



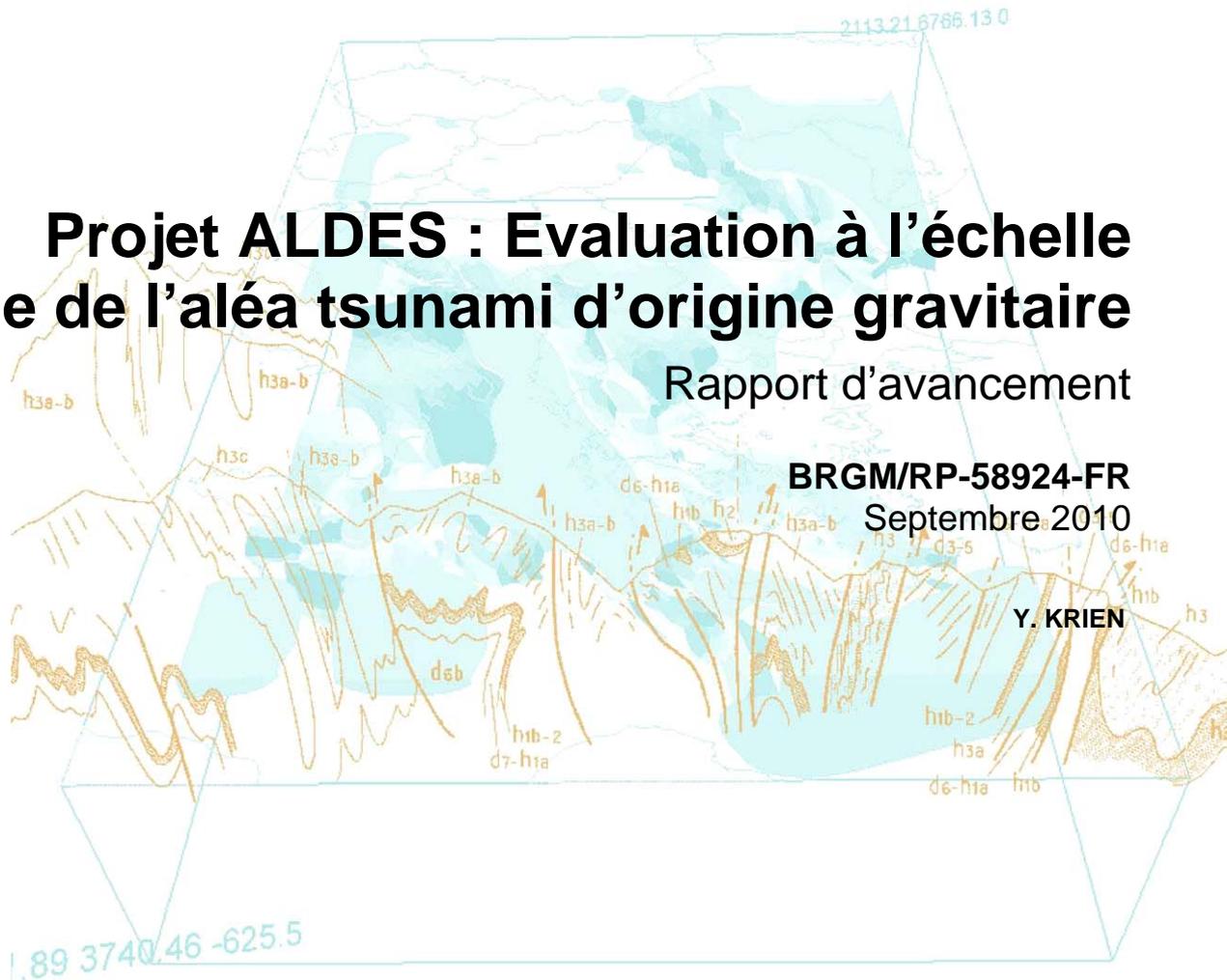
Projet ALDES : Evaluation à l'échelle régionale de l'aléa tsunami d'origine gravitaire

Rapport d'avancement

BRGM/RP-58924-FR

Septembre 2010

Y. KRIEN



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public (ou projets de Recherche) du BRGM

Ce document a été vérifié par : Pedreros, Rodrigo date : 14/09/2010

Approbateur :

Nom :

Date : 14/09/2010

Signature :



Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : tsunamis, modélisation, glissements de terrain, Méditerranée Occidentale, aléa

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Krien, Y. (2010) – Projet ALDES : Evaluation à l'échelle régionale de l'aléa tsunami d'origine gravitaire. Rapport BRGM/RP-58924-FR, 35 p., 29 fig., 3 tabl., 1 ann.

© BRGM, 2009, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Parallèlement à la mise en place du Centre Régional d'Alerte aux Tsunamis pour l'Atlantique Nord-Est et la Méditerranée Occidentale (CRATANEM), chargé de diffuser une alerte à la Sécurité Civile, la Direction de la Sécurité Civile (DSC) a sollicité le BRGM pour une participation à un nouveau projet dénommé Alerte Descendante (ALDES). Ce projet a pour objectif d'étudier la menace tsunami sur le littoral méditerranéen afin d'identifier les zones les plus exposées, d'évaluer le risque en détail sur trois sites pilotes, et de mettre en place un démonstrateur sur un des trois sites pré-analysés.

Dans ce rapport, on présente les travaux réalisés dans le cadre de ce projet afin d'évaluer l'aléa tsunami d'origine gravitaire à l'échelle régionale sur les côtes méditerranéennes françaises. Cette analyse s'appuie sur le zonage des mouvements de terrain sous-marins réalisé par l'IFREMER en 2007 (Cattaneo, 2007) et les modélisations numériques réalisées par le BRGM dans le cadre du Plan Séisme (Pedreros et Poisson, 2007). Elle montre que les côtes du Languedoc-Roussillon et le Nord-Ouest de la Corse sont les zones les plus exposées. Les hauteurs d'eau pourraient y atteindre plusieurs mètres dans le cas d'un glissement de grande ampleur, de période de retour supérieure à la dizaine de millier d'années. Ceci pourrait être aussi le cas sur d'autres sites plus localisés, y compris pour des événements plus modérés, de période de retour comprises entre quelques centaines et quelques milliers d'années. Les délais attendus entre le déclenchement d'un tsunami et l'arrivée des vagues sur la côte devraient être supérieurs à 30mn en Languedoc-Roussillon, ce qui pourrait permettre la mise en place d'un système d'alerte. En revanche, celle-ci serait plus problématique en Corse, où le délai est plus court (10-20mn).

Sommaire

1. Introduction	7
2. Rappel des études précédentes	8
2.1. ZONAGE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN SOUS-MARINS (CATTANEO, 2007)	8
2.2. MODELISATION NUMERIQUE DES EVENEMENTS IDENTIFIES (PEDREROS ET POISSON, 2007).....	9
3. Evaluation de l'aléa à l'échelle régionale	12
3.1. ESTIMATION DES PERIODES DE RETOUR DES EVENEMENTS.....	12
3.2. EVALUATION DE L'ALEA ET TEMPS D'ARRIVEE	13
3.2.1. Scénario MAX.....	14
3.2.2. Scénario MOD	16
4. Conclusion	20
5. Bibliographie	21
ZONE 01 : CORSE NORD-NORD-OUEST – SCÉNARIO MAX.....	22
ZONE 02 : CORSE OUEST – SCÉNARIO MAX	23
ZONE 02: CORSE OUEST – SCENARIO MOD.....	24
ZONE 03 : CORSE SUD-OUEST – SCÉNARIO MAX.....	24
ZONE 05 : CORSE EST – SCÉNARIO MAX.....	25
ZONE 06 : CORSE – RIDE PIANOSA – SCÉNARIO MAX	26
ZONE 06 : CORSE – RIDE PIANOSA – SCÉNARIO MOD.....	27
ZONE 07 : NICE-VINTIMILLE – SCÉNARIO MAX	28
ZONE 08 : NICE-AEROPORT 1979 – SCÉNARIO MAX/MOD	28
ZONE 11 : RIDE DU VAR – SCENARIO MAX	29
ZONE 12 : ANTIBES – SAINT-TROPEZ – SCENARIO MAX.....	29
ZONE 13 : CANYON D'ESTOCADE CASSIDAIGNE – SCENARIO MAX	30
ZONE 15 : CANYON DU GRAND RHONE – SCENARIO MAX	30
ZONE 16 : P-G RHÔNE INTERFLUVE – SCÉNARIO MAX.....	31
ZONE 17 : CANYON DE SÈTE – SCÉNARIO MAX.....	31
ZONE 18 : CANYON DE LACAZE-HÉRAULT – SCÉNARIO MAX	32

ZONE 18 : CANYON DE LACAZE-HÉRAULT– SCÉNARIO MOD.....	32
ZONE Z19 : INTERFLUVE AUDE-HÉRAULT – SCÉNARIO MAX.....	33
ZONE Z19 : INTERFLUVE AUDE-HÉRAULT – SCÉNARIO MOD	33
CAS Z20 : CANYON DU CAP CREUS – SCENARIO MAX	34

Liste des figures

Figure 1 – Cattaneo 2007 : Zonage des mouvements de terrain sous-marins sur le plateau et le talus continental au large des côtes françaises méditerranéennes.....	9
Figure 2 - Carte de hauteur d'eau maximale (en mètres) le long des côtes du Languedoc-Roussillon et de la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur pour les événements MAX.	14
Figure 3 - Carte d'aléa tsunami d'origine gravitaire avec les temps minimum d'arrivée (en minutes) sur les côtes du Languedoc-Roussillon et de la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur pour les événements MAX.	14
Figure 4 - Carte de hauteur d'eau maximale (en mètres) le long des côtes corses pour les événements MAX.....	15
Figure 5 - Carte d'aléa tsunami d'origine gravitaire avec les temps minimum d'arrivée (en minutes) sur les côtes corses pour les événements MAX.....	16
Figure 6 - Carte de hauteur d'eau maximale (en mètres) le long des côtes du Languedoc-Roussillon et de la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur pour les événements MOD.....	17
Figure 7 -Carte d'aléa tsunami d'origine gravitaire avec les temps minimum d'arrivée (en minutes) sur les côtes du Languedoc-Roussillon et de la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur pour les événements MOD.....	17
Figure 8 - Carte de hauteur d'eau maximale (en mètres) le long des côtes corses pour les événements MOD.	18
Figure 9 - Carte d'aléa tsunami d'origine gravitaire avec les temps minimum d'arrivée (en minutes) sur les côtes corses pour les événements MOD.	19
Figure 10 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 01 (grille à 250 m, nord de la Corse).	22
Figure 11 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 02 (grille à 750 m).....	23
Figure 12 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MOD de la zone 02 (grille à 750 m).....	24
Figure 13 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 03 (grille à 750 m).....	24
Figure 14 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 05 (grille à 750 m).....	25
Figure 15 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 06 (grille à 750 m).....	26
Figure 16 - Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MOD de la zone 06 (grille à 750 m).....	27

Figure 17 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 07 (grille à 750 m).....	28
Figure 18 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue au cours des simulations du tsunami de Nice 1979 (grille à 83 m).....	28
Figure 19 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 11 (grille à 750 m).....	29
Figure 20 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 12 (grille à 750 m).....	29
Figure 21 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 13 (grille à 750 m).....	30
Figure 22 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 15 (grille à 750 m).....	30
Figure 23 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 16 (grille à 750 m).....	31
Figure 24 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 17 (grille à 750 m).....	31
Figure 25 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 18 (grille à 750 m).....	32
Figure 26 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MOD de la zone 18 (grille à 250 m).....	32
Figure 27 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 19 (grille à 750 m).....	33
Figure 28 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MOD de la zone 19 (grille à 750 m).....	33
Figure 29 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario MAX de la zone 20 (grille à 750 m).....	34

Liste des tableaux

Tableau 1 –Pedreros et Poisson (2007) : Paramètres issus de GIS CURARE(2006) retenus pour simuler le glissement de terrain résultant de l'effondrement de l'extension de l'aéroport de Nice, le 16 octobre 1979.....	10
Tableau 2- Pedreros et Poisson (2007) : Scénarios retenus pour les simulations et caractéristiques des grilles de calcul	11
Tableau 3 –Récapitulatif des résultats de l'étude de Cattaneo (2007) concernant le nombre d'occurrences des événements identifiés pour chacune des zones et période de retour estimée en supposant que les glissements ont eu lieu au cours d'une période de 20000 ans. Les événements représentés en jaune sont ceux qui ont été retenus dans l'étude de Pedreros et Poisson (2007) comme potentiellement tsunamigènes	13

Liste des annexes

Annexe 1 Résultat des simulations de scénarios de tsunamis liés à des glissements gravitaires sous-marins (Pedreros et Poisson, 2007).....	22
--	----

1. Introduction

Parallèlement à la mise en place du Centre Régional d'Alerte aux Tsunamis pour l'Atlantique Nord-Est et la Méditerranée Occidentale (CRATANEM), chargé de diffuser une alerte à la Sécurité Civile, la Direction de la Sécurité Civile (DSC) a sollicité le BRGM pour une participation à un nouveau projet dénommé Alerte Descendante (ALDES).

Ce projet consiste :

- a) à étudier la menace tsunami le long du littoral méditerranéen afin d'identifier les zones les plus exposées ;
- b) à examiner en détail trois sites pilotes et y évaluer le risque (l'aléa, les dommages et préjudices humains potentiels) ;
- c) et enfin à mettre en place un démonstrateur (correspondant à l'un des 3 sites pilotes pré-analysés) pour lequel les éléments d'un système d'alerte descendante adapté seront définis (plan communal de sauvegarde, formation, information, documentation, diffusion...).

Le *Work Package* 3.1 dont fait l'objet ce rapport a pour objectifs (1) de réaliser une **carte d'aléa des côtes méditerranéennes aux tsunamis d'origine gravitaire** en estimant les périodes de retour des événements considérés, et (2) d'**identifier les secteurs qui pourraient bénéficier à terme de l'alerte montante** à partir de l'évaluation des temps d'arrivée des tsunamis modélisés.

