

Adaptation d'un modèle de surcote cyclonique pour la Nouvelle-Calédonie

Christophe Point-Dumont

Direction Inter-régionale de Météo-France de Nouvelle-Calédonie
Stage effectué à la Direction Inter-régionale de l'Océan Indien

La surcote est un phénomène affectant la hauteur du niveau de la mer qui peut avoir des effets importants près des côtes, sur l'activité humaine et la sécurité des personnes et des biens, notamment lors d'événements exceptionnels tels que les cyclones. C'est pourquoi l'enjeu concernant la prévision des phénomènes de surcote, qui peuvent être destructeurs et meurtriers, est primordial. Les passages récents des cyclones Cook (avril 2017) et Donna (mai 2017) en Nouvelle-Calédonie ont rappelé et confirmé l'intérêt pour la DIRNC (Direction inter-régionale de Météo-France en Nouvelle-Calédonie) de disposer d'un tel outil de prévision.

La DIROI (Direction inter-régionale de Météo-France pour l'Océan Indien) est le Centre Météorologique Régional Spécialisé (CMRS) chargé du suivi des systèmes dépressionnaires tropicaux dans le sud-ouest de l'océan Indien. Elle doit, de fait, répondre à une attente forte des pays exposés de sa zone de responsabilité (Madagascar, Mayotte, Comores, Maurice, Mozambique) concernant les prévisions de surcote cyclonique. C'est pourquoi la DIRNC a sollicité l'appui de la DIROI pour qu'un modèle de prévision de surcote cyclonique, déjà en usage à la DIROI, soit adapté au domaine de responsabilité de la DIRNC, pour être mis en service opérationnel.

Éléments théoriques et cadre du projet

Le phénomène de surcote

En région océanique, la surcote est un soulèvement de la surface de la mer par rapport au niveau que prévoit le calcul de la seule marée astronomique. Ce soulèvement est généralement dû à l'effet d'une dépression météorologique.

Le décalage entre niveau réel de la surface de la mer et niveau de la marée astronomique provient principalement des variations dans le poids de l'atmosphère, tel que le supporte la surface de l'océan. Pareilles variations sont mises en évidence par la répartition des valeurs de pression atmosphérique au niveau de la mer : là où se dessine un anticyclone, la surface océanique se creuse sous l'effet d'une atmosphère plus lourde et l'on mesure une décote, c'est-à-dire une différence négative de niveau par rapport à la marée astronomique ; là où apparaît une dépression, l'atmosphère plus légère qui surplombe la surface de la mer la fait se soulever, provoquant ainsi une surcote, c'est-à-dire une différence positive de niveau par rapport à la marée astronomique.

L'action des vents se combine fréquemment à celle de la pression atmosphérique pour amplifier la valeur et les effets de décote et de surcote.

Le contexte en Nouvelle-Calédonie

La Nouvelle-Calédonie est un archipel situé dans l'océan Pacifique à 1500 km à l'est de l'Australie et à 2000 km au nord de la Nouvelle-Zélande, à quelques degrés au nord du tropique du Capricorne, et distant de la France métropolitaine de près de 20 000 km.

Le territoire jouit d'un climat tropical, tempéré par l'influence océanique et influencé régulièrement par les phénomènes El Niño et La Niña. Les vents dominants sont les alizés (soufflant d'est à sud-est). Les températures moyennes sont relativement chaudes et l'humidité y est assez forte. La Zone de Convergence du Pacifique Sud (ZCPS) est la structure atmosphérique qui influence le plus le climat des îles du Pacifique Sud. D'un point de vue climatologique, elle se traduit par une bande de fortes précipitations annuelles qui s'étire de la Papouasie à la Polynésie, avec une branche zonale à l'ouest et une branche diagonale à l'est. D'un point de vue météorologique, elle se manifeste sur les images satellites par une longue bande nuageuse plus ou moins continue, constituée en grande partie de puissants nuages verticalement très développés (cumulonimbus). La Nouvelle-Calédonie n'y est directement soumise que de façon intermittente en saison chaude, ces épisodes sont en particulier propices à la formation des systèmes cycloniques.

