



Daniel POULAIN – UR REBX

Mécanismes de dégradation des digues de protection maritimes



Journée technique CFGI – CFMS - CFMR – 27 janvier 2011, Paris

Auteurs de la communication : Rémy Tourment, Daniel Poulain, Paul Royet, Patrice Mériaux

Plan de la présentation

- **0/ introduction – digues, brèches et modes de rupture**
- **1/ les mécanismes de rupture des digues fluviales**
- **2/ les spécificités maritimes**
- **3/ analyse des ruptures : scénarios**
 - Approche générale
 - Cas des digues maritimes
 - Exemples de dégâts observés lors de la tempête Xynthia

▶ 0 - Les brèches sur les digues - généralités

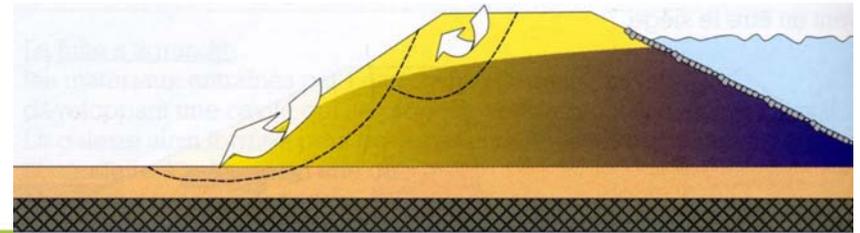
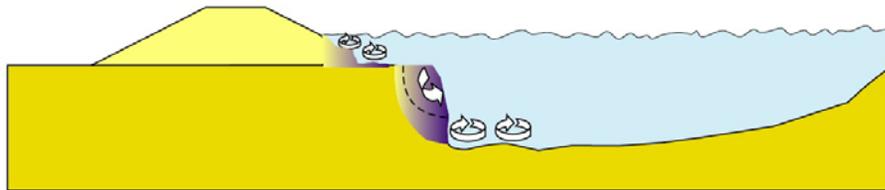
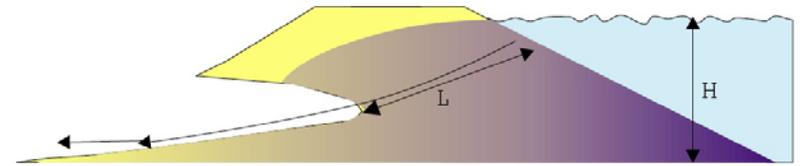
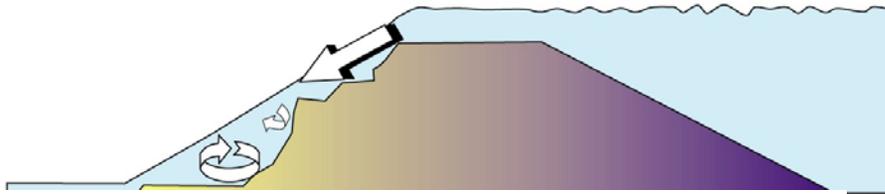
- **Les digues protègent des crues (fluviales) ou des submersions (marines), tant qu'elles ne rompent pas. Les brèches sont très fréquentes sur les digues anciennes non remises à niveau.**
- **Les digues transforment un aléa d'inondation complètement naturel (inondation due à l'événement seul) en une combinaison d'aléa naturel et d'aléa technologique (risque de rupture) qui aggrave les conséquences :**
 - charge sur l'ouvrage pendant la brèche, d'où propagation plus rapide de l'onde de crue
 - "oubli" du risque par les populations
 - augmentation de la vulnérabilité dans les zones "protégées"

▶ 0 – pourquoi étudier les modes de rupture ?