Cette analyse s'appuie sur le zonage des mouvements de terrain sous-marins réalisé par l'IFREMER en 2007 (Cattaneo, 2007), et sur les modélisations effectuées par le BRGM dans le cadre du Plan Séisme (Pedreros et Poisson, 2007).

Ce rapport s'articule en deux parties. Nous rappellerons tout d'abord brièvement la démarche et les conclusions des travaux précédents. Nous présenterons ensuite les résultats de cette étude, à savoir les cartes d'aléa des côtes méditerranéennes aux tsunamis d'origine gravitaire et les secteurs pour lesquels le temps d'arrivée des tsunamis est suffisant pour pouvoir envisager la mise en place d'une alerte montante.

2. Rappel des études précédentes

2.1. ZONAGE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN SOUS-MARINS (CATTANEO, 2007)

L'IFREMER a réalisé en 2007 une évaluation préliminaire de la distribution des glissements sous-marins au large des côtes méditerranéennes françaises. Celle-ci est basée sur l'analyse de données de bathymétrie multifaisceaux (Simrad EM 12, Simrad EM 300), d'imagerie du fond (Simrad EM 12, Simrad EM 300, SAR), de sismique réflexion (sondeur de sédiment CHIRP, Sparker) et de prélèvements réalisés pendant des campagnes en mer.

Cette étude a aboutie à un découpage du plateau et du talus continental au large des côte française méditerranéennes en 20 zones présentant une certaine homogénéité en terme de caractéristiques gravitaires (Figure 1). Dans chaque zone, un ou deux évènements de référence ont été définis :

- un glissement de taille moyenne, supposé représenter le type de glissement le plus commun et le plus fréquent de la zone : MOD
- et/ou un glissement de taille maximale, correspondant à un évènement exceptionnel : MAX

Pour chacun d'eux, sont déterminés :

- la nature du phénomène
- la géométrie du glissement (longueur, épaisseur, largeur)
- la nature des matériaux susceptibles d'être déstabilisés (sables, graviers, limons, rocheux, etc)
- la pente moyenne et la direction du glissement
- la profondeur moyenne du glissement
- les coordonnées du centre de gravité

Dans la mesure du possible, une période de retour (ou du moins un nombre d'occurrence) a été évaluée par ailleurs pour les évènements MOD.

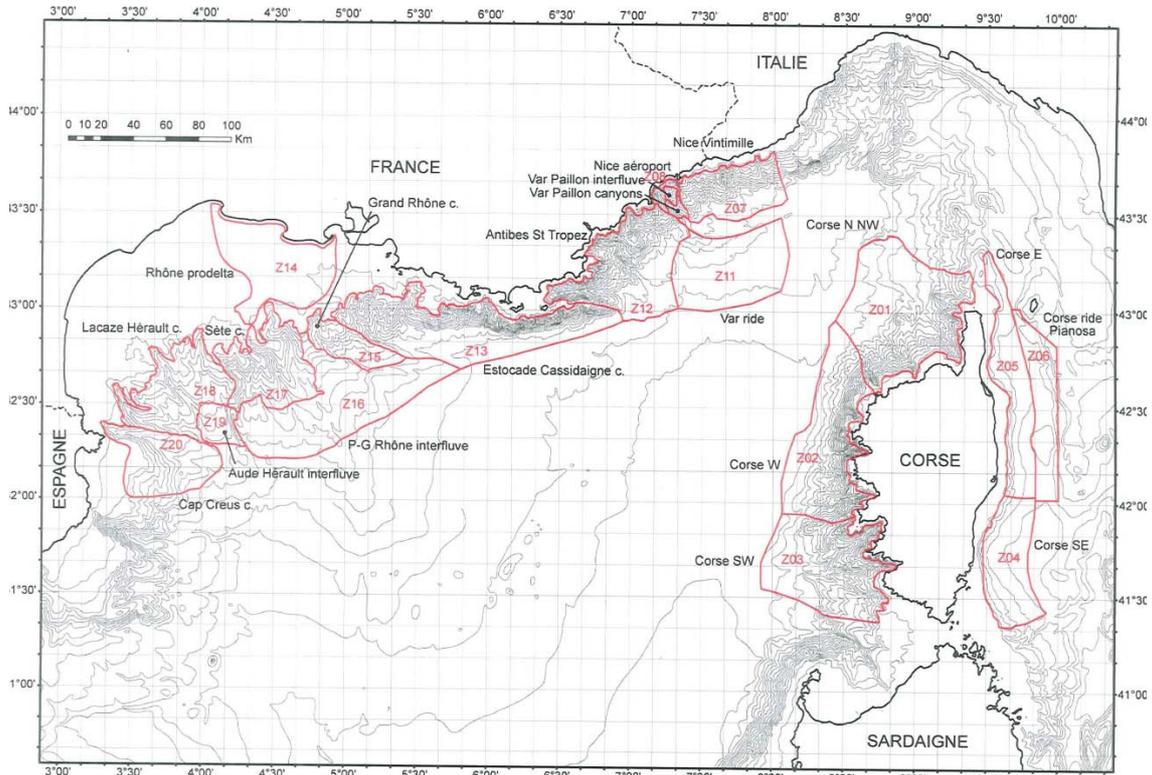


Figure 1 – Cattaneo 2007 : Zonage des mouvements de terrain sous-marins sur le plateau et le talus continental au large des côtes françaises méditerranéennes

2.2. MODELISATION NUMERIQUE DES EVENEMENTS IDENTIFIES (PEDREROS ET POISSON, 2007)

Pedrerros et Poisson (2007) se sont appuyés sur les résultats de cette étude pour identifier un ensemble de scénarios de glissements de terrain susceptibles de générer un tsunami sur les côtes françaises (Tableau 1 et Tableau 2). Ils ont ensuite simulé les tsunamis induits par chacun de ces scénarios à l'aide du code de calcul GEOWAVE (Watts et al. 2003, Grilli et Watts 1999) et de grilles bathymétriques emboîtées de résolutions différentes (83m, 250m, 750m). Ces grilles ont été obtenues à partir du croisement de données:

- du SHOM (base de données Histolitt, contenant des relevés de sondes bathymétriques de 25m de résolution maximale, pour des profondeurs allant de 10m jusqu'en bordure du plateau continental) ;
- de l'IFREMER (données bathymétriques à 250m de résolution spatiale, mais avec une plus grande couverture spatiale que les sondes du SHOM) ;
- de la base de données internationale GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) qui couvre l'ensemble du globe avec une résolution de 1'.

Les données ont été corrigées par la technique de validation croisée, qui consiste à les enlever une à une pour ensuite les prévoir à partir de l'interpolation des données voisines. Cette procédure a permis de localiser des erreurs ponctuelles très importantes (supérieures à 10 m en valeur absolue) à la frontière des données du SHOM et de l'IFREMER.

Les résultats des simulations sont représentés pour chaque scénario sous forme :

- d'une carte de la cote de la surface libre du tsunami initial;
- d'une carte d'élévation maximale atteinte par le plan d'eau au cours de la simulation sur le premier domaine de calcul, englobant la zone la plus large autour de la source ;
- d'une carte d'élévation maximale au cours de la simulation sur le ou les domaines de calcul de plus haute résolution ciblés sur les endroits les plus sensibles ;
- de séries temporelles de cote de la surface libre, aux capteurs situés là où l'élévation maximale atteinte par l'eau est la plus grande, extraites des calculs sur le domaine de plus haute résolution.

Un tableau résume enfin les temps d'arrivée, et les élévations minimale et maximale atteintes par le plan d'eau aux capteurs les plus exposés.

Les cartes d'élévation maximale obtenues dans cette étude pour chaque scénario seront présentées en annexe pour les grilles de plus grande emprise.

	Premier glissement	Deuxième glissement
Localisation	43°38.72N 7°12.97E	43°36.42N 7°13.03E
Profondeur	49 m	839 m
Azimut	178°	181°
Pente bathymétrique	10°	11°
Largeur	652 m	458 m
Longueur	346 m	3027 m
Épaisseur	18 m	86 m

Tableau 1 – Pedreros et Poisson (2007) : Paramètres issus de GIS CURARE(2006) retenus pour simuler le glissement de terrain résultant de l'effondrement de l'extension de l'aéroport de Nice, le 16 octobre 1979.

ALDES : évaluation de l'aléa tsunami d'origine gravitaire

Dénomination				Localisation		Géométrie				Caractéristiques du glissement				Simulations		
N° Zone	NOM		Indice Fiabilité	Long. (°)	Latit. (°)	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Volume en million de m3	Pente (°)	Direction °/N	Profondeur	Type Mouvement	Grille 750 m	Grille 250 m	Grille 83m
Z01	Corse NNW	MAX	1	9.02	42.83	10000	3000	150	2250	7	340	800	slide	1	2	
Z02	Corse W	MAX	2	8.37	42.02	12000	3000	250	4500	7	290	1700	slide	1	1	
		MOD	2	8.50	42.46	5000	1500	200	750	13	280	800	slump	1	2	2
Z03	Corse SW	MAX	2	8.52	41.42	7000	5000	200	3500	5	280	1200	slide	1	2	
Z05	Corse E	MAX	1	9.58	43.00	2000	2000	100	200	4	100	200	slide	1	1	
Z06	Corse ride Pianosa	MAX	2	9.98	42.18	20000	10000	150	15000	4	260	400	slump	1	1	
		MOD	3	9.98	42.41	4000	4000	50	400	6	250	600	slump	1		
Z07	Nice Vintimille	MAX	2	7.46	43.59	5000	2000	200	1000	12	135	1650	slide	1	2	
Z08	Nice aéroport	MOD	Deux glissements, paramètres issus de GIS CURARE (2006), voir Tableau 1												1	
Z11	Ride du Var	MAX	1	7.33	43.25	5000	3000	100	750	4	220	2450	slide	1		
Z12	Antibes- St. Tropez	MAX	2	7.13	43.47	6000	2000	200	1200	6	120	1000	slide	1	2	
Z13	Canyon d'Estocade Cassidaigne	MAX	1	5.30	42.94	5000	2000	100	500	12	240	1200	slide	1	1	
Z15	Canyon du Grand Rhône	MAX	1	5.08	42.88	7000	3000	150	1575	5	180	1000	slide	1		
Z16	P-G Rhône interfluve	MAX	3	4.89	42.68	10000	6000	100	3000	4	150	1400	slide	1		
Z17	Canyon de Sète	MAX	1	4.53	42.62	10000	5000	100	2500	7	200	1000	slide/Débris flow	1		
Z18	Lacaze Hérault c.	MAX	1	3.60	42.56	4000	3500	160	1120	7	160	250	slide	1	3	
		MOD	3	3.72	42.66	2000	1000	55	55	10	80	300	slide		1	3
Z19	Aude Hérault interfluve	MAX	1	4.12	42.43	5000	3500	100	875	7	160	1300	slide	1		
		MOD	1	4.15	42.45	5000	2500	50	313	6	90	1200	slide	1		
Z20	Cap Creus c.	MAX	1	3.63	42.08	7000	5000	100	1750	6	90	700	slide	1		

Tableau 2- Pedreros et Poisson (2007) : Scénarios retenus pour les simulations et caractéristiques des grilles de calcul

3. Evaluation de l'aléa à l'échelle régionale

3.1. ESTIMATION DES PERIODES DE RETOUR DES EVENEMENTS

Il n'existe que peu de données sur l'âge des événements gravitaires identifiés dans l'étude de l'IFREMER en 2007. Il est donc difficile de leur attribuer une période de retour. On peut toutefois espérer en obtenir un ordre de grandeur, en partant d'une hypothèse simplificatrice. On peut supposer par exemple que les glissements identifiés se sont produits après la dernière période glaciaire (\approx 18000 ans), à une époque où le niveau de la mer était inférieur de plus de 100m par rapport au niveau actuel, et où une partie importante des corps sédimentaires du plateau et du talus continental ont été mis en place.

Le Tableau 3 donne pour chaque zone le nombre d'occurrence des événements identifiés dans l'étude de Cattaneo (2007), ainsi que la période de retour supposée en partant de cette hypothèse. Les événements marqués en jaune correspondent à ceux qui ont été retenus comme potentiellement tsunamigènes par Pedreros et Poisson (2007).

Dénomination			Rapport IFREMER (Cattaneo, 2007)		Période de retour avec hypothèse âge glaciaire
N° Zone	Nom	Scénario	Nombre d'occurrences	Période de retour	
Z01	Corse NNW	MOD	50	?	\approx 400 ans
Z02	Corse W	MOD	>10	?	<2000 ans
Z03	Corse SW	MOD	>30	?	<600 ans
Z05	Corse E	MOD	10 (2 récents)	?	\approx 2000 ans (?)
Z06	Corse ride Pianosa	MOD	10	?	\approx 2000 ans
Z07	Nice Vintimille	MOD	>100	?	<200 ans
Z08	Nice aéroport	MOD MAX	>1 (Evènement du 16 octobre 1979)	« évènement très probable » d'après rapport IFREMER Silva Jacinto et Meyniel (2010)	?
Z11	Ride du Var	MOD	20	?	\approx 1000 ans
Z12	Antibes- St. Tropez	MOD	>100	?	<200 ans
Z13	Canyon d'Estocade Cassidaigne	MOD	20	?	\approx 1000 ans

Z15	Canyon du Grand Rhône	MOD	20	?	≈1000 ans
Z16	P-G Rhône interfluve	MOD	60	?	≈300 ans
Z17	Canyon de Sète	MOD	60	?	≈300 ans
Z18	Lacaze Hérault c.	MOD	40	?	≈500 ans
Z19	Aude Hérault interfluve	MOD	10	?	≈2000 ans
Z20	Cap Creus c.	MOD	20	?	≈1000 ans

Tableau 3 –Récapitulatif des résultats de l'étude de Cattaneo (2007) concernant le nombre d'occurrences des évènements identifiés pour chacune des zones et période de retour estimée en supposant que les glissements ont eu lieu au cours d'une période de 20000 ans. Les évènements représentés en jaune sont ceux qui ont été retenus dans l'étude de Pedreros et Poisson (2007) comme potentiellement tsunamigènes

Cette méthode donne des périodes de retour qui s'échelonnent entre quelques centaines et quelques milliers d'années pour les évènements MOD. Les glissements maximum considérés (MAX) n'ayant à priori pas été observés, on peut raisonnablement supposer qu'ils ont des périodes de retour supérieures à la dizaine de milliers d'années.