La modélisation de la surcote

Comment modéliser la surcote

Deux types de modèles peuvent être utilisés pour prévoir les surcotes : les modèles statistiques et les modèles dynamiques. L'utilisation d'un modèle statistique nécessite un enregistrement continu du niveau de la mer sur une longue période, ce qui permet de calibrer le modèle en fonction de différents paramètres atmosphériques. Ce système est peu coûteux en temps de calcul, mais ne permet pas de faire des prévisions en dehors des zones où il existe des points de mesure. Météo-France s'est donc tourné vers les modèles dynamiques permettant de pallier le manque de mesures. L'apparition des stations de travail puissantes permet l'utilisation de ces modèles hydrodynamiques dans les centres de prévision opérationnels.

Principes de fonctionnement

Les principales variations, à court terme, de la circulation océanique, en particulier sur un plateau continental, sont dues au vent et à la pression atmosphérique. Les effets baroclines peuvent donc être négligés pour la prévision de la circulation océanique sur des périodes de quelques jours. Un modèle, utilisant les équations de Saint-Venant, intégrées sur la profondeur de l'océan a donc été développé par Météo-France pour la prévision des surcotes (Daniel et al., 2008).

Ce modèle de prévision numérique de surcote, est un modèle forcé par le vent et la pression atmosphérique (via l'interface Synergie-cyclone¹). Il utilise une trajectoire cyclonique préalablement élaborée sous Synergie-cyclone sur un large domaine du Pacifique (160° E – 170° W ; 27° S – 10° S). À l'intérieur de celui-ci il est possible de créer autant de sous-domaines que souhaités sur différentes positions du territoire. Le modèle de surcote, avant même l'intégration temporelle des équations de Saint-Venant (plus connues en météorologie sous le nom « d'équations barotropes »), effectue automatiquement deux opérations numériques :

- Sélection automatique d'un ou plusieurs sous-domaines touchés par la trajectoire du cyclone, parmi des sous-domaines configurés à l'avance.
- Suivant le schéma de cyclone développé par Holland (1980), évaluation en chaque point de grille de ces sous-domaines (résolution horizontale variable de 600 à 900 m selon la bathymétrie choisie), et pour chaque instant pertinent, d'un champ de pression et d'un champ de vent à 10 m.

Le schéma de Holland n'est pas un modèle de prévision au sens météo, c'est un modèle analytique qui permet de définir un champ de pression (et de vent) à un instant t , à partir de quelques paramètres caractérisant le cyclone (lat/lon de son centre, pression au centre, ... rayon du vent max...). Il a l'avantage de caractériser la structure de ces champs bien plus finement que les modèles météorologiques classiques. Il fournit donc un meilleur forçage à l'intégration numérique des équations du modèle de surcote proprement dit (pas de temps de l'ordre de la minute).

Il faut noter que le modèle est dit « non pénétrant », c'est-à-dire que la côte y est représentée comme un mur, cela peut avoir une influence sur les résultats de simulation et donc les éloigner un peu des observations faites. Remarquons aussi que ce genre de modèle est difficile à évaluer du fait du manque d'observations réellement disponibles pour permettre des vérifications.

Les observations de surcotes

Le réseau marégraphique de Nouvelle-Calédonie

La Nouvelle-Calédonie dispose de 8 marégraphes installés et gérés par le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine). On en dénombre 5 installés sur la Grande-Terre, les 3 autres marégraphes sont installés sur chacune des îles Loyauté que sont Ouvéa, Lifou et Maré. Toutefois il s'est avéré, lors de l'analyse des observations choisies initialement (pour vérifier les prévisions de surcote), qu'un certain nombre de marégraphes n'étaient pas en service pendant les périodes concernées, ou bien n'ont pas fourni de relevés de mesures du niveau de la mer de façon suffisamment régulière.

