

Evolution du rechargement massif des plages du Golfe d'Aigues-Mortes (2008-2018)

AXE 3 – Contrat d'étude PAUL



**Evolution du rechargement massif
des plages du Golfe d'Aigues-Mortes
(2008-2018)**

AXE 3 – Contrat d'étude PAUL

*Nicolas Aleman
Olivier Raynal
Raphaël Certain*

CEntre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens

52 av. Paul Alduy 66860 Perpignan Cedex 9

Contact mail : nicolas.aleman@univ-perp.fr ou certain@univ-perp.fr

Citation :

Aleman, N., Raynal, O., Certain, R., 2019. Evolution du rechargement massif des plages du Golfe d'Aigues-Mortes (2008-2018). Rapport axe 3 - PAUL, 66 p.

Table des matières

PREAMBULE	1
1. INTRODUCTION.....	3
2. METHODOLOGIE	4
3. EVOLUTION DU BUDGET DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES APRES RECHARGEMENT (10 ANS)	5
3.1. Enregistrement des travaux de dragages et de rechargement	6
3.2. Evolution du littoral post-travaux.....	9
3.2.1. La plage émergée	9
3.2.2. La zone de battement du trait de côte	9
3.2.3. L'avant-côte.....	9
3.3. Répartition spatiale des sédiments	9
3.4. Evolution globale du rechargement.....	11
3.5. Durabilité du rechargement.....	12
3.6. Evolution de la source : la pointe de l'Espiguette.....	12
4. VOLUME SEDIMENTAIRE vs POSITION DU TRAIT DE COTE	13
5. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVE	14
6. MODELES NUMERIQUES ET DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRI-QUES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES ENTRE 2008 ET 2018	15
6.1. Modèles numériques de terrain des plages du Golfe d'Aigues-Mortes	17
6.2. Différentiels topo-bathymétriques des plages du Golfe d'Aigues-Mortes...	39
7. BIBLIOGRAPHIE.....	58

PREAMBULE

Ce rapport constitue l'axe 3 du contrat d'étude "*Perte AU Large*" (PAUL) entre la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement d'Occitanie (DREAL-O), l'Université de Perpignan Via Domitia (UPVD) et le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).

L'étude a été réalisée au sein du CEntre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens (CEFREM -UMR5110) par le groupe Littoral Multi-Scale Analysis (LMUSCA) sous la direction scientifique de Mrs. Raphaël CERTAIN et Nicolas ROBIN.

Ce travail s'inscrit dans la continuité des travaux réalisés au sein du CEFREM en partenariat avec la DREAL-O (i.e. SIMILAR, PGSLR, LITTOSIS, REVOLSED, REVOLSTOCK). Il vise à améliorer les connaissances sur les pertes probables de sédiments depuis le compartiment littoral vers le large mises en avant dans les études antérieures.

Pour plus d'information sur les précédentes études, se reporter sur les sites de la DREAL Occitanie (www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr) et du groupe LMUSCA (<https://elmusca.wordpress.com>).

Bibliographie non exhaustive :

- Aleman, N., Raynal, O., Certain, R., Robin, N., Brunel, C., 2017. Atlas de l'évolution morphologique et du budget sédimentaire du littoral du Languedoc-Roussillon 2007-2009-2011. Rapport thème 2 - SIMILAR, 68 p.
- Raynal, O., Certain, R., Robin, N., Aleman, N., avec la collaboration de Montel, L., et Dufresne, P., 2018. REVOLSTOCK : Prospective de la relation entre l'évolution du trait de côte et le stock sableux de l'avant-côte d'Occitanie. Rapport final. DREAL-LR / UPVD, 19 p.
- Brunel, C., Certain, R., Robin, N., Aleman, N., Raynal, O., avec la collaboration de Guérinel, B. et Dufresne, P., 2014. REVOLSED : Relation entre l'évolution du trait de côte et le bilan sédimentaire de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon. Rapport final. DREAL-LR / UPVD, 68 p.
- Brunel, C., Certain, R., Robin, N., Aleman, N., Raynal, O., Barusseau, J.-P., Sabatier, F., 2012. Atlas de l'évolution des fonds et des budgets sédimentaires séculaires de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon (1895/1984/2009). DREAL-LR / UPVD, 27 p.
- Raynal, O., Certain, R., Brunel, C., Aleman, N., Robin, N., Guérinel, B., Montel, L., 2015. LITTOSIS : Analyse volumétrique et granulométrique du prisme sableux littoral du Languedoc-Roussillon. Rapport final. DREAL-LR / UPVD, 46 p.
- Raynal, O., Certain, R., Guérinel, B., 2013. Elaboration des éléments sédimentologiques de référence du PGSLR. Rapport de tâche C du Plan de Gestion des Sédiments du Languedoc-Roussillon. DREAL-LR / UPVD, 56 p.

1. INTRODUCTION

Au début des années 60, la Mission Interministérielle pour l'Aménagement Touristique du Languedoc-Roussillon (mission "Racine") prévoit les grandes infrastructures devant capter le tourisme dans la région. Les stations balnéaires de la Grande-Motte et de Carnon sont construites entre 1967 et 1968 et la grande marina de Port Camargue dès 1969. L'érosion côtière qui n'était jusque-là pas un problème commence alors à menacer les infrastructures. De nombreux ouvrages de défenses contre la mer (épis et brise lame) seront installés pour tenter d'endiguer le phénomène.

Au début des années 2000, les communes du littoral prennent alors conscience de la nécessité de traiter l'érosion dans l'ensemble de la cellule hydrosédimentaire et non pas à l'échelle des zonages administratifs. La création d'un SIVOM permet de diligenter une étude complète qui aboutira à l'élaboration d'un programme de rechargement en sable des plages du Golfe d'Aigues-Mortes. Ce rechargement s'est déroulé de septembre 2007 à avril 2008. A l'aide d'une drague aspiratrice en marche, 1 080 000 m³ de sédiment ont été prélevés sur la flèche sous-marine de la pointe de l'Espiguette pour être déposé sur un linéaire côtier de 10 km réparti en quatre secteurs (Vanroye, 2008) (Fig.1) :

- Plage de Palavas à Carnon : 353 666 m³ sur 2 950 m
- Plage de Carnon Est : 182 546 m³ sur 1 750 m
- Plage du Petit Travers : 373 584 m³ sur 3 350 m
- Plage du Boucanet au Grau du Roi : 170 210 m³ sur 1 985 m

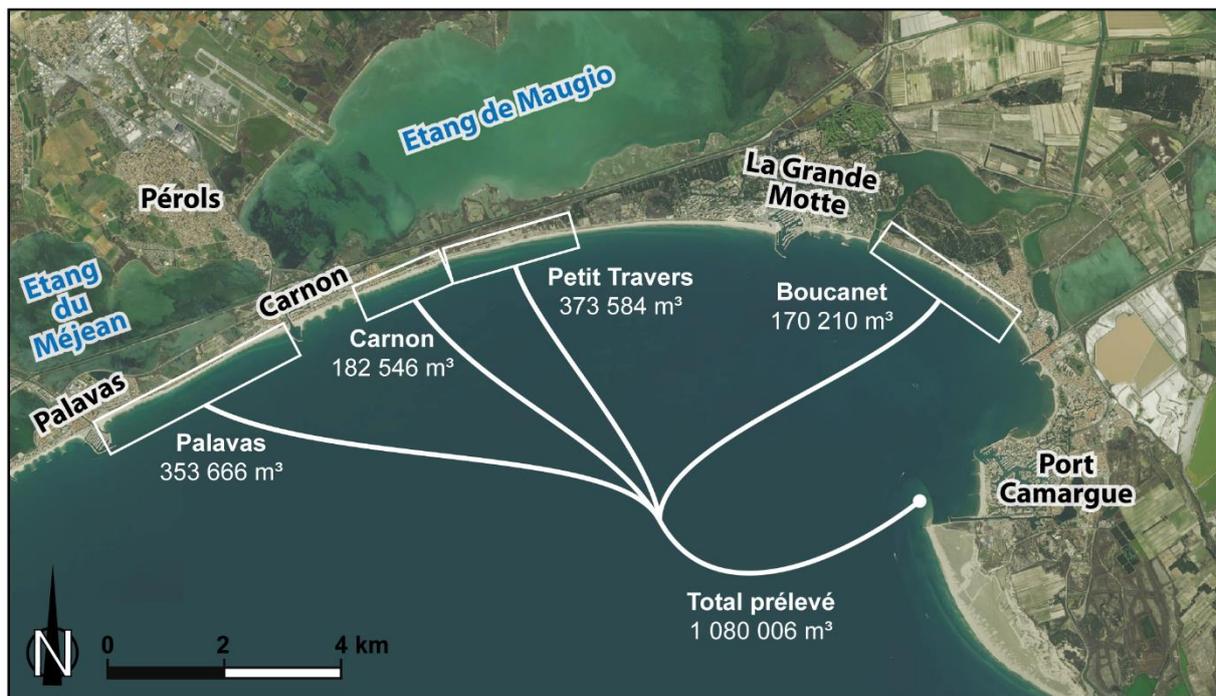


Figure 1 : Zones de prélèvement et de rechargement du Golfe d'Aigues-Mortes en 2008.

A la suite du rechargement, un suivi topo-bathymétrique annuel a été réalisé sur une période de 10 (jusqu'en 2018). Un premier examen de l'efficacité du rechargement a été mené par Plaine (2013) jusqu'en 2012. Ce travail centré sur les plages de Carnon et du Travers (Petit et Grand) a montré, d'une part, le transfert rapide des sédiments rechargés vers le système de barres d'avant-côte dans les années suivant le rechargement du fait probablement d'une granulométrie trop fine des sédiments et, d'autre part, la vulnérabilité du système dunaire seulement un an après le rechargement. Une perte de sédiment vers le large d'environ 24 000 m³/an est observée entre 2009 et 2012.

En 2018, une étude de l'EID (Inizan, 2018, EID, 2018) sur la période 2009-2017 souligne un transfert de 87% du sédiment rechargé vers les petits fonds ou hors de la zone de suivi. Cette étude note également une arrivée massive de sédiments sur l'avant-côte entre 2015 et 2017 estimée à environ 1 000 000 de m³.

L'objet de la présente étude est d'évaluer l'évolution du budget sédimentaire des portions de littoral rechargées au cours des dix dernières années (2008-2018). Ces recherches doivent donc permettre d'évaluer de manière plus complète l'efficacité du rechargement sur le long terme et d'identifier de possibles pertes de sédiments au-delà de l'avant-côte.

2. METHODOLOGIE

Depuis le rechargement réalisé en 2008, une campagne de levés topo-bathymétriques est organisée quasiment chaque année pour le compte de la DREAL Occitanie. Les quatre plages rechargées ont été suivies, la plage de Palavas, la plage de Carnon, la plage du Petit et Grand Travers, la plage du Boucanet ainsi que la zone source, la flèche sous-marine de l'Espiguette (uniquement en bathymétrie).

De 2008 à 2013, les levés topo-bathymétriques ont été conduits par l'EID Méditerranée. Les levés topographiques ont été réalisés à l'aide d'un DGPS RTK Ashtech® possédant une précision centimétrique. Les relevés bathymétriques ont été réalisés à l'aide d'un DGPS RTK associé à un sondeur mono-faisceau. De 2015 à 2018, les levés ont été réalisés par le bureau d'étude Semantic TS avec un DGPS RTK Leica® 1200 couplé à un sondeur mono-faisceau pour la bathymétrie. Eu égard des techniques et des conditions de levés (e.g. plusieurs jours de levés avec des conditions d'agitation parfois importantes, espacement des profils, réglage du matériel...), une marge d'erreur systématique de ±0,2 m a été appliquée à l'ensemble des levés.

Les levés de terrain ont permis la réalisation de modèles numériques de terrain sous le logiciel ArcGIS©10.4 par la méthode des voisins naturels (Sibson, 1981). L'algorithme utilisé par l'outil d'interpolation "Voisin naturel" recherche le sous-ensemble

d'échantillons en entrée le plus proche d'un point désigné et lui applique une pondération sur la base de surfaces proportionnelles afin d'interpoler une valeur. Cette méthode est également connue sous le nom d'interpolation de Sibson. Ses propriétés de base sont le caractère local (utilisation d'un seul sous-ensemble d'échantillons entourant un point désigné) et la garantie que les hauteurs interpolées se situent dans la plage des échantillons utilisés. Il ne déduit aucune tendance et ne produit pas de sommets, dépressions, crêtes ou vallées autres que ceux déjà représentés par les échantillons en entrée. La surface passe par les échantillons en entrée ; elle est lisse partout, sauf aux emplacements correspondant à ces échantillons.

Un MNT différentiel d'altitude a été construit pour chaque période en utilisant l'outil "soustraction" de ArcToolBox sous ArcGIS©10.4. La marge d'erreur des MNT différentiels est donnée par l'équation :

$$\delta_{dif} = \sqrt{(\delta_{MNT1})^2 + (\delta_{MNT2})^2}$$

avec δ_{dif} est la marge d'erreur du MNT différentiel, δ_{MNT1} et δ_{MNT2} sont les marges d'erreur individuelles des deux MNT (Squires, 1968; Brasington et al., 2000). La marge d'erreur intrinsèque des MNT étant de $\pm 0,2$ m, la marge d'erreur du MNT différentiel atteint $\pm 0,28$ m. Cette valeur sera utilisée par la suite pour calculer la marge d'erreur des budgets sédimentaires du littoral.

Les MNT différentiels ont été découpés selon quatre secteurs morphologiques (Fig. 2) : la plage, le zone de battement du trait de côte et l'avant-côte :

- La zone "plage" est définie entre le pied de dune ou la limite entre la plage et la zone artificialisée jusqu'à la position du trait de côte la plus reculée à terre entre les deux dates comparées.
- La zone "trait de côte" est définie entre la position du trait de côte la plus reculée à terre et la position la plus avancée en mer entre les deux dates comparées.
- La zone "avant-côte" est définie depuis la limite la plus vers le large du trait de côte jusqu'à la limite du levé au large.