- **Le diagnostic d'une digue est basé sur l'analyse des modes de rupture avérés ou potentiels sur celle-ci, afin de :**
 - connaître son niveau de fiabilité / performance (dignes en service)
 - adapter les travaux de confortement ou de réparation (dignes dégradées, ruinées ou insuffisamment fiables)
 - adapter la surveillance et l'entretien à ces modes de rupture
- **Les études de dangers réglementaires intègrent l'aspect diagnostic**
- **Les projets de recherche suivants se sont intéressés ou s'intéressent aux modes de rupture :**
 - ERINOH (érosion interne)
 - FLOODPROBE
- **Ils sont également au cœur de l'approche de l'ILH**

1 - Les brèches sur les digues – approche classique

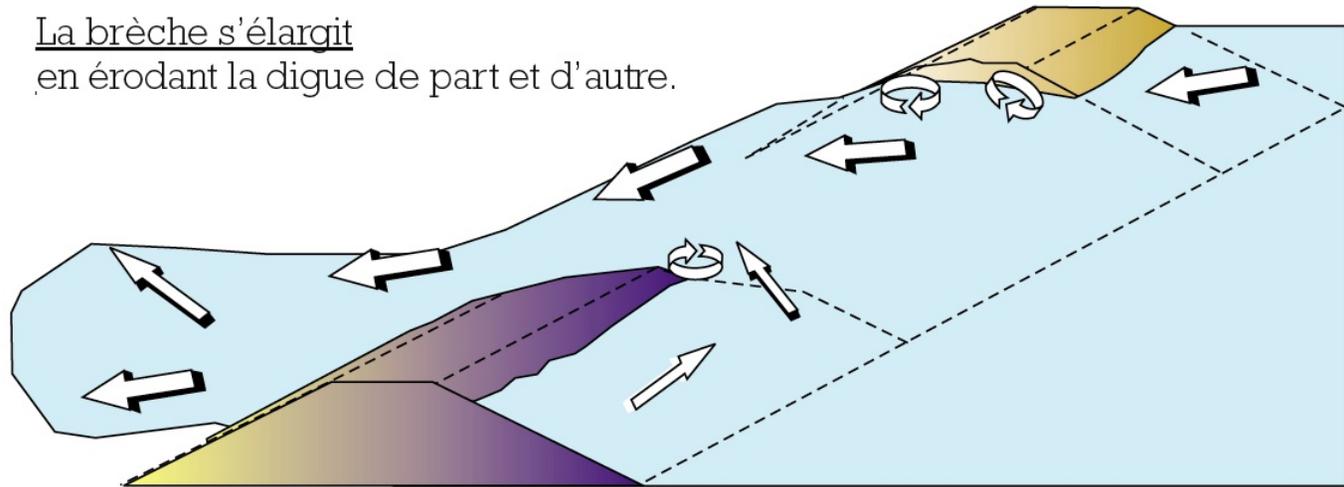
- Les quatre mécanismes classiques de "rupture des digues" pour les digues fluviales en remblai :
 - surverse,
 - érosion interne,
 - érosion externe par le courant :
 - en pied d'ouvrage (affouillements)
 - sur l'ouvrage
 - glissement



1 - Les brèches sur les digues - développement

- La "rupture d'une digue" = la brèche
 - brèche partielle (une partie de la section) ou totale (toute la hauteur de l'ouvrage)
 - la digue ne remplit plus sa fonction (protection)
 - la brèche concerne l'ouvrage mais aussi sa fondation
 - la brèche s'élargit et s'approfondit jusqu'à la fin de l'événement ou jusqu'à une taille d'équilibre

La brèche s'élargit
en érodant la digue de part et d'autre.

