déchargent leur cargaison par des tuyaux flexibles reliés à un **point d'ancrage (B)** constitué d'une bouée ancrée sur le fond par des chaînes. La liaison entre ce point et les installations de stockage établis à terre s'effectue par des canalisations fixes posées sur le fond marin.

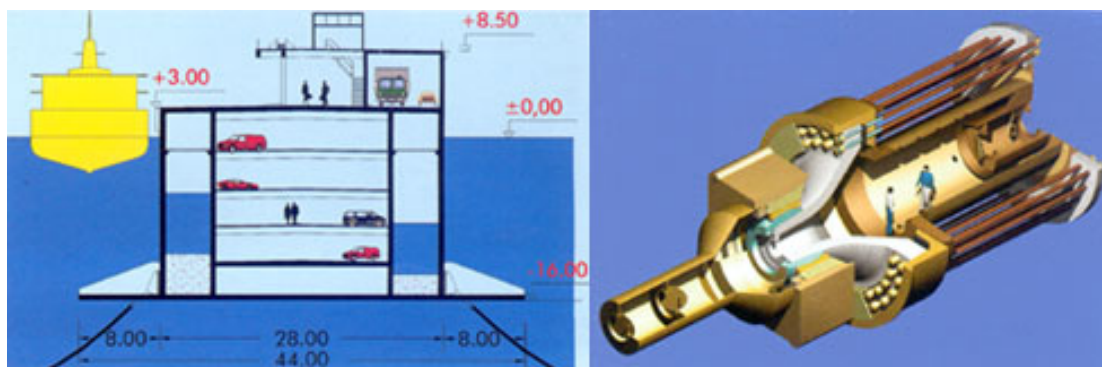
Ports maritimes : le port de Monaco (Exemple)



Un ouvrage innovant au port de Monaco

Un ouvrage tout à fait original, a été réalisé pour l'extension du port de la Condamine à Monaco.

Il consiste en un caisson flottant en **béton précontraint** de 200m de long, avec un tirant d'eau d'une quinzaine de mètres, fixé au rivage par une rotule métallique et maintenu à son extrémité extérieure par des chaînes et des ancres sur les fonds marins.



A gauche : coupe transversale de la digue. Notez les chaînes d'ancrage ainsi que les ballasts solides et liquides dans les cellules à gauche et à droite de par et d'autre du parking

A droite : représentation de la rotule

Ports maritimes : digues de la Condamine

Digue de l'extension du port de la Condamine à Monaco



construction de la digue à Algésiras



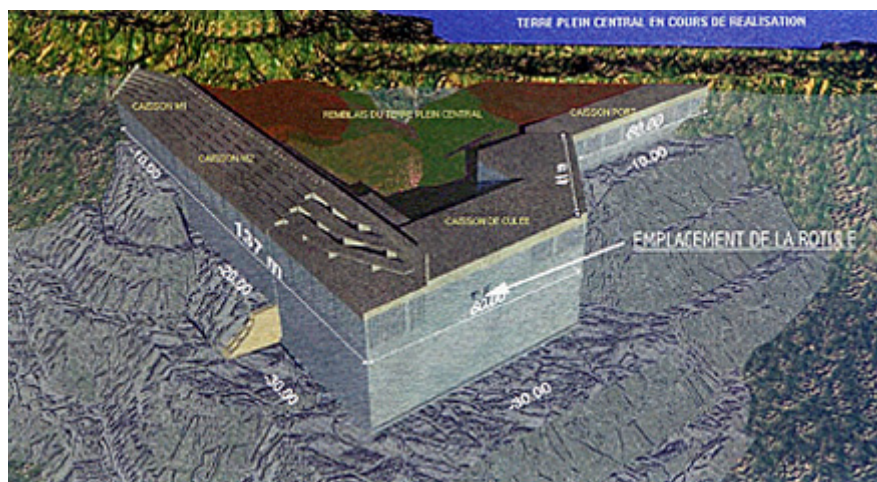
mise en place de la digue

Long de 352 m et large de 28, pesant 160 000 tonnes, le caisson en béton armé a été construit dans une cale sèche réalisée à cette fin à Algésiras en Espagne en 2002-2003.

Il a été amené à Monaco par remorquage le long des côtes espagnoles et françaises. L'opération a duré une quinzaine de jours pendant le mois d'août, les tempêtes en Méditerranée étant rares en été.

La rotule métallique qui assure sa fixation coté terre (sur un massif constitué par des caissons en béton assis sur le fond) a un diamètre supérieur à 3 m et son poids est de 770 tonnes.