Pour chaque zone, les structures anthropiques présentes sur la plage lors des survols ont été masquées et une zone tampon de quelques mètres a été prise autour des ouvrages pour éviter les effets de bord.

3. EVOLUTION DU BUDGET DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES APRES RECHARGEMENT (10 ANS)

La figure 3 présente le budget sédimentaire cumulé entre 2008 et 2018 de la plage émergée, de la zone de battement du trait de côte et de l'avant-côte des quatre plages ayant subi un rechargement en 2008 (Palavas, Carnon, Travers et Boucanet) et de

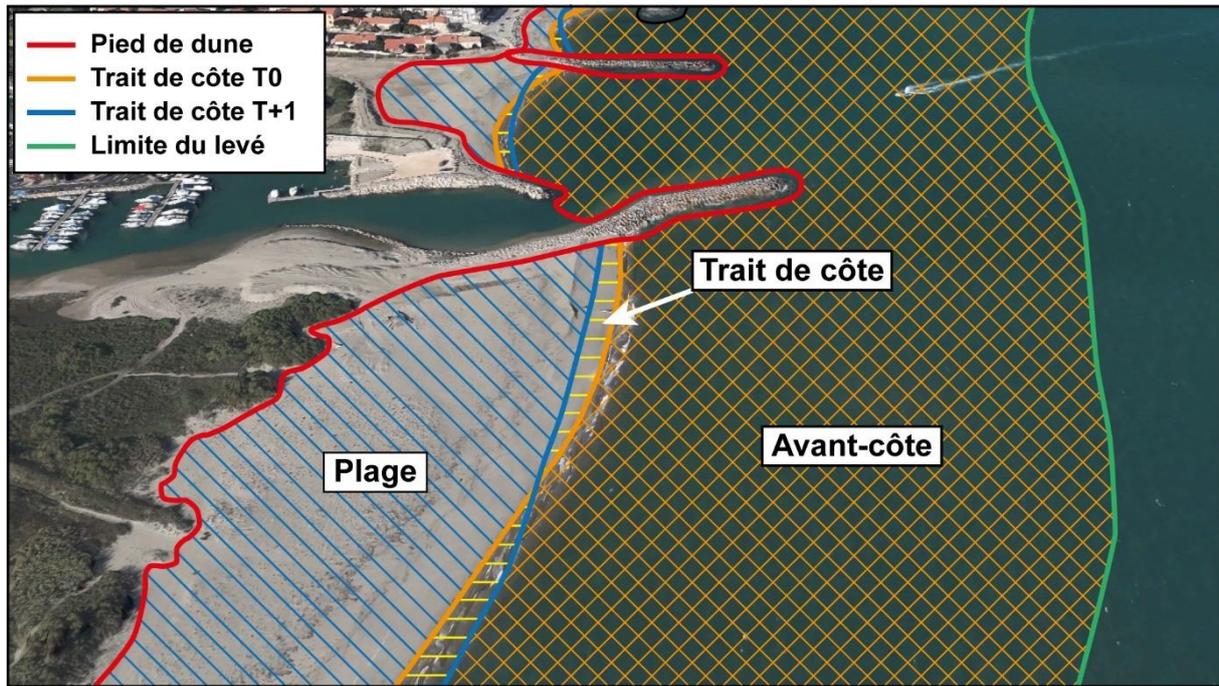


Figure 2 : Schéma des différentes zones (plage, trait de côte et avant-côte) et des limites transversales (pied de dune, trait de côte et profondeur de fermeture) utilisées pour le calcul des budgets sédimentaires.

l'avant-côte d'Espiguette qui a servi de source. L'ensemble des valeurs du budget sédimentaire de chaque secteur entre 2008 et 2018 est présenté dans le tableau 1. Les cartes de MNT et de différentiels sont présentées dans la section 4.

3.1. Enregistrement des travaux de dragages et de rechargement

En 2008, après les travaux de rechargement, la pointe de l'Espiguette perd $883\,260 \pm 96\,715 \text{ m}^3$ ($-0,357 \pm 0,039 \text{ m}^3/\text{m}^2$) de sédiments qui correspondent au sable prélevé pour le rechargement. La différence avec le volume dragué annoncé par le prestataire ($1\,080\,006 \text{ m}^3$) peut s'expliquer par le comblement rapide du prélèvement qui a certainement déjà commencé (e.g. gain de $680\,810 \pm 88\,552 \text{ m}^3$ l'année suivant le prélèvement) et par la précision intrinsèque de la donnée. Sur les quatre plages rechargées, le prisme sableux enregistre un gain de $911\,161 \text{ m}^3$ de sédiment ($269\,872 \pm 6\,338 \text{ m}^3$ à Palavas, $166\,140 \pm 2\,228 \text{ m}^3$ à Carnon, $367\,474 \pm 6\,179 \text{ m}^3$ au Travers et $107\,675 \pm 11\,467 \text{ m}^3$ au Boucanet), soit $168\,845 \text{ m}^3$ de moins que le volume annoncé par le prestataire (différence de $83\,794 \text{ m}^3$ à Palavas, $66\,406 \text{ m}^3$ à Carnon, $6\,110 \text{ m}^3$ au Travers et $62\,535 \text{ m}^3$ au Boucanet). Une partie des sables rechargés a certainement déjà été redistribué de part et d'autre de la cellule entre les deux levés.

Evolution du rechargement massif
des plages du Golfe d'Aigues Mortes (2008-2018)

Tableau 1 : Taille des cellules et budget sédimentaire en m³ et m³/m² de chaque secteur entre 2008 et 2018.

Cellule	Période	Taille cellule (m ²)				Budget sédimentaire (m ³)				Budget sédimentaire (m ³ /m ²)			
		Plage	Trait de côte	Avant-côte	Total	Plage	Trait de côte	Avant-côte	Total	Plage	Trait de côte	Avant-côte	Total
Palavas	2008 avant - 2008 après	121 123	86 879	2 506 323	2 714 326	54 977 ± 609	84 570 ± 0	130 326 ± 18 404	269 872 ± 6 338	0,454 ± 0,005	0,973 ± 0,000	0,052 ± 0,007	0,099 ± 0,002
	2008 après - 2009	180 541	53 157	2 459 352	2 693 050	-19 834 ± 1 175	-30 334 ± 167	71 127 ± 74 598	20 958 ± 25 313	-0,110 ± 0,007	-0,571 ± 0,003	0,029 ± 0,030	0,008 ± 0,009
	2009 - 2010	159 805	30 976	2 491 593	2 682 374	-31 862 ± 6 075	-15 412 ± 159	-65 485 ± 63 045	-112 758 ± 23 093	-0,199 ± 0,038	-0,498 ± 0,005	-0,026 ± 0,025	-0,042 ± 0,009
	2010 - 2011	150 361	12 137	2 429 997	2 592 495	-33 889 ± 1 855	-3 353 ± 36	-73 029 ± 85 052	-110 271 ± 28 981	-0,225 ± 0,012	-0,276 ± 0,003	-0,030 ± 0,035	-0,043 ± 0,011
	2011 - 2012	176 693	16 008	2 464 612	2 657 312	-1 213 ± 129	1 940 ± 272	-27 209 ± 28 572	-26 481 ± 9 658	-0,007 ± 0,001	0,121 ± 0,017	-0,011 ± 0,012	-0,010 ± 0,004
	2012 - 2013	164 664	22 064	2 610 763	2 797 491	-2 688 ± 765	-6 894 ± 590	5 320 ± 53 221	-4 262 ± 18 192	-0,016 ± 0,005	-0,312 ± 0,027	0,002 ± 0,020	-0,002 ± 0,007
	2013 - 2015	146 076	14 441	1 441 925	1 602 442	3 699 ± 1 781	5 037 ± 122	-100 857 ± 18 719	-92 121 ± 6 874	0,025 ± 0,012	0,349 ± 0,008	-0,070 ± 0,013	-0,057 ± 0,004
	2015 - 2016	134 553	19 707	1 412 653	1 566 913	680 ± 1 629	-4 926 ± 465	74 198 ± 50 754	69 952 ± 17 616	0,005 ± 0,012	-0,250 ± 0,024	0,053 ± 0,036	0,045 ± 0,011
	2016 - 2018												
Total	1 233 816	255 368	17 817 219	19 306 403	-30 130 ± 14 018	30 628 ± 1 812	14 391 ± 392 363	14 889 ± 136 065	-0,024 ± 0,011	0,120 ± 0,007	0,001 ± 0,022	0,001 ± 0,007	
Carnon	2008 avant - 2008 après	64 723	72 223	969 438	1 106 385	26 270 ± 1 020	89 148 ± 78	50 722 ± 5 585	166 140 ± 2 228	0,406 ± 0,016	1,234 ± 0,001	0,052 ± 0,006	0,150 ± 0,002
	2008 après - 2009	106 031	36 550	909 115	1 051 696	-19 858 ± 1 208	-30 423 ± 33	273 288 ± 13 685	223 007 ± 4 975	-0,187 ± 0,011	-0,832 ± 0,001	0,301 ± 0,015	0,212 ± 0,005
	2009 - 2010	88 999	23 157	811 603	923 759	-16 405 ± 2 379	-14 873 ± 60	-229 608 ± 19 760	-260 886 ± 7 400	-0,184 ± 0,027	-0,642 ± 0,003	-0,283 ± 0,024	-0,282 ± 0,008
	2010 - 2011	83 236	4 758	849 866	937 860	7 447 ± 259	1 355 ± 69	24 894 ± 12 629	33 696 ± 4 319	0,089 ± 0,003	0,285 ± 0,014	0,029 ± 0,015	0,036 ± 0,005
	2011 - 2012	87 128	6 953	878 042	972 123	2 394 ± 2 424	1 166 ± 298	1 521 ± 14 175	5 081 ± 5 633	0,027 ± 0,028	0,168 ± 0,043	0,002 ± 0,016	0,005 ± 0,006
	2012 - 2013	90 349	5 156	874 624	970 129	-275 ± 46	-782 ± 242	16 832 ± 28 847	15 775 ± 9 712	-0,003 ± 0,001	-0,152 ± 0,047	0,019 ± 0,033	0,016 ± 0,010
	2013 - 2015	77 290	7 069	563 552	647 910	1 725 ± 1 409	533 ± 74	-85 796 ± 12 331	-83 538 ± 4 605	0,022 ± 0,018	0,075 ± 0,010	-0,152 ± 0,022	-0,129 ± 0,007
	2015 - 2016	69 771	15 749	624 877	710 397	2 967 ± 1 988	217 ± 654	46 140 ± 42 486	49 323 ± 15 043	0,043 ± 0,028	0,014 ± 0,042	0,074 ± 0,068	0,069 ± 0,021
	2016 - 2018	67 672	6 663	634 486	708 821	-412 ± 777	-624 ± 100	16 901 ± 25 189	15 864 ± 8 689	-0,006 ± 0,011	-0,094 ± 0,015	0,027 ± 0,040	0,022 ± 0,012
Total	735 199	178 278	7 115 602	8 029 079	3 853 ± 11 511	45 716 ± 1 607	114 893 ± 174 687	164 462 ± 62 602	0,005 ± 0,016	0,256 ± 0,009	0,016 ± 0,025	0,020 ± 0,008	
Travers	2008 avant - 2008 après	109 416	142 282	1 535 734	1 787 432	55 221 ± 1 875	159 574 ± 40	152 679 ± 16 622	367 474 ± 6 179	0,505 ± 0,017	1,122 ± 0,000	0,099 ± 0,011	0,206 ± 0,003
	2008 après - 2009	164 567	63 377	1 912 277	2 140 221	-12 802 ± 687	-31 741 ± 400	124 783 ± 19 492	80 239 ± 6 860	-0,078 ± 0,004	-0,501 ± 0,006	0,065 ± 0,010	0,037 ± 0,003
	2009 - 2010	272 075	35 642	3 265 829	3 573 546	-45 687 ± 9 715	-15 005 ± 379	-69 983 ± 116 022	-130 675 ± 42 039	-0,168 ± 0,036	-0,421 ± 0,011	-0,021 ± 0,036	-0,037 ± 0,012
	2010 - 2011	302 201	23 647	3 742 547	4 068 396	12 482 ± 2 788	2 580 ± 508	-52 011 ± 90 062	-36 949 ± 31 119	0,041 ± 0,009	0,109 ± 0,021	-0,014 ± 0,024	-0,009 ± 0,008
	2011 - 2012	322 692	59 194	3 741 146	4 123 032	28 162 ± 7 185	17 737 ± 1 467	47 299 ± 8 640	93 198 ± 5 764	0,087 ± 0,022	0,300 ± 0,025	0,013 ± 0,002	0,023 ± 0,001
	2012 - 2013	360 003	36 520	3 848 064	4 244 587	2 614 ± 5 610	-3 803 ± 1 615	-76 239 ± 36 508	-77 429 ± 14 578	0,007 ± 0,016	-0,104 ± 0,044	-0,021 ± 0,010	-0,018 ± 0,003
	2013 - 2015	272 757	34 604	2 451 733	2 759 094	-19 964 ± 9 712	-1 113 ± 447	-108 315 ± 27 672	-129 392 ± 12 611	-0,073 ± 0,036	-0,032 ± 0,013	-0,047 ± 0,012	-0,047 ± 0,005
	2015 - 2016	242 315	37 988	2 432 676	2 712 980	27 819 ± 11 733	-2 870 ± 790	222 622 ± 134 578	247 571 ± 49 034	0,115 ± 0,048	-0,076 ± 0,021	0,093 ± 0,056	0,091 ± 0,018
	2016 - 2018	235 126	25 256	2 387 510	2 647 892	926 ± 3 056	608 ± 691	24 183 ± 27 848	25 717 ± 10 532	0,004 ± 0,013	0,024 ± 0,027	0,010 ± 0,012	0,010 ± 0,004
Total	2 281 154	458 509	25 317 516	28 057 180	48 770 ± 52 361	125 966 ± 6 337	265 018 ± 477 445	439 754 ± 178 714	0,021 ± 0,023	0,275 ± 0,014	0,010 ± 0,019	0,016 ± 0,006	
Boucanel	2008 avant - 2008 après	89 752	66 378	1 732 424	1 888 553	21 587 ± 136	67 122 ± 134	18 966 ± 34 129	107 675 ± 11 467	0,241 ± 0,002	1,011 ± 0,002	0,011 ± 0,020	0,057 ± 0,006
	2008 après - 2009	109 148	52 473	1 660 363	1 821 984	-7 444 ± 368	-37 705 ± 199	28 438 ± 61 292	-16 711 ± 20 620	-0,068 ± 0,003	-0,719 ± 0,004	0,017 ± 0,037	-0,009 ± 0,011
	2009 - 2010	99 394	13 821	1 757 127	1 870 341	-3 167 ± 702	-4 708 ± 343	-5 099 ± 33 212	-12 974 ± 11 419	-0,032 ± 0,007	-0,341 ± 0,025	-0,003 ± 0,019	-0,007 ± 0,006
	2010 - 2011	90 986	4 718	1 593 519	1 689 223	-7 190 ± 2 775	-1 134 ± 84	-15 452 ± 25 172	-23 776 ± 9 344	-0,079 ± 0,030	-0,240 ± 0,018	-0,010 ± 0,016	-0,014 ± 0,006
	2011 - 2012	94 850	7 869	1 589 104	1 691 822	5 675 ± 1 793	1 008 ± 152	-297 ± 1 891	6 386 ± 1 279	0,060 ± 0,019	0,128 ± 0,019	-0,000 ± 0,001	0,004 ± 0,001
	2012 - 2013	96 503	10 123	1 709 463	1 816 088	-739 ± 383	-610 ± 34	-5 143 ± 28 282	-6 491 ± 9 566	-0,008 ± 0,004	-0,060 ± 0,003	-0,003 ± 0,017	-0,004 ± 0,005
	2013 - 2015	73 197	7 596	1 024 426	1 105 219	1 890 ± 394	1 967 ± 248	-4 636 ± 27 529	-780 ± 9 391	0,026 ± 0,005	0,259 ± 0,033	-0,005 ± 0,027	-0,001 ± 0,008
	2015 - 2016	54 503	18 407	1 011 182	1 084 092	4 593 ± 3 000	76 ± 25	39 461 ± 45 692	44 129 ± 16 239	0,084 ± 0,055	0,004 ± 0,001	0,039 ± 0,045	0,041 ± 0,015
	2016 - 2018	53 298	6 491	1 013 137	1 072 926	-2 594 ± 2 277	-804 ± 324	1 353 ± 16 423	-2 045 ± 6 341	-0,049 ± 0,043	-0,124 ± 0,050	0,001 ± 0,016	-0,002 ± 0,006
Total	761 629	187 874	13 090 744	14 040 248	12 610 ± 11 829	25 212 ± 1 543	57 591 ± 273 622	95 413 ± 95 665	0,017 ± 0,016	0,134 ± 0,008	0,004 ± 0,021	0,007 ± 0,007	
Espiguette	2008 avant - 2008 après			2 471 863	2 471 863			-883 260 ± 96 715	-883 260 ± 32 238			-0,357 ± 0,039	-0,357 ± 0,013
	2008 après - 2009			2 686 785	2 686 785			690 810 ± 88 552	690 810 ± 29 517			0,257 ± 0,033	0,257 ± 0,011
	2009 - 2010			2 706 620	2 706 620			186 443 ± 11 491	186 443 ± 3 830			0,069 ± 0,004	0,069 ± 0,001
	2010 - 2011			2 688 198	2 688 198			235 568 ± 106 686	235 568 ± 35 562			0,088 ± 0,040	0,088 ± 0,013
	2011 - 2012			2 676 502	2 676 502			215 482 ± 117 636	215 482 ± 39 212			0,081 ± 0,044	0,081 ± 0,015
	2012 - 2013			2 678 119	2 678 119			207 610 ± 36 193	207 610 ± 12 064			0,078 ± 0,014	0,078 ± 0,005
	2013 - 2015			1 787 904	1 787 904			-151 642 ± 24 252	-151 642 ± 8 084			-0,085 ± 0,014	-0,085 ± 0,005
	2015 - 2016			1 763 596	1 763 596			180 053 ± 102 810	180 053 ± 34 270			0,102 ± 0,058	0,102 ± 0,019
	2016 - 2018			1 691 945	1 691 945			536 204 ± 48 306	536 204 ± 16 102			0,317 ± 0,029	0,317 ± 0,010
Total			21 151 533	21 151 533			1 217 268 ± 632 641	1 217 268 ± 210 880			0,058 ± 0,030	0,058 ± 0,010	