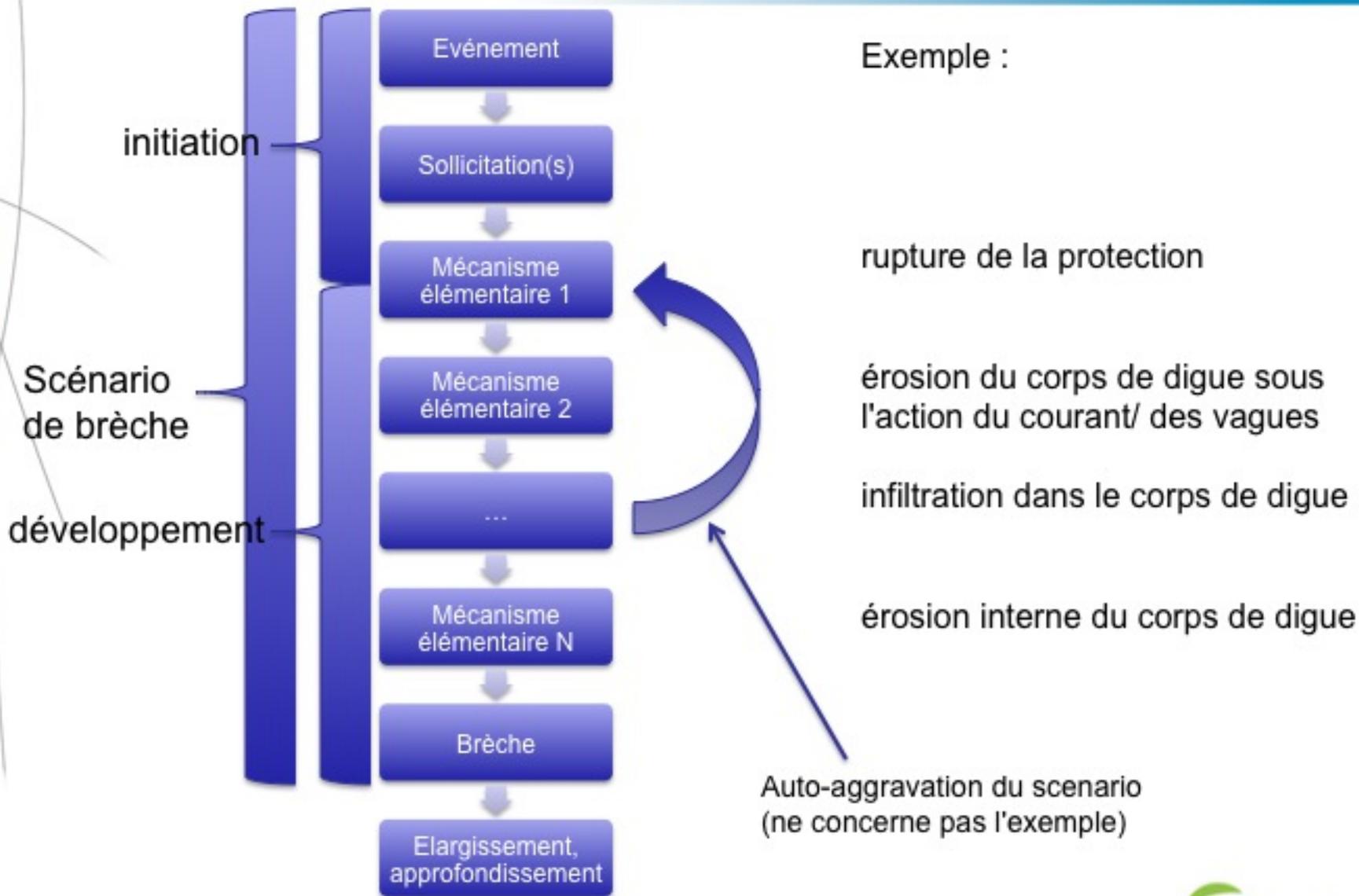


▶ 2 - Les spécificités des digues maritimes

Elles se distinguent de leurs cousines fluviales par :

