

VIGILANCE VAGUES-SUBMERSION : PRÉVOIR LES INONDATIONS PAR LA MER ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES

Auteurs : CAILLAUD Eric, BOUGEON Marjorie, PARADIS Denis, BESSON Florence.
METEO-FRANCE, DIROP/MAR,
Météopole, Toulouse, eric.caillaud@meteo.fr

Choix du thème/session :

2/ Prévision des crues et des inondations

Mots clefs (2 à 3 minimum) : vigilance, conditions météo-marines, vagues en côtier, niveaux marins sur le littoral, submersion, interactions prévision marine/prévision des crues.

Résumé :

Suite à plusieurs événements météorologiques dramatiques, notamment la tempête Xynthia en février 2010, Météo France a mis en place, en partenariat avec le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) et la DGPR (Direction générale de la Prévision des Risques) la Vigilance « Vagues-Submersion » (VVS) en octobre 2011, qui a abouti plus tard sur l’accompagnement de la mission RDI (Référént Départemental Inondations).

Dans une première partie, l’aléa vagues-submersion sera défini, avec les conditions météorologiques et océaniques nécessaires et décliné selon les particularités locales, en métropole et en outre-mer.

Dans une seconde partie, les activités opérationnelles liées à la production de la VVS seront présentées ainsi que les interactions entre la prévision marine au niveau de la VVS et la prévision des crues.

Abstract :

Following several dramatic weather events, including Storm Xynthia in February 2010, Météo France has set up, in partnership with the SHOM (Hydrographic and Oceanographic Service of the Navy) and the DGPR (Directorate General of Risk Prediction) the Vigilance « Vagues-Submersion » (VVS) in October 2011, which led later to the support of the RDI mission (Referent Départemental Inondations).

In a first part, the wave-submersion hazard will be defined, with the weather and oceanic conditions necessary and declined according to the local particularities, in metropolitan and overseas.

In a second part, the operational activities related to the production of VVS will be presented as well as the interactions between marine forecasting at the VVS level and flood forecasting.

1. Introduction

Plusieurs événements dramatiques dont la tempête Xynthia en février 2010 ont montré la vulnérabilité du littoral métropolitain au risque de submersion. Météo-France, en partenariat avec le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) et la DGPR (Direction Générale de la Prévention des Risques) a mis en place en octobre 2011 la vigilance vagues-submersion. Depuis, celle-ci n’a cessé d’évoluer pour aller jusqu’à l’accompagnement de la mission RDI (Référént Départemental Inondation) littoral.

La mise en place de la vigilance vagues-submersion a nécessité plusieurs phases. Pour chaque portion de littoral, un inventaire des événements de référence et de leurs impacts a été réalisé. Des rejeux par modélisation des situations répertoriées les plus intéressantes ont été effectués. Un recensement des zones vulnérables à l’aléa vagues-submersion a également été accompli avec l’appui des différents services de l’État (DREAL, DDTM, préfectures). Des données statistiques de durée de retour de niveaux marins réalisé par le SHOM et d’état de la mer développé par le CEREMA ont été mis à disposition de Météo-France. C’est l’ensemble de ces données qui ont permis d’établir tes tableaux de seuils pour chaque portion de littoral du territoire métropolitain. Elle a ensuite été étendue à l’outre-mer avec leurs spécificités locales.

De plus, dans cadre du projet Homonim opéré en partenariat avec Météo-France, le SHOM et la DGPR) des outils de prévision numérique spécifiques ont été développés. Il s’agit d’un nouveau modèle de prévision de niveau marin (HYCOM 2D) et d’un modèle de vagues côtier WW3 à 200m de résolution. Enfin, une organisation opérationnelle H24 a été définie et mise en place ainsi qu’une production opérationnelle dédiée qui s’est inscrite dans le dispositif de la Vigilance météorologique opérée par Météo-France, avec notamment des interactions avec la prévision des crues qui seront détaillées dans un dernier paragraphe

2. Présentation de l’aléa submersion marine

2.1 : Définition

Une submersion marine est une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et océaniques défavorables. L’aléa «vagues-submersion» englobe l’aléa submersion marine mais également l’action du choc mécanique des vagues sur le littoral qui peut entraîner des dégâts sur les infrastructures (digue, jetée) et des transports de matériaux comme des galets ainsi que de l’érosion côtière.