3.2. Evolution du littoral post-travaux

3.2.1. La plage émergée

Sur les quatre secteurs, la plage émergée (entre le trait de côte et le pied de dune) perd la totalité du sédiment rechargé en seulement deux ans (2009-2010). A Palavas, les pertes se poursuivent encore un an avant de se stabiliser au tour de $-40\ 000\ \text{m}^3$ par rapport à 2008 avant les travaux. A Carnon, la plage émergée se stabilise avec le même volume qu'avant le rechargement. Au Travers et au Boucanet, la plage regagne progressivement des sédiments jusqu'à atteindre à nouveau en 2016 le volume rechargé d'origine.

3.2.2. La zone de battement du trait de côte

Le trait de côte de Palavas, Carnon et Boucanet perd environ la moitié des sédiments rechargés pendant les deux années suivant le rechargement avant de se stabiliser. La plage du Travers perd seulement un quart des sédiments avant de se stabiliser. En 2018, le gain sédimentaire restant dans la zone de battement du trait de côte après le rechargement de 2018 est de $30\ 628 \pm 359\ \text{m}^3$ à Palavas, $45\ 716 \pm 249\ \text{m}^3$ à Carnon, $125\ 966 \pm 759\ \text{m}^3$ au Travers et $25\ 212 \pm 211\ \text{m}^3$ au Boucanet.

3.2.3. L'avant-côte

L'évolution du budget sédimentaire de l'avant-côte est plus hétérogène. L'avant-côte continue à gagner du sédiment un an après le rechargement certainement en raison de la redistribution des sédiments perdus par la plage et le trait de côte (le très fort gain puis la perte observée à Carnon entre 2009 et 2010 semble plutôt provenir d'un problème de calage de la donnée comme le laisse suggérer l'étalement des sédiments sur les différentiels). Par la suite, l'avant-côte perd du sédiment pendant un à trois ans avant de se stabiliser ou de regagner des sables, notamment entre 2015 et 2016 où l'ensemble des plages sont en accrétion (Fig. 3) suite aux pertes liées à la forte tempête du 24/12/2013 (Fig. 4).

3.3. Répartition spatiale des sédiments

Les cartes de différentiels (section 4) montrent qu'entre 2008 et 2009, entre un tiers et la moitié du volume de sédiments rechargé est redistribué vers l'avant-côte et le système de barres sédimentaires. Entre 2009 et 2010, même si une partie des sédiments doit être transportée longitudinalement via la dérive littorale, l'érosion généralisée du prisme littoral sur toutes les cellules voisines les unes des autres souligne un transport vers le large au-delà de la zone de levé. Ces pertes se poursuivent en 2011 à Palavas et au Boucanet. A partir de 2010, on observe une stabilisation du système qui retrouve un fonctionnement équilibré. Seule l'avant-côte présente des variations

**Evolution du rechargement massif
des plages du Golfe d'Aigues Mortes (2008-2018)**

importantes de son budget sédimentaire, les mouvements se concentrant principalement dans le système de barres sédimentaires d'avant-côte. Entre 2013 et 2015 notamment, l'avant-côte subit une forte érosion (entre $-780 \pm 9\ 391\ \text{m}^3$ et $-129\ 392 \pm 12\ 611\ \text{m}^3$) compensée par un retour de sédiments entre 2015 et 2016 (entre $39\ 461 \pm 45\ 692\ \text{m}^3$ et $222\ 622 \pm 134\ 578\ \text{m}^3$). Cette forte érosion de l'avant-côte traduit un transfert de sédiments vers le large au-delà de la zone de suivi avant une remonté des sables vers le système de barre. La perte de sédiments peut être liée à la tempête du 24/12/2013 dont les hauteurs significatives de la houle ont atteint 4,6 m, les plus importantes enregistrées depuis la mise en service de l'houlgraphe en 2008 (Fig. 4).

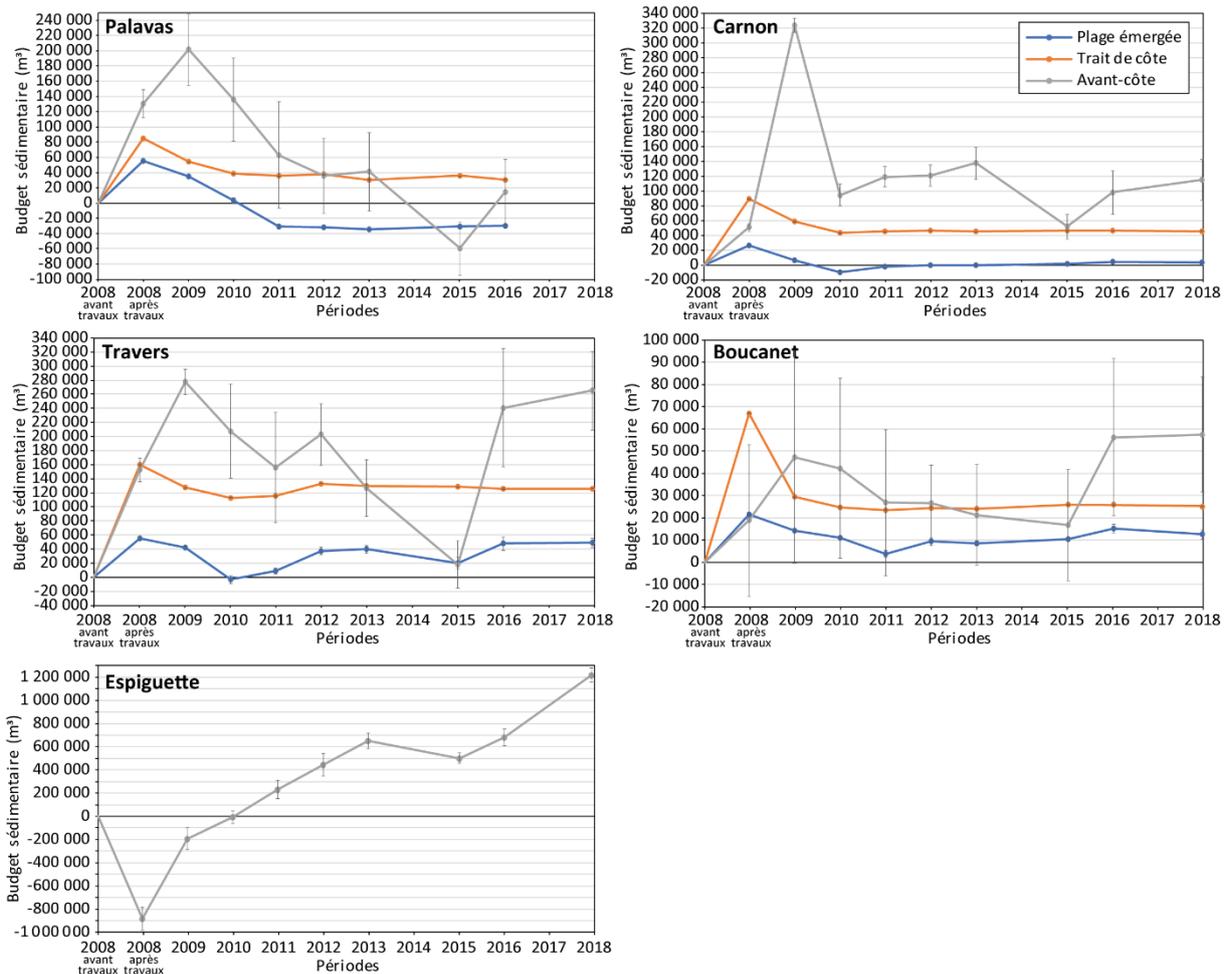


Figure 3 : Budget sédimentaire cumulé entre 2008 et 2018 de la plage émergée, de la zone de battement du trait de côte, de l'avant-côte et du prisme sableux dans son ensemble des quatre plages rechargées (Palavas, Carnon, Travers et Boucanet) et de la source (Espiguette).

