



HAL
open science

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.

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

Alexandre NICOLAE LERMA¹, Rodrigo PEDREROS², Thomas BULTEAU¹,
Yann BALOUIN³

1. BRGM, Parc Technologique Europarc 24 Avenue Léonard de Vinci 33600 Pessac, France.

a.nicolaelerma@brgm.fr t.bulteau@brgm.fr

2. BRGM, Direction Risques et Prévention, 3 Avenue Claude Guillemin, 4500 Orléans, France.

r.pedreros@brgm.fr

3. BRGM, Direction Régionale Occitanie, 1039 rue de Pinville, 34000 Montpellier, France.

y.balouin@brgm.fr

Résumé :

La prise en compte de l'aléa de submersion sur les sites soumis conjointement à l'aléa de submersion par débordement et par franchissement de paquets de mer représente un défi important. En effet, si les modèles et les méthodes permettent aujourd'hui de reproduire de manière satisfaisante les phénomènes de submersion marine par débordement, y compris en milieu urbain, la reproduction des phénomènes de franchissement par paquet de mer fait appel à des modèles dont le degré de maturité est nettement inférieur. Une difficulté supplémentaire réside dans la validation des performances des modèles en configuration réelle, les observations de terrain étant le plus souvent partielles ou lacunaires.

L'objectif de cette contribution est de réaliser une étude comparative des stratégies de modélisation en 2DV et 3D mises en place sur le site du lido de la lagune de Leucate afin de reproduire les phénomènes de submersion marine par franchissement. Les hypothèses et les approches envisagées sont comparées au travers de la reproduction d'un évènement historique bien documenté et d'un évènement de période de retour centennal.

Mots-clés : Alea submersion, SWASH, Modélisation numérique, Front de mer, Contexte microtidal.

1. Introduction

Ces dernières années, la caractérisation de l'aléa de submersion marine s'est considérablement développée sur les littoraux français. Associé à ce besoin de mieux décrire l'impact des tempêtes, les méthodes évoluent, en fonction des caractéristiques particulières des sites étudiés (exposition, aménagements de protection, sensibilité à la hausse du niveau de la mer...), mais également grâce aux gains en maturité des outils de modélisation numérique. Les études de submersion couvrent un spectre large allant d'études basées sur des approches SIG répondant par exemple aux directives TRI

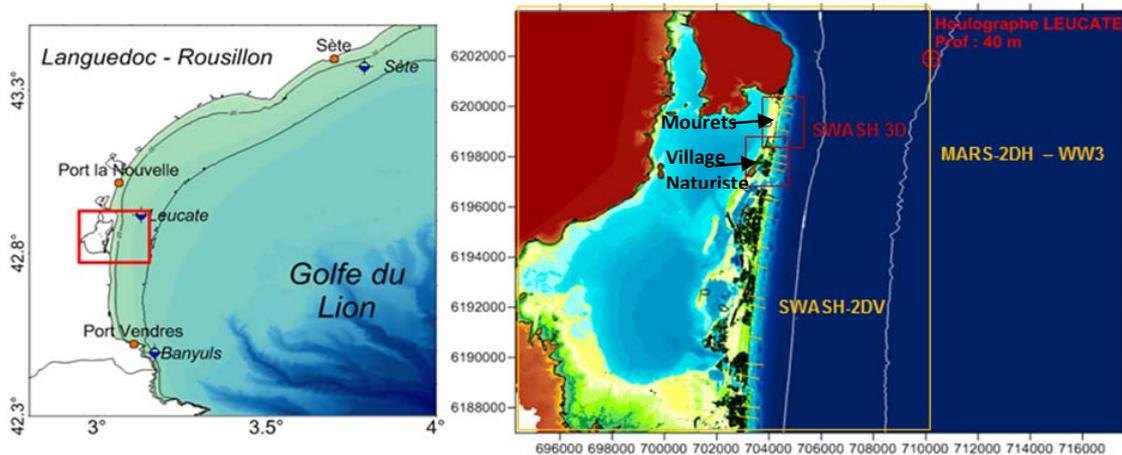
41 jusqu'à la mise en place de plateforme de prévision de l'aléa en fonction des prévisions
42 météo marines (LECACHEUX *et al.*, 2016).
43 La modélisation de la submersion par débordement est aujourd'hui relativement
44 maîtrisée. Toutefois, l'aléa de submersion est souvent causé par des franchissements
45 (LE ROY *et al.*, 2015 ; GALLIEN, 2016 , NICOLAE LERMA *et al.*, 2018). Or, la
46 modélisation des franchissements en conditions réelles se confronte à plusieurs défis
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
69 entrecoupé par 3 passes, artificialisées permettant la connexion entre l'étang et la mer.
70 L'analyse des événements 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