Rappelons une fois de plus que ces valeurs doivent être considérées avec précaution. Des études de stabilité plus récentes montrent par exemple que la pente niçoise est dans un état métastable (ex : Leynaud et al 2010), et que le scénario MAX/MOD considéré dans la zone 8 peut avoir une période de retour inférieure à quelques centaines d'années.

3.2. EVALUATION DE L'ALEA ET TEMPS D'ARRIVEE

Les résultats des simulations de Pedreros et Poisson (2007) (voir 2.2) ont été synthétisés afin de générer des cartes représentant la hauteur d'eau maximale induite par l'ensemble des glissements sous-marin de type MAX -puis MOD- sur les côtes françaises. Ces cartes sont ensuite utilisées pour évaluer l'aléa tsunami d'origine gravitaire le long du littoral pour ces deux types d'évènements. On distinguera 5 classes d'aléa (Monfort Climent et al., 2010) :

- un aléa *faible*, pour une hauteur d'eau maximale h_{max} inférieure à 50cm ;
- un aléa *modéré*, pour $50\text{cm} < h_{max} < 1\text{m}$;
- un aléa *moyen*, pour $1\text{m} < h_{max} < 2\text{m}$;
- un aléa *fort*, pour $2\text{m} < h_{max} < 3\text{m}$;
- et un aléa *très fort*, pour $h_{max} > 3\text{m}$

3.2.1. Scénario MAX

Les hauteurs d'eau maximales qui seraient générées par un tsunami d'origine gravitaire « maximisant » (de période de retour supérieure à quelques milliers d'années à priori) pourraient atteindre voir dépasser les 2-3m des Pyrénées-Orientales jusqu'en Camargue (Figure 2). Ceci correspond à un aléa fort voire très fort comme dans les Pyrénées Orientales et dans l'Aude (Figure 3). A l'exception de certains sites (Nice par exemple), les hauteurs ne devraient pas dépasser les 1m en revanche sur le reste du littoral Provence-Côte-d'Azur. Les niveaux d'aléa y sont faibles à moyens.

Le délai minimal entre le déclenchement d'un tsunami et l'arrivée des premières vagues sur les côtes est supérieur à 30mn pour les parties du littoral les plus exposées (Figure 3), ce qui pourrait permettre d'envisager la mise en place d'une alerte.

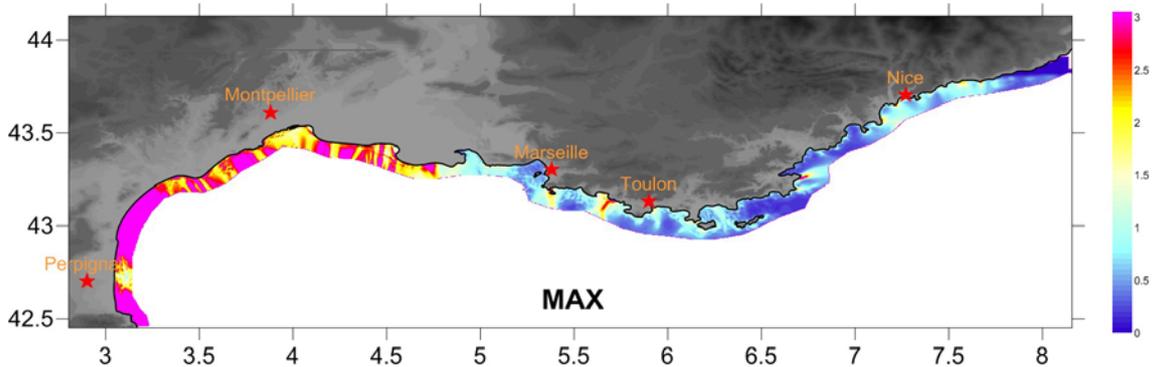


Figure 2 - Carte de hauteur d'eau maximale (en mètres) le long des côtes du Languedoc-Roussillon et de la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur pour les événements MAX.

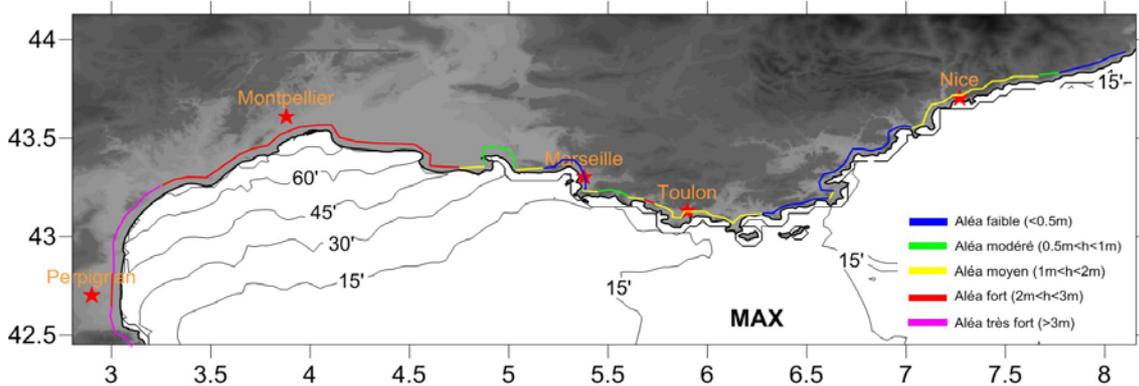


Figure 3 - Carte d'aléa tsunami d'origine gravitaire avec les temps minimum d'arrivée (en minutes) sur les côtes du Languedoc-Roussillon et de la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur pour les événements MAX.

En Corse, les zones les plus exposées dans le cas d'un scénario maximisant de période de retour supérieure à la dizaine de milliers d'années sont les côtes Est et Nord-Ouest. Certains sites au Sud-Ouest (les pointes en particulier) sont aussi susceptibles d'avoir des hauteurs d'eau dépassant les 3m (Figure 4). L'aléa est fort

voire très fort dans ces régions (Figure 5). Les hauteurs sont plus faibles sur le reste du territoire, mais restent supérieures à 1m sur la plus grande partie du linéaire côtier (aléa moyen). Les temps d'arrivée sont assez courts (de l'ordre de 15-20mn), sauf dans la partie sud de l'île. Ceci pourrait poser problème dans le cadre de la mise en place d'une alerte.

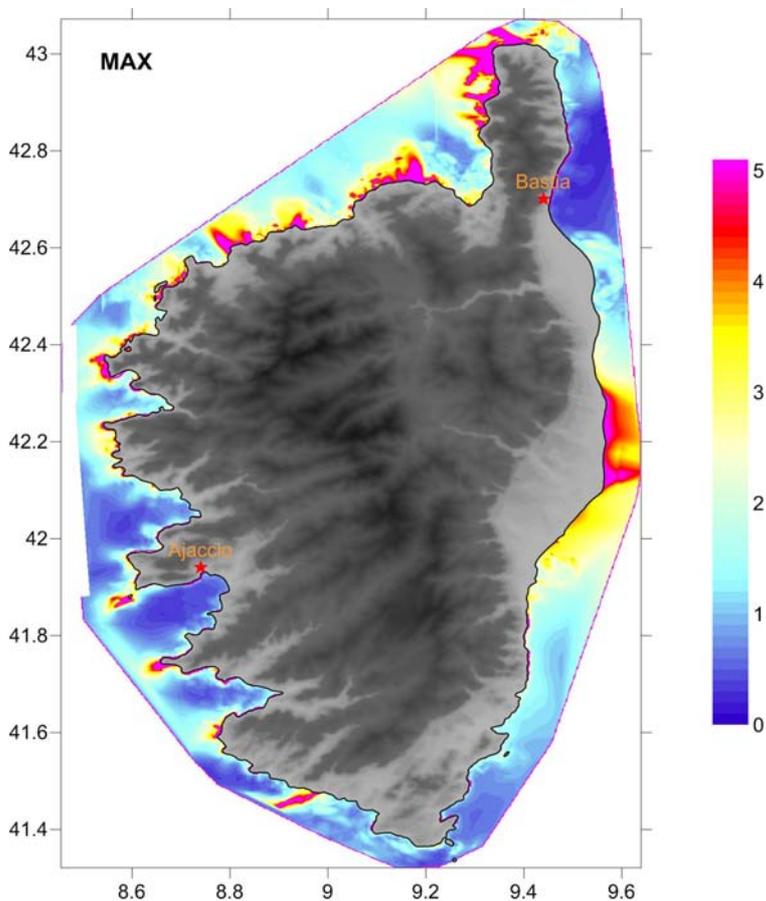


Figure 4 - Carte de hauteur d'eau maximale (en mètres) le long des côtes corses pour les évènements MAX.

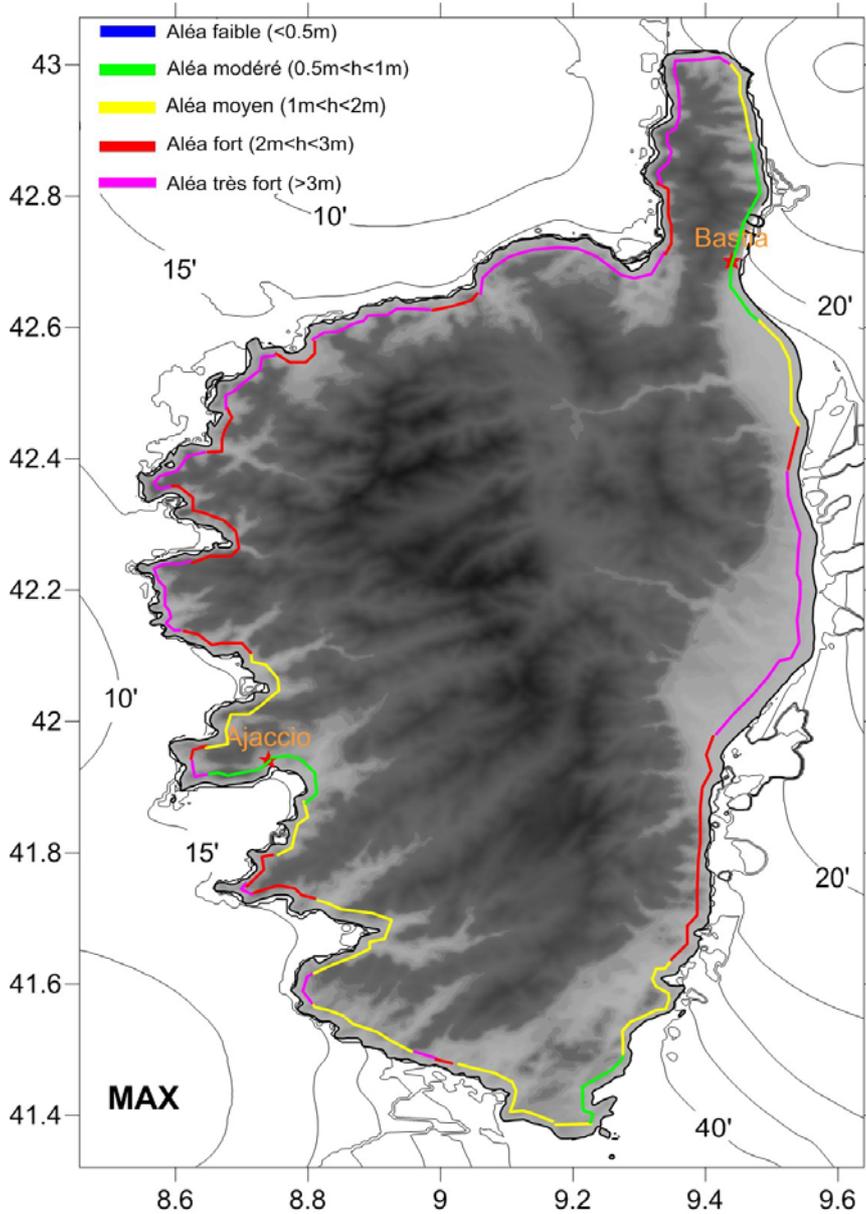


Figure 5 - Carte d'aléa tsunami d'origine gravitaire avec les temps minimum d'arrivée (en minutes) sur les côtes corse pour les événements MAX.

3.2.2. Scénario MOD

Les hauteurs d'eau maximales qui seraient générées par un tsunami d'origine gravitaire de dimensions plus restreintes (scénarios MOD, de périodes de retour plus petites, comprises entre quelques centaines et quelques milliers d'années à priori – voir Tableau 3) ne devraient pas dépasser les quelques dizaines de centimètres dans les zones les plus impactées des côtes françaises méditerranéennes continentales, à savoir le Languedoc-Roussillon et la Camargue. On pourrait toutefois atteindre ou

dépasser les 1m sur des zones assez restreintes, comme en Pyrénées Orientales (Figure 6). L'aléa peut donc être considéré comme faible ou modéré sur presque la totalité du linéaire côtier (Figure 7) pour des périodes de retour centennales à millénales.

Le délai minimal entre le déclenchement d'un tsunami et l'arrivée des premières vagues sur les côtes est supérieur à 30mn pour les parties du littoral les plus exposées (Figure 7), ce qui pourrait permettre d'envisager la mise en place d'une alerte.