On peut distinguer trois types de submersion marine:

- La submersion par débordement, le niveau marin est supérieur au niveau des ouvrages de protection.
- La submersion par franchissement de «paquets de mer», le niveau marin est inférieur au sommet de l’ouvrage, mais les vagues en venant se briser sur l’ouvrage de défense le franchissent par «paquets de mer».
- La submersion par rupture du système de protection (ouvrage ou cordons naturels), sous l’action

répétée du choc des vagues, la brèche laisse s’engouffrer l’eau dans des terres plus basses que le niveau de la mer.

Le phénomène «vagues-submersion» est dû à une élévation inhabituelle du niveau de la mer conjugué à une agitation de la surface de la mer (fortes vagues). Ce phénomène est multi-factoriel :

Tout d’abord, l’intensité de la marée (niveau marin dû principalement aux phénomènes astronomiques et à la configuration géographique), plus la marée est forte, plus le niveau de la mer à marée haute est élevé.

Ensuite, le phénomène de surcote qui est une surélévation temporaire du niveau marin dû au passage d’une tempête. Cette surcote se produit selon trois processus principaux :

- La baisse de pression atmosphérique, au moment du passage de la dépression le poids de l’air décroît à la surface de la mer et mécaniquement le niveau de la mer monte. Une diminution de la pression atmosphérique d’un hectopascal (hPa) équivaut approximativement à une élévation d’un centimètre de la hauteur d’eau (règle du baromètre inverse). Exemple, une dépression de 980 hPa (soit une différence de 35 hPa par rapport à la pression atmosphérique moyenne de 1015 hPa) génère une surélévation d’environ 35 cm .
- Le rôle majeur du vent qui exerce des frottements à la surface de l’eau, ce qui entraîne une modification des courants et du niveau de la mer avec une accumulation d’eau à l’approche du littoral.
- Les vagues peuvent également contribuer à augmenter localement dans la zone de déferlement le niveau marin (phénomène de wave set-up).

Enfin, l’agitation due aux vagues s’ajoute à ces différents phénomènes. Le déferlement des fortes vagues peut se traduire par une projection violente de masses d’eau par «paquets de mer» sur le littoral (phénomène de wave run-up).

C’est donc bien la conjugaison d’un niveau marin élevé et le déferlement des fortes vagues qui entraînent les submersions les plus sévères. Le risque est le plus marqué au moment des pleines mers.



Figure 1: Le phénomène vagues-submersion croise les conditions météorologiques et océaniques

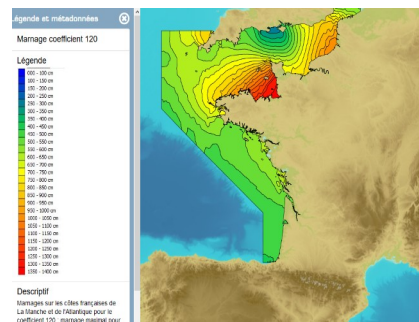
2.2 : Un phénomène régionalisé

L'aléa vagues-submersion est un phénomène régionalisé, la bathymétrie et la forme du trait de côte jouant un rôle important.

- Tout d'abord, l'amplitude de la marée est soumise à une variabilité géographique importante. Le marnage très important en Manche (15m à Saint-Malo, 10m en baie de Somme), plus faible sur la façade Atlantique (5m50 à Concarneau et 4m60 à Bayonne) est de l'ordre de 40 cm sur le littoral méditerranéen.