Les surcotes observées

Le calcul de la surcote observée en un point, à un moment donné, consiste à soustraire au niveau de la mer observé, le niveau de la marée astronomique prévu. Pour le cyclone Cook, les observations retenues sont celles fournies par les marégraphes de Hienghène, Ouinné et Ouvéa. Pour le cyclone Donna, seules les observations fournies par le marégraphe d'Ouvéa ont été retenues, les marégraphes de Maré et Lifou n'ayant pas fourni de mesures régulières. Les marégraphes de la Grande-Terre, situés trop loin de la trajectoire du cyclone, n'ont pu fournir des mesures pertinentes pour la vérification des résultats du modèle de prévision de surcote qui s'attache essentiellement à modéliser la surcote liée à l'effet barométrique inverse du système et à ses vents associés.

1. Synergie est l'outil logiciel des prévisionnistes de Météo-France. Synergie-Cyclone est la version adaptée à l'analyse et la prévision des cyclones. Voir : http://www.meteo.fr/temps/domtom/La_Renion/webcmrs9.0/francais/cmrs/telecom.html

Les simulations de surcote

Chacune des situations retenues a été rejouée par le modèle selon différentes bathymétries². Les résultats sont présentés ci-dessous.

Surcote simulée au niveau du marégraphe de Hienghène au passage du cyclone Cook

La figure N°1 présente les résultats de surcote obtenus lors des simulations réalisées avec les fichiers de bathymétrie 0,5' et 0,3', ainsi que la surcote observée au niveau du marégraphe de Hienghène, lors du passage du cyclone Cook.

Sur la première partie du graphique (du 09/04 07 UTC au 09/04 15 UTC) les surcotes observées (en marron) et simulées (en rouge et en bleu) semblent proches malgré un décalage dans le temps de 2 heures, surtout avec le fichier de résolution 0,5' (en bleu) qui affiche une surcote simulée autour de 4 cm pour une surcote observée (en marron) de 10 cm. Alors que dans certaines zones du globe, les surcotes cycloniques peuvent atteindre plusieurs mètres, 10 cm est une valeur observée faible, et le modèle reproduit bien cet ordre de grandeur malgré le rapport 4 entre surcote observée et surcote prévue.