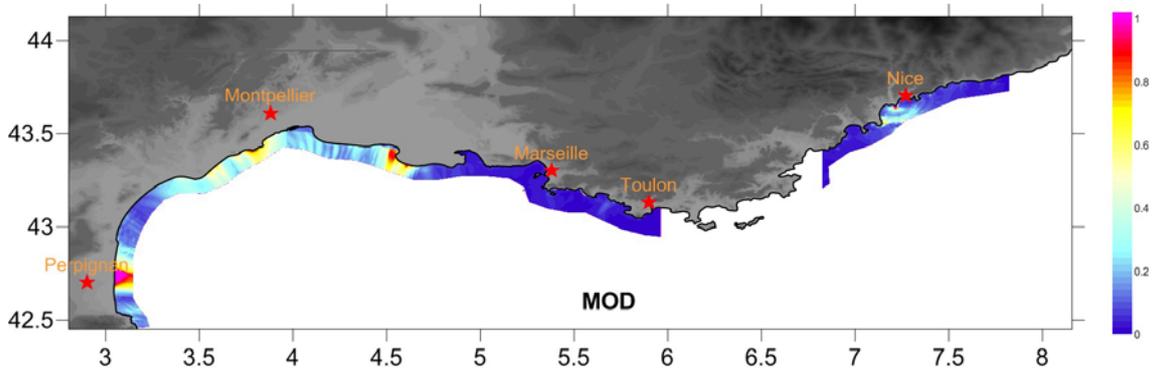


Figure 6 - Carte de hauteur d'eau maximale (en mètres) le long des côtes du Languedoc-Roussillon et de la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur pour les événements MOD.

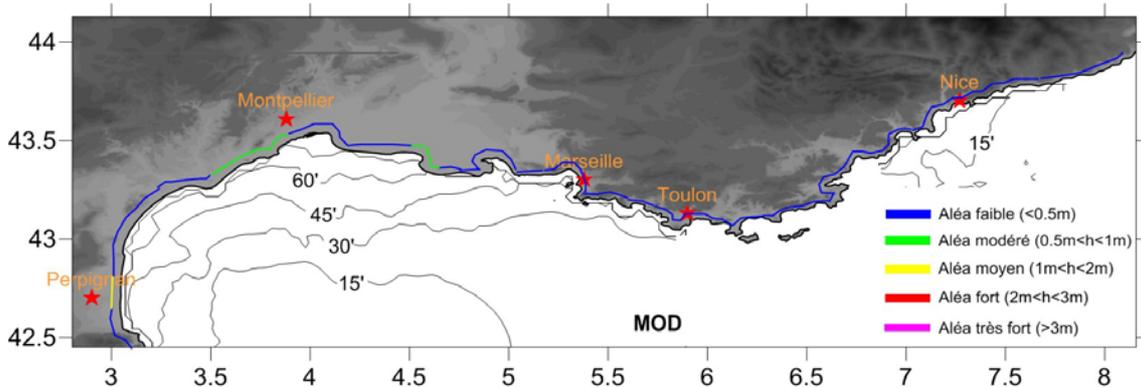


Figure 7 - Carte d'aléa tsunami d'origine gravitaire avec les temps minimum d'arrivée (en minutes) sur les côtes du Languedoc-Roussillon et de la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur pour les événements MOD.

En Corse, la zone la plus exposée dans le cas des scénarios MOD (de période comprises entre quelques centaines et quelques milliers d'années) semble être la côte Nord-Ouest. Les hauteurs d'eau pourraient dépasser les 2m localement, ce qui correspond à un aléa fort (Figure 8 et Figure 9). L'aléa est faible sur les autres parties du linéaire côtier, avec des hauteurs d'eau maximales inférieures à 50cm. Les temps d'arrivée sont courts (de l'ordre de 5-10mn) dans les zones qui sont à priori les plus exposées, ce qui pourrait poser problème dans le cadre de la mise en place d'une alerte.

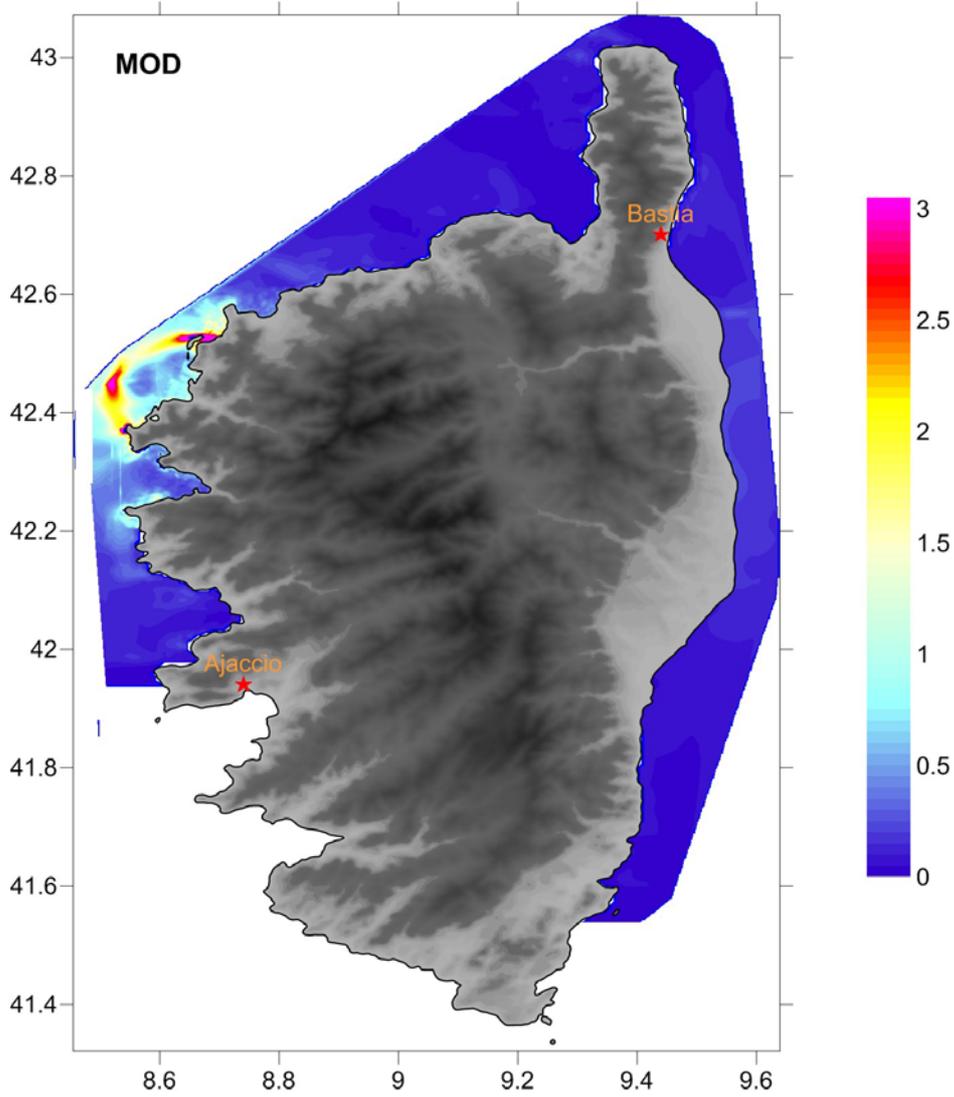


Figure 8 - Carte de hauteur d'eau maximale (en mètres) le long des côtes corse pour les évènements MOD.

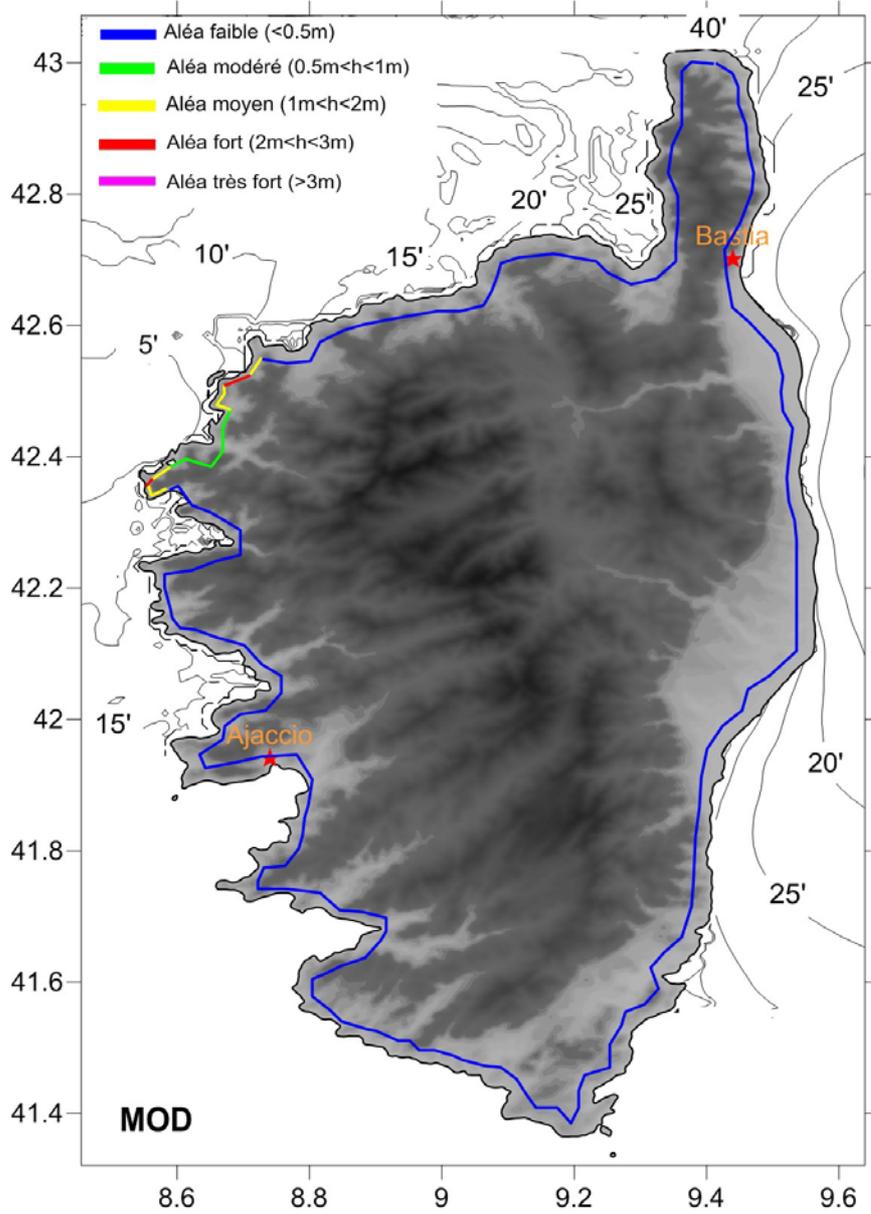


Figure 9 - Carte d'aléa tsunami d'origine gravitaire avec les temps minimum d'arrivée (en minutes) sur les côtes corses pour les événements MOD.

4. Conclusion

Les résultats présentés dans cette étude reposent sur une première évaluation de la distribution des glissements de terrain sous-marins au large des côtes méditerranéennes françaises. Il doivent donc être considérés comme préliminaires. Des études de stabilité plus fines ainsi que de meilleures données sur l'âge des évènements gravitaires identifiés seraient nécessaires pour pouvoir réellement attribuer une période de retour aux tsunamis potentiels et évaluer l'aléa de manière satisfaisante sur l'ensemble des côtes françaises.

Cette étude permet toutefois de dégager de grandes tendances. Elle indique notamment que les côtes du Languedoc-Roussillon et le Nord-Ouest de la Corse sont les zones les plus exposées. Les hauteurs d'eau pourraient y atteindre plusieurs mètres dans le cas d'un glissement de grande ampleur, de période de retour supérieure à la dizaine de millier d'années. Ceci pourrait être aussi le cas sur d'autres sites plus localisés (comme la région de Nice), y compris pour des évènements plus modérés, de période de retour comprises entre quelques centaines et quelques milliers d'années à priori. Le degré de résolution de cette étude ne permet pas en revanche de les identifier.

Les délais attendus entre le déclenchement d'un tsunami et l'arrivée des vagues sur la côte devraient être supérieurs à 30mn en Languedoc-Roussillon, ce qui pourrait permettre la mise en place d'un système d'alerte descendante. En revanche, celle-ci serait plus problématique en Corse, où le délai est plus court (de l'ordre de 10-20mn pour les côtes les plus exposées).

5. Bibliographie

Cattaneo, A. (2007). Zonage des mouvements de terrain sous-marins sur le plateau et le talus continental au large des côtes françaises. Rapport Ifremer DCB/GM/LES/07-17, 66 pages, 18 figures, 2 annexes.

GIS CURARE (2006). 'Axe III - Mouvements du sol et instabilités gravitaires en mer'. *Rapport Intermédiaire d'activité*, 87p.

Grilli S.T. et Watts P., (1999). 'Modeling of waves generated by a moving submerged body : Applications to underwater landslides'. *Engrg. Analysis with Boundary Elements*, 23, 8, 645-656.

Grilli S.T. et Watts P., (2005). 'Tsunami generation by submarine mass failure. Part I : Modeling, experimental validation, and sensitivity analysis'. *J. Waterway Port Coastal and Ocean Engng.*, 131, 6, 283-297.

Kennedy, A.B., Chen, Q., Kirby, J.T., and Dalrymple, R.A. (2000). 'Boussinesq modeling of wave transformation, breaking and runup. I: 1D' *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engng.*, 126, 39-47.

Monfort Climent D., Marçot N., Sedan O. et Terrier M. (2010). Projet RATCOM. Méthode d'évaluation de la vulnérabilité et du risque tsunami en Méditerranée occidentale. Rapport BRGM 58595-FR (en cours)

Okada, Y. (1985). 'Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space'. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 75, 1135-1154.