L'ancrage qui assure la fixation de l'ouvrage à son extrémité de la passe est constitué de lourdes chaînes en acier fixées à cinq pieux métalliques battus dans le sol côté large et à trois pieux côté port. L'ensemble des chaînes représente une longueur de 3 700 m (diamètre 95 et 152 mm) et un poids de 900 tonnes.



Le massif auquel va s'ancrer la digue par l'intermédiaire de la rotule

Ports maritimes : ouvrages d'accostage et d'amarrage (Généralités)



A gauche : Port de Marseille, déchargement d'un wagon au moyen d'une digue flottante.

A droite : un appontement au port de Sète

Généralités sur les ouvrages d'accostage et d'amarrage

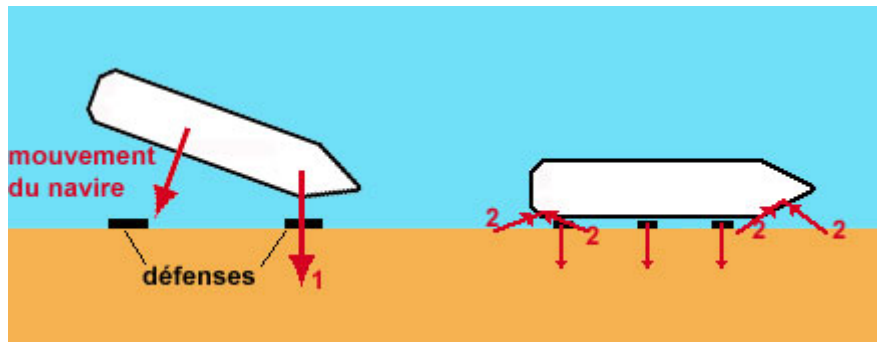
Pendant leurs escales, les navires doivent pouvoir stationner en toute sécurité dans le port, à l'abri de l'agitation de la houle :

- ils peuvent être simplement "mouillés" sur leurs ancres ou sur des coffres d'amarrage. S'ils doivent transborder leurs cargaisons, la manutention est faite au moyen de leurs engins de bord ou par des grues flottantes. Les marchandises sont déposées ou enlevées sur des engins également flottants qui assurent la liaison avec les infrastructures terrestres.
- Ils sont de préférence accostés et amarrés à leur poste d'opération, ce qui permet de prendre ou de déposer les cargaisons directement à terre, sans nécessiter un transbordement par un moyen flottant.

Les ouvrages d'accostage et d'amarrage sont :

- les **quais**, qui outre l'amarrage et l'accostage des navires, assurent une liaison directe entre le navire et les infrastructures terrestres du port.
- les **appontements** qui sont des ouvrages permettant l'accueil et le stationnement des navires mais n'assurant pas une liaison directe avec les parties terrestres (où se trouvent les installations de stockage des cargaisons). Ils peuvent cependant servir à l'approche ou au dépôt de la marchandise.
- les **ducs d'Albe** qui sont des ouvrages ponctuels permettant l'accostage et/ou l'amarrage des navires. Ils ne disposent pas de plate-forme sur laquelle peuvent être déposées les marchandises ou être installés des engins de manutention

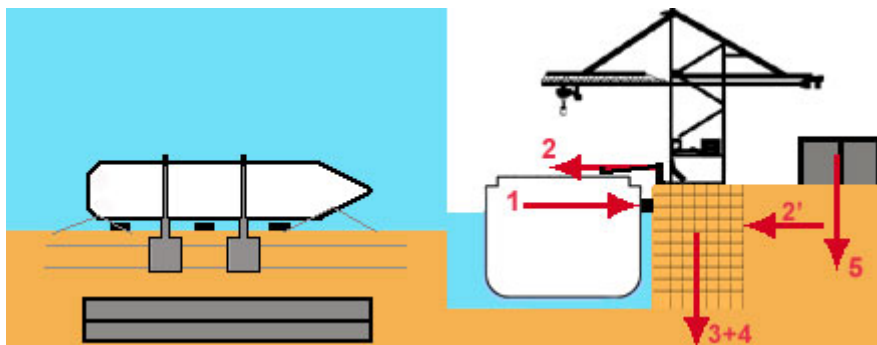
Ports maritimes : principes de conception des ouvrages d'accostage et d'amarrage



A l'accostage, le navire dérive avec une vitesse de 10 à 15 cm/sec. Compte tenu de sa masse importante, il impose à l'ouvrage un effort horizontal (1) qui peut dépasser la centaine de tonnes.