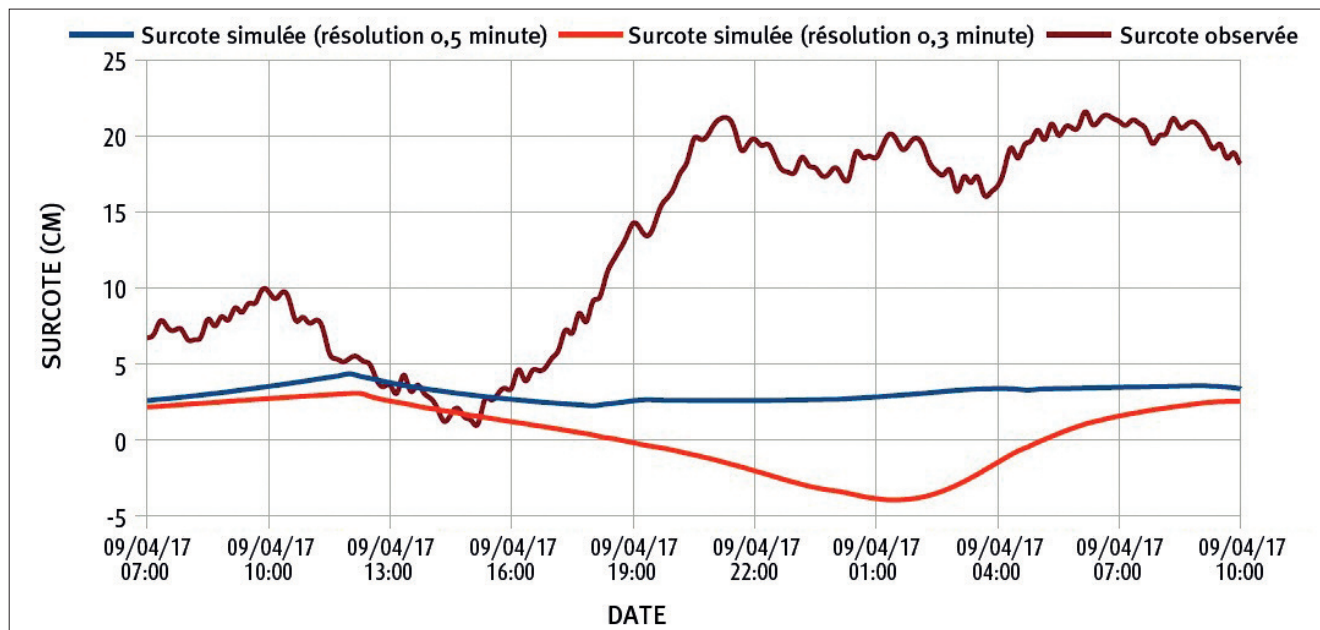


Figure 1 : Cyclone Cook, observations du marégraphe de Hienghène.

Sur la deuxième partie du graphique (du 09/04 19 UTC au 10/04 11 UTC) une longue période de surcote est observée avec un maximum situé autour de 22 cm, et cette surcote n'est pas du tout vue par le modèle. Cela semble pouvoir s'expliquer, en partie, par le fait que le marégraphe de Hienghène est situé à l'embouchure d'une rivière, la crue probable de cette dernière, due aux fortes précipitations liées au cyclone (80 mm en 24 heures à Hienghène et 133 mm en 24 heures à Tango, situé dans un massif proche de Hienghène), n'est pas prise en compte dans ce modèle qui n'est forcé que par la pression atmosphérique et les vents.

Une autre explication possible se trouve dans l'analyse des champs de vent associés au cyclone lors de son passage au niveau de la côte Est de la Grande Terre. En effet du 09/04 18 UTC au 10/04 18 UTC, Hienghène se trouve soumis à des vents venant de la terre, dont la vitesse est plus faible que les vents sur mer (les seuls utilisés par le modèle pour le calcul des surcotes). Ces vents (estimés trop forts dans le modèle) peuvent repousser au large l'eau du littoral, produisant ainsi par erreur une surcote trop faible (ou même une décote plutôt qu'une surcote).

Surcote simulée au niveau du marégraphe de Ouinné au passage du cyclone Cook

La figure N°2 présente les résultats de surcote obtenus lors des simulations réalisées avec les fichiers de bathymétrie 0,5' et 0,3', ainsi que la surcote observée au niveau du marégraphe de Ouinné, lors du passage du cyclone Cook.

Le modèle semble bien réagir et présente une courbe de simulation (en rouge et en bleu) de surcote proche de la courbe de surcote observée (en marron), malgré un décalage temporel de l'ordre de 3 heures. On note toutefois une simulation obtenue avec le fichier de bathymétrie de résolution 0,5' (en bleu), qui indique une surcote maximale de l'ordre de 29 cm, plus proche de la mesure observée que la simulation réalisée avec le fichier de bathymétrie de résolution 0,3' (en rouge), qui indique une surcote maximale de l'ordre de 14 cm. La surcote maximale observée au niveau du marégraphe de Ouinné est de 36 cm.

2. La bathymétrie est la mesure de la profondeur de l'océan. Pour cette étude nous avons utilisé les données bathymétriques à deux résolutions différentes : 0,5 minutes d'arc soit environ 900 m, et 0,3 minutes soit environ 600 m.