Pedrerros, R., Poisson, B. (2007). Etude de cas au niveau de la côte méditerranéenne : modélisation numérique des tsunamis. BRGM/RP-55760-FR, 176 p., 123 fig., 27 tabl., 2 ann.

Walder, J.S., Watts, P., Sorensen, O.E., and Janssen, K., (2003). 'Tsunamis generated by subaerial mass flows'. *Journal of Geophysical Research*, Vol.108, B5, 2236.

Watts, P., Grilli, S.T., Kirby, J.T., Fryer, G.J., and Tappin, D.R. (2003). Landslide tsunami case studies using a Boussinesq model and a fully nonlinear tsunami generation model. *Nat. Hazards Syst. Sci.* 3, 391-402

Wei G., Kirby J. T., Grilli S. T., and Subramanya R., (1995). 'A fully nonlinear Boussinesq model for free surface wave. Part 1 : Highly unsteady waves'. *J. Fluid Mech.*, 294,71-92.

Annexe 1

Résultat des simulations de scénarios de tsunamis liés à des glissements gravitaires sous-marins (Pedreros et Poisson, 2007)

On trouvera dans cette annexe les principales cartes de hauteur maximale établies pour chaque scénario (Tableau 2) par Pedreros et Poisson (2007).

ZONE 01 : CORSE NORD-NORD-OUEST – SCÉNARIO MAX

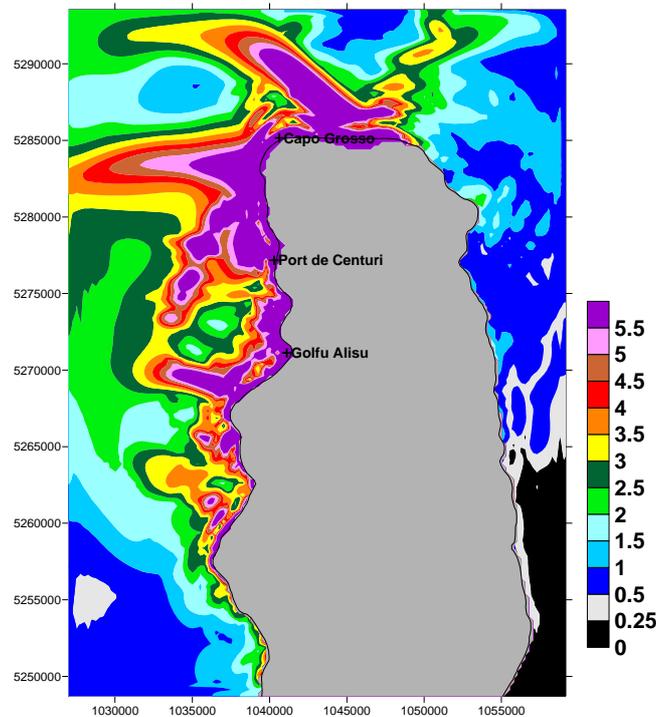


Figure 10 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la zone **01** (grille à 250 m, nord de la Corse).

ZONE 02 : CORSE OUEST – SCÉNARIO MAX

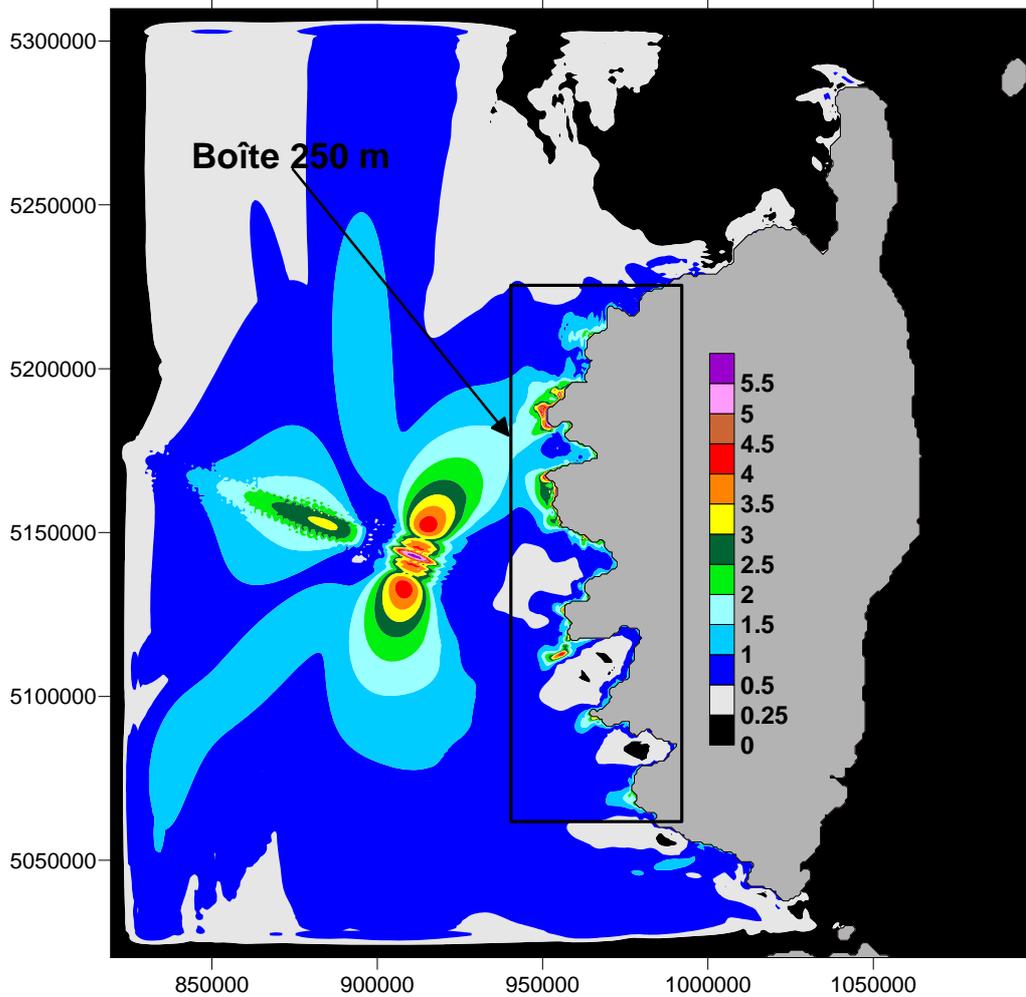


Figure 11 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la zone **02** (grille à 750 m).

ZONE 02: CORSE OUEST – SCENARIO MOD

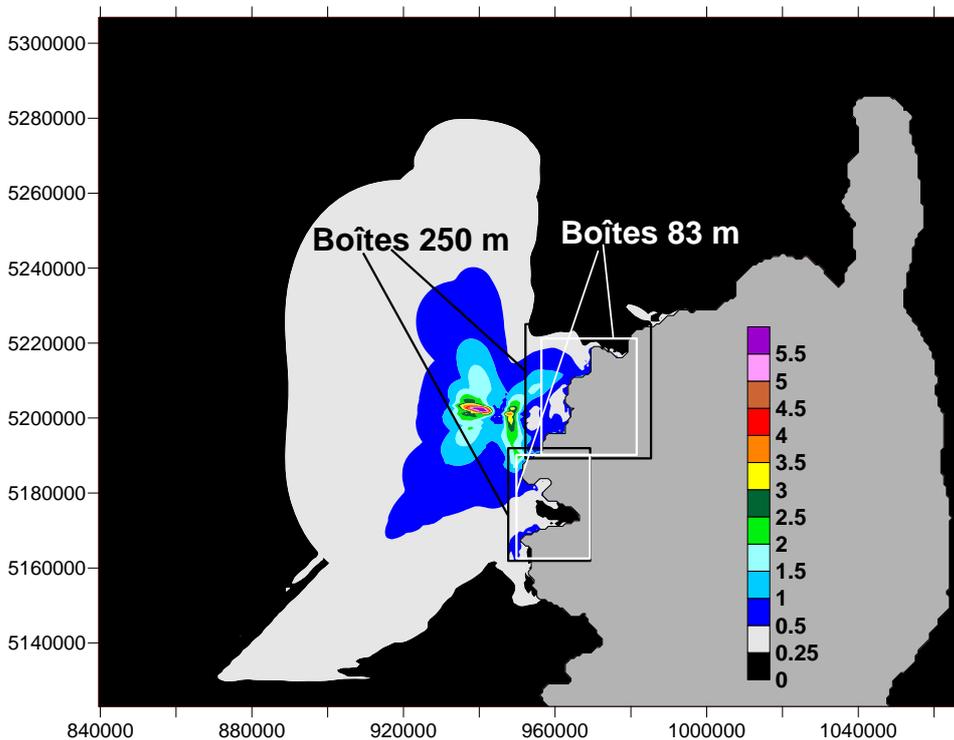


Figure 12 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MOD** de la zone **02** (grille à 750 m)

ZONE 03 : CORSE SUD-OUEST – SCÉNARIO MAX

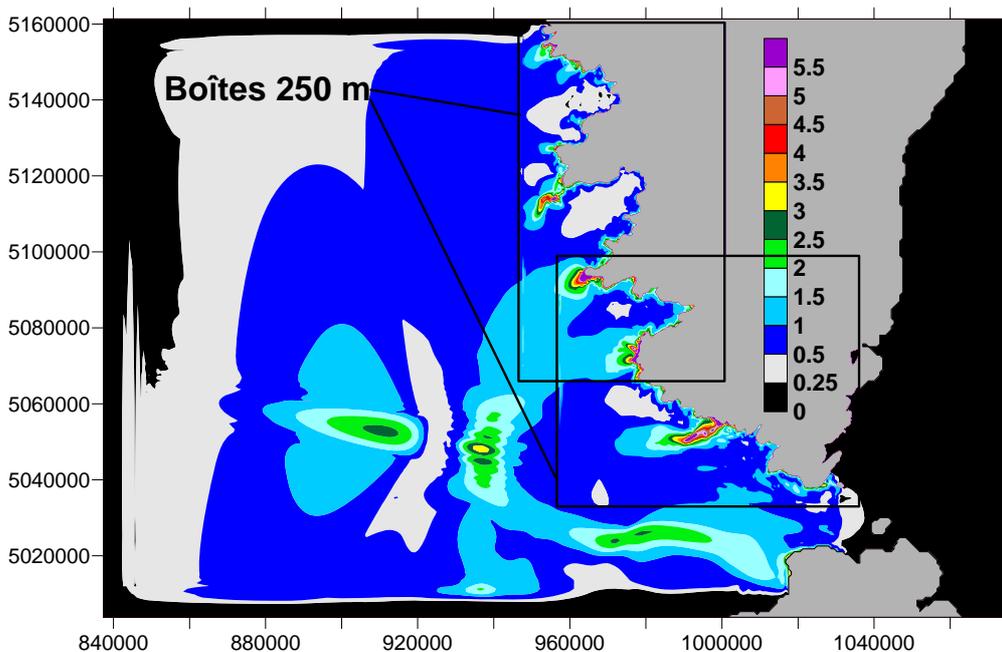


Figure 13 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la zone **03** (grille à 750 m).

ZONE 05 : CORSE EST – SCÉNARIO MAX

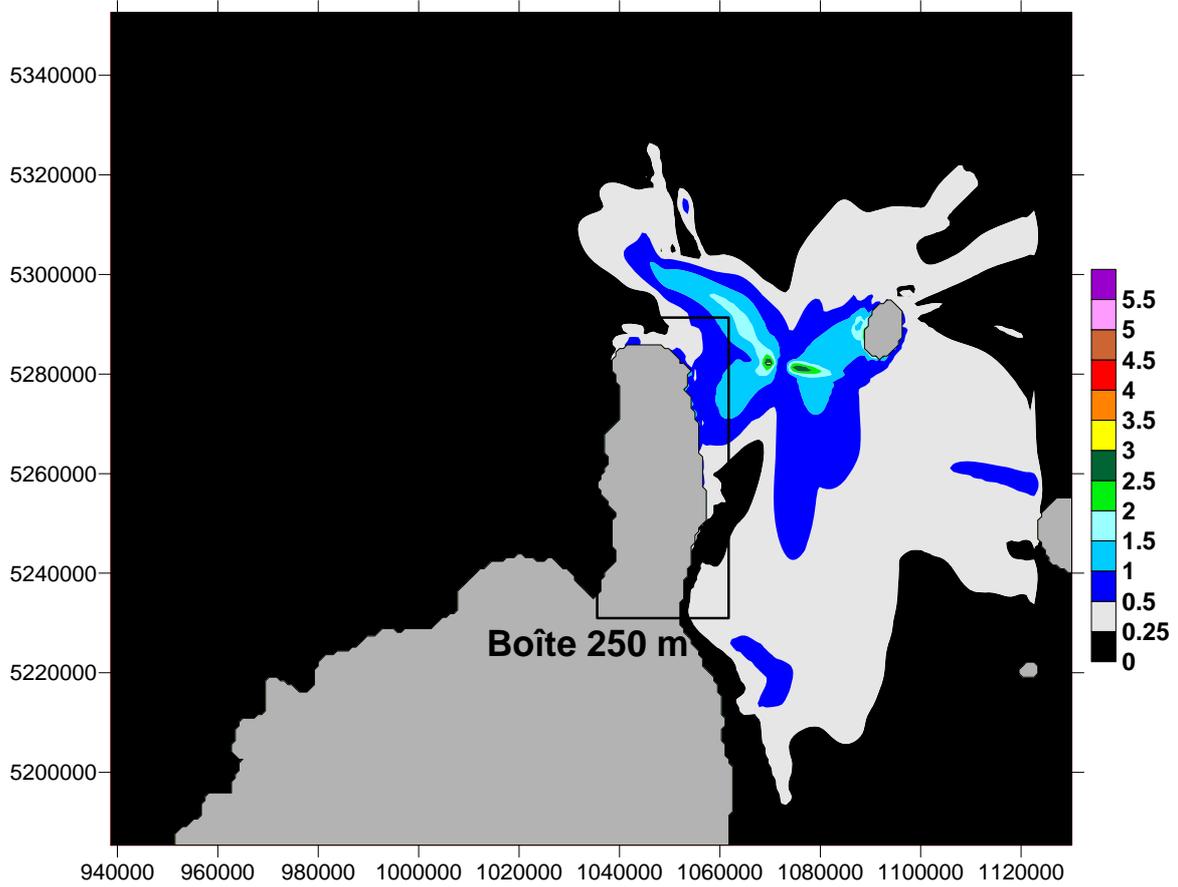


Figure 14 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la zone **05** (grille à 750 m).