Une défense déformable permet d'absorber une partie de l'énergie d'accostage. Sous l'effet du vent et des courants éventuels, l'effort d'amarrage (2) peut atteindre la centaine de tonnes.

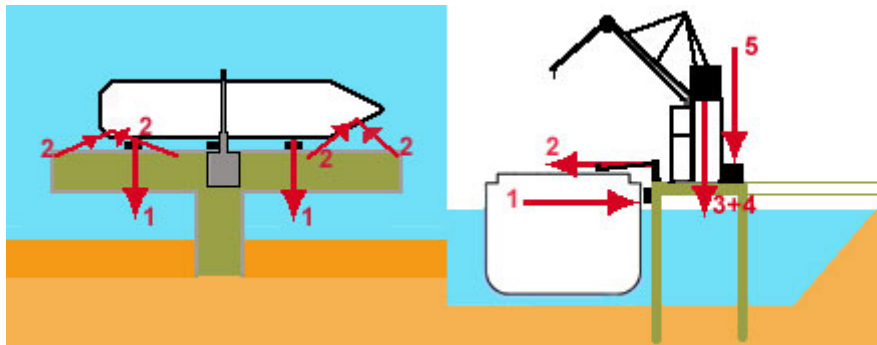
Quai



L'ouvrage assure une liaison directe entre le navire et la terre. Il doit résister :

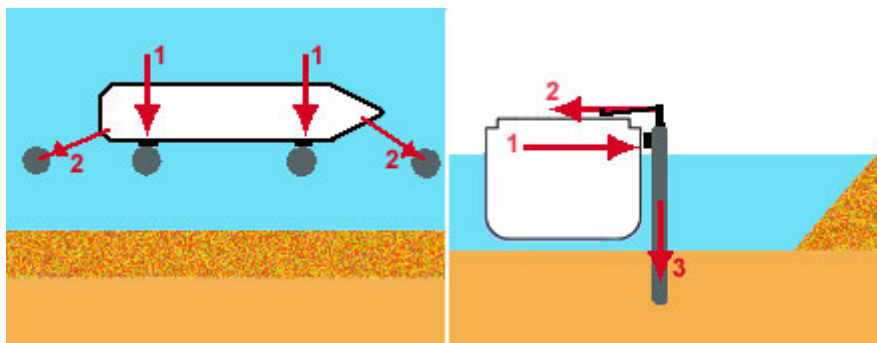
- aux efforts horizontaux d'accostage (1) et d'amarrage (2) et à la poussée des remblais (2')
- aux efforts verticaux
 - de son poids propre (3)
 - des engins de manutention (4)
 - des charges sur le terre-plein (5)

Appontement



L'ouvrage n'assure pas une liaison directe entre le navire et la terre. Il doit résister :

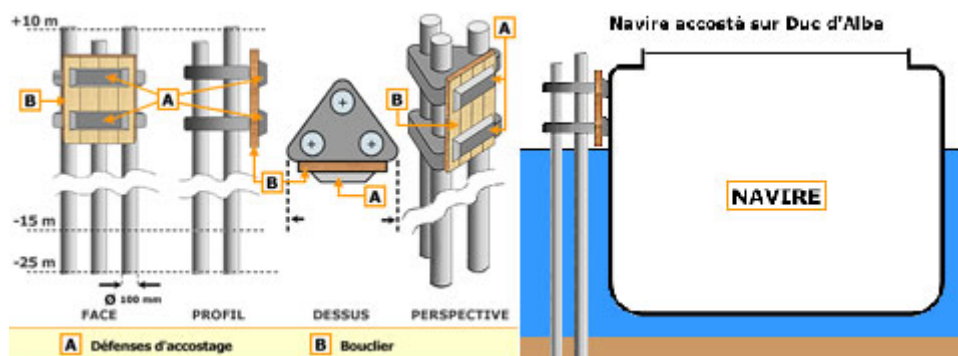
- aux efforts horizontaux d'accostage (1) d'amarrage (2) mais n'a pas à retenir des remblais
- aux efforts verticaux
 - de son poids propre et de celui des engins de manutention (3+4)
 - des éventuelles cargaisons déposées (5)



L'ouvrage ne sert qu' à l'accostage et/ou l'amarrage du navire. Il doit résister

- aux efforts horizontaux d'accostage (1) et d'amarrage (2)
- aux efforts verticaux dus à son seul poids propre (3).

Ports maritimes : ducs d'Albe



Schémas d'un "duc d'Albe" en tubes métalliques

Les "ducs d'Albe" utilisés comme ouvrages d'accostage

Autrefois constitué par des faisceaux de pieux en bois, les ducs d'Albe sont aujourd'hui réalisés au moyen de tubes métalliques ou de caissons en palplanches soudées entre elles, battus verticalement dans le sol.