- **des sollicitations hydrauliques :**
 - cycliques (marées)
 - dynamiques (vagues)
- **la morphodynamique**
 - influence du littoral et de son évolution (lien entre évolutions du trait de côte et ouvrages de protection : sollicitations ou protection indirecte)
- **des systèmes de protection complexes :**
 - vrais ouvrages et éléments naturels plus ou moins anthropisés,
 - souvent des ouvrages composites en maçonnerie + sol ; protection indirecte (des ouvrages)
 - maritime + fluvial + ports et/ou canaux
- **des modes de rupture :**
 - à cause des sollicitations hydrauliques ou de la morphodynamique
 - à cause de la composition des ouvrages ou du système

3 - Les brèches sur les digues - phases



▶ 3 - Les brèches sur les digues - mécanismes

- **Mécanismes élémentaires de dégradation ou de rupture (à l'échelle d'un matériau ou d'un composant) – se produisent pendant ou avant l'événement et peuvent se poursuivre après le paroxysme de celui-ci:**

| | |
|--|---|
| érosion externe | érosion par le courant longitudinal y/c affouillements surverse |
| érosion interne | érosion de conduit érosion régressive suffusion érosion de contact |
| cisaillement | glissement effondrement |
| tassement | |
| liquéfaction / fluidisation | |
| fissuration | de l'ouvrage des fondations |
| aspects morphodynamiques | |
| phénomènes chimiques | |
| décollements entre structure rigide et remblai | |
| autres plus ou moins connus ou pas encore identifiés | effets de l'air ... |

▶ 3 - Les brèches sur les digues - scénarios

- Exemples de scénarios de brèche :
 - 1 Erosion côté eau (affouillement), puis effondrement, puis érosion interne
 - 2 Surverse (et évolution jusqu'à la brèche)
 - 3 Erosion interne (suffusion), puis tassement ou effondrement, puis surverse
 - ...
- Les scénarios dépendent du type de la digue (profil général, nature des matériaux, structure interne et externe, y/c fondation)

3 - Des scénarios relatifs aux digues marines

- **Les scénarios spécifiques aux digues marines peuvent l'être**
 - du fait des sollicitations
 - vagues / houle
 - évolutions du TN côté mer (trait de cote)
 - effet des cycles de marée
 - courants
 - ou des typologies d'ouvrage
 - remblai "tout venant" recouvert d'un revêtement (la résistance à l'érosion de la digue dépend entièrement de la résistance du revêtement)
 - forte possibilité de passages d'eau sur la crête
- **Il peut y avoir des mécanismes spécifiques ou des scénarios spécifiques**

