



## Avant-propos

Cette fiche a été rédigée dans le cadre du Groupe de travail « Tempêtes et submersions historiques » et plus particulièrement au sein du sous-groupe « Types de données », réunissant plusieurs organismes, et dont l'objectif est de mutualiser les informations de tempêtes et de submersions marines historiques, capitaliser les connaissances et expertiser les données associées à des événements historiques.

Cette fiche relative au phénomène de submersion marine fait partie d'un catalogue de données pour accompagner et comprendre la base de données relatives aux tempêtes historiques. Cet état de l'art pourrait nécessiter d'être complété en fonction de besoins ou applications particulières.

L'élaboration de cette fiche, fruit d'un travail collaboratif et pluridisciplinaire, a été pilotée par Aurélie Maspataud (BRGM) et Sabine Cavellec (Cerema).

Nous remercions également ici l'ensemble des personnes ayant collaboré avec leurs contributions écrites et/ou leurs relectures : Pierre Pouzet (Université d'Angers), Antonin Migaud (ASNR), Emmanuelle Athimon (ISEN Yncréa Ouest), Didier Jourdan (Shom).

Les termes suivis d'un astérisque \* sont définis dans un glossaire spécifique associé au catalogue de données.

## Résumé

**Cette fiche propose une description et une caractérisation de la submersion marine en rappelant ses causes potentielles et ses différents types. L'accent est ici prioritairement mis sur l'origine météo-marine des submersions lors des événements de tempêtes. Le lecteur peut se reporter à la fiche spécifique relative aux tempêtes pour de plus amples renseignements sur la définition de ce terme.**

**Dans cette fiche, sont également présentés les phénomènes aggravants qui peuvent générer des conséquences à terre critiques pour les personnes et les biens. Enfin, les impacts potentiels du changement climatique, se traduisant notamment par une évolution significative du niveau moyen de la mer, et qui contribue à une forte augmentation du niveau des risques littoraux, sont également abordés.**



## Périmètre de la fiche

Cette fiche s'intéresse uniquement aux phénomènes d'inondation par submersion marine. D'autres aléas, tels que le débordement de cours d'eau, le ruissellement ou les remontées de nappes ne sont pas traités ici.

## Définition de la submersion marine

D'après le guide méthodologique relatif aux plans de prévention des risques littoraux (PPRL), « *Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer lors de conditions météorologiques et océaniques défavorables (basses pressions atmosphériques et vent fort d'afflux\* agissant, pour les mers à marée, lors d'une pleine mer) ; elles peuvent durer de quelques heures à quelques jours* » (MEDDE, 2014<sup>1</sup>).

Les submersions marines peuvent provoquer des inondations sévères et rapides du littoral, des ports et des embouchures de fleuves et rivières. Elles affectent surtout les zones basses proches du littoral, mais peuvent cependant envahir le littoral sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres.

## Causes de la submersion marine

Les causes potentielles de submersions marines\* peuvent être multiples :

- **Origine gravitaire** : des phénomènes géologiques (séisme, éruption volcanique, glissement de terrain) peuvent être à l'origine d'un déplacement d'eau massif et soudain, susceptible de se propager sur plusieurs milliers de kilomètres, déclenchant un tsunami, ou un phénomène de type raz de marée, à la côte.
- **Origine météo-océanique** : l'interaction atmosphère - océan (combinaison de plusieurs facteurs, tels que les niveaux d'eau, vagues\*, etc.) peuvent être à l'origine de surélévations temporaires du niveau de la mer notamment lors de tempêtes\* ou de cyclones\*.

Ces phénomènes peuvent être accentués par différents facteurs : la morphologie et la configuration de la côte (baies, pertuis\*, etc.), sa nature et celle des fonds marins, la bathymétrie\* (remontée rapide du fond de la mer, etc.), le débit des fleuves en zone estuarienne et la défaillance de barrières naturelles (cordons dunaires, etc.) ou anthropiques (aménagements littoraux, digues et systèmes d'endiguement, etc.). L'érosion côtière\* est également un facteur aggravant de la submersion marine\*, ces deux phénomènes étant étroitement liés, l'un pouvant favoriser l'autre.

Cette fiche porte uniquement sur les submersions marines liées à une élévation du niveau de la mer due à la combinaison de plusieurs phénomènes détaillés ci-dessous :

- **L'intensité de la marée\*** : les variations du niveau marin\* sont dues principalement aux phénomènes astronomiques et à la configuration géographique. En règle générale, les submersions

<sup>1</sup> Actualisation en cours, parution prévue en 2025.  
Version juillet 2025



# SUBMERSION MARINE

marines ont lieu lors de marée de vives eaux\* (pour les côtes à marée) (voir **fiches « Prédiction de marée » et « Niveau marin »**).

- Le passage d'une tempête\* (voir **fiche « Tempête »**), produisant une surélévation du niveau marin, appelée surcote\* qui peut être de deux types (voir **fiche « Surcotes »**), en fonction de trois processus principaux :
  - **La surcote atmosphérique** : le passage d'un événement tempétueux dépressionnaire entraîne des perturbations atmosphériques qui influent sur le niveau d'eau selon deux mécanismes :
    - *La diminution de la pression atmosphérique\**, qui contribue directement à une surélévation du niveau marin. Le poids de l'air décroît alors à la surface de la mer et, mécaniquement, le niveau de la mer monte (surcote barométrique). D'après le phénomène de baromètre inverse (**Figure 1**), une diminution d'1 hPa entraîne une élévation d'1 cm du plan d'eau (valeurs pour une situation théorique d'un plan d'eau infini et d'une pression atmosphérique uniforme). Par exemple, une dépression de 980 hPa (soit une différence de 33 hPa par rapport à la pression atmosphérique moyenne de 1 013 hPa) génère une surélévation d'environ 33 cm.

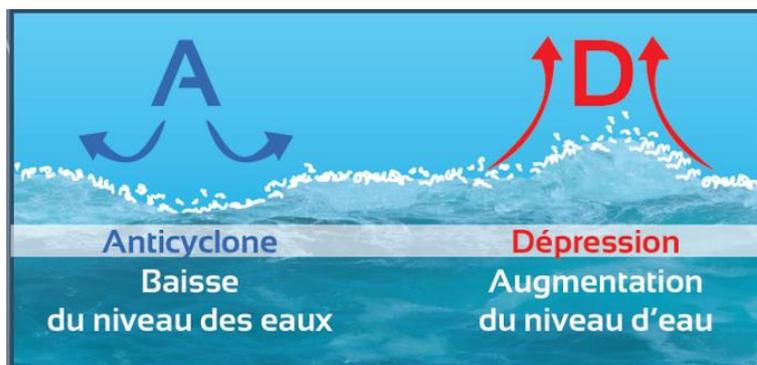


Figure 1 : Effet du baromètre inverse (source : Shom)

- *La surcote liée au vent (wind setup\*)* : en fonction de son intensité et de sa direction, un fort vent d'afflux\* peut provoquer une accumulation de l'eau à la côte et ainsi une élévation du niveau d'eau (surcote anémométrique).