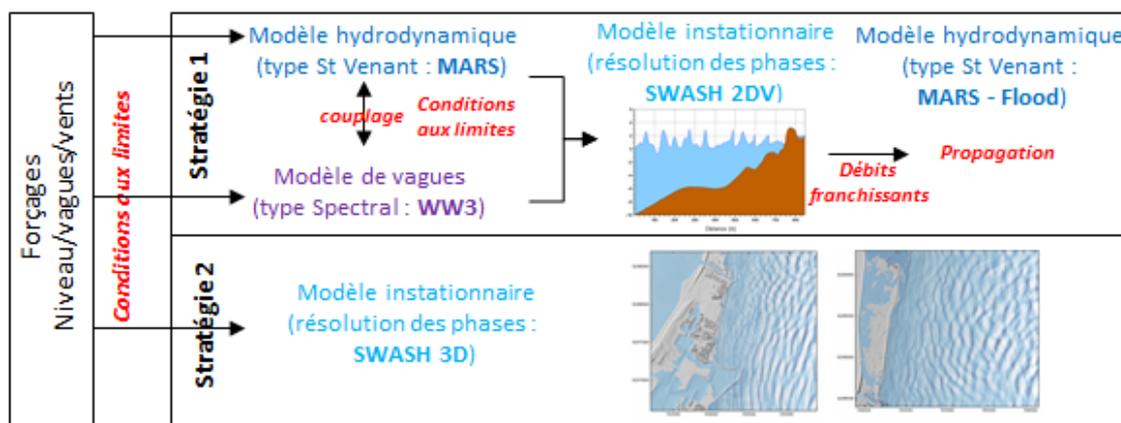
80
81 *Figure 1. Localisation du site d'étude et extension des domaines de modélisation, à*
82 *gauche la position des marégraphes (points oranges) et des houlographes (en bleu).*

84 3. Méthode

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 chaîné 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.
 116



117
 118

Figure 2. Illustration des stratégies de modélisation des franchissements.

119

120 La stratégie 2 est déployée à l'échelle locale des simulations pseudo 3D (2 couches
 121 verticales) sur un domaine de 2x2 km d'extension, de résolution spatiale 2 m.
 122 Enfin, afin de réaliser des modèles numériques adaptés à la simulation numérique de la
 123 submersion, de nombreux traitements ont été réalisés (élaboration de coefficient de
 124 rugosité variable spatialement et en fonction de la représentation du bâti, lissage de
 125 rugosités artificielles, rehaussement des lignes de contrainte ...)

126

127 4. Résultats

128

129 4.1 Validation des modélisations pour l'évènement historique

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

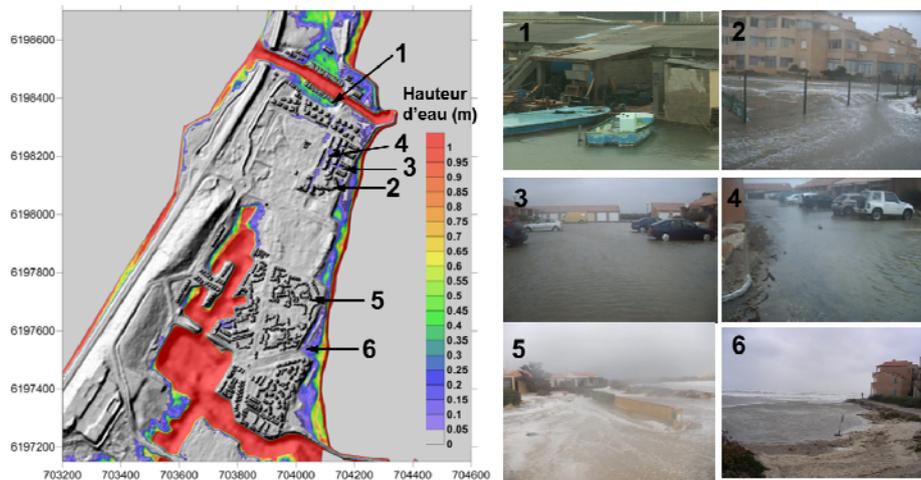


Figure 3. Validation des simulations de la tempête de mars 2013.

4.2 Comparaison des stratégies pour un évènement centennal

Ici le scénario retenu comme hypothèse de travail est le scénario centennal issu d'une 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).