3 - Des scénarios relatifs aux digues marines

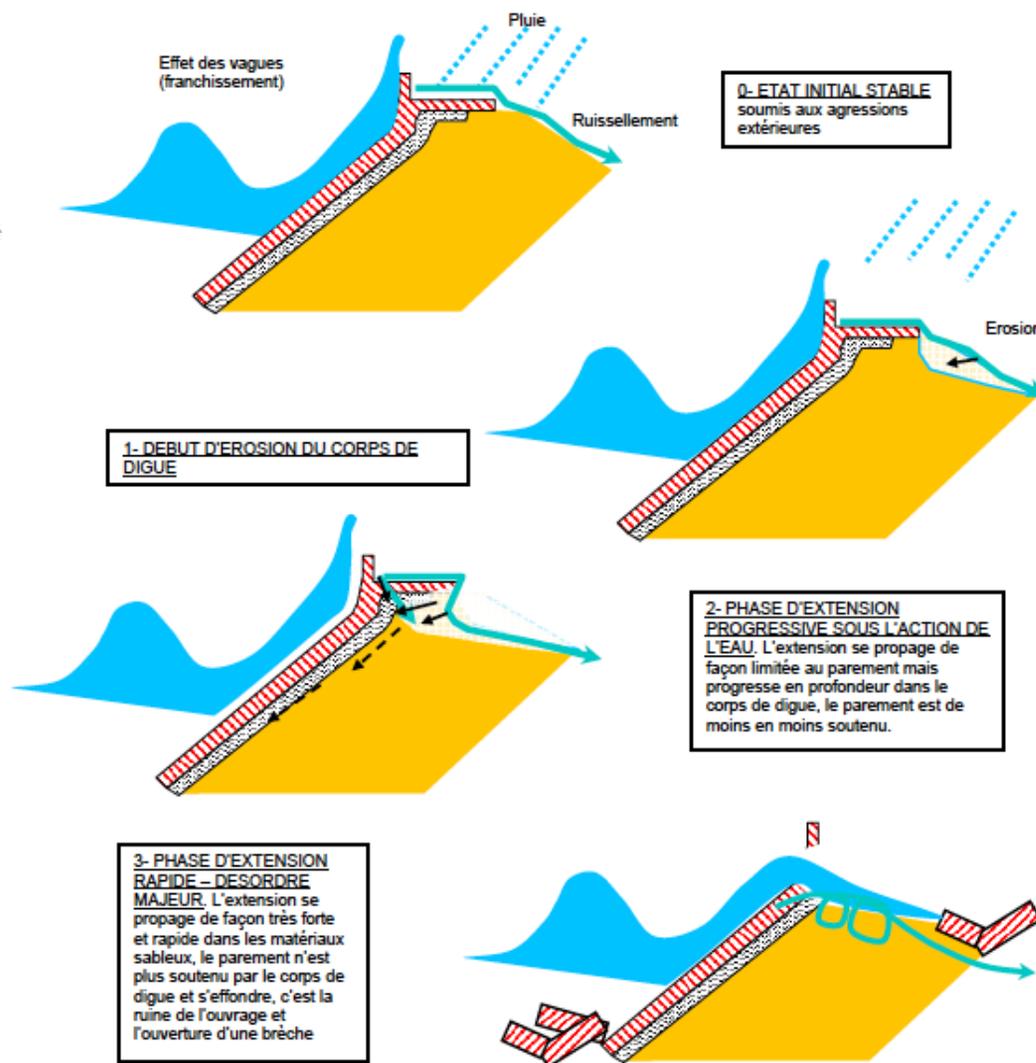
- **Les digues marines sont souvent constituées d'un remblai recouvert d'un revêtement de protection, lui même le plus souvent continu**
 - Rupture partielle du revêtement entraînant :
 - la destruction complète et/ou l'arrachement du revêtement par sous-pressions
 - l'érosion rapide du remblai sous l'action de la houle (côté mer) ou des surverses/franchissements (côté ZP), qui va également entraîner l'effondrement du revêtement
 - Défaut ou disparition de la butée de pied ou ancrage du revêtement, entraînant :
 - des érosions du remblai et/ou de sa fondation
 - des effondrements du revêtement
- **NB : la partie du revêtement concernée peut être côté mer, crête, côté ZP ou encore en pied**

3 - Des scénarios relatifs aux digues marines

- **Insuffisance du niveau de crête et de la résistance à l'érosion du talus côté ZP :**
 - surverse (overflowing) ou franchissement (overtopping), causant une érosion du talus côté ZP et éventuellement de la crête puis une déstabilisation du corps de la digue et de son talus amont (y/c revêtement)
 - **Instabilité des murets situés sur la crête**
 - fonctions et conception/réalisation variable
- ⇒ **non spécifiques à la mer, mais plus fortes sollicitations (vagues) et conséquences**

3 - Des scénarios relatifs aux digues marines

1.3 RUPTURE D'OUVRAGE PAR EROSION INTERNE ET/OU ARRIERE DE LA DIGUE



- Exemple de description de scénario de rupture de digue (source : rapport BRLi "DIAGNOSTIC DES DIGUES MAÇONNEES «EXTERIEURES» DE L'ILE DE RE")

Saint clément des baleines (Ile de Ré)



Rupture(s) du revêtement de protection Le Boutillon (Ile de Ré)



Après travaux de réparation provisoire

Rupture(s) du revêtement de protection Le Boutillon (Ile de Ré)



Erosion du pied du revêtement de protection Le Boutillon (Ile de Ré)