La surélévation du plan d'eau provoquée par la chute de pression (surcote barométrique) et l'action du vent (wind setup\*) correspond à la surcote atmosphérique (ou météorologique). La combinaison de la marée et de cette surcote atmosphérique génère le niveau de la mer « au repos »\* (**Figure 2**). Par commodité, ce niveau est souvent désigné par la suite par SWL (« still water level »).

- **La surcote\* liée aux vagues (wave setup\*)** : le déferlement des vagues à l'approche du littoral provoque une diminution de la quantité d'énergie transportée par les vagues, qui est transférée à la colonne d'eau. Pour équilibrer cet apport d'énergie le niveau de la surface augmente, créant une surélévation temporaire du niveau statique de la mer, ou



# SUBMERSION MARINE

surcote liée aux vagues. Cet effet, combiné au vent, est particulièrement notable sur les types de côtes enclavées (plages récifales, baies, pertuis, etc.).

L'amplitude de la surélévation dépend de la hauteur, de la période et de l'angle d'incidence de la houle\*, ainsi que de la bathymétrie (voir *fiche « Etats de mer »*). Après déferlement, les vagues continuent à influencer l'élévation du niveau d'eau sur le littoral au travers du jet de rive\* (*swash*, en anglais), c'est-à-dire le flux et le reflux des vagues sur l'estran\*(*Figure 2*). La côte maximale atteinte par la mer au-dessus d'un niveau de référence (par exemple le zéro hydrographique, ou encore le zéro NGF, etc.), appelée *wave run-up\**, est généralement mesurée par rapport à un niveau bas de la marée ou à un autre point fixe (*Figure 2*).

Ce phénomène peut être à l'origine de franchissements. Le déferlement des vagues se traduit donc par un mouvement des masses d'eau et une action mécanique sur la zone d'estran, les jetées, les digues et les autres infrastructures côtières qui peuvent alors être franchies, fragilisées ou endommagées.

La concomitance de tous ces processus est une circonstance aggravante qui peut être à l'origine de submersions marines de grande ampleur (Exemple : la tempête Xynthia de février 2010).

Le niveau statique du plan d'eau lors d'une tempête résulte ainsi de la contribution de la marée, de la surcote atmosphérique et de la surcote des vagues (si elle existe) (*Figure 2*). Ces processus peuvent interagir et leurs contributions peuvent s'additionner ou se soustraire en fonction de leur direction et de leur magnitude, ce qui peut soit atténuer soit exacerber les effets d'une surcote marine. **Ainsi, lors d'une tempête, le niveau marin atteint n'est pas littéralement la somme arithmétique des contributions de la marée, de la surcote atmosphérique et de la surcote liées aux vagues.**

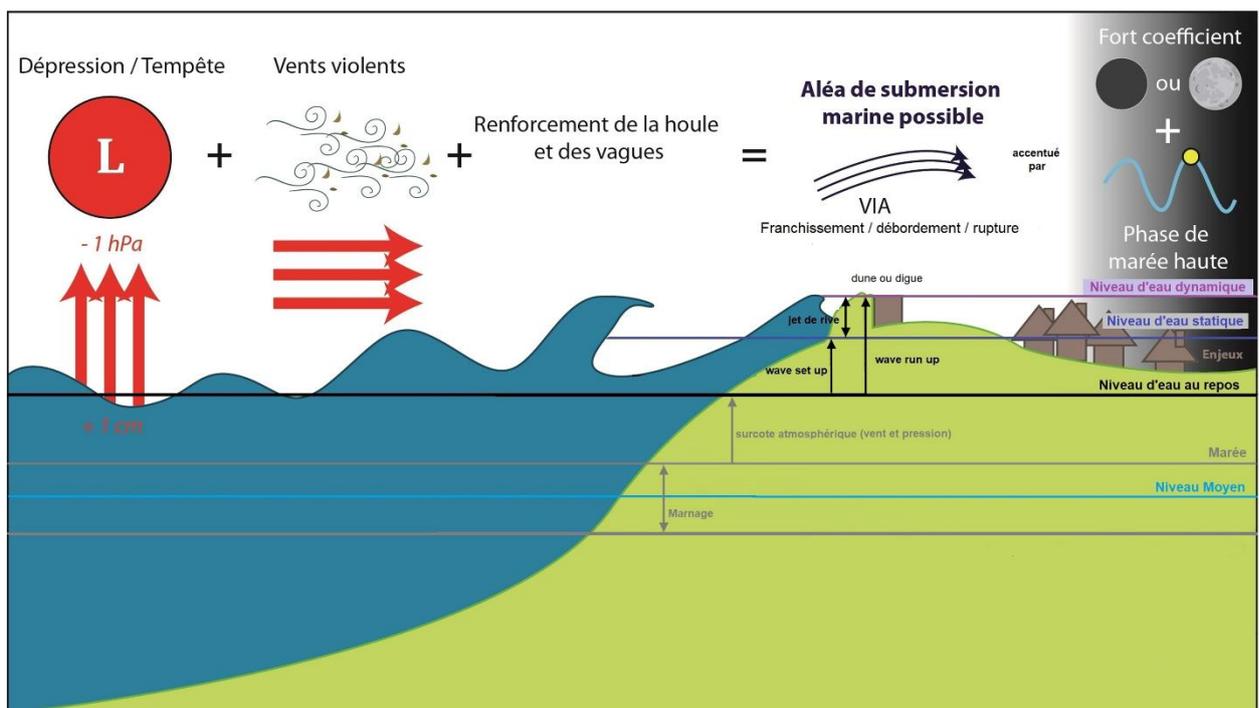


Figure 2 : Schéma des processus à l'origine des submersions marines (modifié d'après Pierre Pouzet, 2018).



## Différents types de submersion marine

Trois types (ou modes) de submersion marine sont distingués (Figure 3)<sup>2</sup> :



Figure 3 : Illustrations des types de submersion marine : par franchissement de paquets de mer (gauche), par débordement (centre) et par rupture de système de protection (droite).

### • Le franchissement (*overtopping*) par paquets de mer liés aux vagues

Il correspond au passage des vagues, de manière intermittente, au-dessus des défenses côtières (naturelles ou artificielles), sans que le niveau statique soit supérieur à l'altitude du terrain naturel. Selon les caractéristiques locales des vagues (période et hauteur maximum atteinte liée au *run-up\**), l'ampleur du franchissement, sa durée et le linéaire concerné, l'accumulation d'eau résultante peut s'avérer importante. Ce phénomène entraîne le remplissage potentiel de cuvettes topographiques à l'arrière des ouvrages de protection ou des cordons naturels. Il est souvent associé à d'autres types d'aléas que sont le choc mécanique des vagues et les projections de matériaux (sable, galets, etc.).



Exemple de vidéo en ligne :

[Submersion par franchissement - BRGM / Ministère de l'Ecologie](#)

### • Le débordement (*overflowing*)

Il se produit lorsque le niveau d'eau statique dépasse la côte maximale du terrain naturel, de la crête des ouvrages de protection côtière ou des cordons naturels. Il peut entraîner un déversement direct et continu d'importantes quantités d'eau à terre, et ce jusqu'à la diminution de l'intensité de l'évènement et le retour à une hauteur inférieure à celle des structures de protection ou des cordons naturels du niveau d'eau moyen. En fonction des différences entre le niveau d'eau et celui de la côte maximale du terrain naturel ou des ouvrages, la durée du débordement, la dynamique de submersion (vitesse d'écoulement et vitesse de montée des eaux) et les volumes d'eau mis en jeu seront variables.

