

Stratégies de modélisation des phénomènes de submersion par franchissement de paquets de mer.

Alexandre Nicolae Lerma, Rodrigo Pedreros, Thomas Bulteau, Yann Balouin

▶ To cite this version:

Alexandre Nicolae Lerma, Rodrigo Pedreros, Thomas Bulteau, Yann Balouin. Stratégies de modélisation des phénomènes de submersion par franchissement de paquets de mer.. Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil (JNGCGC 2018), May 2018, La Rochelle, France. 10.5150/jngcgc.2018.096 . hal-01763676

HAL Id: hal-01763676 https://brgm.hal.science/hal-01763676

Submitted on 11 Apr 2018 $\,$

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers. L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

1	Stratégies de modélisation des phénomènes de submersion par
2	franchissement de paquets de mer
3	
4	Alexandre NICOLAE LERMA ¹ , Rodrigo PEDREROS ² , Thomas BULTEAU ¹ ,
5	Yann BALOUIN '
6	
7	1. BRGM, Parc Technologique Europarc 24 Avenue Léonard de Vinci 33600 Pessac, France.
8	a.nicolaelerma@brgm.fr t.bulteau@brgm.fr
9 10	2. BRGM, Direction Risques et Prévention, 3 Avenue Claude Guillemin, 4500 Orléans, France. <i>r.pedreros@brgm.fr</i>
11	3. BRGM, Direction Régionale Occitanie, 1039 rue de Pinville, 34000 Montpellier, France.
12	y.balouin@brgm.fr
13	
14	Résumé :
15	La prise en compte de l'aléa de submersion sur les sites soumis conjointement à l'aléa
16	de submersion par débordement et par franchissement de paquets de mer représente un
17	défi important. En effet, si les modèles et les méthodes permettent aujourd'hui de
18	reproduire de manière satisfaisante les phénomènes de submersion marine par
19	débordement, y compris en milieu urbain, la reproduction des phénomènes de
20	franchissement par paquet de mer fait appel à des modèles dont le degré de maturité est
21	nettement inférieur. Une difficulté supplémentaire réside dans la validation des
22	performances des modèles en configuration réelle, les observations de terrain étant le
23	plus souvent partielles ou lacunaires.
24 25	L'objectif de cette contribution est de réaliser une étude comparative des stratégies de
25 26	modelisation en 2DV et 3D mises en place sur le site du lido de la lagune de Leucate
20	ann de reproduire les phenomenes de submersion marme par franchissement. Les
21 28	d'un évènement historique bien documenté et d'un événement de période de retour
20 20	centennal
30	Mots-clés · Alea submersion SWASH Modélisation numérique Front de mer
31	Contexte microtidal
32	
33	1. Introduction
34	Ces dernières années, la caractérisation de l'aléa de submersion marine s'est
35	considérablement développée sur les littoraux français. Associé à ce besoin de mieux
36	décrire l'impact des tempêtes, les méthodes évoluent, en fonction des caractéristiques
37	particulières des sites étudiés (exposition, aménagements de protection, sensibilité à la

38 hausse du niveau de la mer...), mais également grâce aux gains en maturité des outils de

- 39 modélisation numérique. Les études de submersion couvrent un spectre large allant
- 40 d'études basées sur des approches SIG répondant par exemple aux directives TRI

41 jusqu'à la mise en place de plateforme de prévision de l'aléa en fonction des prévisions 42 météres de FCA CHELIX (-1, 2016)

42 météo marines (LECACHEUX *et al.*, 2016).

