

Production de MNT topo-bathymétriques pour l'amélioration de la gestion du risque de submersion marine : cas du PAPI Saint-Malo

Laurie BISCARA ¹, Christian SALVATERRA ¹, Jérémy ROSETTO ¹,
Sandrine LE JEUNE ¹, Héloïse MICHAUD ², Léo SEYFRIED ²,
Audrey PASQUET ², Christophe VRIGNAUD ¹

1. Shom, 13 rue du Chatellier, 29200 Brest, France.

laurie.biscara@shom.fr

2. Shom, Antenne de Toulouse,

BP 45017 – 31032 Toulouse, France.

Résumé :

Le Shom a été sollicité par la communauté de communes de Saint-Malo pour participer à son Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) d'intention. L'un des axes de ce programme vise à améliorer la connaissance des phénomènes météo-marins (vagues et surcotes) au large et dans la zone littorale de Saint-Malo. Afin de répondre à cette problématique, le Shom a mis en place une approche combinant l'observation et le recueil de données *in situ* océanographiques et bathymétriques d'une part, et la mise en place et l'utilisation de la modélisation d'autre part. Deux modèles numériques de terrain (MNT) topo-bathymétriques à haute résolution ont ainsi été produits spécifiquement, par le Shom, pour les besoins du PAPI Saint-Malo. Ces modèles bénéficient de levés lidars conduits dans le cadre du programme Litto3D[®] sur l'intégralité de la zone d'étude, ainsi que des données bathymétriques récemment acquises dans le cadre du PAPI. Ce travail se focalise sur l'exploitation de ces nouvelles données topo-bathymétriques ainsi que sur la méthodologie de production et les solutions retenues. Les MNT produits dans le cadre du PAPI seront diffusés en *open data* sur le portail du Shom, permettant à la communauté d'utilisateurs de disposer de produits de référence à usage civil.

Mots-clés :

Bathymétrie, MNT, lidar, interpolation, modèles hydrodynamiques, PAPI, submersion.

1. Contexte

1.1 Le PAPI St-Malo

Dans le cadre des politiques publiques associées à la Prévention des Risques Naturels (PPRN), certaines zones du territoire national, identifiées à risques importants, doivent faire l'objet d'un Programmes d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI). Pour les zones ayant un lien direct avec la mer, ces plans de prévention intègrent un volet concernant la prévention des risques de submersions marines.

Thème 7 – Risques côtiers

Aujourd'hui, dans le cadre de sa compétence GEMAPI, Saint-Malo Agglomération poursuit les efforts engagés en matière de gestion du risque de submersion marine, par la mise en place d'un premier PAPI d'intention pour Saint-Malo. C'est dans ce contexte que deux actions du PAPI ont été confiées au Shom :

- L'action I.2 concerne la reconstitution de la série marégraphique ancienne disponible sur Saint-Malo depuis le XIX^{ème} siècle. La production de données statistiques sur les périodes de retour des niveaux marins extrêmes devrait permettre notamment d'alimenter les études de processus et de modélisation hydrodynamique des états de mer.
- L'action 2.I s'intéresse à l'amélioration de la connaissance des phénomènes météo-marins (vagues, houle, surcotes) au large de Saint-Malo. L'approche proposée est d'utiliser les moyens complémentaires, que sont l'observation et le recueil de données *in situ* d'une part, via des campagnes de mesures à la mer, et la mise en place et l'utilisation de la modélisation, d'autre part, afin d'acquérir et de mettre à jour la connaissance de l'aléa submersion marine (surcotes et vagues) sur le secteur d'étude. C'est dans le contexte de modélisation "houle surcote et vagues" que la production de MNT topo-bathymétriques intervient.

1.2 Zone d'intérêt

Afin de répondre aux besoins en modélisation, deux modèles numériques de terrain topo-bathymétriques de résolutions différentes sont produits. En effet, en se rapprochant de la côte, les échelles spatiales et temporelles des processus physiques impose des grilles de plus en plus fines et donc une représentation des fonds de plus en plus résolue (EAKINS & GROTHE, 2014).