<sup>2</sup> Dans les archives historiques, il peut parfois être difficile d'identifier le mode de submersion marine.  
Version juillet 2025



# SUBMERSION MARINE



Exemple de vidéo en ligne :

[Submersion par débordement - BRGM / Ministère de l'Ecologie](#)

- **La rupture du système de protection ou des cordons dunaires**

Les fortes contraintes exercées sur les ouvrages de protection ou les cordons naturels et causées par l'énergie libérée lors du déferlement et des chocs mécaniques répétés peuvent être à l'origine de brèches et/ou provoquer la défaillance généralisée de ces systèmes. Leur endommagement peut être progressif ou brutal.

Dans le cas d'une rupture brutale, l'eau de mer peut alors s'écouler librement et très rapidement et submerger les zones côtières habituellement protégées, situées en arrière et en dessous du niveau marin. Ainsi, la rupture d'un ouvrage peut alors exposer le secteur en aval à des niveaux d'aléa supérieurs à ceux que le même événement aurait engendré en cas d'absence de l'ouvrage : il est alors fait mention de « sur-aléa\* ».

Les ruptures sont principalement dues à la formation de brèches dans les ouvrages de protection ou dans les cordons naturels. Celles-ci peuvent être initiées ou résulter de l'attaque de la houle comme mentionné ci-dessus, mais aussi être la conséquence de phénomènes de surverse, d'un défaut d'entretien des ouvrages de protection, d'une érosion chronique, ou d'un déséquilibre sédimentaire, etc.

Une fois la brèche ouverte, les écoulements gravitaires résultent donc de la simple différence d'altitude entre l'avant-plage ou l'ouvrage de protection et le terrain en arrière (zone d'arrière-cordon). Le déversement de l'eau en arrière des ouvrages est également de nature à les dégrader davantage et conduire à sa ruine généralisée.



Exemple de vidéo en ligne :

[Submersion par rupture d'ouvrage - BRGM / Ministère de l'Ecologie](#)

Un épisode de submersion marine peut résulter de la succession de ces différents processus (**Figure 4**), voire de leur occurrence simultanée, en des endroits différents. Lors des tempêtes, il se produit généralement une montée progressive du niveau d'eau statique et un renforcement de l'intensité des vagues (temps 1 de **Figure 4**). Au-delà d'une certaine intensité, il peut y avoir franchissement par paquets de mer, la submersion associée restant en général limitée (temps 2 de la **Figure 4**).

Si le niveau d'eau continue à s'élever et dépasse la cote maximale des défenses côtières ; la submersion passe alors en régime de débordement (temps 3B de la **Figure 4**). Lorsque le niveau statique diminue du fait de la marée et/ou de la baisse de la surcote, et suivant la configuration, une « vidange » partielle de l'eau accumulée à terre vers la mer est observée ou alors de nouveaux franchissements ont lieu jusqu'à ce que les conditions de mer diminuent en intensité (temps 3A de la **Figure 4**).



# SUBMERSION MARINE

En cas de rupture d'un ouvrage de protection, il peut y avoir submersion par débordement alors que le niveau statique ne dépasse pas la cote maximale de l'ouvrage avant rupture (temps 3C de la [Figure 4](#)).

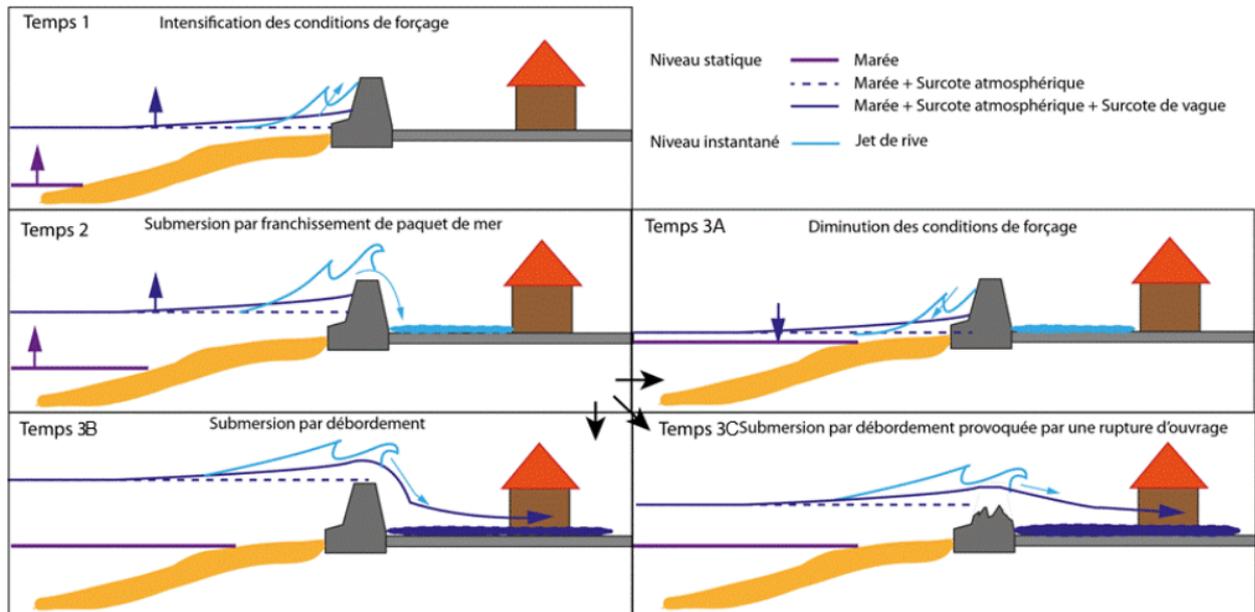


Figure 4 : Exemples de chronologies possibles en cas de submersion marine (franchissements par paquets de mer / dégradation des ouvrages / débordement) (Source : BRGM ; extrait de MEDDE, 2015<sup>3</sup>)

## Caractérisation de l'aléa de submersion marine

Pour caractériser l'aléa de submersion marine, les principales composantes retenues sont généralement :

1. le niveau marin\* qui intègre le niveau moyen de la mer (voir [fiche « Niveaux marins »](#)) et les surcotes\* (surcote atmosphérique et due aux vagues) (voir [fiche « Surcotes »](#)) ([Figure 4](#)) ;
2. l'élévation du lieu concerné, et la topographie côtière ;
3. l'ampleur, en hauteur d'eau submergeante (exemples : 1 m, 2 m, 5 m), en étendue (en ha, en km<sup>2</sup>, etc.) et en volume (en m<sup>3</sup>, en particulier pour les submersions par paquet de mer et pour les débordements) ;
4. le caractère soudain de l'évènement (dynamique de submersion : vitesse d'écoulement et vitesse de montée des eaux) : une vitesse de montée des eaux rapide est de l'ordre de plusieurs décimètres par heure ;
5. la fréquence / période de retour ;
6. la durée de submersion et le temps de retour à la normale ;
7. la défaillance ou non des systèmes de protection.