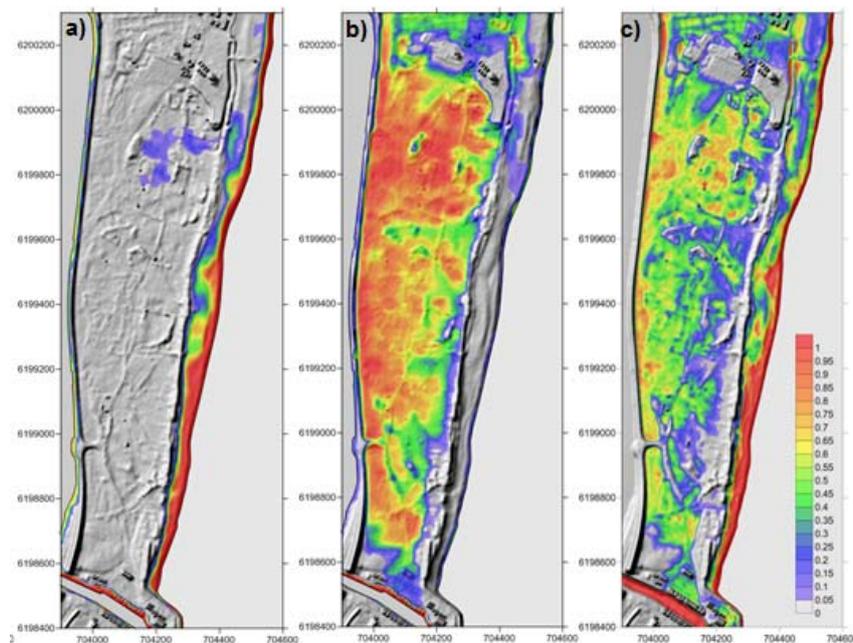


Figure 4. Résultats des simulations pour un évènement centennal, a) uniquement processus de débordement, b) stratégie 1, c) stratégie 2.

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

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

164

165 2.3 Morphologie des profils et volumes franchissants

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

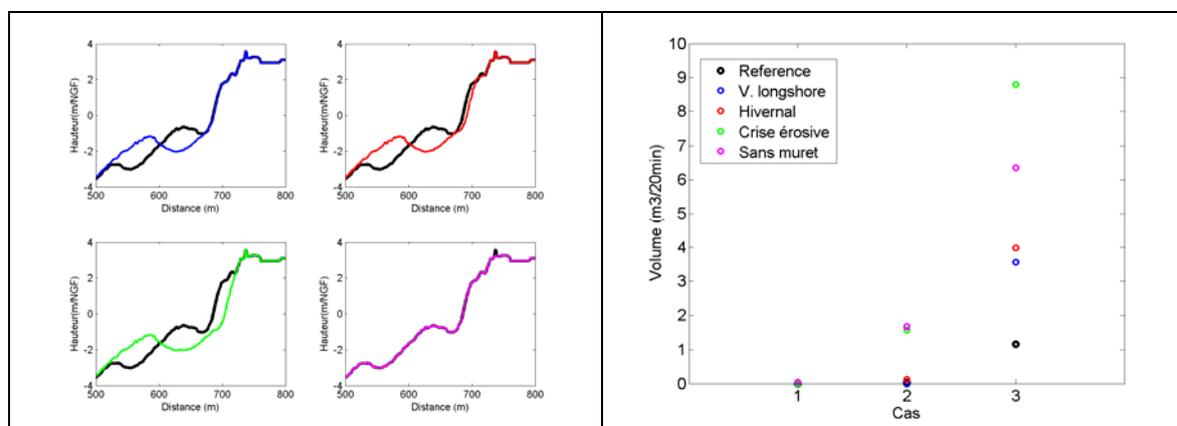
173 Afin d'évaluer l'impact de la morphologie sur les volumes pouvant potentiellement
174 franchir le front de mer, des tests d'évaluation de l'influence de la morphologie de la
175 plage sous-marine, de l'estran et du haut de plage ont été réalisés. Pour cela, un profil
176 type caractéristique de la zone du front de mer au nord du village naturiste a été
177 sélectionné et 5 configurations morphologiques du profil de plage ont été testées (Figure
178 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.*

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



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

196

197

5. Conclusion

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

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

219 des écoulements en milieu urbain. Toutefois, il convient de rappeler que cette stratégie
220 est très couteuse en temps de mise en place et de calcul et qu'il reste nécessaire de
221 valider les performances de ce type d'approche par des protocoles d'observations de
222 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**

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

234 LAZURE P., DUMAS F. (2008). *An external–internal mode coupling for a 3D*
235 *hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS)*. Advances in Water
236 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.,
242 VINCHON C. (2015). *Coastal flooding of urban areas by overtopping: dynamic*
243 *modelling application to the Johanna storm (2008) in Gâvres (France)*. Natural
244 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*
252 *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