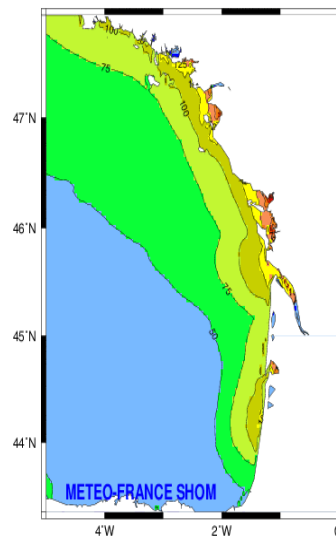
- Ensuite, la sensibilité du littoral à la surcote est également variable. Les zones les plus sensibles sont les zones de faible profondeur avec des formes où l'eau peut être piégée. Exemples : baie de Somme, baie de Seine, St-Malo, estuaire de la Loire, baie de Bourgneuf, pertuis Charentais, bassin d'Arcachon et le golfe du Lion.

- Enfin, la puissance de déferlement des vagues est corrélée à la pente de la plage et à son exposition à la houle. Ainsi le littoral de la côte d'Azur est plus exposé au fort déferlement que la côte sableuse du Languedoc-Roussillon.



Carte de marnage pour un coefficient 120 établi par le SHOM

facade_atlantique



Carte de surcote maximum pour 30 tempêtes de référence, modèle HYCOM

Certaines zones seront donc plus sensibles à une augmentation du niveau marin tandis que d'autres seront plus impactées par des fortes vagues, notamment des fortes houles.

2.3 : l'aléa vagues-submersion en outre-mer

La vigilance vagues-submersion est progressivement étendue à l'Outre-mer.

En métropole, le niveau de vigilance est obtenu par une étude croisée du niveau marin et de l'état de la mer. C'est également le cas pour Saint-Pierre-et-Miquelon, la Guyane et les îles françaises de l'océan Indien, Mayotte et la Réunion. Néanmoins, pour cette dernière, soumise pendant l'hiver austral à de fortes houles de sud-ouest, le niveau de vigilance est également modulé par la période de la houle.

Pour la Nouvelle-Calédonie, la Polynésie et les Antilles, qui sont des zones de faible marnage, les critères de vigilance vagues-submersion portent uniquement sur la hauteur de la houle et sa période

qui peuvent être traduites en puissance linéique comme c’est le cas en Polynésie. Pour ces territoires, le niveau marin sera uniquement pris en compte pour les événements cycloniques qui peuvent générer de fortes surcotes comme ce fut le cas en septembre 2017, lors du passage du cyclone Irma sur l’île de Saint-Martin où l’on a enregistré une surcote de plus de 2 m.

3. Activités opérationnelles liées à la production de la vigilance vagues-submersion :

3.1 : Carte de vigilance

La vigilance vagues-submersion est produite deux fois par jour à 06h et 16h dans le cadre de la vigilance météorologique de Météo France, et depuis l’automne dernier, couvre les journées J et J+1 avec deux cartes distinctes pour J et J+1.

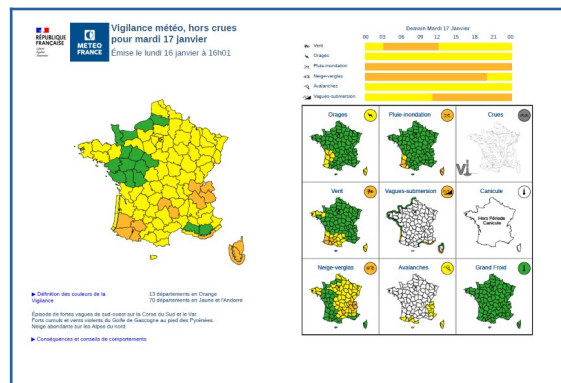
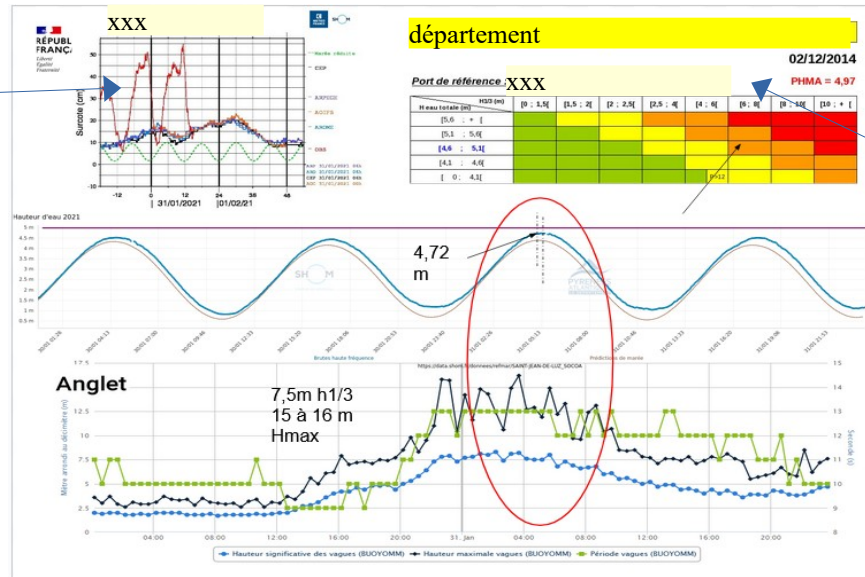