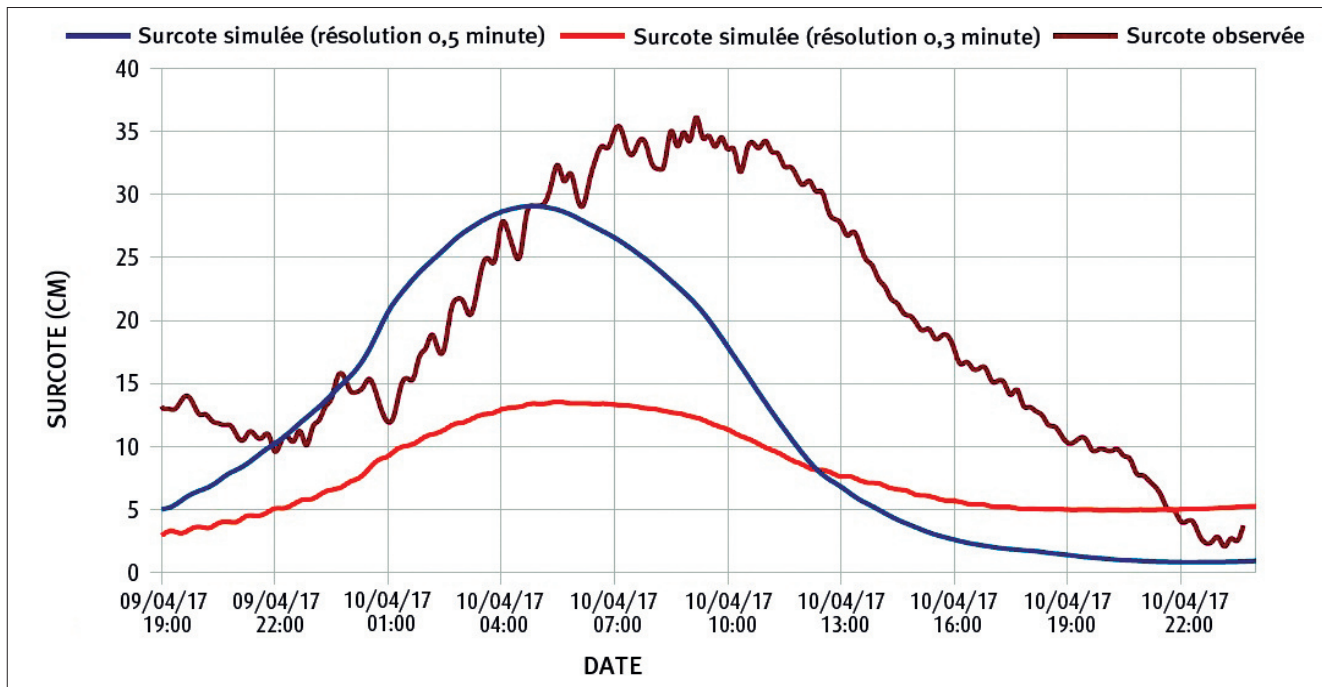


Figure 2 : Cyclone Cook, observations du marégraphe de Ouinné.

Bien que le marégraphe de Ouinné se situe lui aussi à l'embouchure d'une rivière, le modèle semble mieux réagir qu'au niveau du marégraphe de Hienghène. Une explication possible est que la rivière débouchant à Hienghène semble avoir subi une plus grande crue que celle débouchant à Ouinné, le relief montagneux situé à proximité de Hienghène étant plus élevé que celui situé à proximité de Ouinné. Une autre explication semble à nouveau pouvoir se trouver dans l'analyse des champs de vent associés au cyclone lors de son passage au niveau de la côte Est de la Grande Terre. En effet, sur la même période allant du 09/04 18 UTC au 10/04 18 UTC, Ouinné, contrairement à Hienghène, est soumis à des vents venant de l'océan, donc mieux représentés dans le modèle, et générant correctement une surcote de quelques dizaines de cm par accumulation de l'eau au niveau du littoral.

Ce constat se fait aussi dans l'analyse des observations puisque le marégraphe de Hienghène affiche une surcote maximale observée de 22 cm tandis que celui de Ouinné affiche une surcote maximale observée de 36 cm, pour des configurations de bathymétries proches.

Surcote simulée au niveau du marégraphe d'Ouvéa au passage du cyclone Cook

La figure N°3 présente les résultats de surcote obtenus lors des simulations réalisées avec les fichiers de bathymétrie 0,5' et 0,3', ainsi que la surcote observée au niveau du marégraphe d'Ouvéa, lors du passage du cyclone Cook.