ZONE 06 : CORSE – RIDE PIANOSA – SCÉNARIO MAX

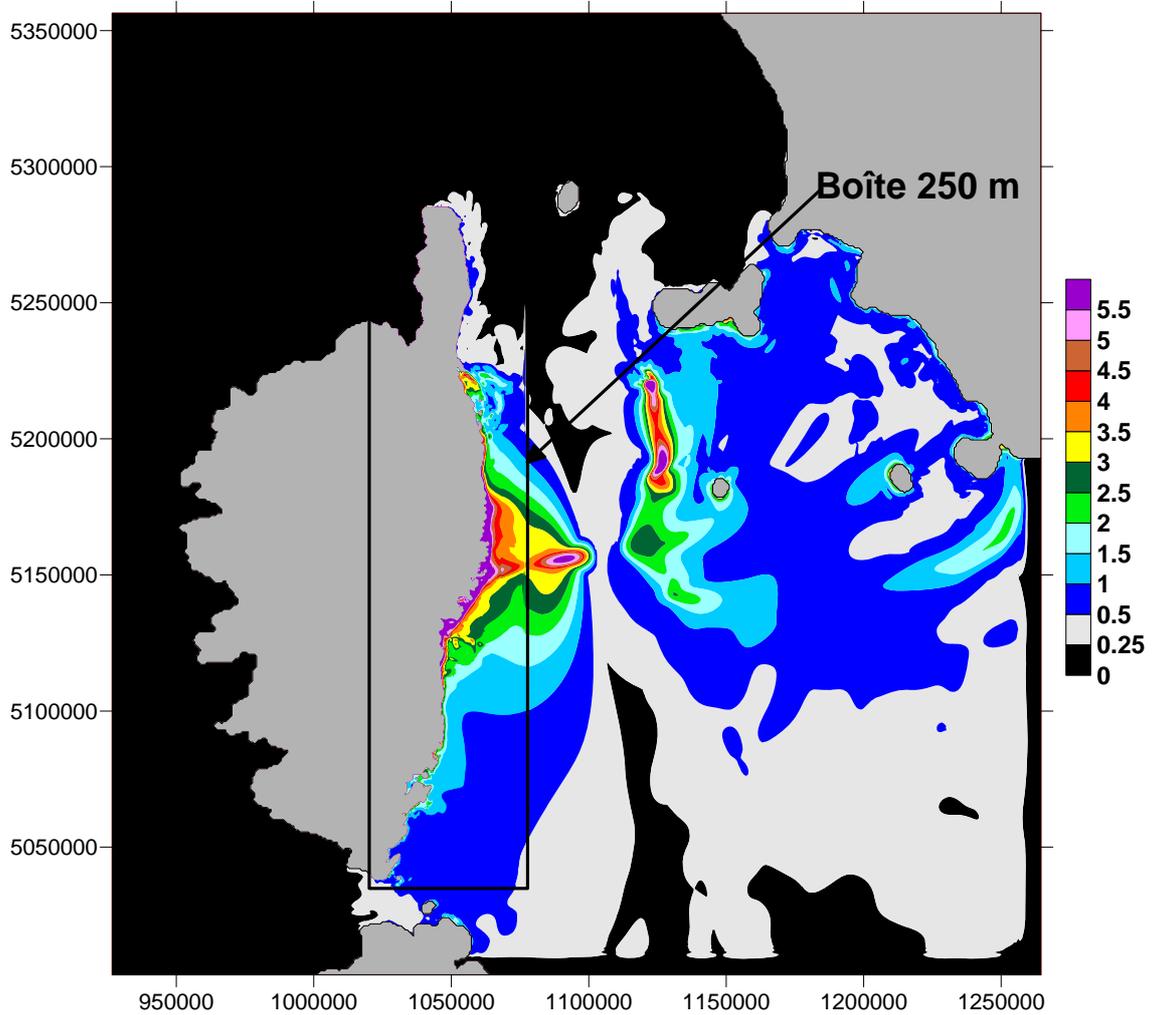


Figure 15 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la zone **06** (grille à 750 m).

ZONE 06 : CORSE – RIDE PIANOSA – SCÉNARIO MOD

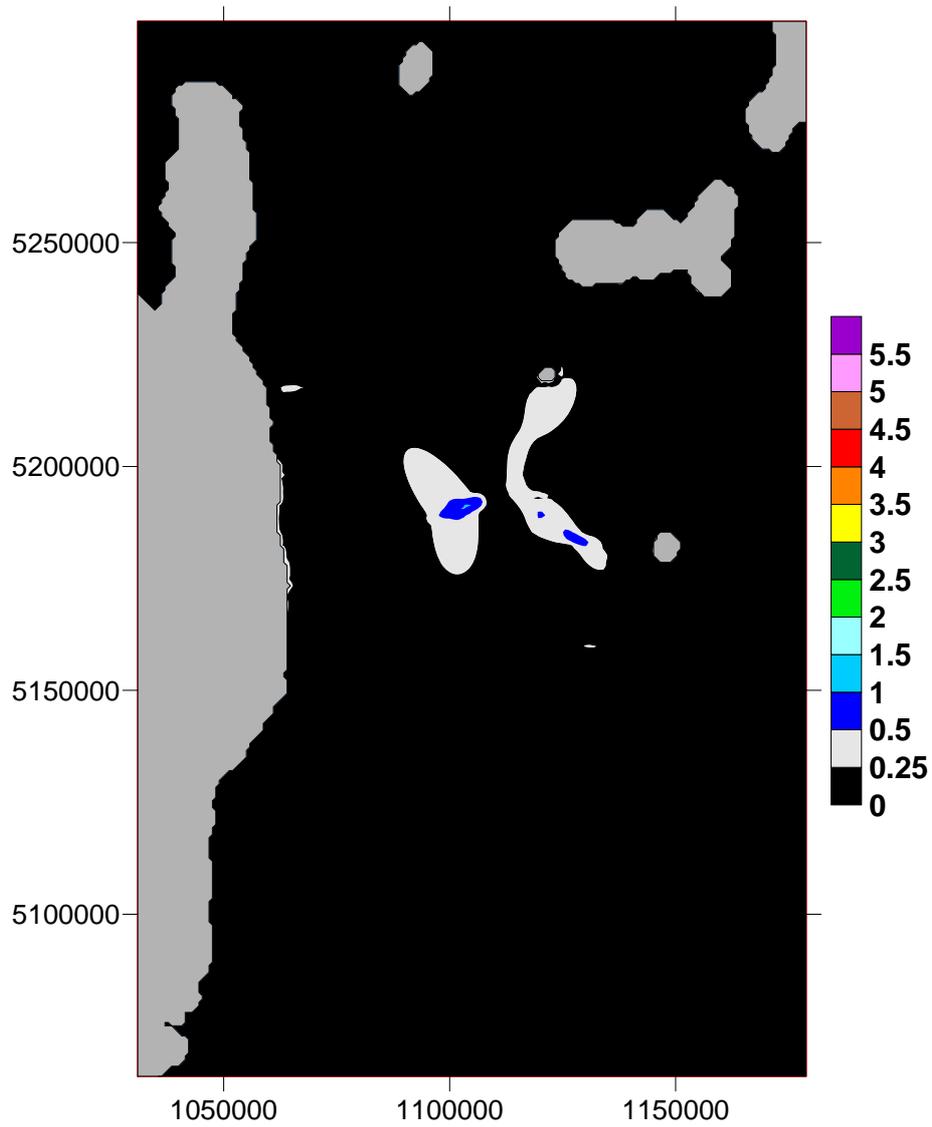


Figure 16 - Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MOD** de la **zone 06** (grille à 750 m).

ZONE 07 : NICE-VINTIMILLE – SCÉNARIO MAX

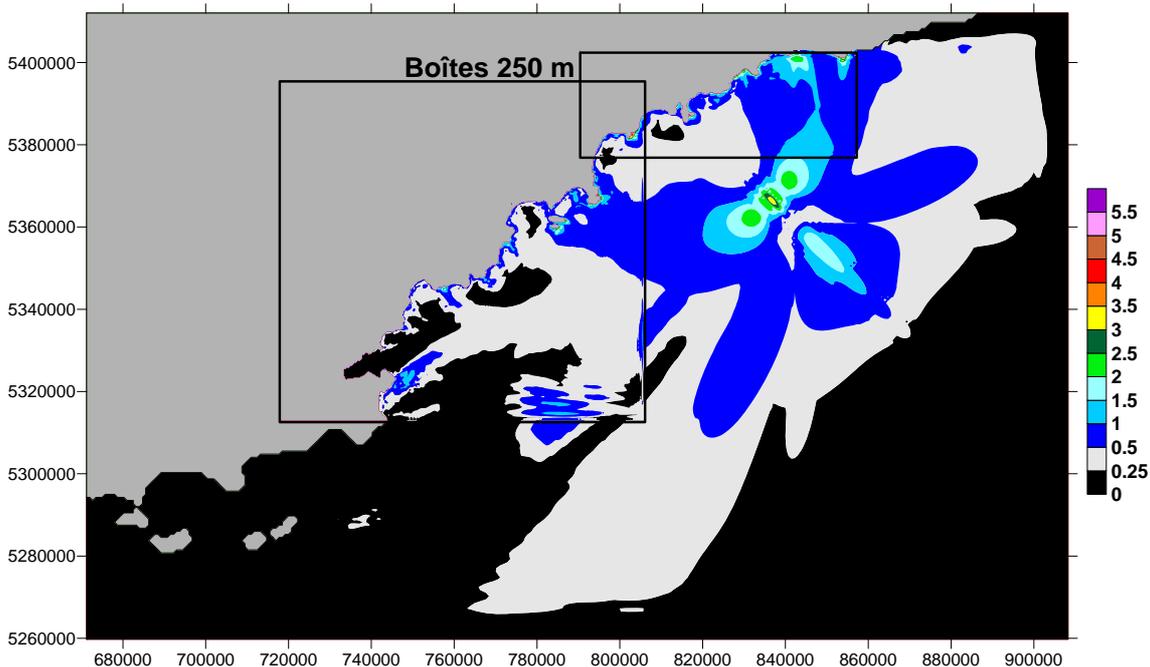


Figure 17 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la **zone 07** (grille à 750 m)

ZONE 08 : NICE-AEROPORT 1979 – SCÉNARIO MAX/MOD

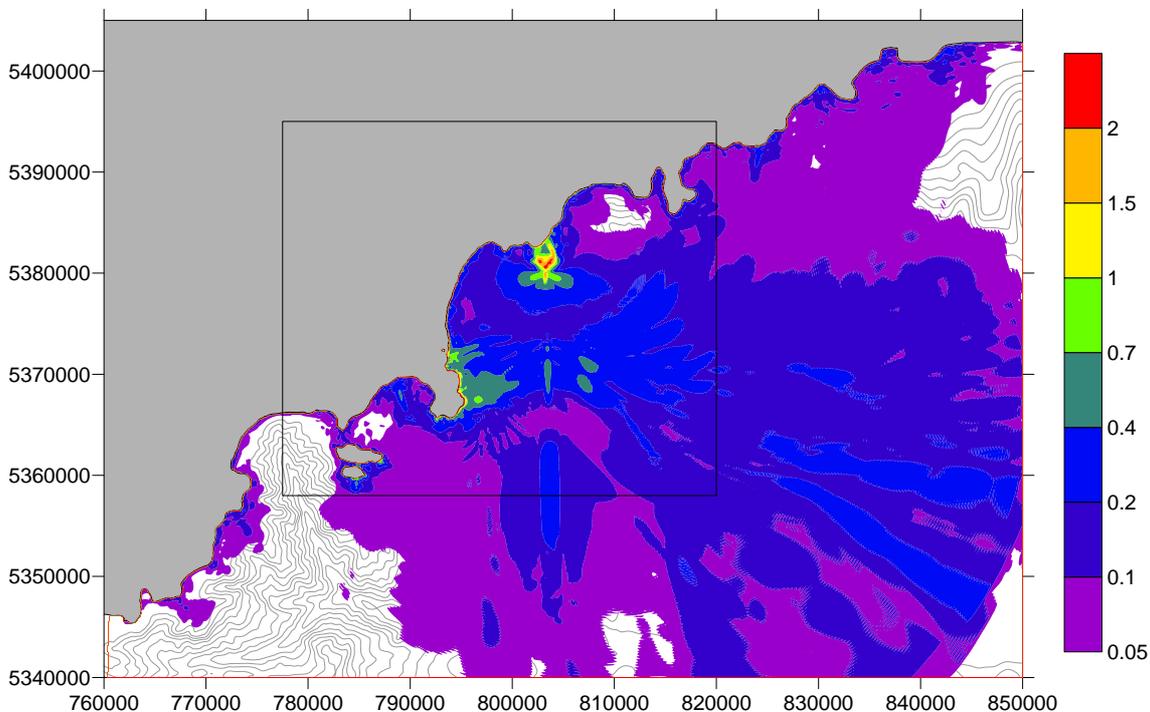


Figure 18 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue au cours des simulations du tsunami de Nice 1979 (grille à 83 m)