**Evolution du rechargement massif
des plages du Golfe d'Aigues Mortes (2008-2018)**

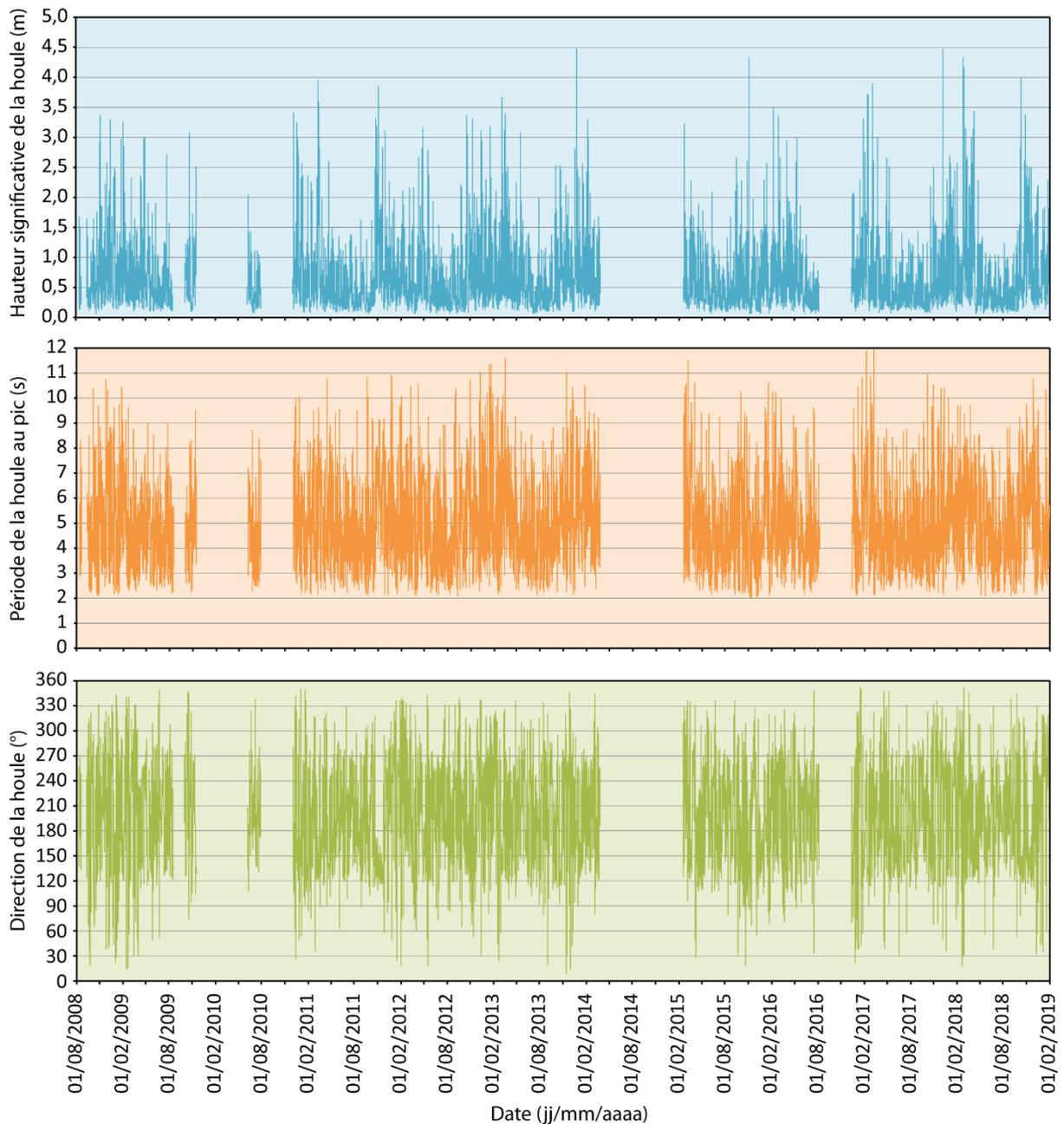


Figure 4 : Hauteur significative, période au pic et direction de la houle à l'houlographe d'Espigette (43°24,660'N, 4°09,750'E) entre le 01/08/2008 et le 01/02/2019.

3.4. Evolution globale du rechargement

Ces résultats montrent que le prisme sableux retrouve un fonctionnement naturel composé d'échanges avec le glacis sans pertes majeures pour la partie supérieure (plage émergée et trait de côte) seulement deux à trois ans après le rechargement (tableau 2). Les sédiments sur la plage et le trait de côte sont en partie exportés vers l'avant côte dès la première année suivant le rechargement. Deux ans après le rechar-

Tableau 2 : Evolution synthétique du rechargement en quatre ans.

	Comportement			Observation
	Plage	Trait de côte	Avant-côte	
T0	Gains	Gains	Gains	Rechargement
T+1	Pertes	Pertes	Gains	Transfert vers l'avant-côte
T+2	Pertes	Pertes	Pertes	Transfert vers le large (et longshore)
T+3	Pertes/Stable	Pertes/Stable	Pertes/Stable	Transfert vers le large (et longshore)
T+4 et +	Stable	Stable	Variations naturelles	Retour à l'équilibre naturel

gement, l'ensemble du prisme sableux est en érosion, une partie des sédiments sont transportés longitudinalement à la côte par la dérive littorale mais les principales pertes s'effectuent vers le large car elles ne sont plus détectables dans de la zone d'étude. Trois ans après le rechargement, des pertes de sédiment subsistent mais le littoral retrouve une certaine stabilité. Quatre ans après, la plage et le trait de côte se stabilisent définitivement et l'avant-côte retrouve un fonctionnement naturel composée d'une alternance de phases d'érosion et d'accrétion liées aux conditions climatiques (tableau 2). Certaines conditions hydrodynamiques sont capables de faire remonter vers l'avant-côte le sédiment qui est sorti de la zone d'étude comme entre 2015 et 2016.

3.5. Durabilité du rechargement

Dix ans après le rechargement massif du Golfe d'Aigues-Mortes, le prisme sableux a gardé 714 518 \pm 41 246 m³ de sédiment sur les 911 161 m³ enregistrés après le rechargement de 2008. Le prisme littoral n'a perdu que 196 664 m³ en dix ans, soit 22% du volume initialement rechargé (34% si l'on considère le chiffre donné par le prestataire de 1 080 006 m³). La perte la plus sensible a lieu à Palavas qui a perdu 94% du volume initial en dix ans. Toutefois, cette perte sédimentaire a lieu principalement sur la plage émergée, le trait de côte conserve lui un gain de 30 628 \pm 359 m³. La zone du Boucanet ne perd que 11% du volume total rechargé et le trait de côte a gardé un volume de 25 212 \pm 211 m³. Le secteur de Carnon a gardé la totalité du volume rechargé dix ans après avec un gain de 45 716 \pm 249 m³ pour le trait de côte. Enfin, le littoral du Travers a gagné plus de sédiments que ce qui a été rechargé à l'origine (+72 280 m³). Ces chiffres semblent donc indiquer la bonne durabilité du rechargement dans le temps notamment au niveau du trait de côte. Cette pérennité peut s'expliquer par le caractère semi-fermée du Golfe d'Aigues-Mortes et la présence de nombreux ouvrages de défense qui fixent les sédiments.

3.6. Evolution de la source : la pointe de l'Espiguette

La flèche sableuse sous-marine de la pointe de l'Espiguette récupère en seulement deux ans la totalité des sédiments dragués pour le rechargement. Par la suite, la flèche sous-marine gagne en moyenne 200 000 m³ de sable par an. Ces valeurs sont proches de celle du transport sédimentaire longshore résiduel calculé par modélisation

qui atteint 160 000 m³/an au droit de la digue d'arrêt des sables (Kulling et Sabatier, 2015). On observe toutefois une perte de 151 642 ±24 252 m³ entre 2013 et 2015 qui correspondent à deux dragages d'un total de 600 000 m³ environ. Ce prélèvement est rapidement comblé par les apports massifs dès 2015.

4. VOLUME SEDIMENTAIRE vs POSITION DU TRAIT DE COTE

La position du trait de côte constitue un des principaux indicateurs de l'état du prisme sableux utilisés par les gestionnaires puisqu'il conditionne la surface de plage disponible. Cette étude centrée sur l'évolution du budget sédimentaire du littoral, donc du volume de sédiments, met en avant la préservation d'une bonne partie du rechargement au cours du temps, notamment dans la zone de battement des traits de côte. Il est important de souligner ici qu'un volume sédimentaire positif ne reflète pas forcément une position du trait de côte plus avancée en mer. En effet, les gains et pertes sédimentaires sont généralement localisés et, par exemple, un secteur caractérisé par une forte accrétion contre un ouvrage et de l'érosion diffuse sur tout le reste de la zone génère un bilan positif mais un recul du trait de côte sur une grande partie de la zone. De plus, un trait de côte peut reculer de plusieurs mètres tout en ayant une différence altimétrique faible et donc masquée par la marge d'erreur.

Pour exemple, la figure 5 présente la position du trait de côte de la plage du Boucanet en 2018 par rapport à celle de 2008 avant les travaux de rechargement. Seuls quatre secteurs localisés montrent une avancée du trait de côte de 5 à 10 m, la grande majorité de la zone est caractérisée par un recul atteignant jusqu'à 20 m. La moyenne sur la zone est un recul de 11,8 m alors que les bilans sédimentaires soulignent un gain résiduel d'environ 25 000 m³. La figure 6 montre en effet que malgré le recul du trait de côte sur une grande partie de cette portion de littoral, l'érosion en termes de volume est peu visible (une tache d'érosion au nord-ouest de la zone) car comprise en majorité dans la marge d'erreur. Au final, ce sont les quelques pixels en forte accrétion qui génèrent un bilan sédimentaire résiduel positif. Les deux techniques d'analyse sont de faites complémentaires.

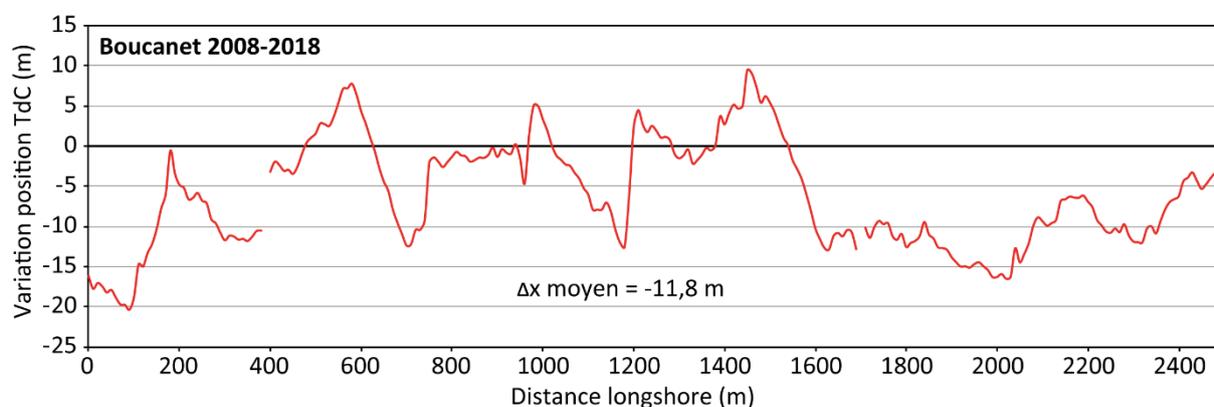


Figure 5 : Position du trait de côte de 2018 par rapport à celle de 2008 avant les travaux de rechargement sur la plage du Boucanet.

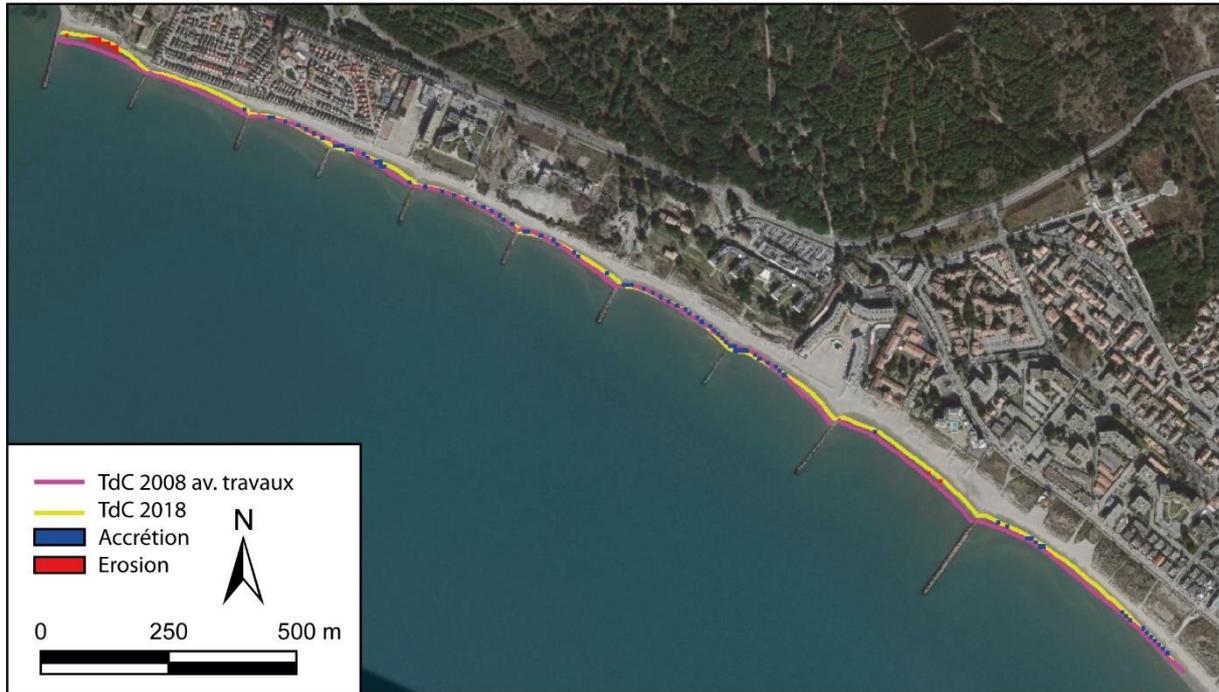


Figure 6 : Position des traits de côte de 2008 avant les travaux de rechargement et de 2018 de la plage du Boucanet et zones en accrétion et érosion issues du différentiel de MNT 2008-2018.

5. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVE

Cette étude a permis de faire le point sur le devenir en termes de volume sédimentaire du rechargement massif du Golfe d'Aigues-Mortes sur une période de 10 ans. Les sédiments sont redistribués rapidement vers l'avant-côte mais un équilibre et une stabilité sont atteints quatre ans après le rechargement. Seul 22 à 34% des sédiments rechargés ont quitté la zone d'étude principalement vers le large. La flèche sous-marine de l'Espiguette utilisée comme source de sédiments récupère très rapidement (2 ans) l'ensemble du volume dragué et poursuit son accrétion. Il s'agit donc d'un site de choix pour la poursuite des dragages.

Cependant, la persistance des sédiments sur la zone rechargée ne se traduit pas forcément par une avancée du trait de côte par rapport à sa position avant les travaux de rechargement. Il est important de poursuivre ce travail par une étude des variations du trait de côte sur la même période. Une confrontation avec la présente étude permettra certainement aux gestionnaires d'apprécier l'efficacité dans le temps du rechargement (en termes de gain de surface de plage) et de déterminer les zones et la fréquence des réinterventions pour maintenir une position du trait de côte déterminée.

6. MODELES NUMERIQUES ET DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES ENTRE 2008 ET 2018

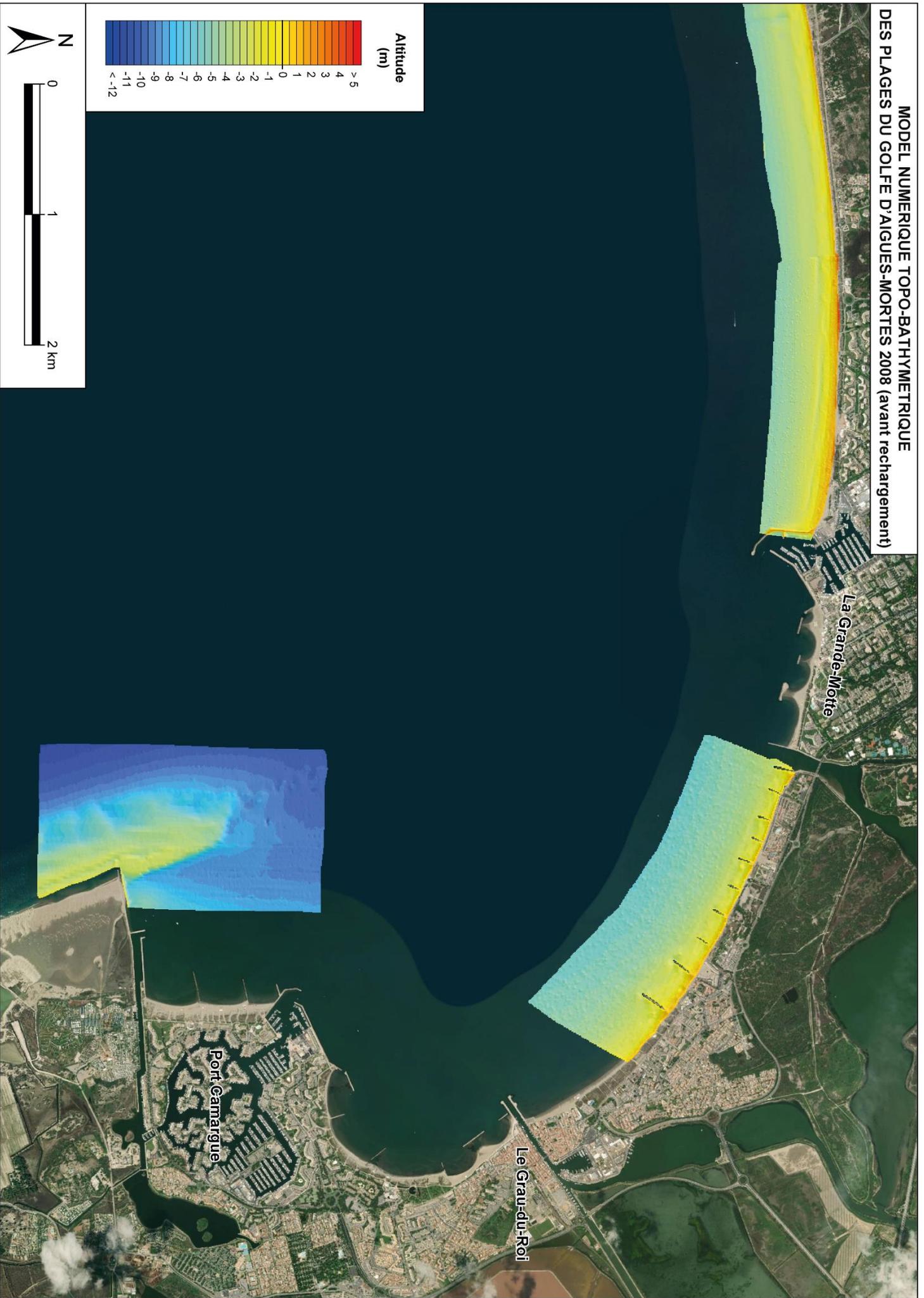
La topo-bathymétrie du littoral du Golfe d'Aigues-Mortes et l'évolution du budget sédimentaire entre 2008 et 2018 sont présentées au travers de 20 planches de MNT et 18 planches de différentiels sur un fond constitué d'une image satellite Spot. Les planches de différentiels topo-bathymétriques présentent également, pour chaque secteur, un tableau avec les différentes valeurs du budget sédimentaire par zone en mètres cubes et en mètres cubes par mètres carrés.

6.1. Modèles numériques de terrain des plages du Golfe d'Aigues-Mortes

MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES (avant rechargement)



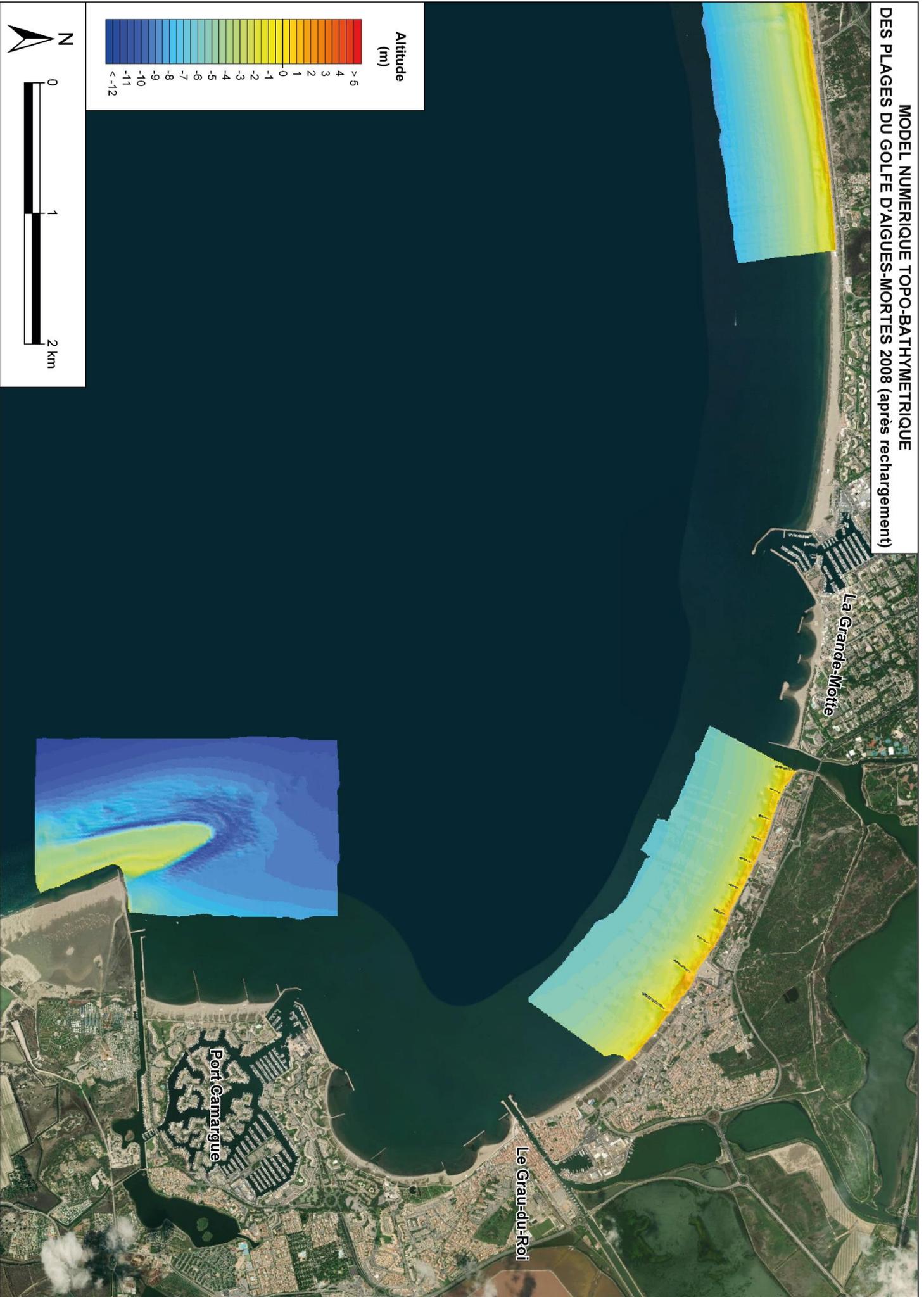
**MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2008 (avant rechargement)**



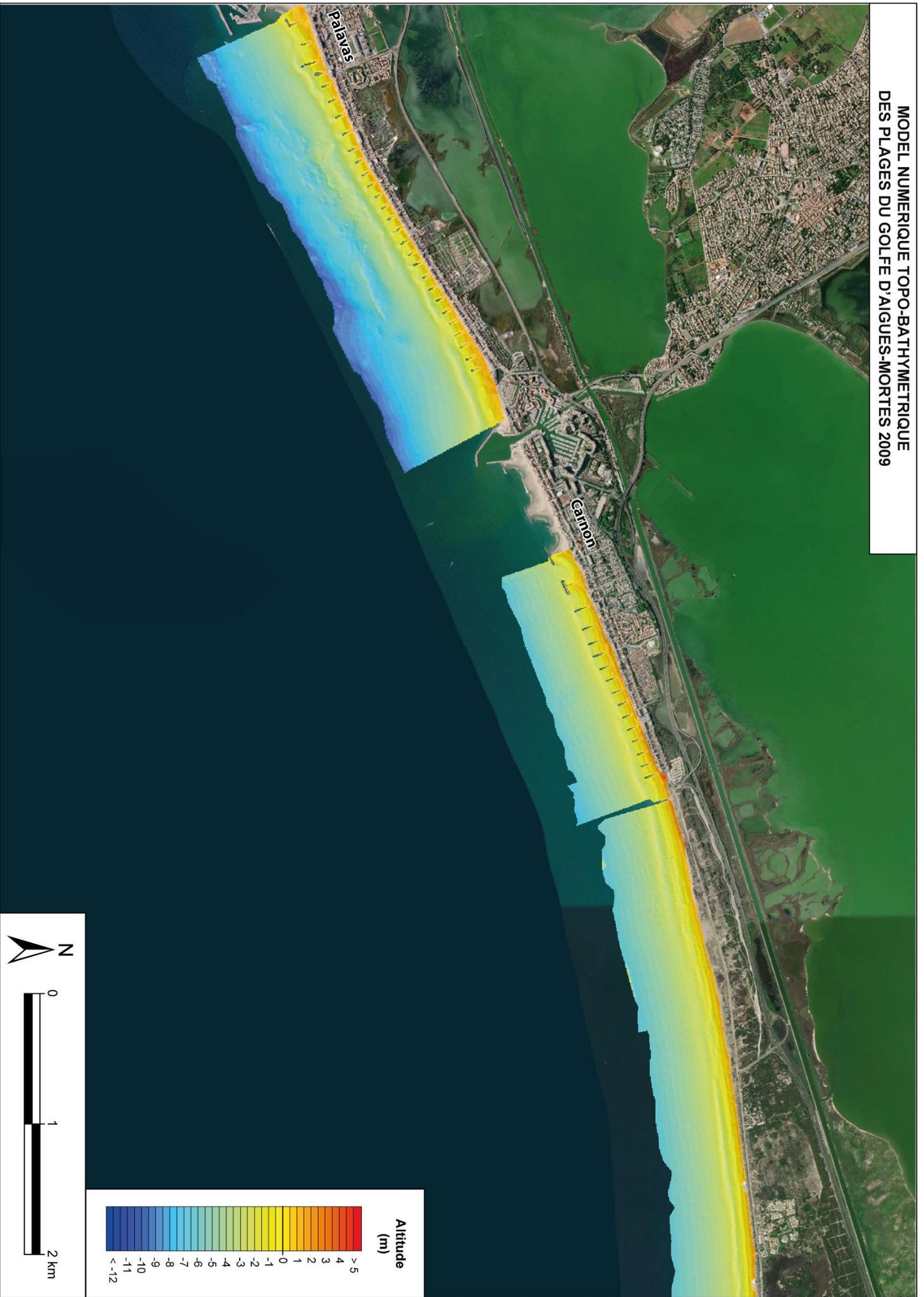
MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES (après rechargement)