43 La modélisation de la submersion par débordement est aujourd'hui relativement 44 maitrisée. Toutefois, l'aléa de submersion est souvent causé par des franchissements 45 (LE ROY et al., 2015; GALLIEN, 2016, NICOLAE LERMA et al., 2018). Or, la modélisation des franchissements en conditions réelles se confronte à plusieurs défis 46 47 majeurs. Elle exige de travailler à une résolution fine, de l'ordre du mètre pour 48 représenter correctement le comportement des vagues et leur interaction avec le front de 49 mer. En effet, l'ampleur des franchissements est fortement dépendante de la 50 morphologie de la plage et du haut de plage. Une difficulté supplémentaire est la 51 validation de ces méthodes et de leurs résultats (NICOLAE LERMA et al., 2013 ; 52 GALLIEN, 2016), les observations de terrain permettant de valider les modélisations de 53 volumes franchissants étant le plus souvent imprécises et uniquement qualitatives.

54 Le travail réalisé ici consiste à démontrer la nécessité de développer des modélisations 55 des franchissements à haute résolution afin d'évaluer de manière pertinente la sensibilité 56 des fronts de mer des littoraux microtidaux, qui ont la particularité d'une urbanisation 57 en front de mer confrontée directement aux franchissements de paquets de mer. Pour 58 cela, les résultats obtenus en matière de submersion à partir de différentes approches 59 méthodologiques sont comparés et analysés, notamment au regard de la sensibilité de 60 ces méthodes aux données d'entrée comme la configuration topo-bathymétrique, la 61 reproduction des éléments urbains ou les scénarios de forçages.

62

63 **2. Site d'étude**

64 Le littoral étudié est le lido de la lagune Salse-Leucate, localisée à l'ouest du golfe du 65 Lion (cf. Figure 1). Ce cordon sableux d'une topographie généralement basse, possède 66 une largeur variable comprise entre 300 m et 1,5 km. Il est constitué sur sa partie marine 67 de plages sableuses à systèmes de barres tridimensionnelles alors que le rivage interne 68 sur la lagune présente des pentes douces et de faibles profondeurs. Le lido est entrecoupé par 3 passes, artificialisées permettant la connexion entre l'étang et la mer. 69 70 L'analyse des évènements historiques de tempêtes a permis de mettre en évidence une 71 vingtaine d'évènements depuis 2007. Parmi ces évènements, la tempête de mars 2013 72 avec des houles supérieures à 6 m constitue un des évènements les plus marquants. 73 Selon les statistiques ANEMOC, ces hauteurs correspondent à une période de retour de 74 30 à 50 ans. Le niveau d'eau maximum associé à cet évènement au marégraphe de Sète 75 (0,73 m NGF) a quant à lui une période de retour comprise entre 1 et 5 ans (CETMEF 76 2013). Cette tempête de très forte intensité, bien documentée tant du point de vue des 77 conditions marines que des impacts sur le lido en matière de submersion marine, a servi 78 référence et a permis de valider la mise en place des modèles.

79



Figure 1. Localisation du site d'étude et extension des domaines de modélisation, à gauche la position des marégraphes (points oranges) et des houlographes (en bleu).

84 **3. Méthode**

80

81

82

83

85 Simuler les volumes franchissants exige de reproduire l'évolution des niveaux d'eau 86 statiques sur la plage ainsi que la propagation des conditions de vagues du large à la 87 côte. Pour se faire, un couplage du code spectral de vagues WW3 (TOLMAN 2009) 88 avec un code hydrodynamique de niveaux et courants MARS-2DH (LAZURE & 89 DUMAS, 2008) a été réalisé sur un domaine couvrant l'ensemble de la lagune 90 (résolution 10 m). Pour reproduire les submersions de franchissement par paquets de 91 mer, plusieurs types de modèle hydrodynamique peuvent être utilisés (cf. NICOLAE 92 LERMA et al., 2018). Le modèle mis en place ici est le modèle SWASH (ZIJLEMA et 93 al., 2011), modèle de type Non Linear Shallow Water dit à résolution de phase. Ce type 94 de modèle permet de reproduire la dynamique du niveau d'eau instantané en résolvant 95 l'hydrodynamique liée aux vagues (évolution du plan d'eau, calculs des courants 96 engendrés par les vagues, interactions vague-vague et vague-courant, écoulements à 97 terre) dans la zone littorale, la zone de déferlement et à terre en cas de submersion. Le 98 modèle SWASH est chainé aux sorties de la plateforme de modélisation 99 hydrodynamique (niveaux/vagues). Les forçages sont réalisés hors de la zone de 100 déferlement afin que l'ensemble des processus de variation du niveau d'eau liés au 101 déferlement (wave setup et runup) soit assuré par le modèle SWASH.