ZONE 11 : RIDE DU VAR – SCÉNARIO MAX

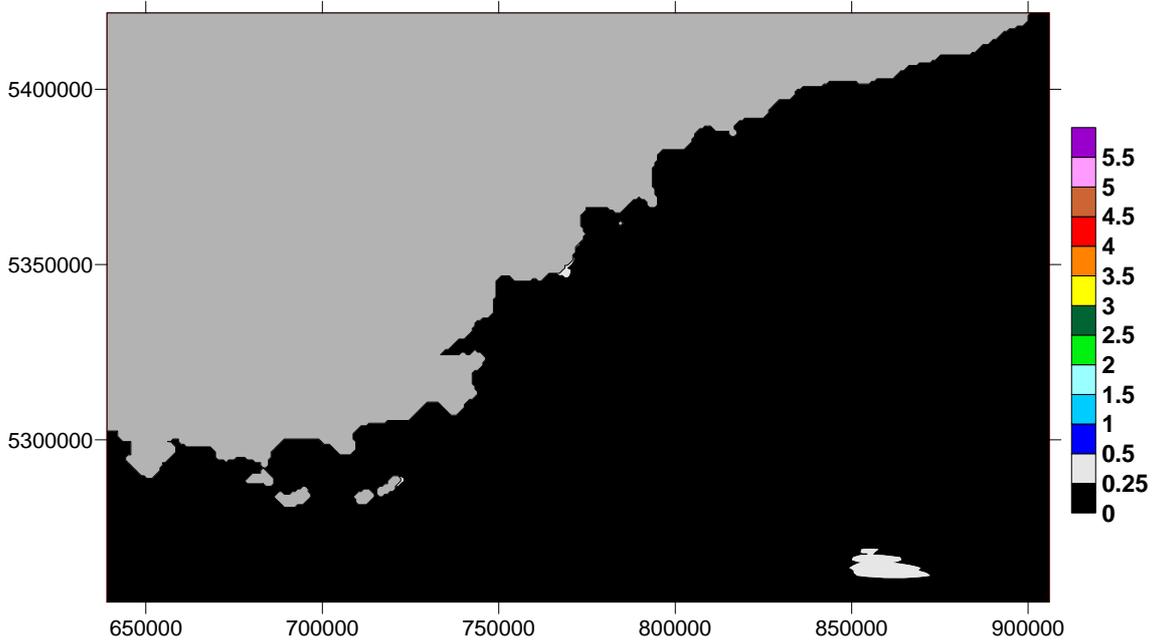


Figure 19 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la zone 11 (grille à 750 m)

ZONE 12 : ANTIBES – SAINT-TROPEZ – SCENARIO MAX

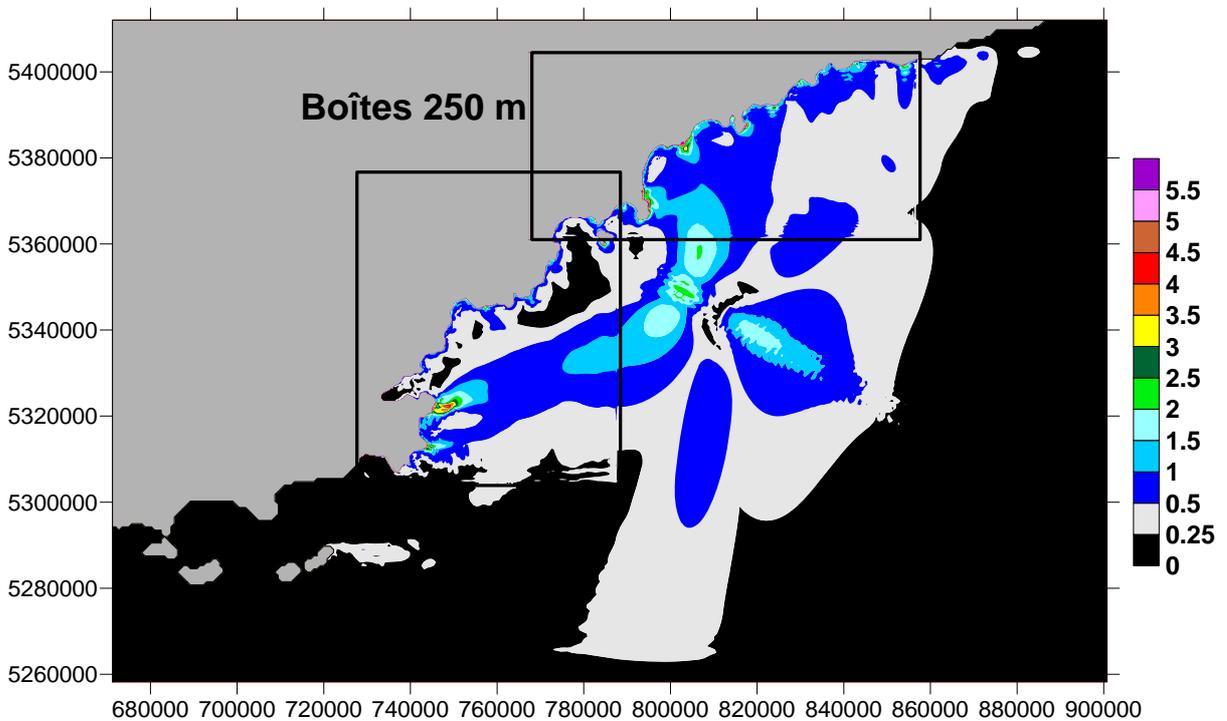


Figure 20 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la zone 12 (grille à 750 m).

ZONE 13 : CANYON D'ESTOCADE CASSIDAIGNE – SCÉNARIO MAX

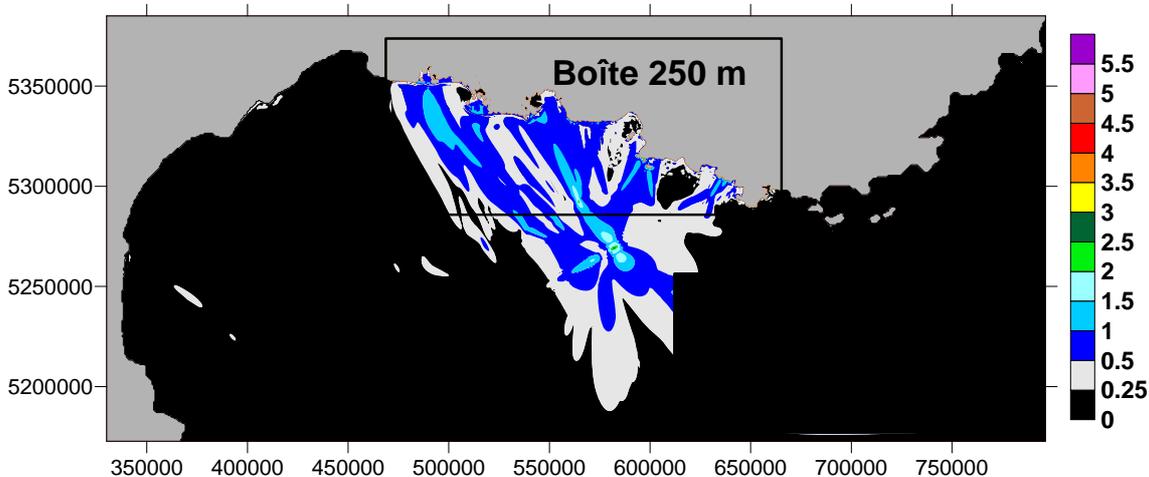


Figure 21 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la zone 13 (grille à 750 m)

ZONE 15 : CANYON DU GRAND RHONE – SCENARIO MAX

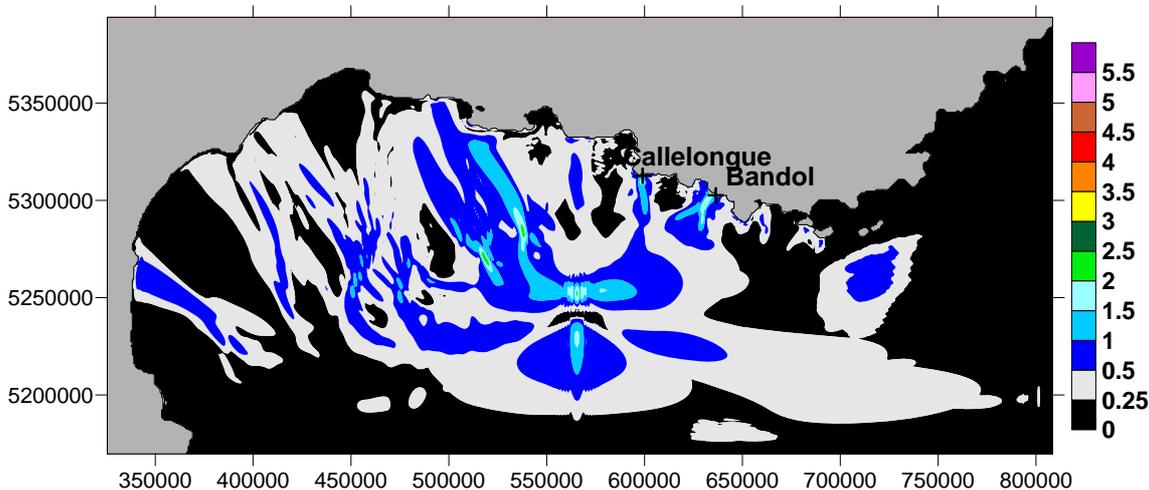


Figure 22 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la zone 15 (grille à 750 m)

ZONE 16 : P-G RHÔNE INTERFLUVE – SCÉNARIO MAX

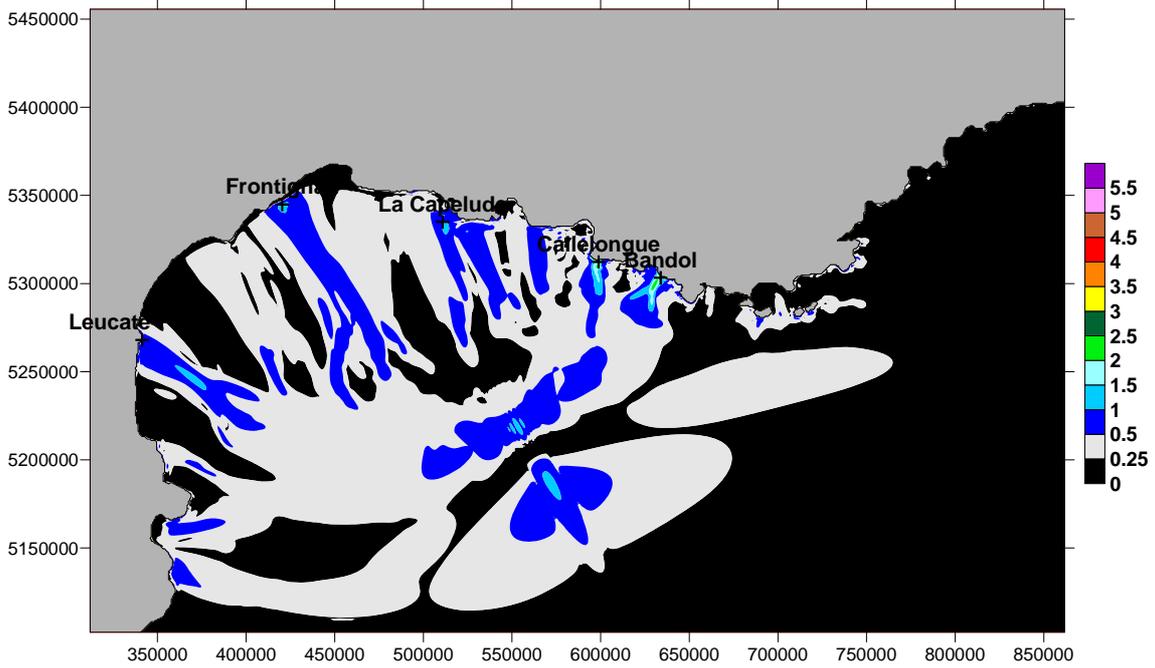


Figure 23 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la zone 16 (grille à 750 m)

ZONE 17 : CANYON DE SETE – SCENARIO MAX

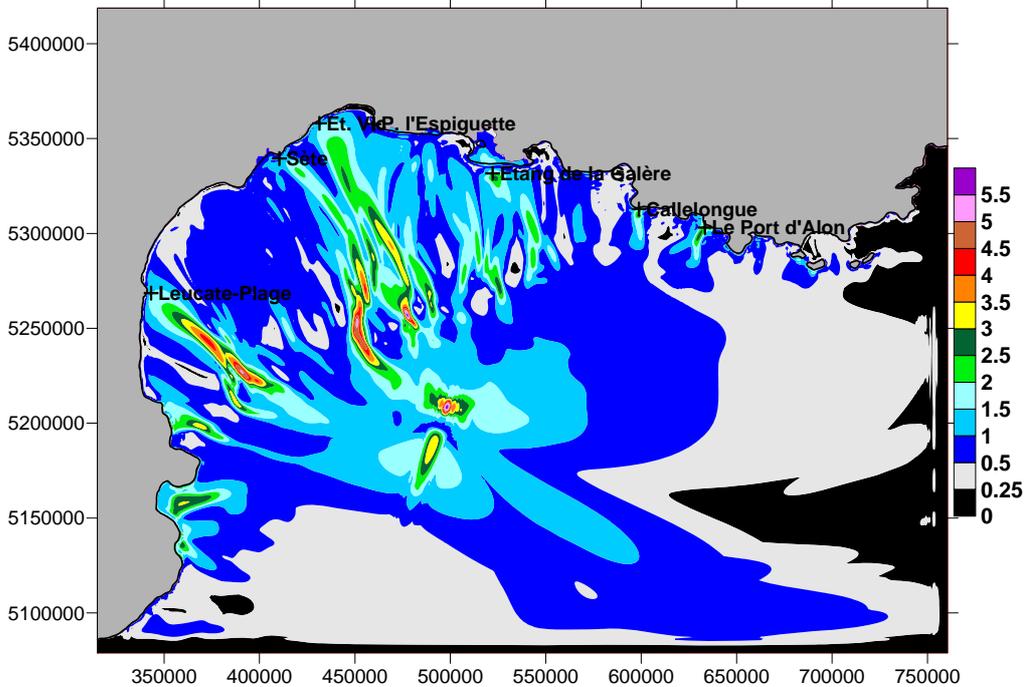


Figure 24 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la zone 17 (grille à 750 m)