<sup>3</sup> MEDDE, 2015, DGEC : Le Climat de la France au XXI<sup>e</sup> siècle, volume 5, Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises.



# SUBMERSION MARINE

Les vagues jouent un rôle très important dans les processus à l'origine des submersions marines. Plusieurs paramètres descriptifs des caractéristiques des vagues, dont les abréviations sont couramment utilisées dans les études sur les risques côtiers, sont (pour plus de détails, voir la voir **fiche « Etats de mer »**) :

- **Hs (m)** : hauteur significative des vagues exprimée en mètres, correspondant à la moyenne du tiers des plus fortes vagues. Cette mesure statistique de la hauteur des vagues est le paramètre conventionnellement utilisé pour les études en océanographie littorale, notamment les études de submersion ou d'érosion côtière.
- **Tp (s)** : période pic des vagues, correspondant à la durée en secondes entre deux crêtes de vagues dominantes c'est-à-dire pour laquelle la densité spectrale est maximale.
- **Lo (m)** : longueur d'onde des vagues, correspondant à la distance en mètres séparant deux crêtes ou deux creux successifs des vagues.
- **Dp (°)** : direction pic de provenance des vagues, correspondant à la direction en degrés au moment du maximum d'énergie spectrale. L'angle est compté positivement, suivant le sens des aiguilles d'une montre par rapport au Nord géographique (convention nautique).

Sur certains secteurs, certains phénomènes locaux autre que la marée et la surcote liée aux vagues peuvent impacter également fortement le niveau marin. Il s'agit par exemple des seiches\*, des mascarets\*, des effets de bascule de plan d'eau fermés ou semi-fermés liés au vent, du clapot\*, etc.).

Aujourd'hui, plusieurs approches sont disponibles pour caractériser la submersion marine (approche historique, géomorphologique, modélisation numérique, etc.). Elles sont plus ou moins élaborées et contraignantes en termes d'outils, suivant les éléments historiques disponibles, l'exposition du site et ses particularités morphologiques, ou selon le besoin de résolution spatiale.

L'évolution et le développement des outils informatiques font de la modélisation numérique « très haute résolution » (de l'ordre de 1 à 10 m) une approche privilégiée pour caractériser les risques de submersion marine dans les sites les plus exposés et les plus vulnérables (caractérisation des hauteurs d'eau et de la dynamique d'inondation). Il faut alors souligner que dans ce cas, les données historiques (laisse de plus hautes eaux, surfaces inondées) et les données météo-océaniques aux stations de mesures sont indispensables pour le calage et la validation de ces modèles.

## Facteurs aggravants de la submersion marine

**Une dynamique de submersion (vitesse de montée des eaux et/ou vitesse d'écoulement) rapide** est un facteur aggravant pour les personnes et les biens exposés. Elle limite les possibilités d'évacuation et peut générer des situations critiques, par exemple lorsqu'un individu surpris par la soudaineté de la submersion marine n'a pas le temps de rejoindre une position sécurisée adaptée dans l'attente de secours, et se retrouve dans des conditions d'écoulement le mettant en danger. Par ailleurs, une montée rapide des eaux ne laisse généralement pas le temps de mettre les biens hors d'eau ou de démonter des équipements, et a ainsi des conséquences directes sur l'importance et le coût des dommages. L'analyse du fonctionnement d'un secteur et des événements historiques permet de définir qualitativement **des zones où la dynamique de submersion est importante**.



Il s'agit par exemple :

- **Des secteurs à l'arrière des ouvrages de protection et des obstacles à l'écoulement**, dont la rupture peut rapidement entraîner une arrivée d'eau massive ;
- **Des zones basses côtières\* et des cuvettes**, où la montée des hauteurs d'eau peut y être localement très rapide (absence d'exutoire).

Enfin, une inondation de longue durée peut avoir des conséquences lourdes en termes de dommages structurels aux biens et de retour à la normale (coupures de réseaux, etc.). Cette durée d'inondation peut être allongée en cas de dysfonctionnement d'aménagements hydrauliques ou de systèmes d'endiguement qui bloquent alors le ressuyage\* des eaux issues des paquets de mer et des surverses locales.

**Les aménagements hydrauliques** (dispositif de stockage, de drainage, de ressuyage ou d'évacuation des eaux) contribuent normalement à la diminution de l'exposition d'un territoire au risque d'inondation en stockant provisoirement des écoulements ou en assurant le ressuyage des eaux (exemples : écluses, vannages, portes à flots, etc.). Étant conditionnés par une action humaine (mécanique ou électrique) ou automatisés, leur mobilisation pour atténuer l'effet de l'inondation n'est pas assurée par exemple lors d'événements météorologiques successifs, en cas de mauvais entretien, du fait de difficultés d'accès ou de pièce de rechange manquante, etc. **Ces dispositifs, généralement intégrés à un système de protection plus complet, peuvent constituer un point de vulnérabilité du système.**

## Conséquences à terre

En France métropolitaine, 1,4 million d'habitants et plus de 850 000 emplois sont exposés au risque de submersion marine<sup>4</sup>, soit 864 communes plus particulièrement vulnérables et situées dans les départements côtiers<sup>5</sup>. Quelques 700 000 hectares sont situés<sup>5</sup> en zone basse (sous le niveau atteint par la mer lors de conditions extrêmes) et 20 % des habitations exposées aux submersions marines sont de plain-pied.

Les submersions marines peuvent avoir des conséquences multiples (par exemples, **Figure 5**) (liste non exhaustive) :

1. les inondations rapides des voies de communication, des habitations, des zones d'activités ;
2. l'endommagement des infrastructures côtières (digues, jetées, etc.)
3. le transport d'objets ou de matériaux (notamment des galets, blocs) qui deviennent alors des projectiles susceptibles de blesser des personnes, détériorer des biens ou gêner la circulation en bord de mer ;
4. les objets non correctement arrimés qui peuvent être emportés ;
5. les bateaux, même amarrés au ponton dans les ports, peuvent être soulevés et emportés sur la terre ferme ;
6. les dégâts peuvent être aggravés en cas de concomitance avec d'autres phénomènes tels que des vents violents, de fortes pluies (saturation en eau des sols, ruissellement), des crues en estuaires

<sup>4</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/generalites-sur-risque-inondation-en-france>.

<sup>5</sup> <https://www.georisques.gouv.fr/minformer-sur-un-risque/risques-littoraux>



# SUBMERSION MARINE

lors des pleines mers (l'écoulement des cours d'eau est alors ralenti voire stoppé, ce qui génère des débordements), des ruptures de systèmes de protection (sur-aléas).

7. la vulnérabilité du bâti est également un effet aggravant : fragilité de la construction vis-à-vis de l'inondation, absence d'étage refuge, etc.
8. la dégradation ou la destruction d'installations côtières sensibles et/ou à fort enjeu. Pour rappel, la tempête Martin, en décembre 1999, a causé une inondation partielle de la centrale nucléaire du Blayais engendrant une submersion de la plateforme et l'indisponibilité d'une partie des équipements, y compris de secours.