102 Contrairement aux modèles utilisés pour déterminer les hauteurs d'eau et vagues à la 103 côte qui permettent une relative souplesse en termes de temps de calcul et de résolution 104 spatiale de travail, la modélisation des franchissements exige à l'inverse des ressources 105 et des temps de calculs prohibitifs dès lors que les domaines dépassent quelques 106 kilomètres carrés. Ainsi, deux stratégies sont mises en place pour l'évaluation des 107 franchissements (cf. figure 2). La stratégie 1 permet d'évaluer l'aléa à l'échelle de 108 l'ensemble du site via des simulations pseudo 2DV (dimension cross shore et 2 couches 109 verticales) sur des profils de plage. Chaque profil est défini comme représentatif d'un

110 tronçon de littoral pour lequel les caractéristiques morphologiques et d'exposition aux 111 vagues sont considérées comme homogènes. Une fois les simulations du déferlement 112 des vagues réalisées sur les profils, une nouvelle simulation est effectuée : les valeurs de 113 volumes franchissant le front de mer sont réinjectées au sein du modèle 114 hydrodynamique configuré pour reproduire les écoulements à terre en fonction des 115 caractéristiques d'occupation du sol.





117 118

Figure 2. Illustration des stratégies de modélisation des franchissements.

119

La stratégie 2 est déployée à l'échelle locale des simulations pseudo 3D (2 couches
verticales) sur un domaine de 2x2 km d'extension, de résolution spatiale 2 m.

Enfin, afin de réaliser des modèles numériques adaptés à la simulation numérique de la
submersion, de nombreux traitements ont été réalisés (élaboration de coefficient de
rugosité variable spatialement et en fonction de la représentation du bâti, lissage de
rugosités artificielles, rehaussement des lignes de contrainte ...)

126

127 **4. Résultats**

128

129 4.1 <u>Validation des modélisations pour l'évènement historique</u>

130 La comparaison des résultats de modélisation et des documents disponibles (photos et 131 films) montrent que la stratégie 2 semble reproduire de manière fidèle les submersions 132 tant du point de vue de l'extension des zones inondées que des hauteurs d'eau 133 (Figure 3). En effet, des photos et des vidéos prises durant l'évènement, et qui 134 permettent d'apprécier au moins qualitativement la conformité des résultats de 135 simulation avec les témoignages disponibles, suggèrent que les hauteurs d'eau dans les 136 rues ont été relativement faibles (10 à 20 cm) ce qui est correctement reproduit par le 137 modèle. En revanche, la stratégie 1 ne permet pas de reproduire les submersions, aucun 138 franchissement n'a eu lieu pour les conditions de la tempête 2013.

139





Figure 3. Validation des simulations de la tempête de mars 2013.

142 143

144 4.2 <u>Comparaison des stratégies pour un évènement centennal</u>

145 Ici le scénario retenu comme hypothèse de travail est le scénario centennal issu d'une
146 analyse en probabilité conjointe proposée dans NICOLAE LERMA *et al.* (2018).

Pour le site du village naturiste la simulation de l'évènement centennal donne des
résultats comparables pour les deux stratégies de modélisation. En revanche, sur le site
des Mourets (cf. Figure 1), des différences notables apparaissent en fonction de la
stratégie retenue (cf. Figure 4).

151

152



153Figure 4. Résultats des simulations pour un évènement centennal, a) uniquement154processus de débordement, b) stratégie 1, c) stratégie 2.

Sur ce site, comme pour le village naturiste, la submersion pour un évènement centennal
est quasi exclusivement causée par des franchissements (cf. Figure 4a).