Ils résistent aux efforts d'accostage par leur flexion offrant une résistance croissant de façon pratiquement proportionnelle à leur déplacement horizontal en tête des tubes. Des défenses placées sur un bouclier sur lequel s'appuie la coque du navire contribuent également à l'absorption de l'énergie d'accostage.

La butée du sol sur la partie enterrée des tubes métalliques équilibre l'effort horizontal imposé à leur tête.

Afin d'économiser la quantité d'acier, les tubes ont une épaisseur variable calculée de telle manière que les contraintes de flexion soient sensiblement les mêmes sur toute la hauteur de l'ouvrage.

Ces ouvrages sont indiqués quand le sol de fondation a des caractéristiques permettant le battage des tubes (sable ou argile).

Quand les fonds sont rocheux, les ducs d'Albe sont alors réalisés sous forme d'ouvrage massif (caissons en béton armé).

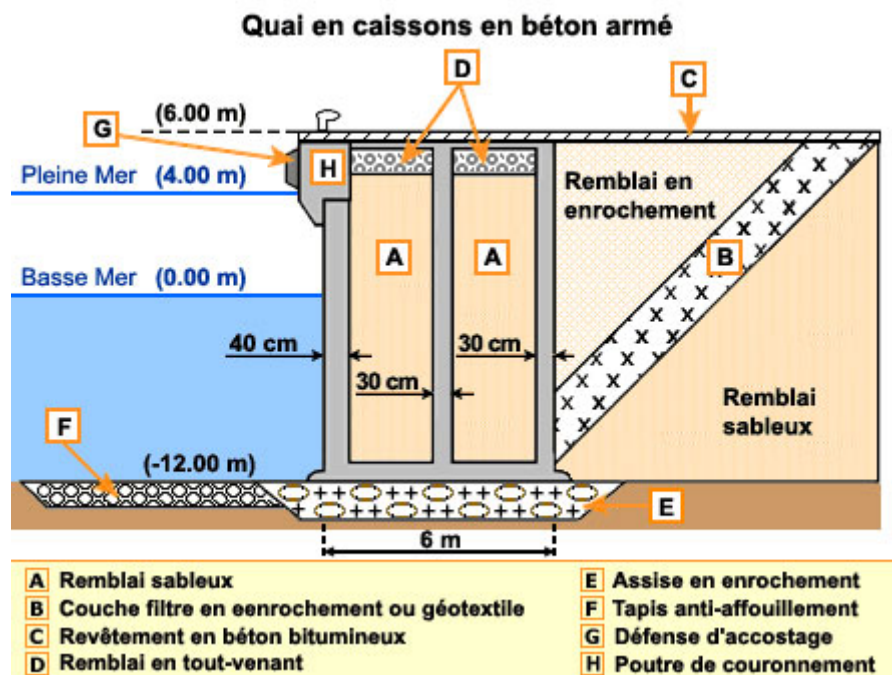
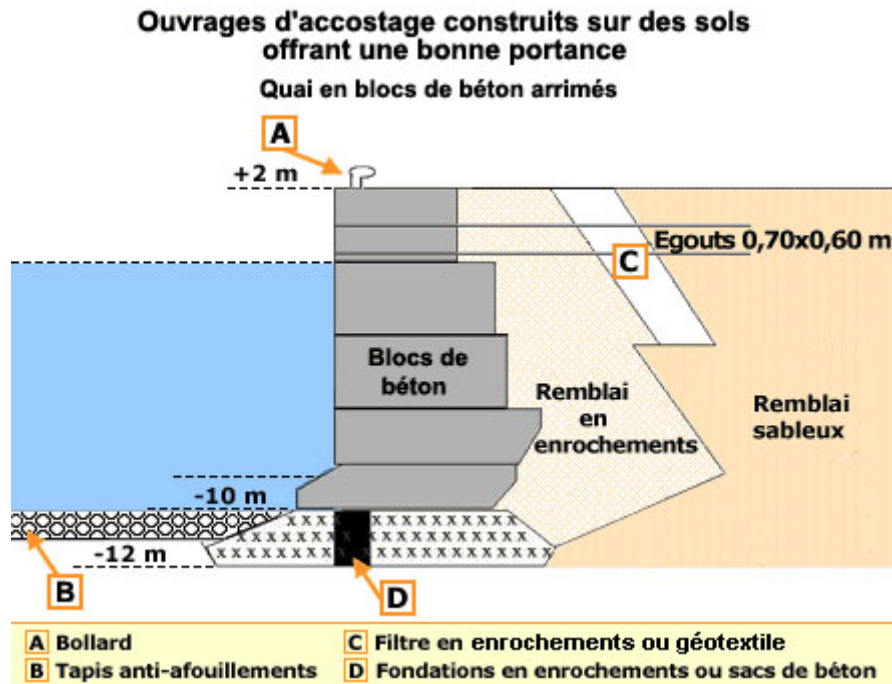
Ils doivent, dans ce cas, être équipés de défenses suffisantes pour limiter à des valeurs admissibles les efforts d'accostage imposés à l'ouvrage ou à la coque du navire.