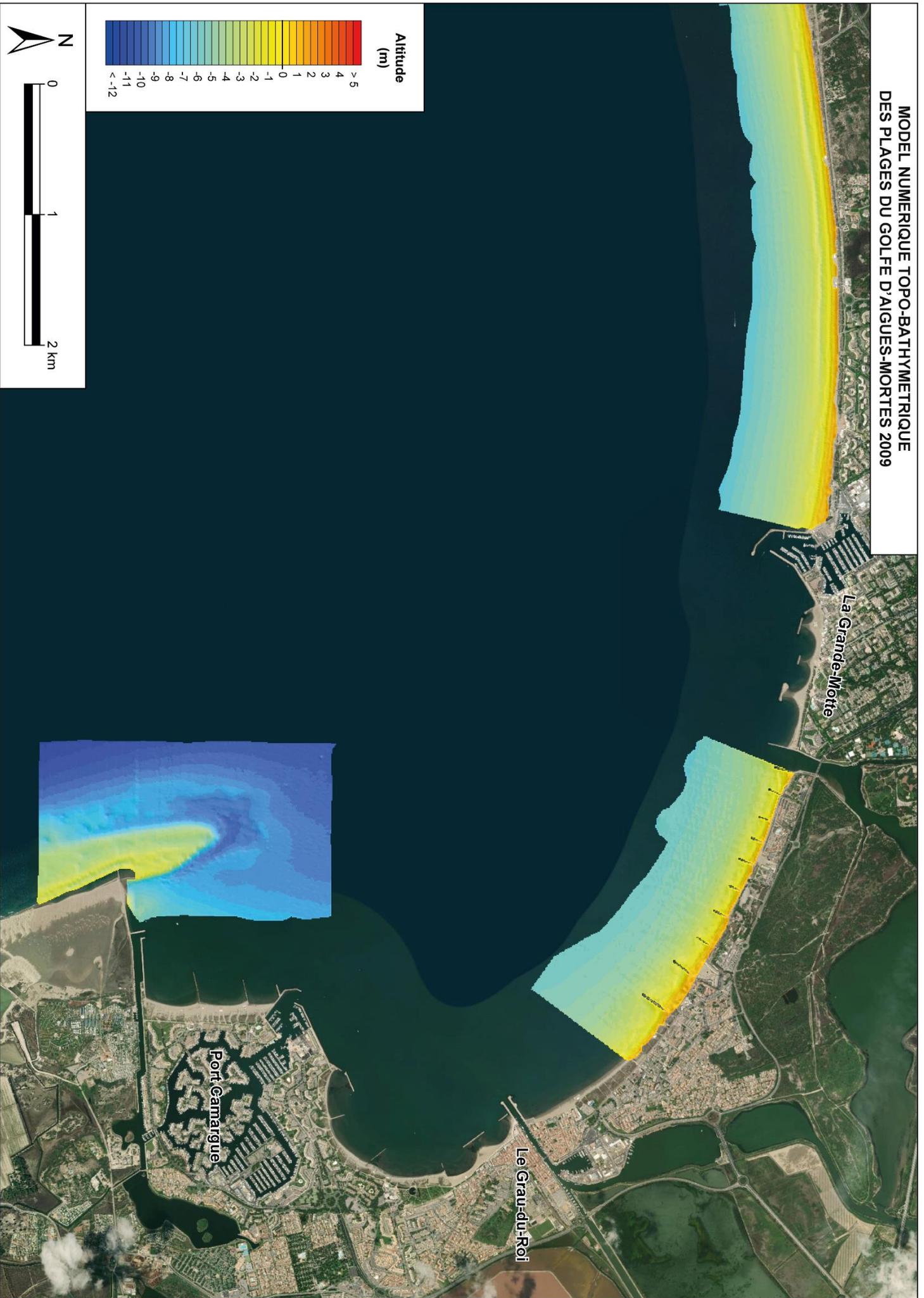
MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2008 (après rechargement)



MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2009



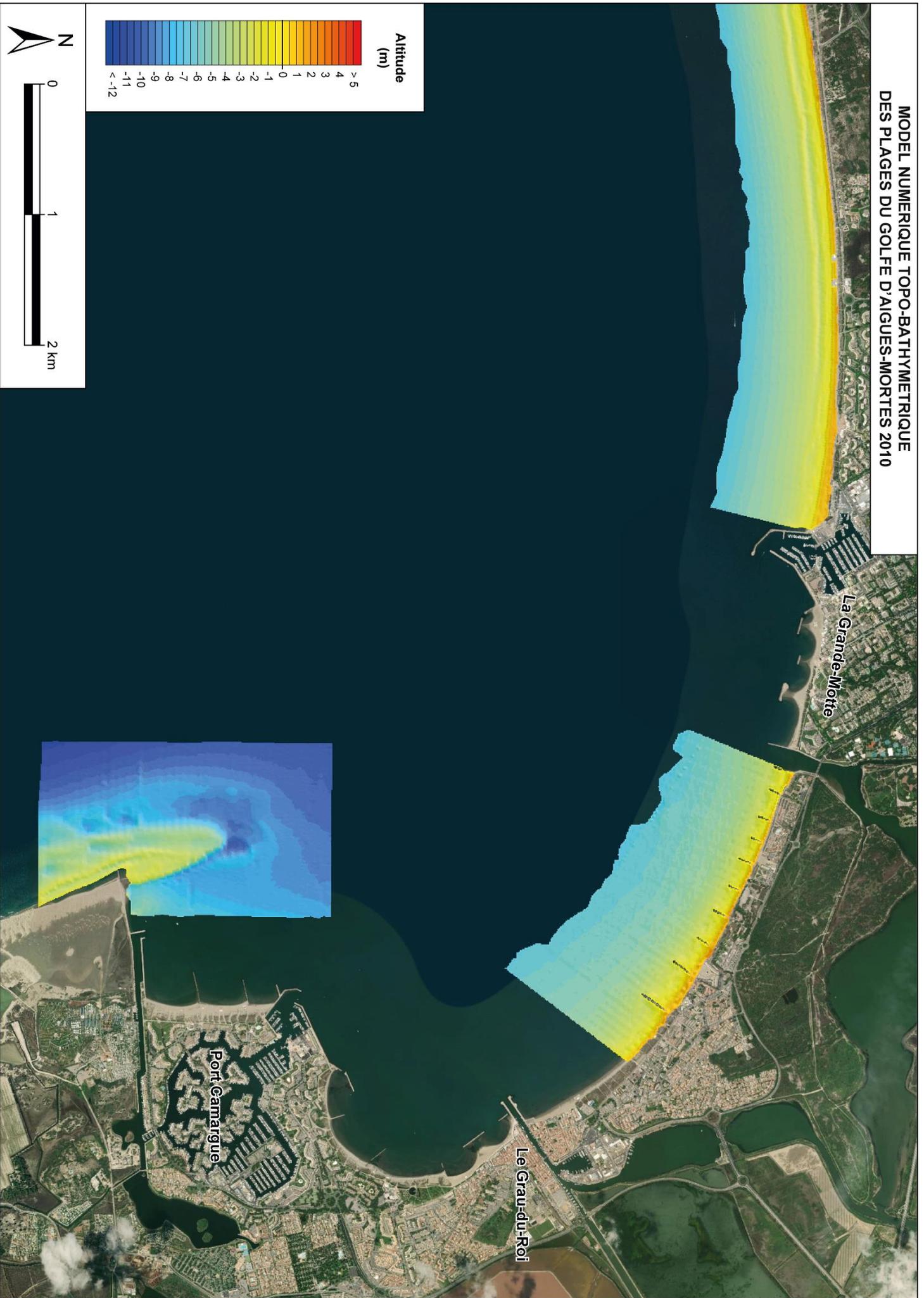
MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2009



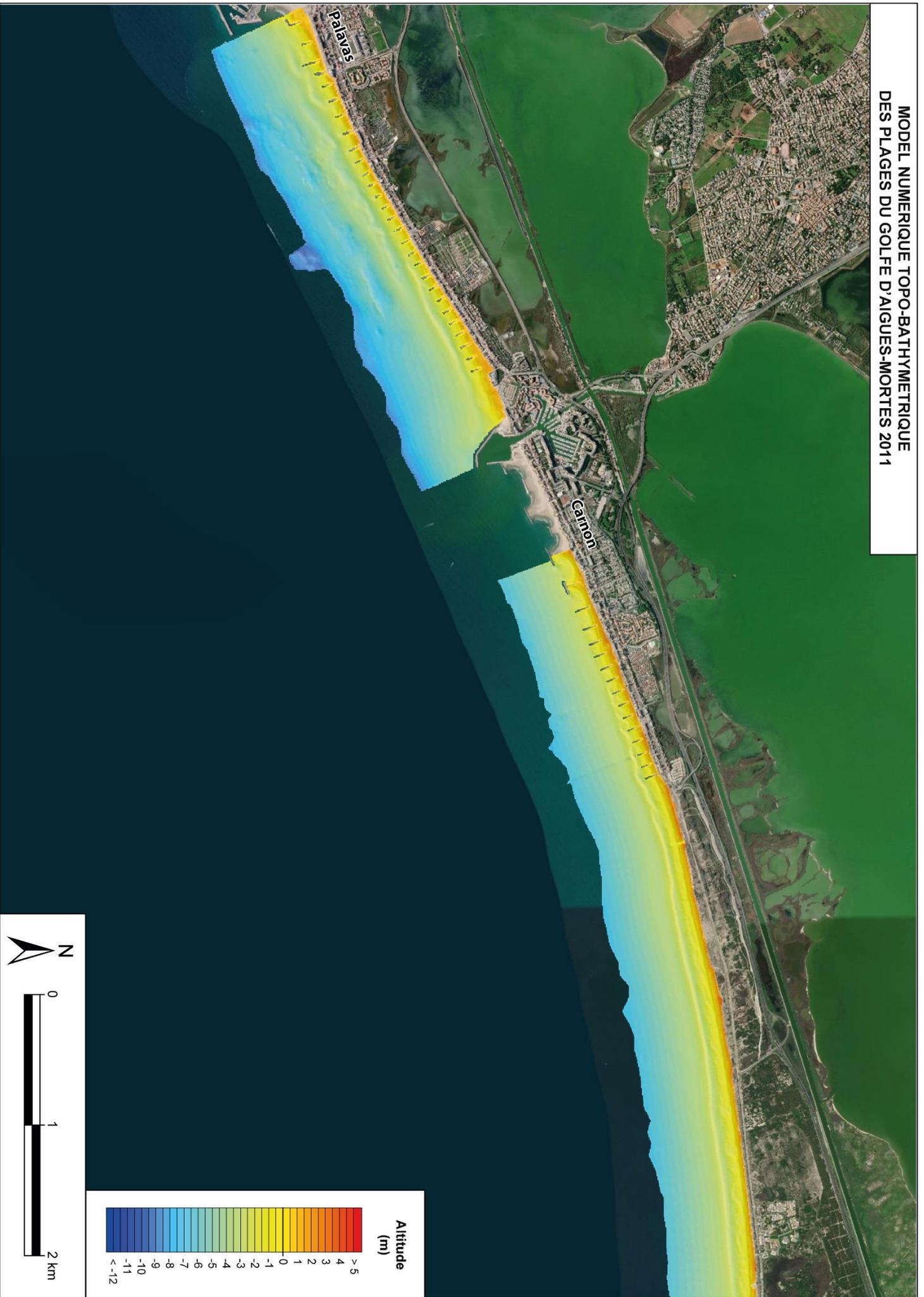
MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2010



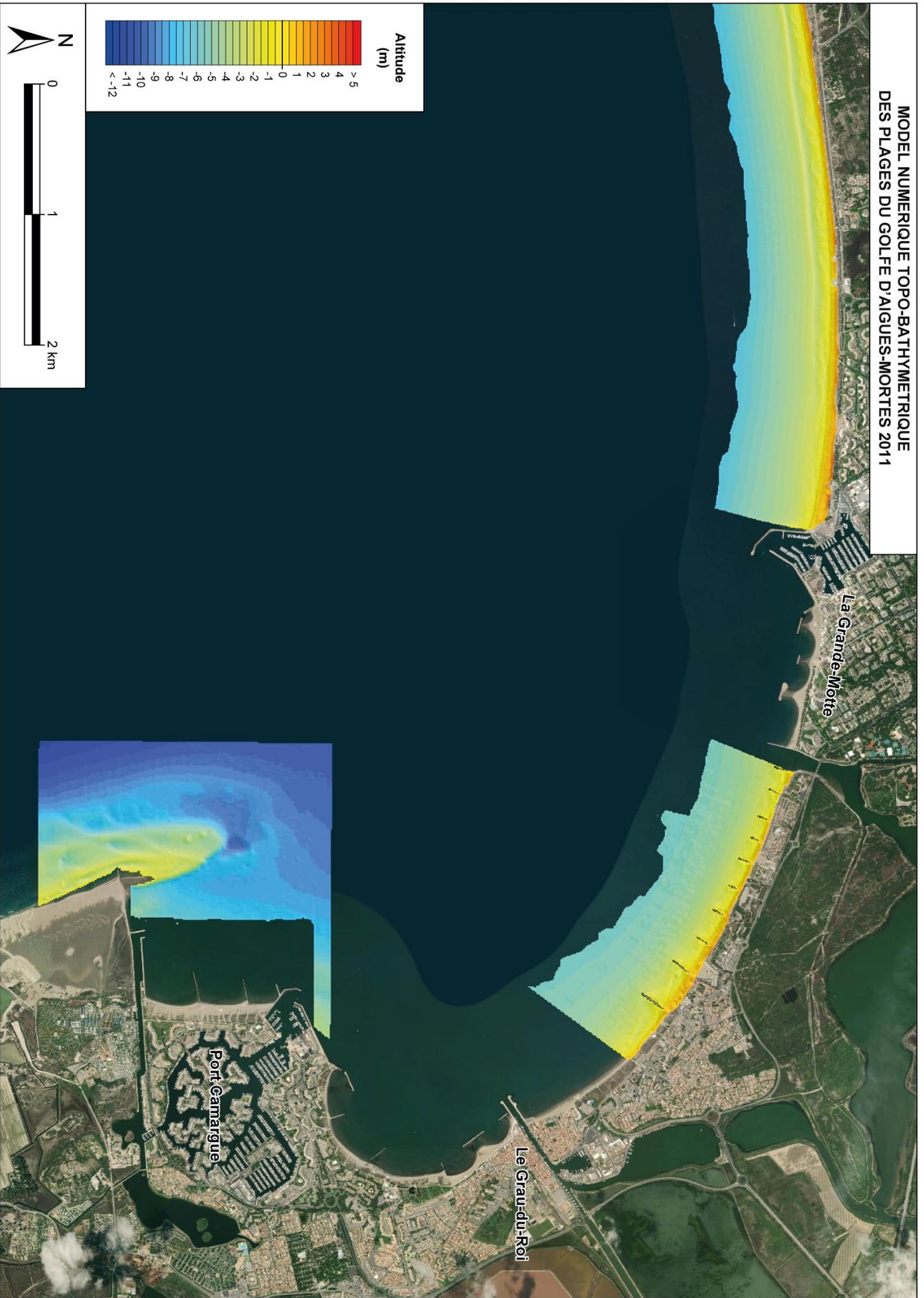
MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2010