ZONE 18 : CANYON DE LACAZE-HERAULT – SCENARIO MAX

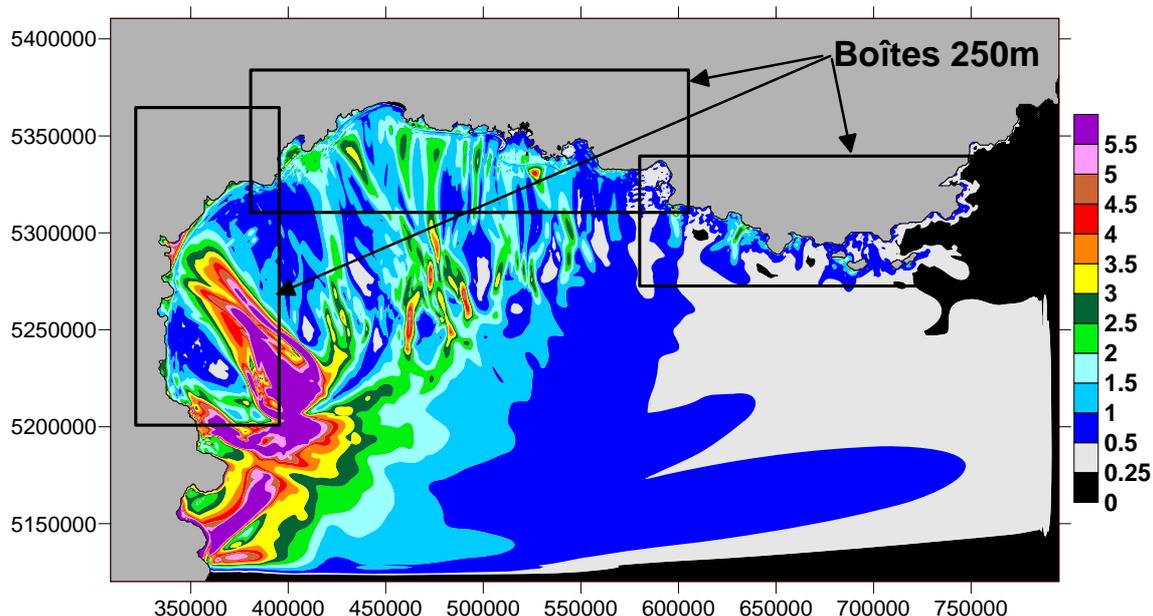


Figure 25 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la **zone 18** (grille à 750 m)

ZONE 18 : CANYON DE LACAZE-HERAULT – SCENARIO MOD

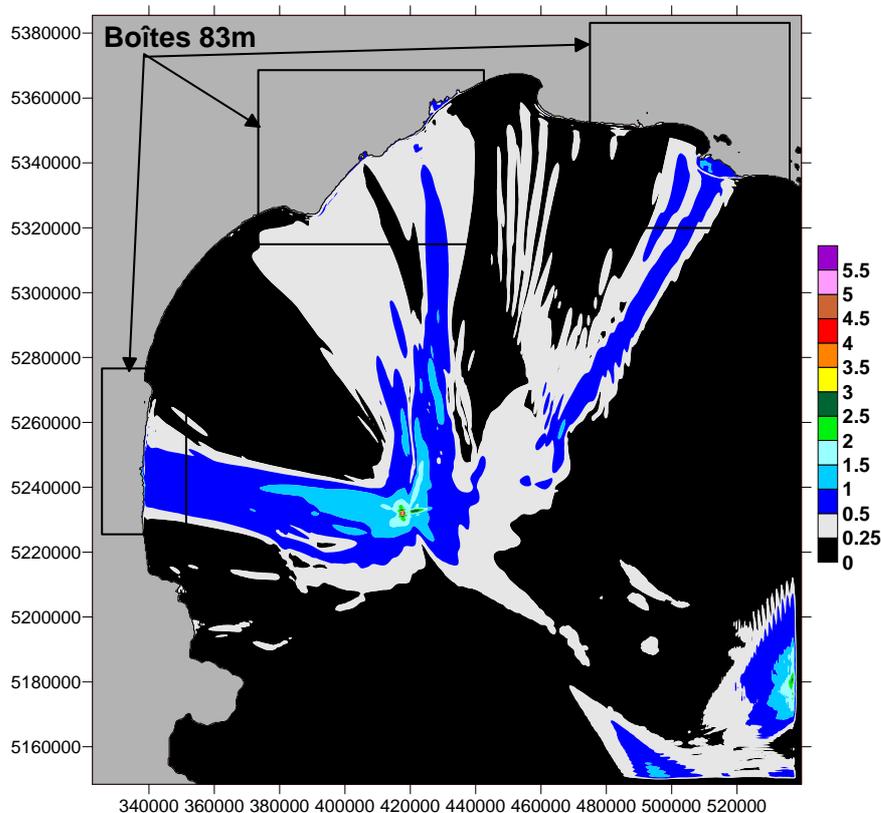


Figure 26 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MOD** de la **zone 18** (grille à 250 m)

ZONE Z19 : INTERFLUVE AUDE-HERAULT – SCENARIO MAX

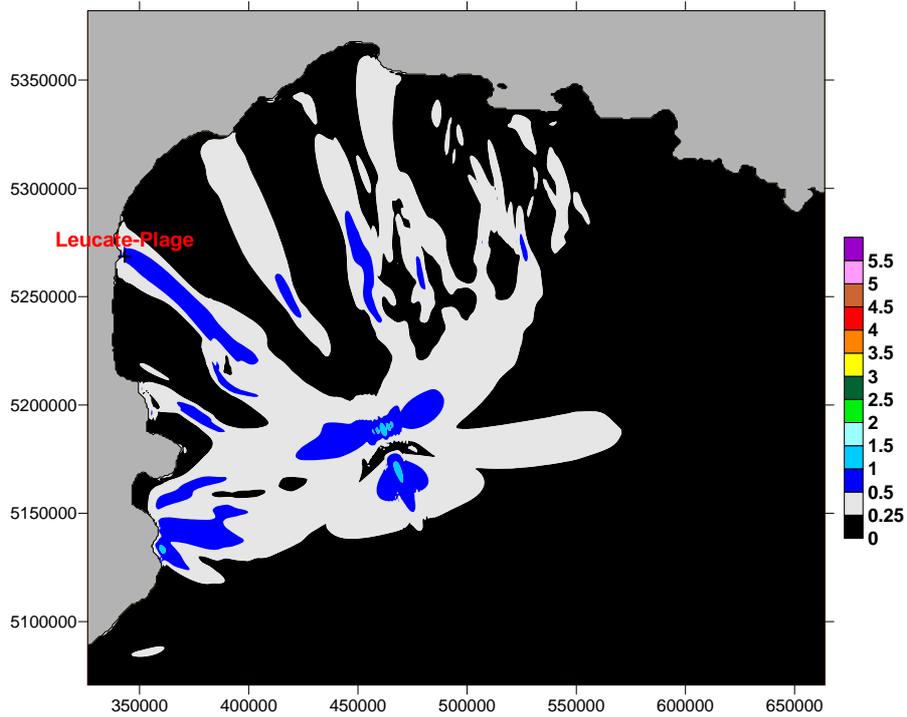


Figure 27 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la zone 19 (grille à 750 m)

ZONE Z19 : INTERFLUVE AUDE-HÉRAULT – SCÉNARIO MOD

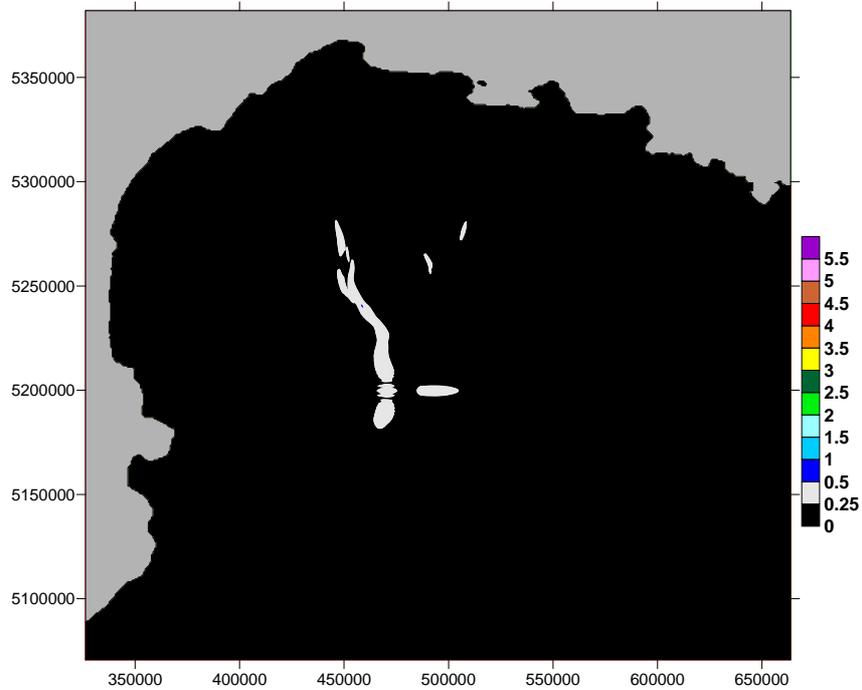


Figure 28 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MOD** de la zone 19 (grille à 750 m)

CAS Z20 : CANYON DU CAP CREUS – SCENARIO MAX

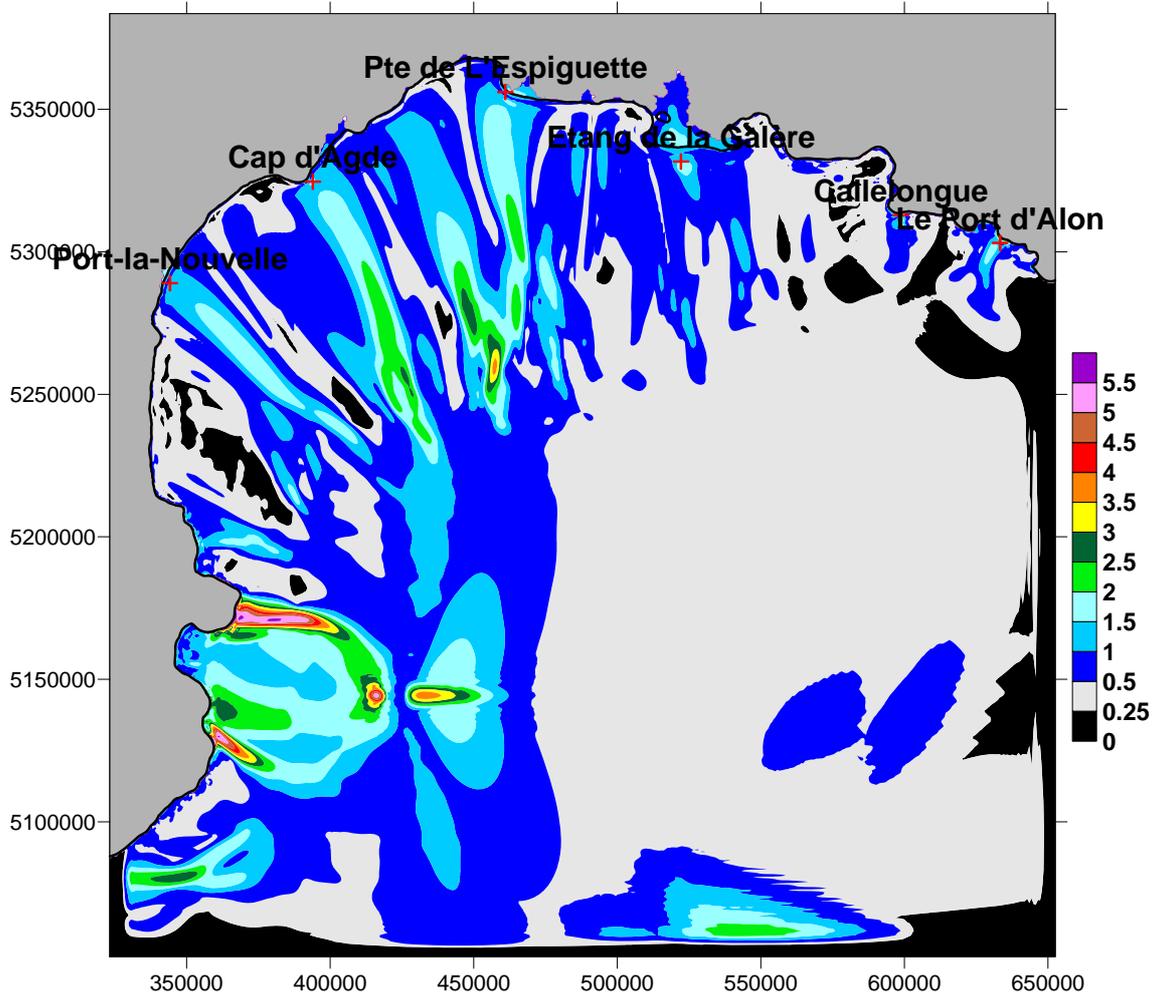


Figure 29 – Elévation maximale du plan d'eau (en m) obtenue pour le scénario **MAX** de la zone **20** (grille à 750 m)



Géosciences pour une Terre durable

brgm

**Centre scientifique et technique
Service rns**

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34