L'origine du nom "duc d'Albe" (ou souvent "dolphin" dans les ports anglo-saxons) est issu du titre de "l'inventeur" des anciens ouvrages en bois qui était un prince hollandais portant le titre de "Duc d'Albe"

Ports maritimes : ouvrages d'accostage sur sol de bonne portance

Ouvrages d'accostage sur sol de bonne portance

Lorsque le sol de fondation offre une bonne résistance (sols rocheux, galets, sable compact), les quais sont réalisés sous forme d'ouvrages massifs capables de résister aux efforts horizontaux (vers la terre, causés par l'accostage des navires et vers le bassin, provoqués par la poussée des remblais et l'amarrage des navires) et aux efforts verticaux dus à leur poids propre.



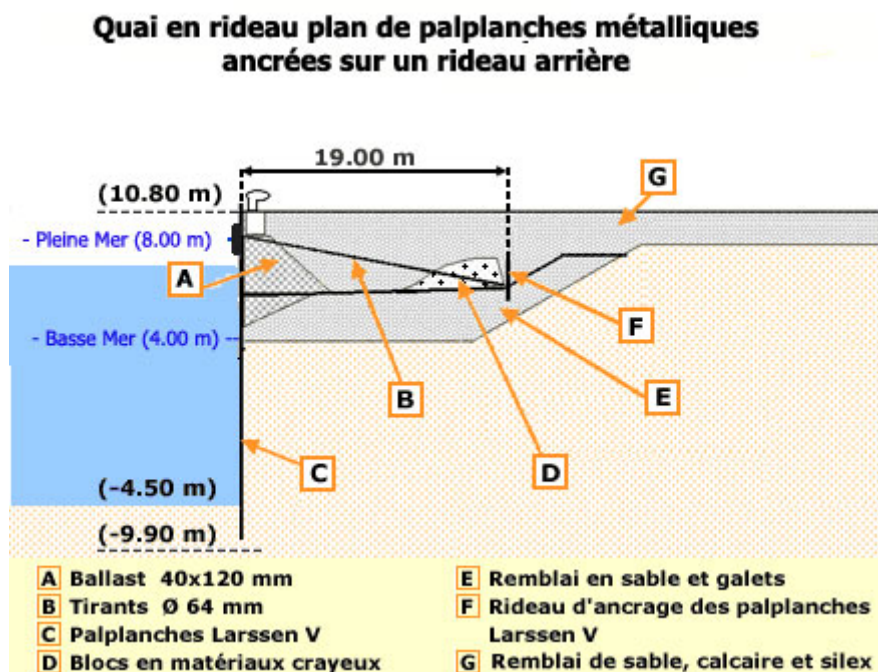
Afin de réduire l'importance des poussées, les remblais mis en place contre la face arrière des ouvrages sont constitués par des enrochements (en général 2/50 kg). Pour réduire les efforts horizontaux causés par l'accostage du navire, les quais sont équipés de défenses.

Un filtre en enrochements ou en géotextile est placé sur le remblai sableux pour empêcher l'entraînement des éléments fins vers le bassin sous l'effet des variations du niveau d'eau à l'intérieur du remblai.

Un tapis en enrochement doit être réalisé au pied du quai, côté bassin, quand le sol de fondation (par exemple fond sableux) risque d'être **affouillé** par les mouvements de l'eau provoqués par les hélices du navire lors des manœuvres.