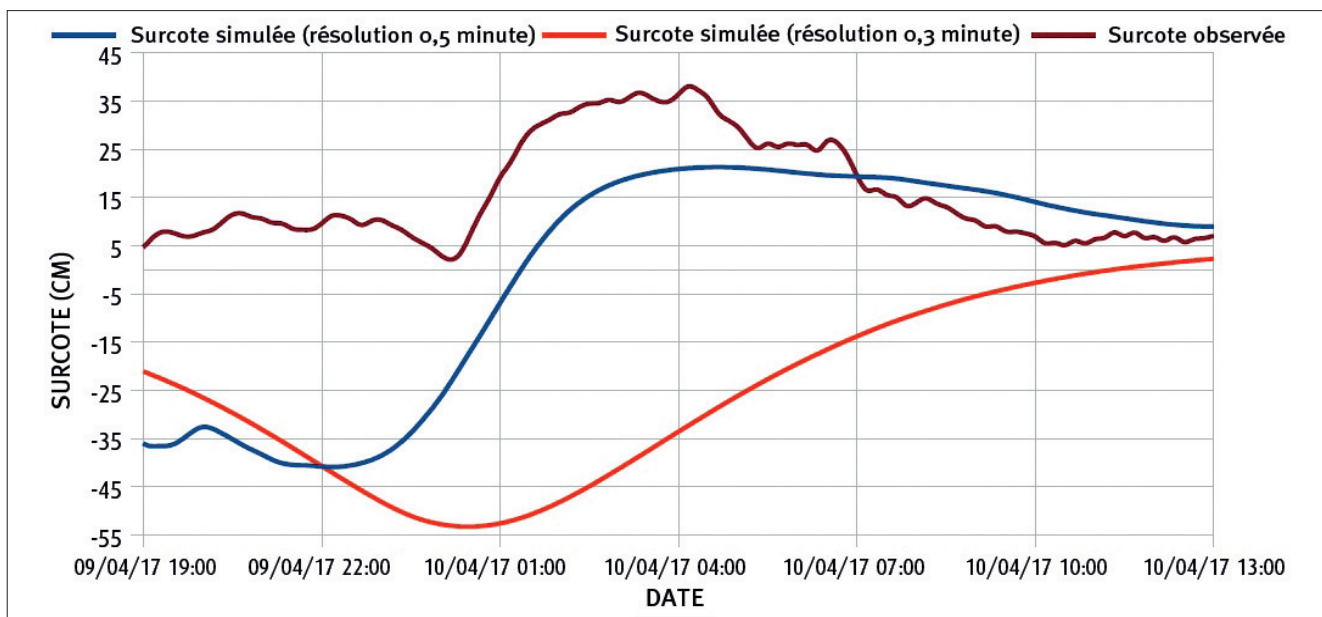


Figure 3 : Cyclone Cook, observations du marégraphe d'Ouvéa.

On remarque immédiatement, à l'allure des courbes, que la simulation faite avec un fichier de bathymétrie de résolution 0,5' (en bleu) est plus proche de la réalité observée (en marron) que la simulation faite avec un fichier de bathymétrie 0,3' (en rouge).

Au niveau de la surcote maximale (milieu du graphique), l'observation affiche une mesure de l'ordre de 38 cm, la simulation à résolution 0,5' affiche une valeur de l'ordre de 21 cm et la simulation à résolution 0,3' fait plutôt apparaître... une décote !. Donc pour ce qui est de la valeur de la surcote maximale, la simulation la plus proche de la réalité observée est celle réalisée à partir du fichier de bathymétrie de résolution 0,5'.

Pour ce qui est de la décote simulée et non observée dans la première partie du graphique (du 09/04 18 UTC au 10/04 00 UTC), elle s'explique peut-être par le fait que le marégraphe subit un vent venant de la terre (vent d'est à nord-est). Comme dans le cas du marégraphe de Hienghène, c'est une situation qui conduit notre modèle à utiliser localement des vents trop forts, à accentuer les décotes et à sous-estimer les surcotes. Une autre explication possible est le déferlement des vagues dont on sait qu'il joue un rôle important sur cette côte et qu'il n'est pas pris en compte dans le modèle. La grosse différence entre les deux simulations (0,5' et 0,3' pour bathymétrie et résolution horizontale) reste à étudier.