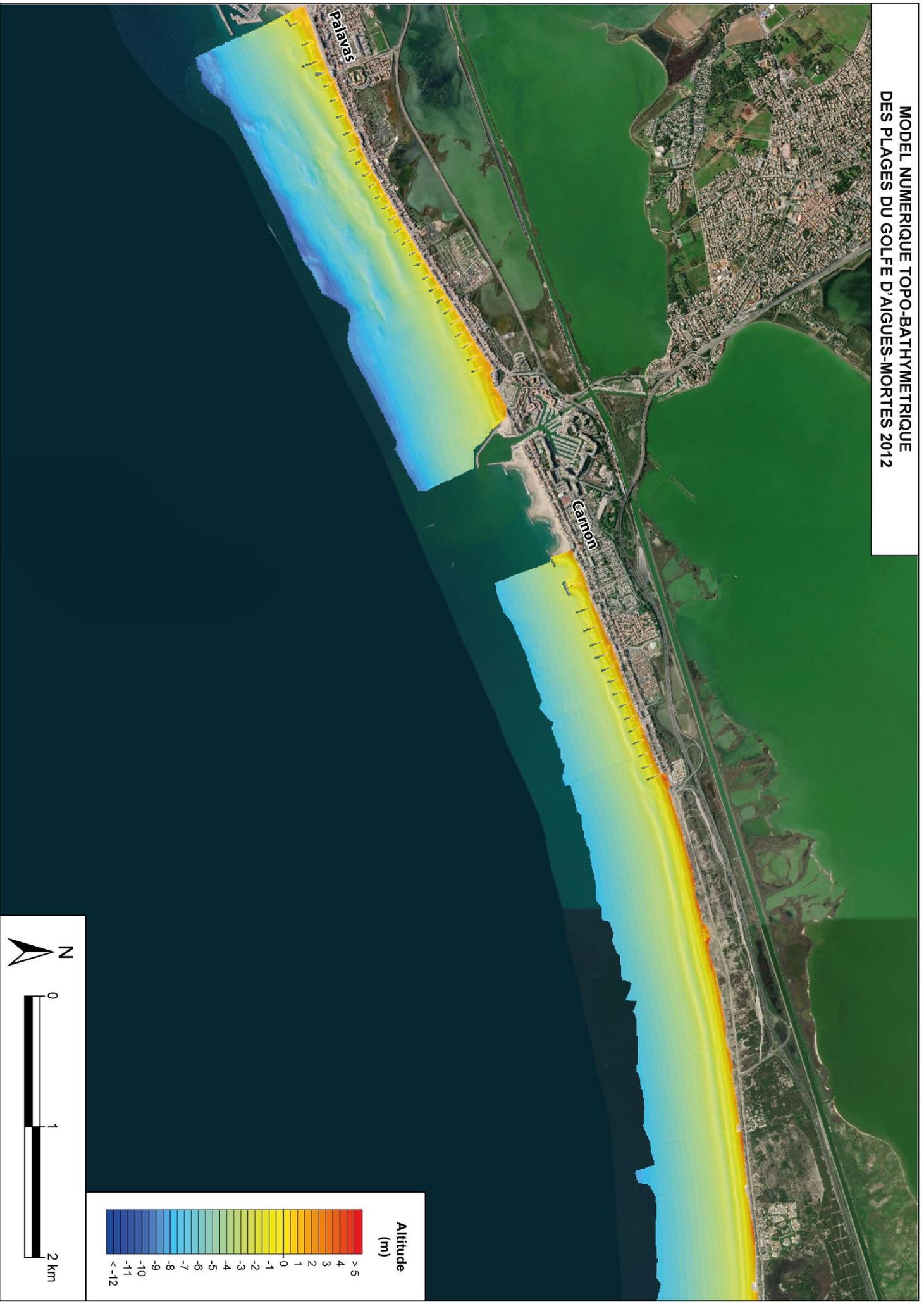
MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2011



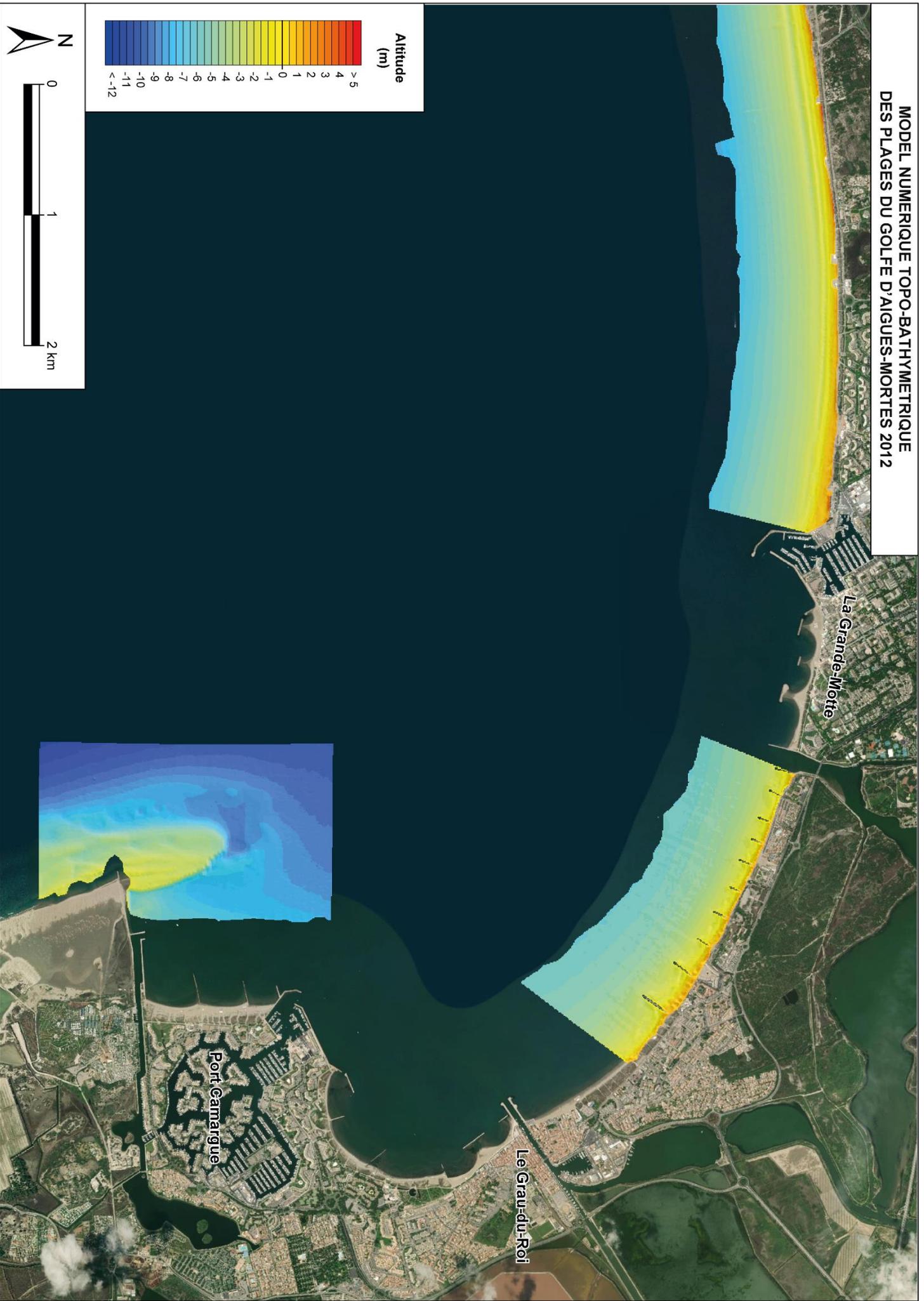
MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2011



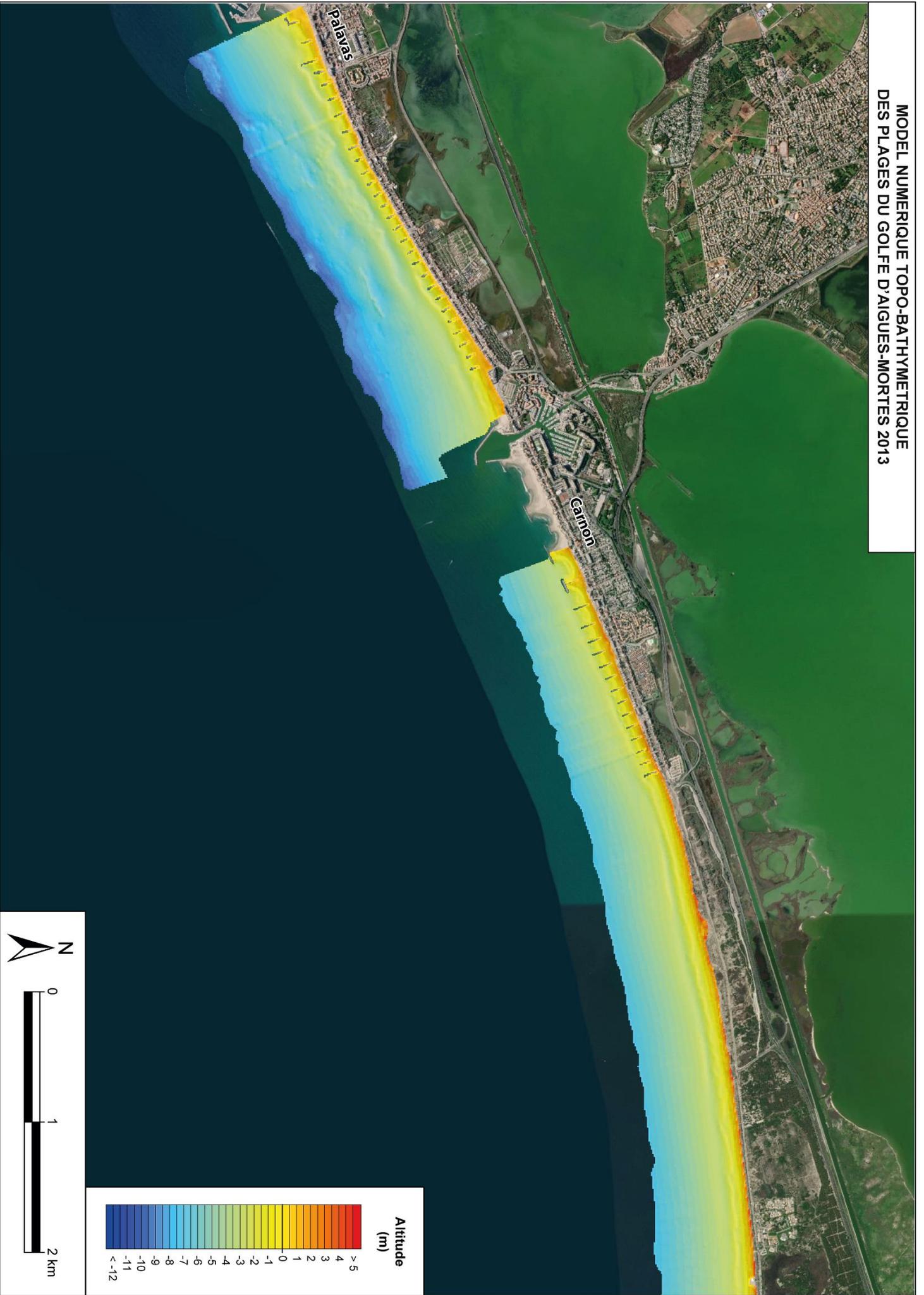
MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2012