Figure 2: Exemple de production de carte de vigilance pour J+1, émise le 16 janvier pour un épisode de vigilance vagues-submersion débutant le 17.

Pour les échéances plus lointaines, une estimation du risque du phénomène dangereux « vagues-submersion » est réalisée par le chef prévisionniste marine chaque jour et visualisable sur le site Météo France.

Le choix de la couleur de vigilance est une combinaison du niveau marin et de l’état de mer (vagues), résumé par le tableau à double entrée ci-dessous :

Surcote observée et
prévue



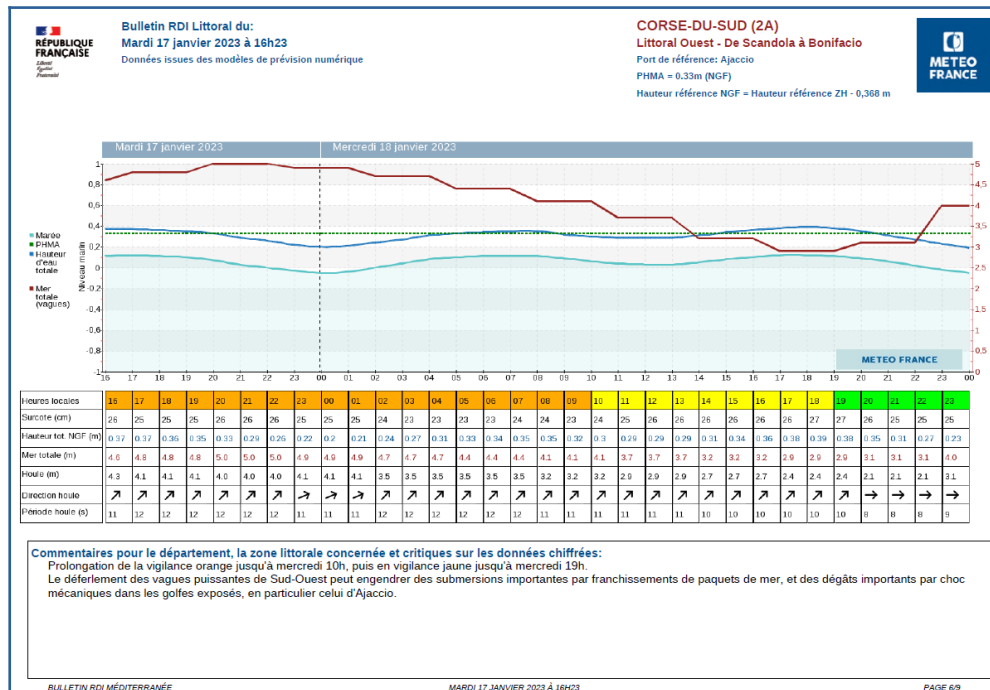
département

Tableau à double
entrée : niveau marin
et hauteur des vagues

Etat de la mer : H1/3
mer totale, Hmax,
période des vagues
(synopsis)

Cas de la tempête Justine en janvier 2021

Enfin, l'information vigilance vagues-submersion marine est complétée par un bulletin émis dès le niveau de vigilance jaune à destination des missions RDI (Réseau Départemental des Inondations) des DDTM (Direction Départementale des Territoires et de la Mer)



Exemple de bulletin RDI émis pour la Corse du Sud

On retrouve pour chaque portion de littoral : les heures de vigilance vagues-submersion, le niveau marin et la surcote, la hauteur des vagues totale, la force de la houle, sa période et sa direction. Il est aussi mentionné le modèle choisi et quelques données chiffrées supplémentaires utiles, ainsi qu’une estimation des zones potentiellement les plus impactées.