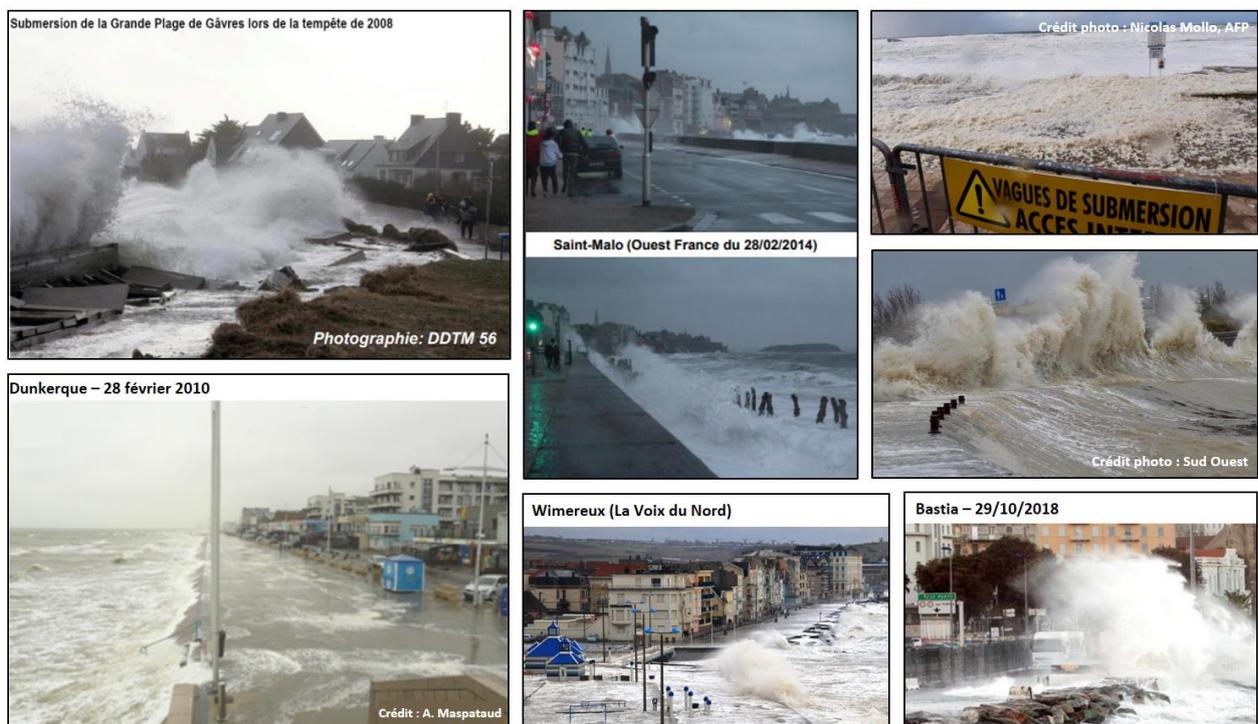


Figure 5 : Exemples d'observations des effets de submersions marines à la côte.

Si les submersions marines ont de lourds impacts sur les activités humaines dans les zones touchées, elles en ont également sur le milieu lui-même et sa biodiversité. En effet, la force du courant provoque d'importants dégâts, auxquels s'ajoutent ceux dus à la submersion prolongée des terres et à la pollution de l'eau. L'érosion desdites terres et leur salinisation, voire leur sodification (haute teneur en sodium dans les sols), peut atteindre des niveaux toxiques pour la plupart des êtres vivants (animaux, plantes, champignons...) à la suite de submersions marines.

Certaines submersions marines sont sans gravité mais d'autres peuvent être dramatiques. La tempête Xynthia, en 2010, a ainsi rappelé qu'une submersion marine peut être fatale et très destructrice, en causant la mort de 59 personnes et occasionnant des dégâts matériels évalués à près de 2 milliards d'euros sur la façade Atlantique.



Les évènements météo-océaniques majeurs peuvent être à l'origine d'importantes modifications du littoral et induire des impacts significatifs durables sur l'évolution du trait de côte (voir **fiche « Trait de côte et géomorphologie »**). Par exemple : de fortes houles de tempête et la surcote associée peuvent éroder un littoral sableux et affecter un cordon dunaire, jusqu'à sa rupture ; une crue peut modifier la configuration d'un estuaire, des bancs et la morphologie du littoral adjacent. Les liens entre les évènements majeurs et les évolutions morphologiques du littoral sont connus historiquement, mais la compréhension des phénomènes et la quantification des effets sur le trait de côte représentent des enjeux de connaissances prioritaires pour l'élaboration de projections de recul du trait de côte<sup>6</sup>. Il est primordial de prendre en considération les effets directs des évènements majeurs sur le littoral, mais également les effets indirects, en lien avec les modifications possibles du fonctionnement du système. Le champ de connaissances associées concerne non seulement le contexte précédant l'évènement et la quantification des forçages (voir **fiches « Etats de mer », « Prédiction de marée », « Niveau marin », « Surcote », « Pression atmosphérique »**) mais également la connaissance des phases de reconstruction et de résilience.

## Impact du changement climatique

La prise de conscience de la vulnérabilité croissante des villes côtières aux tempêtes et aux effets attendus des changements liés au réchauffement climatique conduit à de plus en plus d'études portant sur les risques de submersion marine et d'érosion sur la bande littorale.

Malgré les incertitudes qui existent sur l'ampleur de l'élévation du niveau de la mer, son caractère inéluctable fait consensus et ce, même si des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre sont engagées dès à présent. En l'absence de mesures d'adaptation, une élévation même relativement légère du niveau moyen de la mer est susceptible d'entraîner des submersions marines plus fréquentes et plus intenses lors des évènements extrêmes (tempêtes, cyclones), dans les décennies et siècles à venir. Il est donc attendu que les risques induits sur les personnes et les biens augmentent également.

Dans un contexte d'élévation du niveau de la mer, les manifestations potentielles du changement climatique en lien avec l'aléa submersion marine sont les suivantes :

- une élévation totale des niveaux d'eau lors des submersions marines du fait de l'élévation du niveau moyen de la mer (**Figure 6**) (voir **fiche « Niveau marin »**) ;
- Pour certaines façades maritimes, un potentiel changement dans la fréquence et l'intensité des évènements de tempêtes induisant un changement dans la fréquence et la hauteur des surcotes liées aux conditions météorologiques (pression, vent...).
- un changement dans la climatologie des vagues ; une hausse de la fréquence des submersions, en raison d'un possible changement du régime des tempêtes sur certains façades maritimes, en l'absence de mesures d'adaptation à l'échelle locale ou régionale ;
- une extension des zones concernées par les submersions marines temporaires en l'absence d'adaptation, notamment dans les zones d'embouchures où un changement du régime des précipitations entrainera possiblement une modification du régime fluvial.