Le MNT topo-bathymétrique côtier, d'une résolution attendue de 0,0002° (environ 20 m) englobe une partie du golfe Normand-Breton, depuis le plateau des Minquiers au Nord-Ouest jusqu'à la baie du Mont-Saint-Michel au Sud-Est (figure 1). Le MNT topo-bathymétrique portuaire, d'une résolution attendue de 0,00005° (environ 5 m) couvre la ville de Saint-Malo et ses abords, depuis la pointe du Décollé à l'Ouest jusqu'à la pointe de la Varde à l'Est.

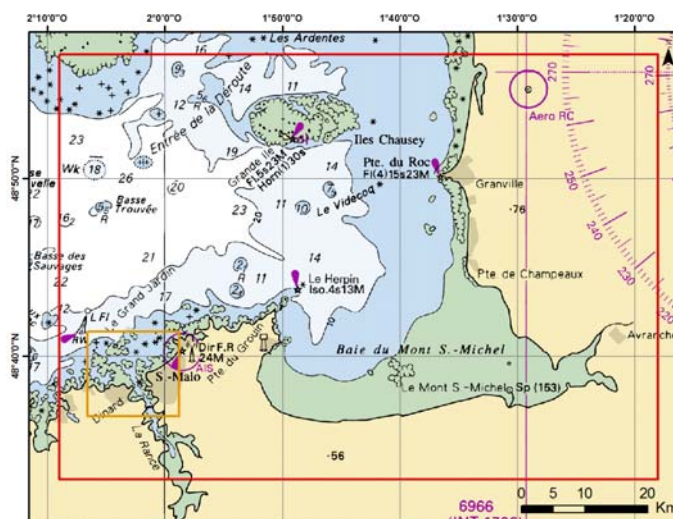


Figure 1. Localisation des MNT produits dans le cadre du PAPI Saint-Malo (cadre rouge : MNT côtier d'une partie du golfe Normand-Breton ; cadre orange : MNT portuaire de Saint-Malo et de ses abords).

2. Présentation des données exploitées

En complément des données déjà disponibles dans le patrimoine bathymétrique du Shom, la production de ces nouveaux MNT a nécessité au préalable l'acquisition de nouvelles données acquises suivant les contraintes d'emploi de chaque capteur, par sondeur acoustique et par laser aéroporté.

2.1 Le produit Litto3D[®] "partie maritime"

Le référentiel altimétrique Litto3D[®] apporte une connaissance à haute résolution de la frange littorale et constitue à ce titre un socle de données indispensable à la mise en œuvre des politiques publiques maritimes et du littoral. Ainsi, le Shom, en coopération avec l'Etat, la région Bretagne et le SGAR Bretagne ont acté en 2018 l'acquisition de données topo-bathymétriques par laser aéroporté d'une grande partie du littoral de la Bretagne afin de produire le volet maritime du produit Litto3D[®].

Un premier déploiement réalisé entre mai et juillet 2018 a permis d'effectuer l'acquisition de données sur la zone côtière de la ville de Saint-Malo et ses abords. Les données topo-bathymétriques lidar sont issues d'un capteur HawkEye 3 de chez Leica Geosystems. Près de 135 km² ont ainsi été couverts, jusqu'à 2 km à l'intérieur des terres et environ 25 m de profondeur au large (figure 2).

Thème 7 – Risques côtiers

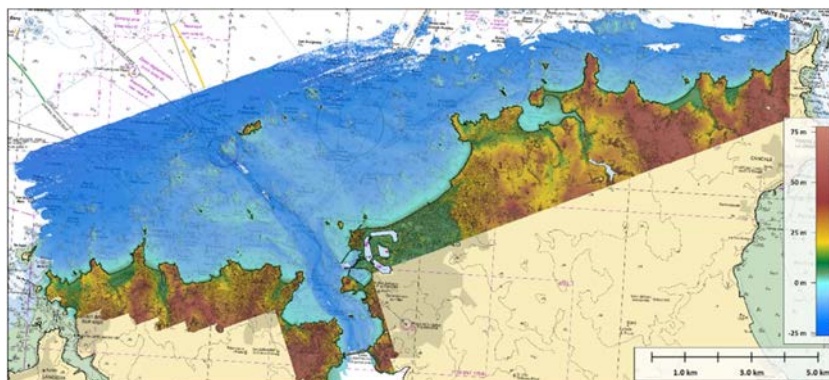


Figure 2. Représentation du produit Litto3D® "partie maritime" sur la zone de Saint-Malo.