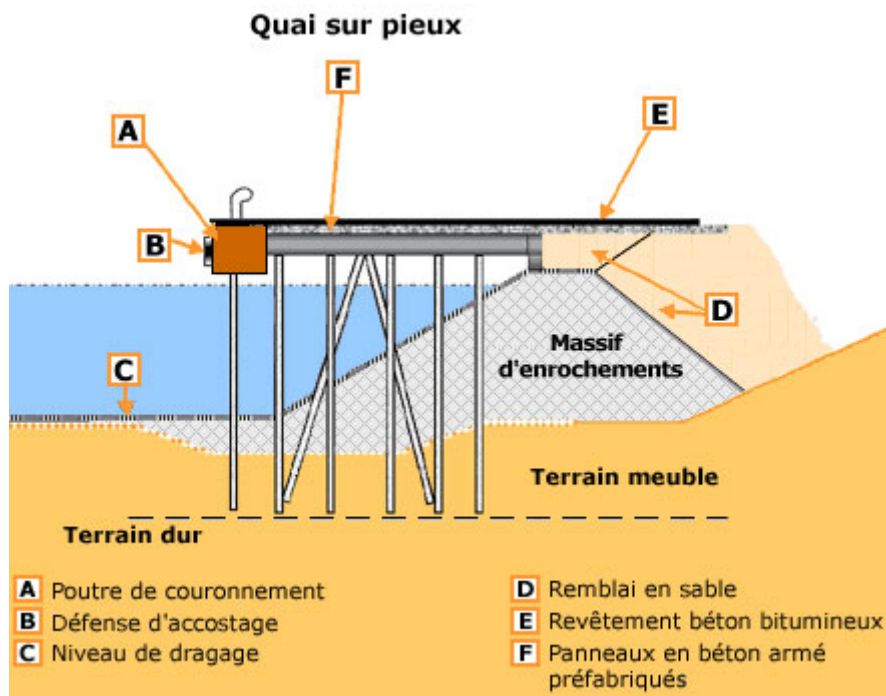
Ports maritimes : ouvrages d'accostage sur sol de faible portance

Ouvrages d'accostage sur sol de faible portance Quai en rideau de palplanches



Les quais constitués par une paroi moulée en béton ou par un rideau de **palplanches** métalliques ancré sur un rideau arrière, sont utilisés lorsque le terrain naturel offre une portance insuffisante pour supporter un ouvrage massif, mais possède des caractéristiques géotechniques permettant d'offrir une butée au pied du rideau (côté bassin) capable d'équilibrer la poussée du remblai. C'est le cas des sols sableux, de marnes ou d'argiles suffisamment compactes.

Ouvrages sur piles ou sur pieux



Les quais constitués par une plate-forme en béton armé supportée par des pieux (ou piles) en béton ou en acier, sont utilisés quand le terrain naturel est constitué d'une couche de mauvaise qualité sous laquelle existe une couche de terrain de portance suffisante à une profondeur pas trop importante. Des pieux inclinés et la butée offerte par la partie supérieure du remblai permettent de mobiliser une force horizontale suffisante pour équilibrer l'effort engendré par l'accostage et l'amarrage des navires.

Quai mixte

Le quai "danois" est constitué d'un rideau de palplanches et d'une plate-forme en béton armé fondée sur des pieux en béton ou en acier. La résistance aux efforts d'accostage est assurée par la poussée du remblai contre le rideau et, éventuellement, par la réaction horizontale de pieux inclinés. Les efforts verticaux sont équilibrés par les réactions verticales des pieux qui supportent la plate-forme et, éventuellement, des tubes métalliques insérés dans le rideau de palplanches. Ces quais sont indiqués quand le sol de fondation est de qualité moyenne et qu'il existe une couche de terrain de bonne résistance à une profondeur raisonnable.

Ports maritimes : Généralités sur les digues



Tétrapodes et acropodes

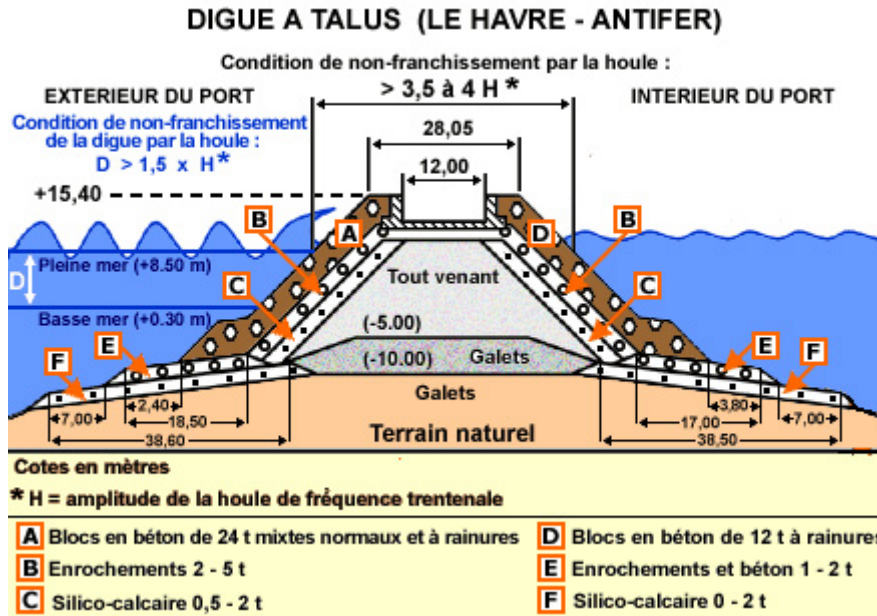
Les digues protègent les ports contre les assauts des houles du large et permettent (par réfraction / diffraction de la houle incidente) de réduire l'agitation intérieure à moins d'un mètre d'amplitude. Elles doivent être construites par des profondeurs plus importantes qu'autrefois (jusqu'à une cinquantaine de mètres) et doivent résister à des vagues dont l'amplitude peut dépasser la dizaine de mètres - d'autant plus grande que la profondeur au pied de l'ouvrage est plus importante.