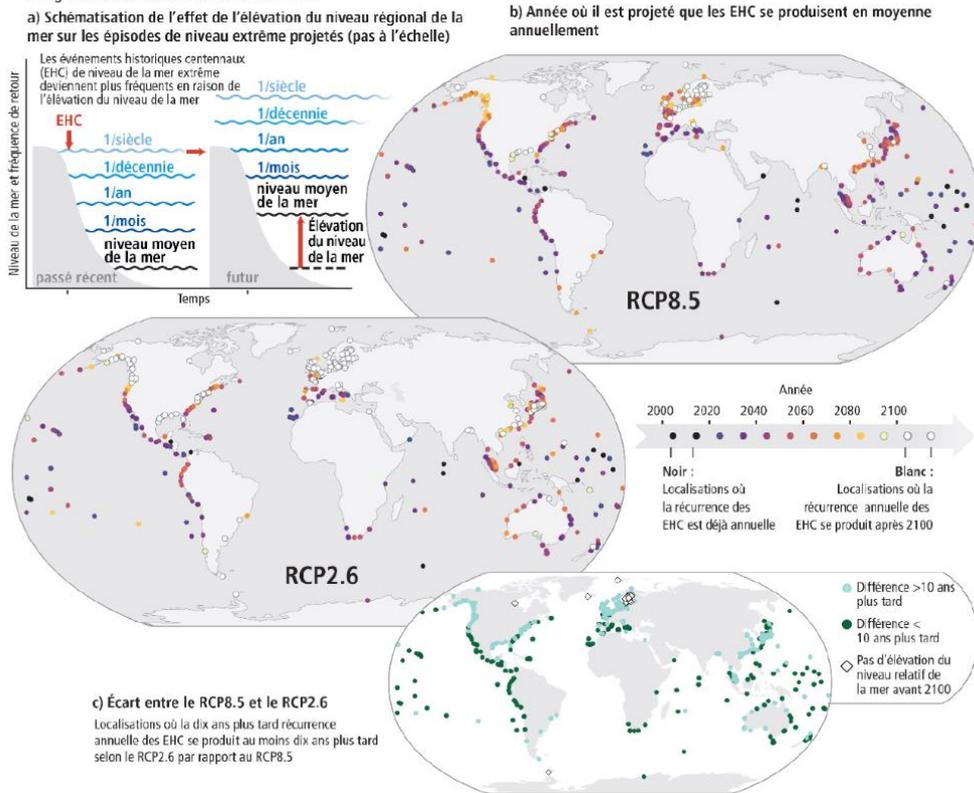
<sup>6</sup> <https://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/recommandations-pour-l-elaboration-des-cartes-a1533.html>



# SUBMERSION MARINE

## Événements de niveau marin extrême

En raison de l'élévation projetée du niveau moyen de la mer à l'échelle globale, il est projeté que les niveaux extrêmes locaux qui se produisaient historiquement une fois par siècle (événements historiques centennaux, EHC) surviendront, au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, au moins une fois par an pour la plupart des régions côtières. La hauteur des EHC varie considérablement d'une localisation à une autre, et, selon le degré d'exposition, peut déjà provoquer des impacts considérables. Les impacts peuvent continuer à s'accroître avec l'augmentation de la récurrence des EHC.



**Figure 6 : Projections des niveaux extrêmes locaux dans les régions côtières : effets sur l'élévation du niveau régional de la mer sur les épisodes de niveau extrême projetés ; comparaisons entre scénarios RCP (Representative Concentration Pathway). D'après Oppenheimer *et al.*, 2019.**

Par ailleurs, l'augmentation du niveau des mers causée par le changement climatique aura une influence sur les marées en Europe du Nord-Ouest, des côtes d'Espagne du Nord jusqu'à la Norvège où, dans certaines zones, les écarts entre pleine mer et basse mer (marnage) seront renforcés, par exemple en Manche Est de la pointe du Cotentin jusqu'à Calais. Dans d'autres zones, le marnage sera plus faible, notamment en Manche Ouest (Baie du Mont-Saint-Michel par exemple). Les modifications de hauteur de pleine mer et basse-mer par rapport au niveau moyen pourraient être de l'ordre de 15% de la remontée du niveau marin, soit l'équivalent de 15 cm en plus ou en moins si la mer monte d'1 m (Idier *et al.*, 2017).

L'élévation du niveau de la mer tient une place toute particulière dans le second volet du 6<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC publié en février 2022. Contrairement à d'autres variables climatiques telles que les températures et les précipitations, le niveau de la mer continuera à s'élever bien après la stabilisation des températures globales, puisque les glaciers de montagne et les calottes de glace en Antarctique et au Groenland mettront des siècles à s'ajuster aux nouvelles températures.



# SUBMERSION MARINE

Ainsi, s'il reste aujourd'hui possible de limiter le taux d'élévation du niveau de la mer autour de 4 mm/an, il n'est plus possible de stabiliser le niveau de la mer lui-même<sup>7</sup>. L'élévation du niveau de la mer se poursuivra pendant des siècles. Toutefois, il ne faut pas exclure un scénario d'élévation du niveau de la mer très rapide, notamment en cas d'effondrement prématuré des calottes glaciaires (Figure 7).

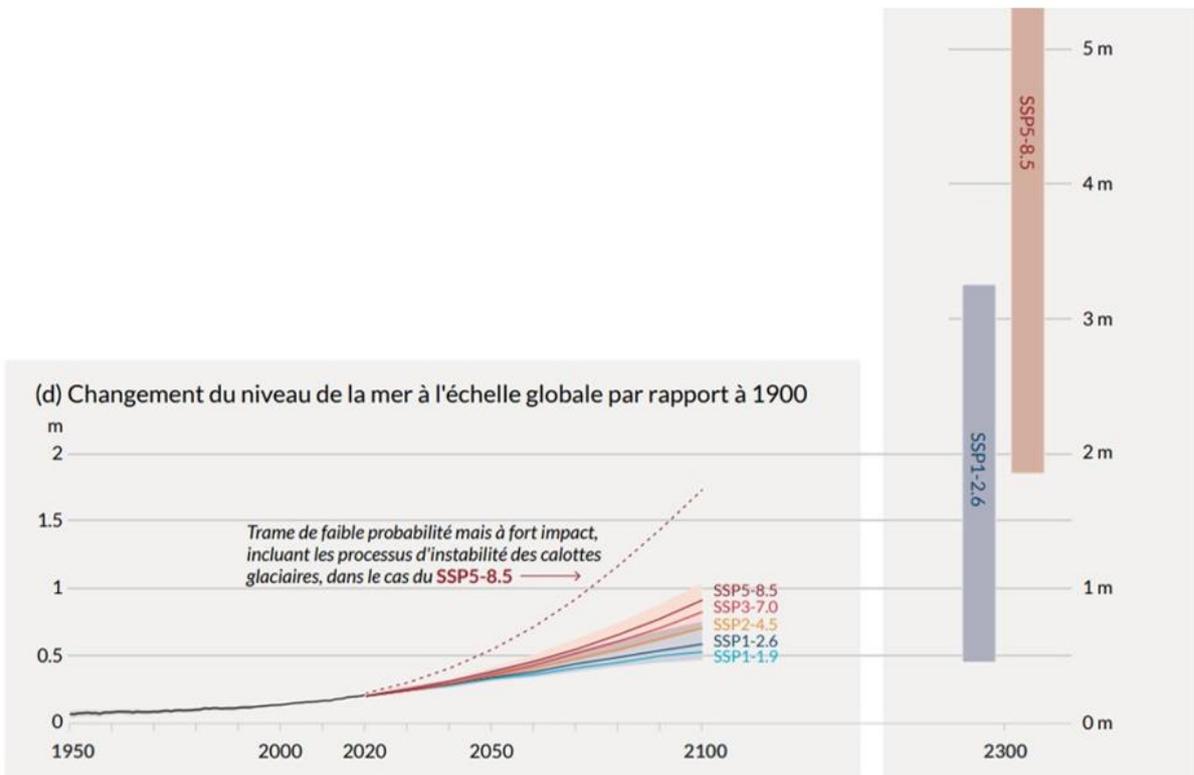


Figure 7 : Elévation du niveau de la mer à l'échelle globale, par rapport à 1900. Extrait du 6th IPCC Assessment Report (AR6 WG1 SPM) 2022.