En plus de ces données, la production du MNT a également bénéficié du produit Litto3D® "partie maritime" Normandie et Hauts-de-France réalisé en partenariat avec le Réseau d'Observation du Littoral de Normandie et des Hauts-de-France (ROL) et dont une partie est déjà disponible sur les portails data.shom.fr et diffusion.shom.fr.

Afin de faciliter la manipulation de ces données volumineuses, le produit Litto3D® "partie maritime" est découpé selon un carroyage de 1x1 km. Toutes les données sont exprimées dans le système de projection Lambert 93 associé au système géodésique RGF93, et dans le système altimétrique IGN69.

2.2 Acquisition de données à la mer

Des travaux hydrographiques par la mer ont également été réalisés aux abords des Iles Chausey et de Saint-Malo dans le cadre du PAPI St-Malo (figure 3).

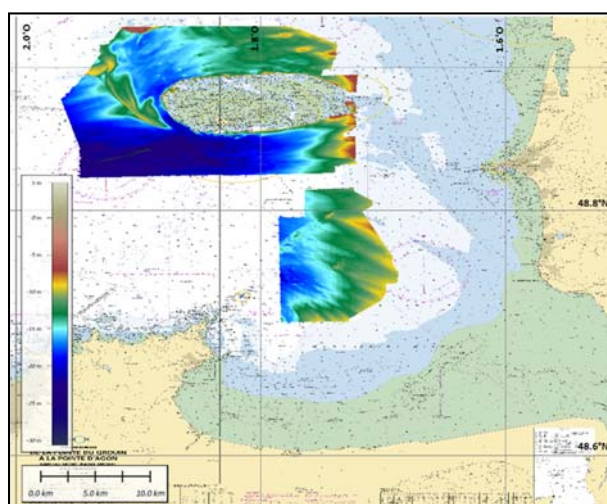


Figure 3. Représentation des travaux hydrographiques du Shom réalisés par sondeurs acoustiques dans le cadre du PAPI St-Malo.

L'objectif était l'amélioration de la bathymétrie dans une zone où l'hydrographie est ancienne et parcellaire, en cohérence avec le programme national d'hydrographie. Trois bâtiments hydrographiques de deuxième classe (BH2) et leurs vedettes hydrographiques ont ainsi été déployés sur plusieurs périodes entre janvier 2018 et avril 2019. Les données ont été acquises à l'aide de sondeurs multifaisceaux Kongsberg-Maritime (EM710 pour les BH2 et EM2040c pour les vedettes). La référence verticale des sondes est le zéro hydrographique à Saint-Malo. Les lots bathymétriques traités et validés seront prochainement diffusés sur les portails du Shom.

2.3 Le référentiel bathymétrique du Shom, s'appuyant sur un nouveau dispositif de constitution.

Actuellement, le patrimoine de données bathymétriques du Shom est géré par empilement successif de levés dans la Base de Données Bathymétriques du Shom (BDDBS). Or, le recouvrement de jeux de données d'époques et/ ou de qualité différentes est sujet à de nombreux problèmes tant dans l'élaboration de MNT que des cartes marines. Ces difficultés peuvent avoir des causes variées: des systèmes d'acquisition hétérogènes (du sondage au plomb au sondeur multifaisceaux) impliquant des incertitudes différentes entre les lots, des changements morphologiques dus à l'évolution des fonds marins, etc... Afin de palier à ces difficultés, le dispositif de constitution du fonds bathymétrique de référence du Shom, dénommé "Téthys", est actuellement en cours de développement et de mise en place. La couche issue de ce processus correspond à la connaissance bathymétrique la plus pertinente, fondée sur des critères intrinsèques aux données, en prenant en compte l'ensemble des levés validés et portés à la connaissance du Shom. La constitution de ce fonds s'appuie sur la résolution des conflits entre les données de différentes qualités et anciennetés et la compilation des données réalisées selon des principes uniques.