Historique visible de nombreuses attaques de ce point sensible

Destruction de la protection de crête - Loix (Ile de Ré)



A noter également le basculement du muret

Erosion du remblai consécutive à la disparition du revêtement de crête - Loix (Ile de Ré)



... puis érosion du talus côté ZP Loix (Ile de Ré)



Sur ce site il n'y a pas eu brèche (forte résistance à l'érosion du matériau du corps de digue)

Sous pressions sous les revêtements



Erosion / usure des perrés



Érosion du talus côté ZP : digue du Dain (85)

- 1 érosion du talus côté ZP



Erosion du talus côté ZP : digue du Dain (85)

- 1 érosion du talus côté ZP
 - 2 déstabilisation du corps de digue
 - 3 effondrement du revêtement de protection
-
- photo après réparation provisoire



Erosion du talus côté ZP : digue du Dain (85)

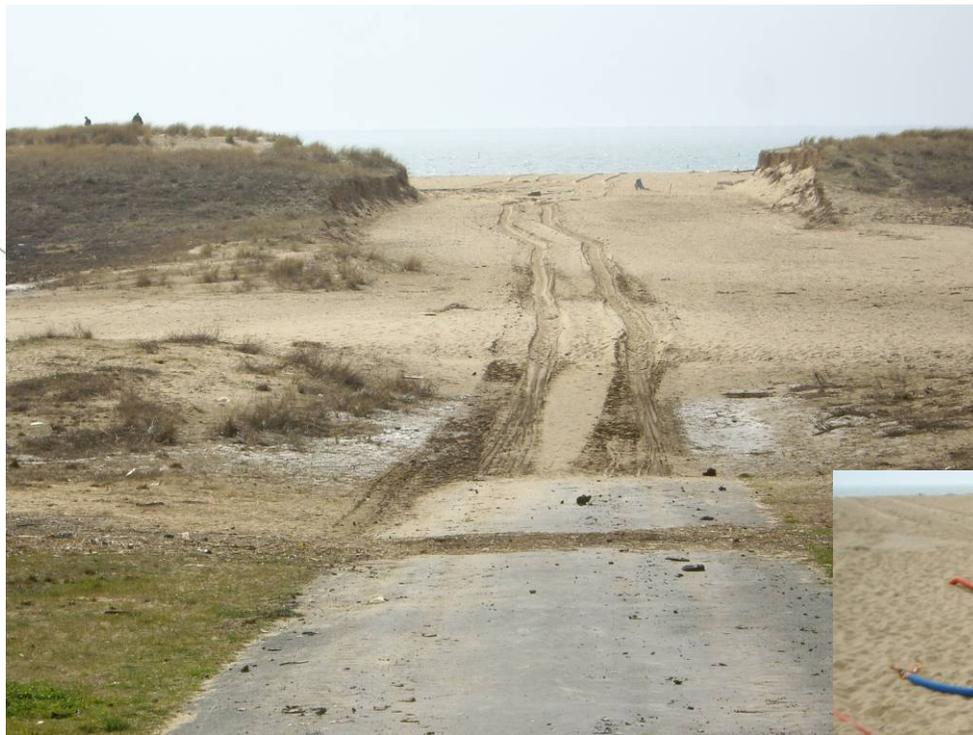


des conséquences côté mer

Erosion crête et formation de fontis (La tremblade – 17)



Brèche dans le cordon dunaire (La faute sur Mer – 85)



Conclusion

- **Les mécanismes élémentaires de dégradation et de rupture concernant les digues fluviales sont également possibles sur les digues maritimes**
- **Des sollicitations, des types d'ouvrage et des modes de rupture spécifiques existent sur les digues marines**
- **La tempête Xynthia a mis en lumière le besoin d'améliorer nos connaissances sur les sollicitations spécifiques supportées par les structures de protection maritimes ainsi que sur la résistance à la rupture de celles-ci**

Merci de votre attention !