Surcote simulée au niveau du marégraphe d'Ouvéa au passage du cyclone Donna

La figure N°4 présente les résultats de surcote obtenus lors des simulations réalisées avec les fichiers de bathymétrie 0,5' et 0,3', ainsi que la surcote observée au niveau du marégraphe d'Ouvéa, lors du passage du cyclone Donna.

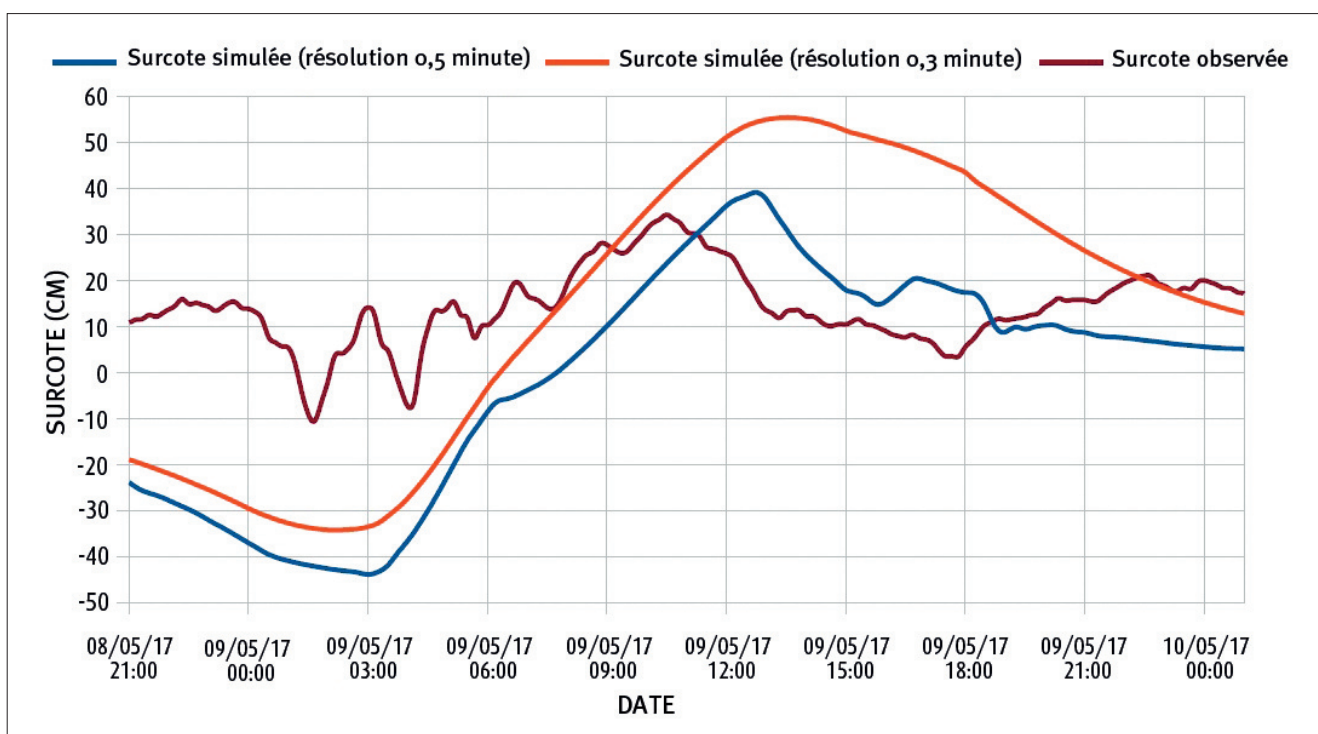


Figure 4 : Cyclone Donna, observations du marégraphe d'Ouvéa.

Les remarques à apporter sont sensiblement les mêmes que dans le cas de la simulation à Ouvéa pour le cyclone Cook, si ce n'est que dans ce cas, au lieu d'avoir une surcote maximale simulée légèrement inférieure à la surcote maximale observée, celle-ci est cette fois légèrement supérieure.