Le rapport alerte donc sur le caractère singulier de l'adaptation à l'élévation du niveau de la mer et ses effets déjà perceptibles : une généralisation et une intensification des submersions à marée haute, lors de tempêtes ou de cyclones, la salinisation d'estuaires et de nappes côtières, et enfin, la submersion permanente ou l'érosion de littoraux bas ou sableux (à noter, l'élévation du niveau de la mer est d'autant plus accentuée lorsque le sol s'affaisse, par un phénomène de subsidence ; voir **fiche « Mouvements verticaux du sol »**).

L'augmentation de l'exposition des populations côtières aux événements de submersion marine est également soulignée, de 2020 à 2040 (Figure 8). Ces enjeux ont motivé la rédaction, au sein du rapport de février 2022, d'une synthèse sur les risques liés à l'élévation du niveau de la mer. Aujourd'hui, l'adaptation aux effets de l'élévation du niveau de la mer doit être prise en compte dans les politiques publiques avec

<sup>7</sup> "Élévation du niveau de la mer : quels littoraux voulons-nous pour demain ?" — Goneri Le Cozannet

<https://theconversation.com/elevation-du-niveau-de-la-mer-quels-littoraux-voulons-nous-pour-demain-180711>

Version juillet 2025



# SUBMERSION MARINE

en France, par exemple, l'apparition de nouvelles réglementations (la Loi Climat et résilience<sup>8</sup>, le décret du 5 juillet 2019<sup>9</sup>, notamment).

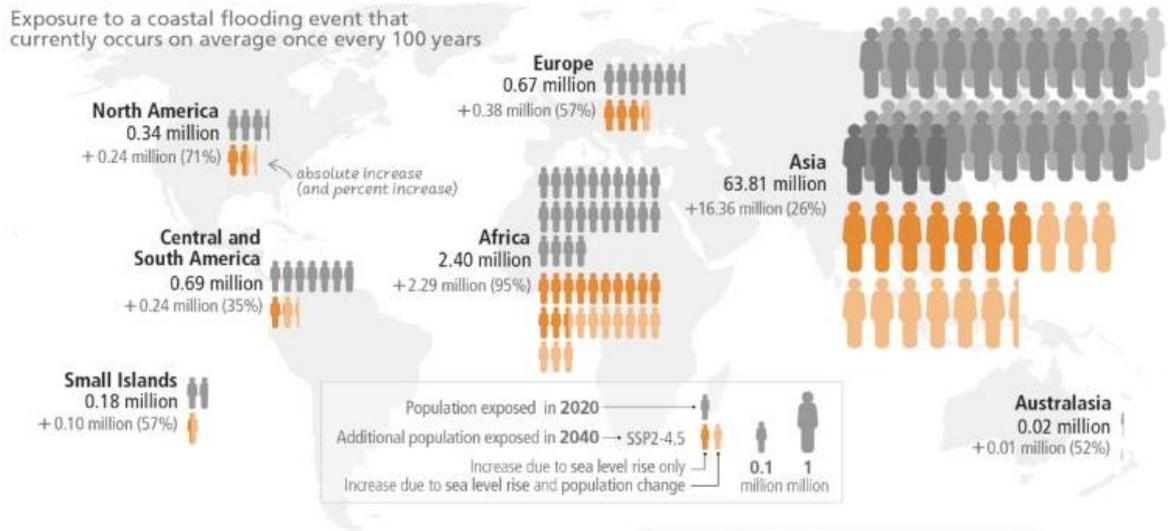


Figure 8 : Augmentation de l'exposition des populations à l'élévation du niveau de la mer, notamment en Europe, de 2020 à 2024. Extrait du 6th IPCC Assessment Report (WGII, SYR, Fig 4) 2022.

## Références clés

### Bibliographie (non exhaustive) :

MEDDE / DGEC, 2015. Le Climat de la France au XXIe siècle, volume 5, Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises.

MEDDE, DGPR, SRNH, 2014. Guide méthodologique : plan de prévention des risques littoraux. 169p. (guide en cours de révision)

Chaumillon E., Bertin X., Fortunato A.B., Bajo M., Schneider J.L., Dezileau L., Walsh J.P., Michelot A., Chauveau E., Créach A., Hénaff A., Sauzeau T., Waeles B., Gervais B., Jan G., Baumann J., Breilh J.F., Pedreros R., 2017. Storm-induced marine flooding: Lessons from a multidisciplinary approach, *Earth-Science Reviews*, Volume 165, Pages 151-184, ISSN 0012-8252, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.12.005>.

Idier D., Paris F., Le Cozannet G., Boulahya F., Dumas F., 2017. Sea-level rise impacts on the tides of the European Shelf, *Continental Shelf Research*, Volume 137, Pages 56-71, ISSN 0278-4343, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.01.007>.

<sup>8</sup> [LOI n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets \(1\) - Légifrance](#)

<sup>9</sup> [Décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019 relatif aux plans de prévention des risques concernant les « aléas débordement de cours d'eau et submersion marine » - Légifrance](#)



Lecacheux S., Filippini A.G., Pedreros R., Rohmer J., Arpaia L., et al. 2024. Outil d'aide à la gestion de crise pour la mission RDI33 : Atlas de scénarios de submersion sur le bassin d'Arcachon. *LHB Hydroscience Journal*, pp.2325692. (10.1080/27678490.2024.2325692). (hal-04527015)

Mugica J., Louisor J., Maspataud A., Pedreros R., Koechler F., 2020. Caractérisation des Zones Basses Potentiellement Exposées aux Submersions Marines en Corse-du-Sud. Communes d'Orsani à Bonifacio et communes de Conca et Sari-Solenzara. Rapport final. BRGM/RP-69376-FR, 200 p., 91 fig., 4 tabl., 6 ann., 1 CD.

Cerema, 2024. Cartographie nationale des zones basses du littoral - Zones basses définies à la cote des PHMA., 24 p. <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/597421/cartographie-nationale-des-zones-basses-du-littoral-zones-basses-definies-a-la-cote-des-phma>

Mugica J., Louisor J., Maspataud A., Pedreros R., Koechler F., avec la collaboration de Dolo F., 2021. Caractérisation des Zones Basses Potentiellement Exposées aux Submersions Marines en Haute-Corse. Rapport final. RP-69915-FR , 93 fig., 5 tab., 6 ann., 248 p.