Ce bulletin est un élément important pour la coordination entre la prévision marine et la prévision des crues, développée dans le paragraphe suivant.

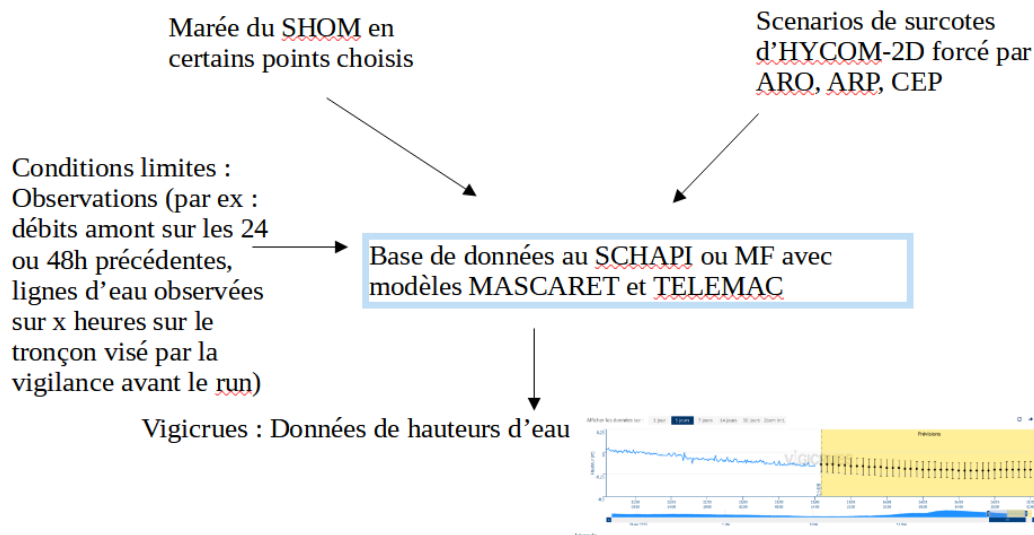
3.2 : Interactions prévision des crues et prévision marine

Pour les cours d’eau se déversant en mer et notamment par un estuaire, les conditions océaniques ont un impact sur les données de hauteurs d’eau aux stations côtières mais parfois aussi sur les stations en amont. En effet, une sous-estimation de la surcote océanique, que ce soit en intensité ou en durée (exemple de la tenue du plein) entraîne une sous-estimation des hauteurs d’eau des stations amont et une mauvaise prévision de possibles inondations.

A l’inverse, lors de l’expertise VVS, les fortes crues des fleuves se déversant sur la zone est prise en compte en facteur aggravant, pouvant faire basculer sur la couleur supérieure en cas de doute.

3.2.1 : Fonctionnement des modèles de prévision des crues à influence océanique :