Les grandes digues modernes sont, en général, du type "à talus", constituées par des couches d'enrochements de poids croissant depuis l'intérieur vers les faces externes, elles comportent une carapace contre laquelle vient se briser la houle et sont surmontées par un couronnement massif en béton de ciment.

Cette carapace est faite d'enrochements naturels de poids élevé (plus de 5 tonnes) et plus généralement, lorsque les ouvrages sont exposés à de fortes houles, de blocs artificiels de béton (cubiques ou de forme plus compliquée) pesant jusqu'à 25 et même parfois plus de 30 tonnes : les " **tétrapodes**" ou "acropodes" (brevet français Sogreah) offrent le double avantage d'accroître la rugosité de la face extérieure (ce qui permet d'absorber l'énergie libérée par le déferlement de la houle) et d'assurer un enchevêtrement des blocs qui assure leur bonne tenue.

Afin de réduire le volume des matériaux utilisés, la partie supérieure de certaines digues de type mixte est constituée de caissons en béton armé, dont la conception (avec orifices sur la face extérieure et compartimentage intérieur) permet une bonne absorption de l'énergie de la houle (par exemple brevet Jarlan).

Ports maritimes : digues à talus



Digues à talus

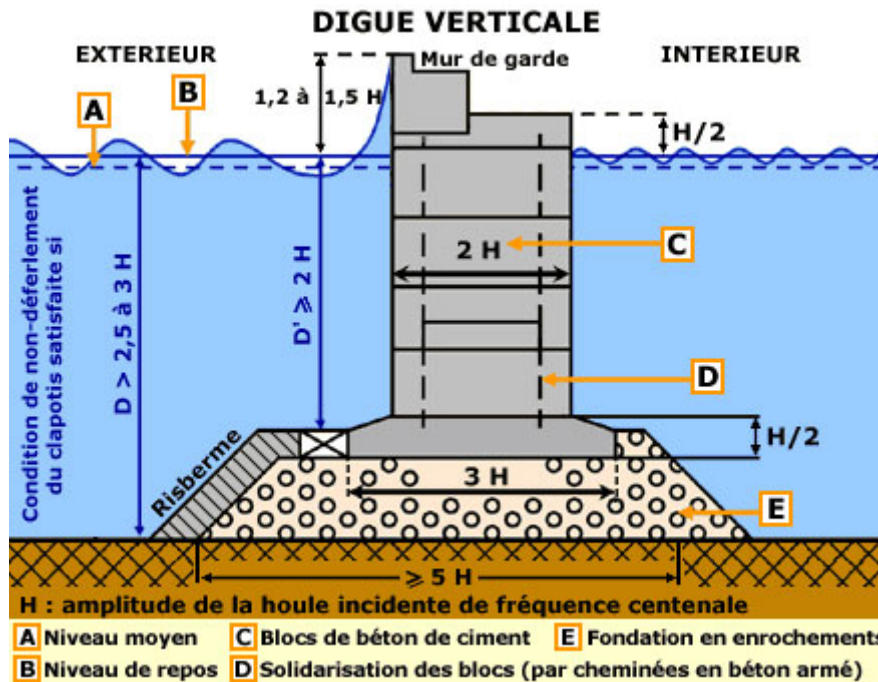
La houle incidente vient se briser sur la carapace constituée par des enrochements naturels ou (le plus souvent) par des blocs artificiels en béton de poids très élevé (jusqu'à 50 tonnes).

La hauteur de cette carapace doit être suffisante pour éviter le franchissement de l'ouvrage par les vagues déferlantes, ce qui réduirait l'efficacité de la protection des plans d'eau intérieurs.