Au niveau de la surcote maximale, la courbe représentant l'observation affiche une mesure de l'ordre de 34 cm, alors que la courbe représentant la simulation de résolution 0,5' affiche une valeur de l'ordre de 40 cm et la courbe représentant la simulation de résolution 0,3' affiche une valeur de l'ordre de 55 cm. Donc pour ce qui est de la valeur de surcote maximale, la simulation réalisée avec un fichier de bathymétrie de résolution 0,5' reste la plus proche de l'observation.

Au niveau de l'allure des courbes, on remarque une concordance acceptable des courbes de surcotes simulées et observées uniquement dans la période allant du 09/05 05 UTC au 09/05 19 UTC, et ce malgré un décalage dans le temps récurrent (tantôt retard, tantôt avance).

Conclusion et perspectives

Pour le modèle de prévision de surcote ici étudié, les simulations réalisées avec la bathymétrie à 0,5' donnent presque systématiquement de meilleurs résultats que les simulations réalisées avec la bathymétrie à 0,3'. La configuration du modèle pour la DIRNC se fera donc, au moins temporairement, avec les fichiers de bathymétrie de résolution 0,5'. Les valeurs de surcotes simulées ne coïncident pas toujours bien avec les surcotes observées, il peut y avoir en particulier un léger décalage dans le temps au niveau des surcotes maximales observées et simulées. Il est important de noter que le modèle de prévision de surcote cyclonique n'est forcé que par le vent et la pression liés au cyclone. Le déferlement des vagues, la houle ou encore les crues des fleuves et des rivières, qui viennent se déverser dans le lagon de la Grande-Terre, ne sont pas pris en compte dans les simulations. Tous ces sujets offrent des perspectives d'études et de développements en modélisation destinés à améliorer la prévision de surcote en situation cyclonique. Une étude destinée à comprendre pourquoi la bathymétrie la plus fine donne les moins bons résultats serait aussi souhaitable pour les progrès futurs.

Il est à noter aussi que les simulations faites au cours de cette étude s'appuyaient sur le forçage issu des trajectoires cycloniques présentes dans la base synergie-cyclone de la DIRNC, celles-ci présentant un point d'analyse positionné toutes les 6 heures. Le décalage temporel observé entre les surcotes maximales simulées et mesurées peut s'expliquer en partie par le manque de points d'analyses. Une autre piste possible d'amélioration pour l'opérationnel serait de prévoir les trajectoires avec des points d'analyse disposés toutes les 3 heures, pour corriger le biais du décalage temporel et affiner la précision de la surcote.

Enfin, les vagues constituent avec la marée l'un des processus moteurs de l'hydrodynamique côtière. Elles agissent localement sur les surcotes au niveau du rivage par déferlement, mais aussi un peu plus au large par la modification du coefficient de friction du vent. Il serait donc intéressant, à l'avenir, de coupler le modèle de prévision de surcote à un modèle de prévision de vagues et de houle, et pourquoi pas aussi à un modèle hydrographique de prévision des crues des rivières.

Aujourd'hui (juin 2018), le modèle de prévision de surcote cyclonique est utilisé en opérationnel à la DIRNC. Il a été éprouvé lors de la saison cyclonique 2017-2018, qui s'étend de novembre à avril en Nouvelle-Calédonie. Les résultats des simulations obtenues avec la bathymétrie de résolution 0,5' ont été satisfaisants. Le décalage temporel a été diminué en intégrant des points d'analyse espacés de 3 h au lieu de 6 h, sous Synergie-cyclone. Au cours des semaines à venir, un nouveau fichier de bathymétrie de résolution 200 m va être intégré au modèle. Des tests seront effectués pour éprouver les résultats de simulations réalisées avec cette nouvelle bathymétrie, de façon à configurer au mieux le modèle de prévision de surcote pour la prochaine saison cyclonique. Cela permettra peut-être au passage de comprendre pourquoi l'usage d'une bathymétrie à 900 m de résolution a donné systématiquement de meilleurs résultats que celle à 600 m de résolution dans cette étude. 🌈

Bibliographie

- Holland, G.J., 1980. An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1212-1218.
- Daniel P., B. Haie and X. Aubail, 2009: Operational Forecasting of Tropical Cyclones Storm Surges at Meteo-France, *Marine Geodesy*, 32:2, 233-242.