D'ores et déjà sur le golfe normand-breton, la production des MNT s'est appuyée sur de nouveaux principes et des fonctions logicielles disponibles sur cette zone. Le dispositif a permis de traiter un peu plus d'une centaine de lots bathymétriques sur la zone d'intérêt.

2.4 Autres données

En complément des données présentées précédemment, l'élaboration du MNT s'est également appuyée sur :

- le produit RGE ALTI[®] V2.0 de l'IGN pour la représentation de la surface terrestre sur l'intégralité de la zone d'intérêt ;
- le levé bathymétrique de la société GEOXYZ réalisé dans les bassins à flots du port de Saint-Malo en Juin 2016.

Thème 7 – Risques côtiers

3. Processus de production des MNT

3.1 Méthodologie générale

La chaîne de production de MNT du Shom comprend quatre grandes étapes dont la maîtrise vise à réduire les incertitudes du MNT (BISCARA *et al.*, 2016):

- le recueil et la sélection de données de natures et de sources multiples (§ 2) ;
- le formatage des données incluant notamment l'homogénéisation des références verticales et l'utilisation d'algorithmes d'interpolation adaptés (§ 3.2);
- la qualification des MNT (§ 3.3) ;
- l'élaboration de la documentation et la diffusion (§ 3.4).

Cette chaîne est commune à toute la gamme de MNT produite par le Shom. Certaines étapes peuvent néanmoins être sommaires ou inexistantes en fonction de la résolution attendue. Les MNT les plus résolus sont exploités pour générer ceux à plus petites résolutions : les traitements réalisés pour préparer les données sont ainsi préservés et les MNT d'emprises différentes sont cohérents entre eux grâce à leur emboîtement.

3.2 Références verticales

Les travaux d'EAKINS et GROTHE (2014) suggèrent qu'il est pertinent d'homogénéiser les référentiels verticaux dès lors que les écarts entre les différentes références verticales sont supérieurs à 1% de la taille de la maille. Le rattachement à l'ellipsoïde présentant l'avantage d'être connu et maîtrisé à la fois dans le domaine maritime et terrestre, il est donc souhaitable de référencer par rapport à l'ellipsoïde IAG-GRS80 les différents jeux de données à interpoler.

Les données provenant de la base de données bathymétriques du Shom et référencées par rapport au ZH sont rattachées à l'ellipsoïde à l'aide de la surface Bathyelli V2.0. Les données initialement référencées au NGF-IGN69 sont quant à elles rattachées à l'ellipsoïde à l'aide de l'outil Circé France v5.1 de l'IGN. Une fois les données homogénéisées, l'interpolation peut être effectuée tout en limitant au maximum les problèmes associés à la référence verticale. Le produit intermédiaire pourra être alors converti vers la référence verticale d'utilisation du produit (plus basses mers astronomiques, niveau moyen) à l'aide d'autres surfaces de compensation (MACKENZIE & HOGGARTH, 2009).

3.3 Qualification

Des contrôles sont réalisés à chaque étape de la construction du MNT afin de la valider (qualification des données sources, vérification des conversions altimétriques, interpolations itératives). Le produit final fait quant à lui l'objet d'une validation globale. Cette évaluation de la qualité d'un MNT sera d'autant plus délicate que sa résolution est fine.

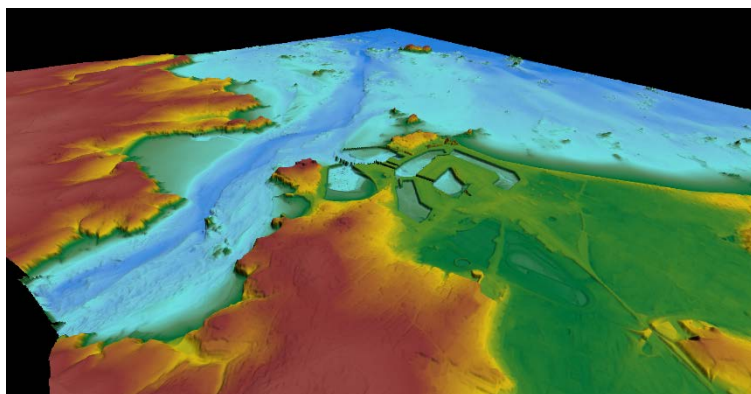


Figure 4. Vue 3D du MNT topo-bathymétrique portuaire de la ville de Saint-Malo et ses abords à une résolution de 0.00005° (environ 5 m).