Les dimensions de la digue sont donc déterminées en fonction des caractéristiques (essentiellement l'amplitude de la houle) de la plus forte tempête se produisant en moyenne une fois tous les trente ans. Si une plus forte tempête se produit, l'ouvrage peut être plus ou moins endommagé mais ne serait pas entièrement détruit et pourrait être remis en état avant la tempête suivante.

Ce genre d'ouvrage peut être utilisé tant que la profondeur n'excède pas 50 m. ; au delà, les consommations en matériaux sont excessives sur un plan économique.

Ports maritimes : digues verticales



Digues verticales

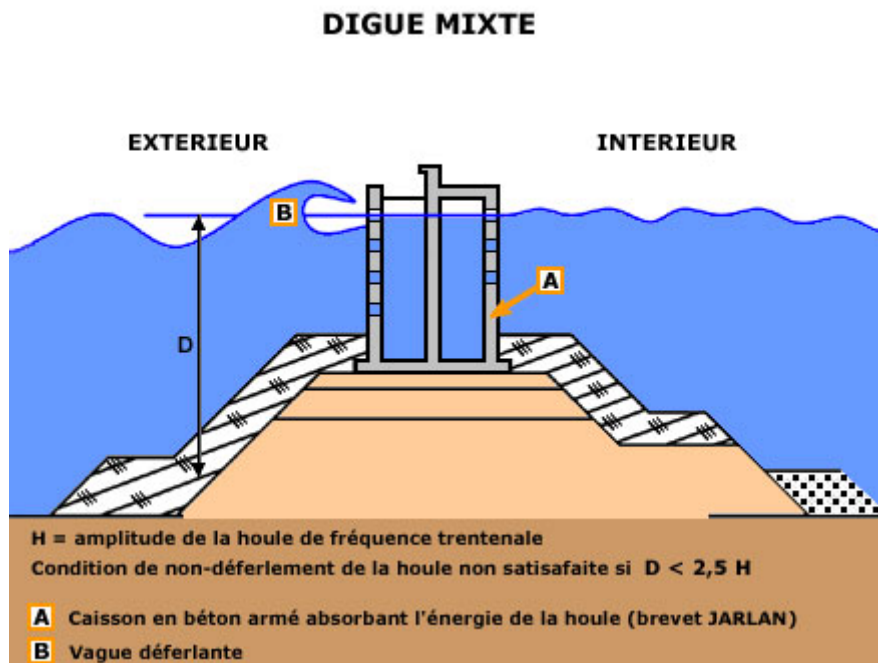
La muraille est constituée par les blocs ou des caissons en béton armé qui résistent, par leur poids propre, aux efforts imposés par la houle : ils doivent donc être de grandes dimensions pour être suffisamment lourds. Lorsque la muraille est constituée par des blocs empilés les uns sur les autres, ces derniers ont un poids pouvant atteindre la centaine de tonnes, cette limite étant imposée par les performances des engins de manutention utilisés pour les mettre en place.

La **réflexion de la houle** sur les parois verticales en double l'amplitude, imposant ainsi de porter, à un niveau suffisamment élevé la crête du couronnement afin d'empêcher son franchissement.

Les digues verticales sont calculées pour la hauteur de la plus haute vague constatée au cours de 100 ans.

Encore faut-il que la houle ne déferle pas contre la muraille, faute de quoi, l'effort à prendre en compte est nettement plus élevé : la condition de non-déferlement est que la profondeur au pied de la muraille soit 2 fois l'amplitude de cette vague centennale et la profondeur totale au pied de l'assise soit de 2,5 à 3 fois cette amplitude. (soit une hauteur d'au moins 25 mètres pour des vagues de 10 m.)

Ports maritimes : digues mixtes



Digues mixtes

Lorsque les profondeurs sont importantes, la digue est souvent de type mixte : la partie inférieure est constituée sous forme d'un ouvrage à talus, surmonté par un ouvrage de type vertical. Les dimensions et la structure de l'ouvrage vertical doivent être suffisantes pour résister aux efforts des vagues déferlantes.

Des procédés utilisant des caissons en béton, dont la paroi extérieure est perforée, permettent une meilleure absorption du choc des lames qu'une paroi pleine (Brevet JARLAND).

La consommation en enrochements naturels est moindre que pour un ouvrage à talus de même hauteur, la consommation de béton est également moindre que pour un ouvrage de type vertical de hauteur suffisante pour éviter le déferlement.

Les houles retenues pour le dimensionnement du projet doivent cependant avoir une fréquence d'apparition cinquantennale (plutôt que trentennale).