La comparaison des deux stratégies présente des différences importantes en termes de hauteurs d'eau. En effet, la stratégie 1 propose une estimation des hauteurs d'eau très nettement supérieure du fait de volumes franchissants nettement plus importants. L'effet de la résolution spatiale sur la représentation de l'aléa est également visible ici, la propagation des volumes franchissants à une résolution de 10 m issue de la stratégie 1 a tendance à lisser la délimitation des zones inondées, alors que les différentiels de hauteur d'eau sont nettement marqués pour la stratégie 2 (résolution spatiale 2m).

164

165 2.3 Morphologie des profils et volumes franchissants

Une des limites inhérentes aux méthodes mise en place est l'utilisation d'un modèle topo-bathymétrique à fond fixe. Cette méthode implique que la morphologie de la bande littorale et de la plage n'évolue pas en fonction des conditions hydrodynamiques. En outre, elle est représentative de l'état du système au moment où les levés ont eu lieu, or ceux-ci sont généralement réalisés par temps calme et rarement en hiver. La plage présente donc une configuration morphologique représentative d'un moment précis lors de conditions favorables.

Afin d'évaluer l'impact de la morphologie sur les volumes pouvant potentiellement franchir le front de mer, des tests d'évaluation de l'influence de la morphologie de la plage sous-marine, de l'estran et du haut de plage ont été réalisés. Pour cela, un profil type caractéristique de la zone du front de mer au nord du village naturiste a été sélectionné et 5 configurations morphologiques du profil de plage ont été testées (Figure 5). Les conditions de forçages utilisées sont présentées dans le Tableau 1.

179 La morphologie du profil joue un rôle important dans les volumes franchissants en 180 fonction de l'intensité de la tempête. Plus l'évènement est intense plus la morphologie 181 du profil au moment de l'évènement jouera un rôle déterminant. Ainsi, pour une 182 tempête très intense (de type "mars 2013") les tests montrent que seuls des changements 183 très importants ou relatifs à des structures de protections en front de mer auront une 184 incidence notable. En revanche, lors d'évènements exceptionnels (période de retour 100 185 ans), un changement de morphologie classique entre un profil d'hiver et un profil d'été 186 ou associé à la variabilité longshore de la position des barres sous-marines peut 187 provoquer la multiplication par trois des volumes franchissants totaux.

188

189 Tableau 1. Conditions de forçages utilisées pour les tests de sensibilité.

Type d'évènement	Niveau d'eau (m NGF)	Hs	Тр
(cas)		(<i>m</i>)	(<i>s</i>)
Tempête classique	0.80	5.0	10.0
Tempête type mars 2013	0.92	6.2	11.0
Tempête centennale	1.14	6.7	11.2



Figure 5. A gauche, profils de plage utilisés pour la réalisation des tests de sensibilité.
Profil de reference (noir), profil type "variabilité longshore" (bleu), profil de type
"hivernal" (rouge), profil de type "crise érosive" (vert), profil "sans muret" (magenta).
A droite, volumes franchissants en fonction de la morphologie du profil de plage et du
cas de tempête

196

197 **5. Conclusion**

198 On retirera de ce travail que la stratégie 2 permet de s'affranchir de plusieurs contraintes 199 inhérentes à la stratégie 1 (choix de la localisation des profils, localisation de 200 l'introduction des volumes franchissants dans le modèle de submersion...). La stratégie 201 2 s'avère ainsi particulièrement adaptée pour les sites urbains exposés comme le village 202 naturiste. Pour un évènement de forte intensité comme la tempête de mars 2013, 203 l'approche par profils (stratégie 1) a tendance à minimiser l'extension de l'aléa. Pour un 204 évènement extrême, les résultats sont assez comparables même si les niveaux d'eau 205 obtenus pour la stratégie 2 sont légèrement supérieurs à ceux de la stratégie 1. En 206 revanche, pour les sites moins densément urbanisés, et en l'occurrence ici où le cordon 207 dunaire est de relativement faible hauteur (cf. site des Mourets où la hauteur est 208 comprise entre 2,5 et 4 m NGF), la stratégie 1 a tendance à proposer des résultats 209 maximisants par rapport à la stratégie 2. Ces différences entre stratégie 1 et 2 peuvent 210 être dues à la représentativité des profils dont les variations morphologiques ont une 211 incidence importante sur les volumes franchissants. Il convient donc d'analyser 212 l'influence des variations morphologiques sur le volume franchissant au sein d'un 213 même tronçon en cas d'application de la stratégie 1.