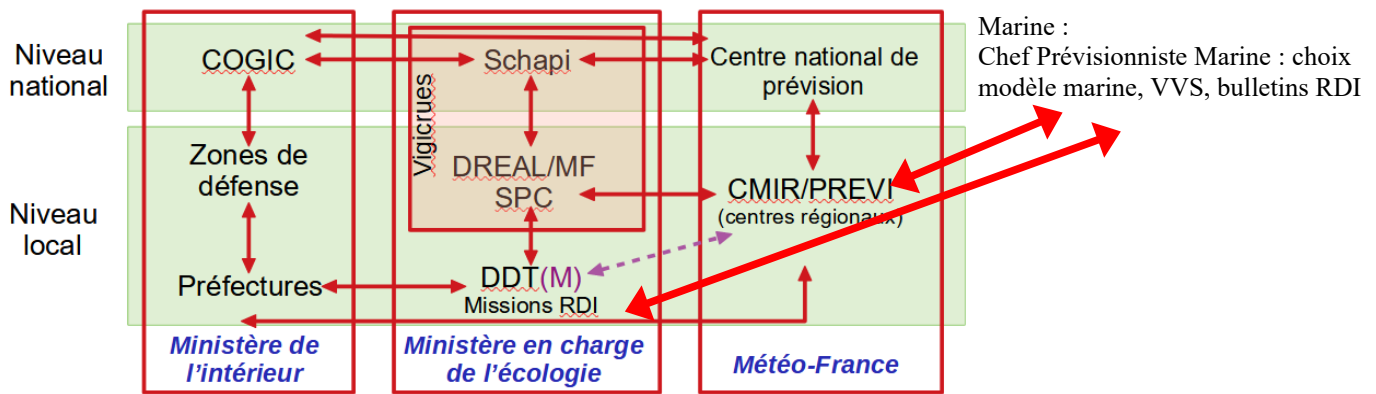
Les Services de Prévision des Crues (SPC), associés au Service Central d’Hydrométéorologie et d’Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI) utilisent des modèles de prévision des crues à influence maritime pour leurs cours d’eau se déversant en mer. C’est notamment le cas de la Seine, la Loire, La Garonne côté bassin Manche Atlantique et de l’Hérault ou du Rhône, côté Méditerranée. Les deux modèles actuellement utilisés sont MASCARET et TELEMAC dont le schéma suivant explique basiquement le fonctionnement.



Ces modèles utilisent donc en donnée d’entrée la surcote prévue par HYCOM-2D. Par effet local, cette surcote peut être mal prévue par le modèle actuel (sous-estimation de la surcote du fait de l’onde de marée piégée dans l’estuaire : tenue de plein) et générer des sous-estimations de hauteurs d’eau sur les stations amont des fleuves surveillés par vigicrues (exemples des tempêtes Ciara et Inès sur l’estuaire de la Seine).

3.2.2 : Interactions opérationnelles : état des lieux et besoins :

Les interactions entre Météo France et plus précisément le service Marine, la Prévision des crues et les acteurs de la Sécurité Civile est résumée dans le schéma suivant.



Le Chef Prévisionniste Marine de Météo France choisit le modèle atmosphérique et marine deux fois par jour jusqu'à J+3, réalise l'expertise VVS en collaboration avec les Chefs Prévisionnistes Régionaux et rédige les bulletins RDI dès la couleur jaune.

D'après un sondage réalisé auprès des SPC pour connaître leurs utilisations et besoins en données marine, le choix du modèle de surcote en entrée des modèles de prévision des crues se fait :

- soit sur les bulletins RDI (rédigés seulement en cas de VVS donc indisponibles dans le cas de crues sans VVS jaune : tempêtes sans forte surcote et/ou fortes vagues mais avec de forts coefficients de marée (cas de crues sur la Seine en mars 2020),
- soit en faisant une moyenne des trois modèles de surcote (forçage ARP, ARO et CEP) ;
- soit par le biais des bulletins précipitations pour certaines DIR.

Cette donnée de surcote expertisée est un besoin exprimé par les SPC dans ce sondage avec une notion d'incertitude, comme cela peut être fait sur les précipitations.

5. Conclusion :

L'aléa vagues-submersion est un aléa complexe combinant plusieurs facteurs qui peuvent se conjuguer : le niveau marin et l'état de la mer (hauteur et période des vagues) la bathymétrie et la forme du trait de côte auxquels on peut ajouter des facteurs aggravants, comme la direction et la force du vent et pour les zones estuariennes ou les débits des cours d'eau se déversant en mer.

La prévision des crues à influence maritime utilise aussi les niveaux marins, notamment la surcote, qui a un effet sur les débits amont des fleuves.

La prévision de surcote et son expertise est donc au cœur des deux prévisions. Les recherches et développements en cours devraient améliorer ses performances : modèle TOLOSA avec sa maille déstructurée et fine dans les estuaires, la prévision d'ensemble pourra aussi fournir une notion d'incertitude, déjà utilisée pour les autres paramètres météorologiques.