Mugica J., Pedreros R., Louisor J., Rohmer J., Maspataud A., Laigre T., Koechler F., avec la collaboration de Nicolae Lerma A., Paris F., 2020. Caractérisation des Zones Basses Potentiellement Exposées aux Submersions Marines – Secteurs de Sant'Amanza (Bonifacio à Zonca. Rapport final. BRGM/RP-68934-FR, 126 p., 83 fig., 3 tabl., 3 ann., 1 usb.

Pang T., Wang X., Nawaz R.A. *et al.*, 2023. Coastal erosion and climate change: A review on coastal-change process and modeling. *Ambio*52, 2034–2052 (2023). <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01901-9>

Pouzet Pierre, 2018. Étude des paléo-événements extrêmes le long de la côte atlantique française : Approches sédimentologiques, dendrochronologiques et historiques. Géographie. Université de Nantes. 2018. HAL Id: tel-02197163. <https://theses.hal.science/tel-02197163>

Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae Lerma A., Pedreros R., 2017. Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.

## Rapports du GIEC / IPCC :

Ali, E., W. Cramer, J. Carnicer, E. Georgopoulou, N.J.M. Hilmi, G. Le Cozannet, and P. Lionello, 2022. Cross-Chapter Paper 4: Mediterranean Region. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2233–2272, doi:10.1017/9781009325844.021.

Bednar-Friedl, B., R. Biesbroek, D.N. Schmidt, P. Alexander, K.Y. Børshiem, J. Carnicer, E. Georgopoulou, M. Haasnoot, G. Le Cozannet, P. Lionello, O. Lipka, C. Möllmann, V. Muccione, T. Mustonen, D. Piepenburg, and L. Whitmarsh, 2022. Europe. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S.



Langsdorf, S. Löscke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1817–1927, doi:10.1017/9781009325844.015.

Le Cozannet, G. ; Lawrence, J. ; Schoeman, D. ; Adelekan, I. ; Cooley, S. ; Glavovic, B. ; Haasnoot, M. ; Harris, R.; Kiessling, W.; Kopp, R.E.; Mukherji, A.; Nunn, P.; Piepenburg, D.; Schmidt, D.; Simmons, C.T.; Singh, C.; Slangen, A.; Supratid, S., 2022. Cross Chapter Box – Sea-level Rise; In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löscke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press.

Oppenheimer, M., B.C. Glavovic , J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, and Z. Sebesvari, 2019. Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)], 2019

IPCC, 2022. [AR6 WGII SPM] (en) *Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation and Vulnerabilty : Summary for Policymakers*, GIEC, février 2022, 34 p. ([[archive](#)] [PDF]).

IPCC, 2022. [AR6 WGII TS] (en) *Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation and Vulnerabilty : Technical Summary*, GIEC, février 2022, 84 p. ([lire en ligne](#) [[archive](#)] [PDF]).

IPCC, 2022. [AR6 WGII FR] (en) *Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation and Vulnerabilty : Full Report*, GIEC, février 2022, 3068 p. ([lire en ligne](#) [[archive](#)] [PDF]).

Rapport du rapport spécial GIEC 2019 (SROCC) : [www.ipcc.ch/srocc/](http://www.ipcc.ch/srocc/)

Rapport du GIEC 2022 (AR6) : [www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/](http://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/)

## Liens d'intérêt :

Géorisques, Portail de référence sur les risques du territoire : <https://www.georisques.gouv.fr/>



# SUBMERSION MARINE

## Exemples de ressources vidéo sur la submersion marine (liste non exhaustive) :



Le phénomène de submersion marine (DREAL Normandie)  
<https://vimeo.com/838645903/2969492bfc>



La submersion marine (Observatoire de la Côte de Nouvelle-Aquitaine)  
<https://www.youtube.com/watch?v=yNwQC1EzegQ>



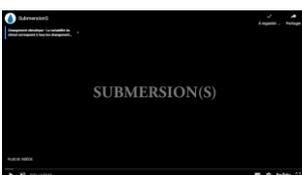
Le risque de submersion, une forte vulnérabilité régionale (Nantes Université / OSUNA)  
<https://www.youtube.com/watch?v=yZaq4VLnqWg>



Définition des risques littoraux : submersion marine, vent, forte houle et dépression atmosphérique (OFB, PNM Golfe du Lion, Cefrem)  
<https://www.youtube.com/watch?v=JB0SiSrQsil>

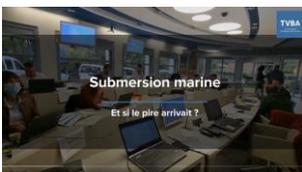


Submersion marine : quels risques ? (Région Hauts-de-France)  
<https://www.weo.fr/video/submersion-marine-quels-risques/>



Submersion(S). Documentaire d'Olivier Sigaut tourné sur le littoral de la Nouvelle Aquitaine, depuis la pointe de l'île de Ré jusqu'à Hendaye, pendant les tempêtes de 2014 et 2015. Il recueille la parole des élus, des scientifiques, des associations environnementales et des habitants confrontés au recul du trait de côte, au risque d'inondation par submersion marine, à la montée du niveau de la mer due au changement climatique.

<https://veille-eau.com/videos/submersions>



Submersion marine : Et si le pire arrivait ?  
Exercice de crise submersion marine sur le Bassin d'Arcachon (TVBA)  
<https://www.youtube.com/watch?v=5DtIDnqZH28>



Série documentaire dans le cadre du partenariat Litto'Risques (CD 29, UBO et Cerema) de six épisodes couvrant les thèmes suivants : origine des variations du niveau de la mer et sa tendance d'évolution d'ici la fin du siècle, impact du changement climatique sur les risques littoraux, modes de gestion durable du littoral, et réduction de la vulnérabilité

<https://www.youtube.com/watch?v=yh0ymGVqfw>

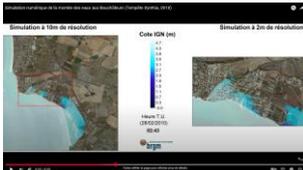


# SUBMERSION MARINE



Evaluation économique du risque de submersion sur le littoral Guadeloupéen (BRGM, ADEME, CCI de Guadeloupe)

<https://www.brgm.fr/fr/actualite/video/evaluation-economique-risques-cotiers-guadeloupe>



Simulation numérique de la montée des eaux aux Bouchôleurs (Tempête Xynthia, 2010) (BRGM)

<https://www.youtube.com/watch?v=XhMkaY-e2PA>

## Pour aller plus loin

Un catalogue thématique de fiches techniques relatives aux types de données est produit dans le cadre du groupe de travail « Tempêtes et submersions historiques ». La présente fiche et la fiche « tempête » sont transversales aux autres fiches auxquelles le lecteur peut se reporter pour avoir des informations plus détaillées.

En effet, ces fiches présentent la donnée et sa définition, les méthodes d'acquisition et de traitement ainsi que les éventuelles incertitudes associées. Elles permettent également de partager un vocabulaire commun, mais aussi d'aider à la compréhension des ressources historiques et scientifiques existantes concernant les tempêtes et submersions marines historiques. Ces fiches thématiques sont citées, dans le texte, dès que pertinent.

Version Janvier 2025



Version juillet 2025