Le passage de la stratégie 1 à 2 permet d'affiner la connaissance à l'échelle locale. La stratégie 2 permet en effet de décrire de manière intégrée l'ensemble des processus à l'origine des submersions (marée, surcote atmosphérique, contribution des vagues : ondes infra gravitaires et gravitaires). Elle permet ainsi de déterminer la variabilité longshore des franchissements, les points de fragilité et le comportement et les vitesses des écoulements en milieu urbain. Toutefois, il convient de rappeler que cette stratégie est très couteuse en temps de mise en place et de calcul et qu'il reste nécessaire de valider les performances de ce type d'approche par des protocoles d'observations de terrain adaptés.

- 223
- 224

225 **6. Remerciements**

226 Cette étude a bénéficié d'un financement de la DREAL Occitanie et du BRGM. Les
227 données de vague, niveaux d'eau (réseaux Candhis et Refmar) et LiDAR ont été
228 fournies par la DREAL Occitanie.

229

230 **7. Références bibliographiques**

GALLIEN T.W. (2016) Validated coastal flood modeling at Imperial Beach,
California: Comparing total water level, empirical and numerical overtopping
methodologies. Coastal Engineering, Vol. 111, pp 95–104.

234 LAZURE P., DUMAS F. (2008). An external-internal mode coupling for a 3D

hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS). Advances in Water
Resources, Vol. 31, pp 233–250.

237 LECACHEUX S., PEDREROS R., NICOLAE LERMA A., CHATEAUMINOIS E.,

238 ROHMER J., BONNARDOT F., SAUVAGNARGUES S. (2016). An experimental

- 239 cyclone-induced marine and river floods forecasting system for La Reunion Island: the
- 240 SPICy project. European Conference on Flood Risk Management (FLOODrisk 2016).
- 241 LE ROY S., PEDREROS R., ANDRE C., PARIS F., LECACHEUX S., MARCHE F.,

VINCHON C. (2015). Coastal flooding of urban areas by overtopping: dynamic
modelling application to the Johanna storm (2008) in Gâvres (France). Natural
Hazards and Earth System Sciences, Vol. 15, pp 2497–2510.

- Hazards and Earth System Sciences, Vol. 15, pp 2497–2510.
- 245 NICOLAE LERMA A., THOMAS Y. F., DURAND P., ANSELME B., ANDRADE C.
- 246 (2013). Modélisation de submersions marines et leur validation par observation vidéo
- 247 *Carthagène des Indes, Colombie.* Géomorphologie: relief, processus, environnement,
 248 Vol. 4, pp 481-498.
- 249 NICOLAE LERMA A., BULTEAU T., ELINEAU S., PARIS F., DURAND P.,
- 250 ANSELME B., PEDREROS R. (2018). High-resolution marine flood modelling
- 251 coupling overflow and overtopping processes: framing the hazard based on historical
- and statistical approaches. Natural Hazards and Earth System Sciences, 18(1), 207-229.
- 253 TOLMAN H. L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III
- 254 TM version 3.14. Technical note, MMAB Contribution, 276, 220.
- 255 ZIJLEMA M., STELLING G.S., SMIT P.B. (2011). SWASH: an operational public
- 256 domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters,
- 257 Coastal Engineering, Vol. 58, pp 992–1012