La qualification d'un MNT est :

- qualitative (comparaison à une carte marine, à des images aériennes, tracés de pentes, d'isobathes, écart-type, inspection par visualisations 2D et 3D, vérification des jonctions entre sources de données) ;
- quantitative (évaluations statistiques par comparaison à d'autres produits MNT ou levés non intégrés dans le produit). Cependant, dans bien des cas, on favorisera l'intégration de données de qualité dans le produit, diminuant de ce fait la disponibilité de données pour la comparaison.

Selon le résultat de la qualification et compte tenu de l'objectif visé, la reprise de certaines étapes précédentes peut s'avérer nécessaire pour corriger des anomalies détectées seulement à ce stade.

3.4. Diffusion des produits

La diffusion des MNT en *open data* (Licence Ouverte - version 1.0 d'octobre 2011 définie par la mission Etalab) sur les portails data.shom.fr et diffusion.shom.fr du Shom s'accompagnera :

- de la fourniture du MNT, sous 4 formats (NetCDF, ESRI Ascii grid, BAG, GLZ) et calé verticalement à la plus basse mer astronomique et au niveau moyen ;
- d'un DOI (*Digital Object Identifier*) attribué au produit ;
- d'un fichier de métadonnées au format XML, rédigé pour chaque référence verticale ;
- d'un descriptif de contenu externe, reprenant de façon synthétique les principales spécifications du produit.

4. Conclusions

Les MNT générés ainsi que les mesures de courants, vagues et hauteurs d'eau acquises sur la zone côtière de Saint-Malo (SEYFRIED *et al.*, 2020) vont permettre d'améliorer la connaissance des états de mer, de l'hydrodynamique et des aléas de submersion marine,

Thème 7 – Risques côtiers

afin de valider et mettre en place la maquette de modélisation couplées vague-circulation qui sera définie dès 2020 dans le cadre du PAPI d'intention.

De manière générale, l'élaboration de MNT constitue un besoin socle évident pour les chaînes de modélisation hydrodynamique. Par ailleurs, la connaissance de la bathymétrie reste fondamentale pour de nombreuses autres applications : cartographie des habitats marins, aide à la délimitation du domaine public maritime, gestion des stocks sédimentaires, d'infrastructures portuaires.... C'est dans cette optique que le Shom s'emploie à produire des MNT capables de satisfaire le maximum de besoins et d'applications potentiels.

5. Remerciements

Le Shom remercie Saint-Malo agglomération, le CD35 et l'Etat, pour le concours financier apporté dans la réalisation des MNT.

6. Références bibliographiques

BISCARA L., MASPATAUD A., SCHMITT T. (2016). *Coastal risk assessment: Generation of bathymetric digital elevation models along French coasts*. Hydro International, September 2016, pp 26-29. <http://www.hydro-international.com/content/article/coastal-risk-assessment>

EAKINS B.W., GROTHE P.R. (2014). *Challenges in Building Coastal Digital Elevation Models*. Journal of Coastal Research, Vol. 30(05), pp 942-953. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00192.1>

MACKENZIE M., HOGGARTH A. (2009). *Principles for bringing land and sea data together*. GSDI 11 Spatial Data Infrastructure Convergence : Building SDI Bridges to address Global Challenges, Rotterdam, 15 p.

SEYFRIED L., MICHAUD H., PASQUET A., LECKLER F., BISCARA L., VRIGNAUD C. (2020). *Acquisitions, traitements et analyses de données de courants, vagues et hauteur d'eau, pour l'amélioration de la gestion du risque de submersion marine : cas du PAPI Saint-Malo*. XVI^{ème} Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil, Le Havre, **sous presse**.