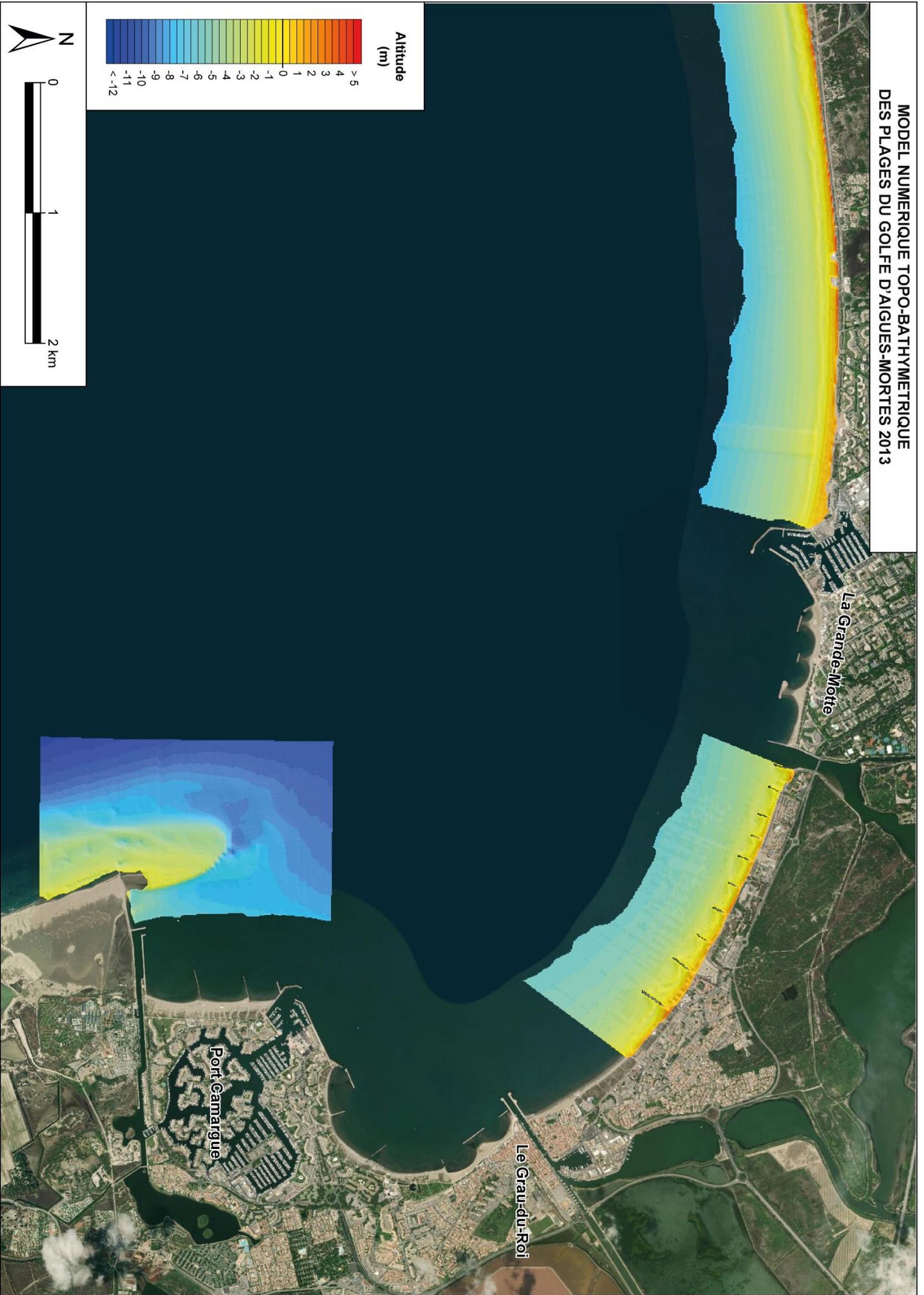
MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2012



MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2013



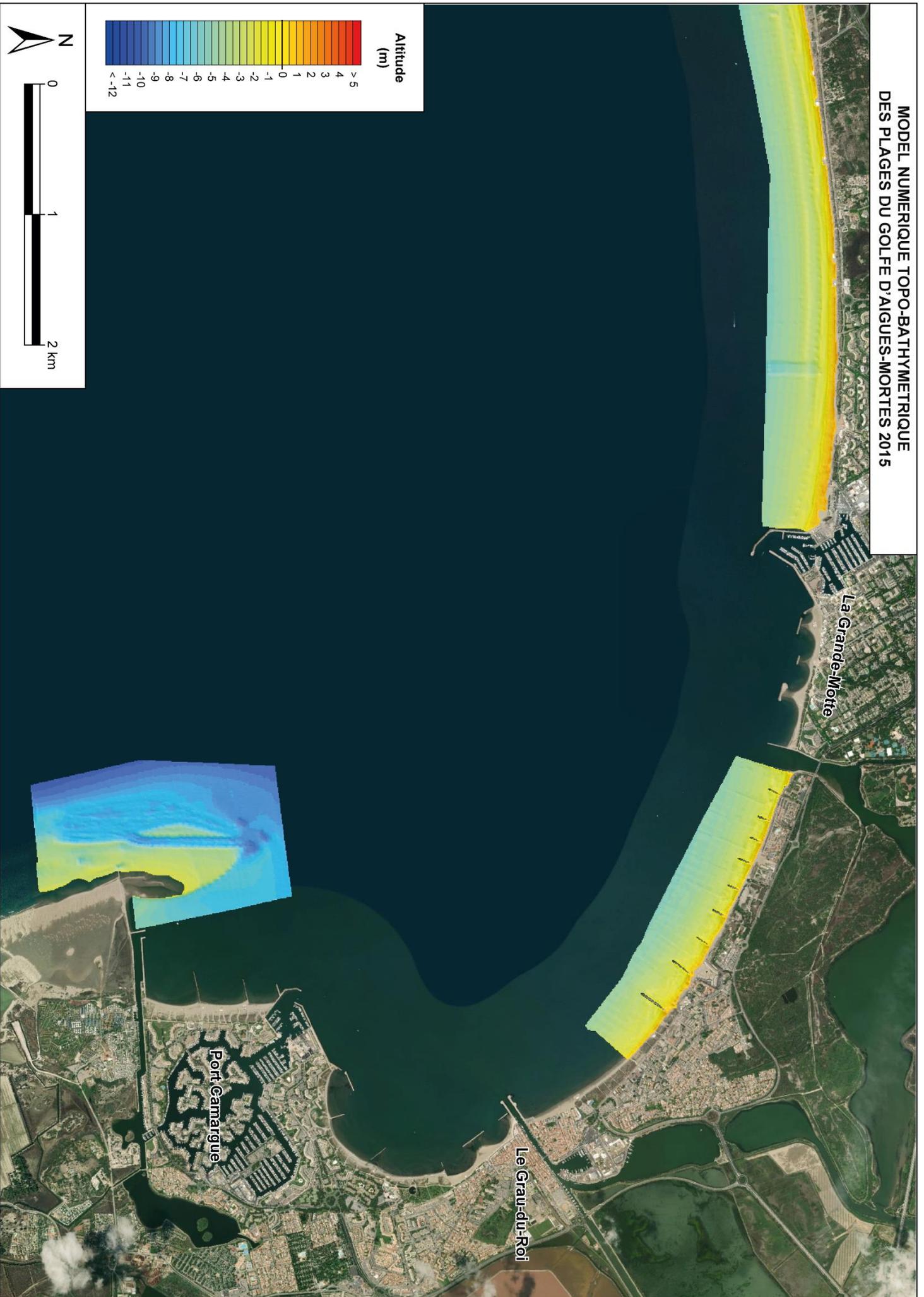
MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2013



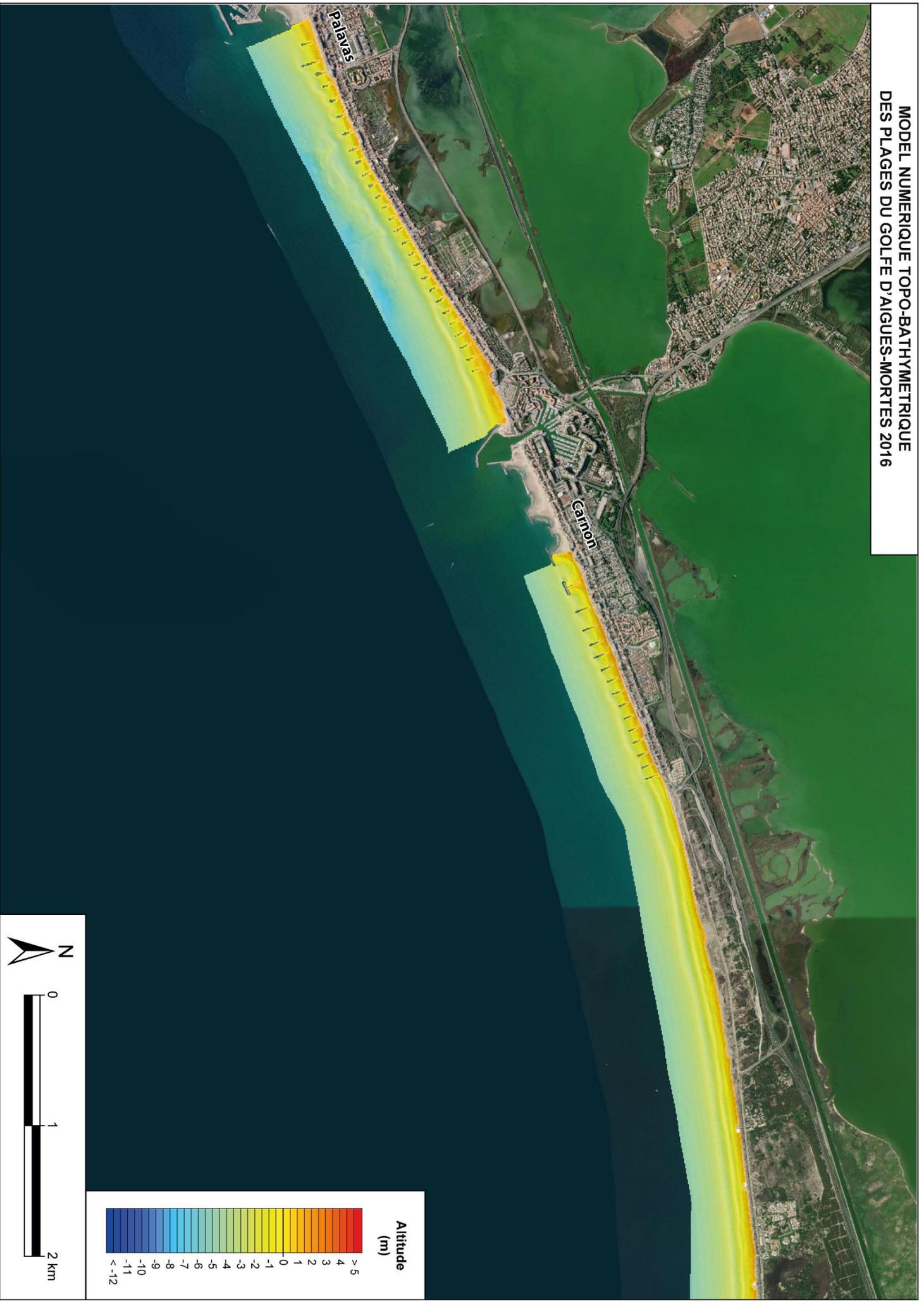
MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2015



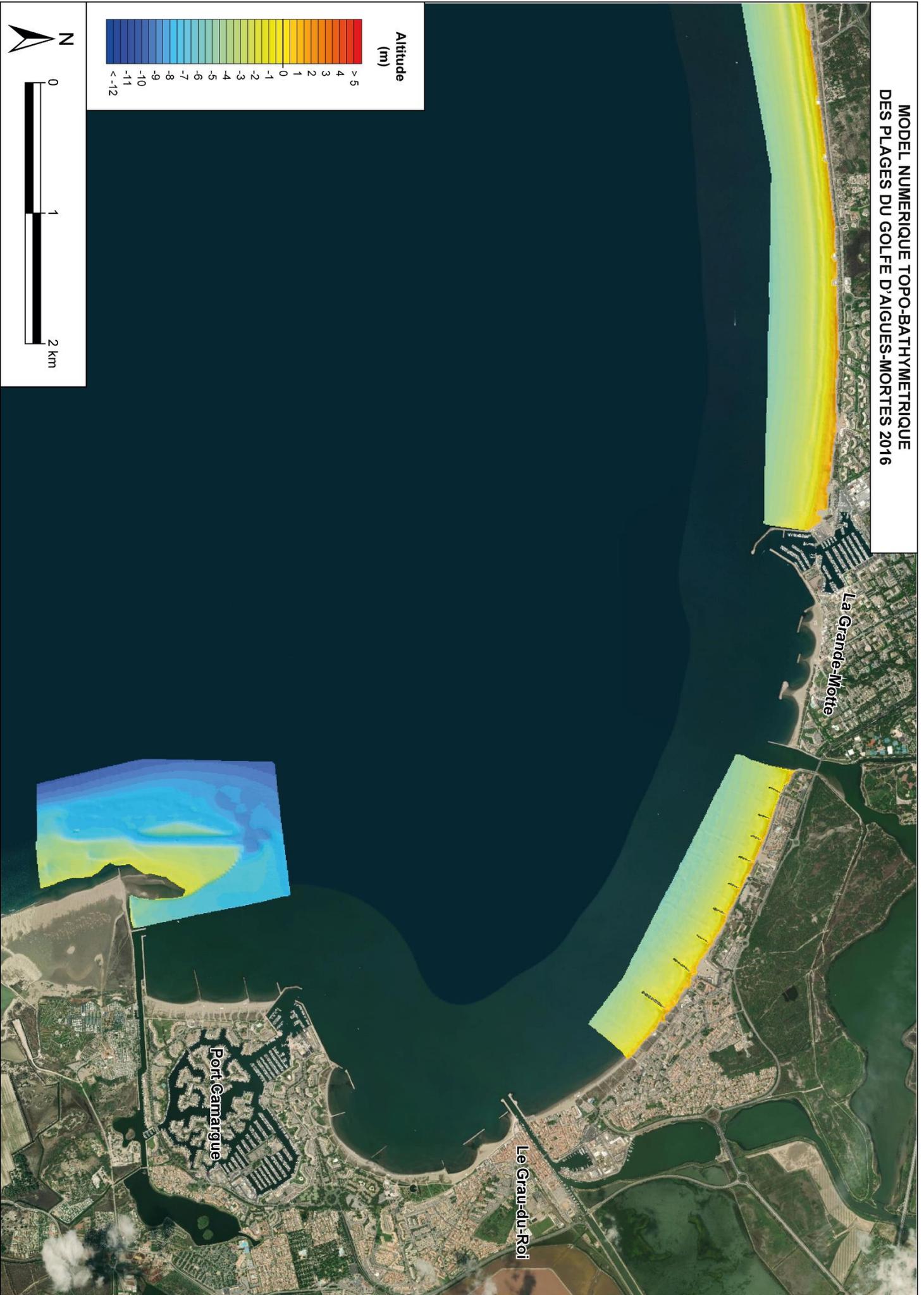
MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2015



MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2016



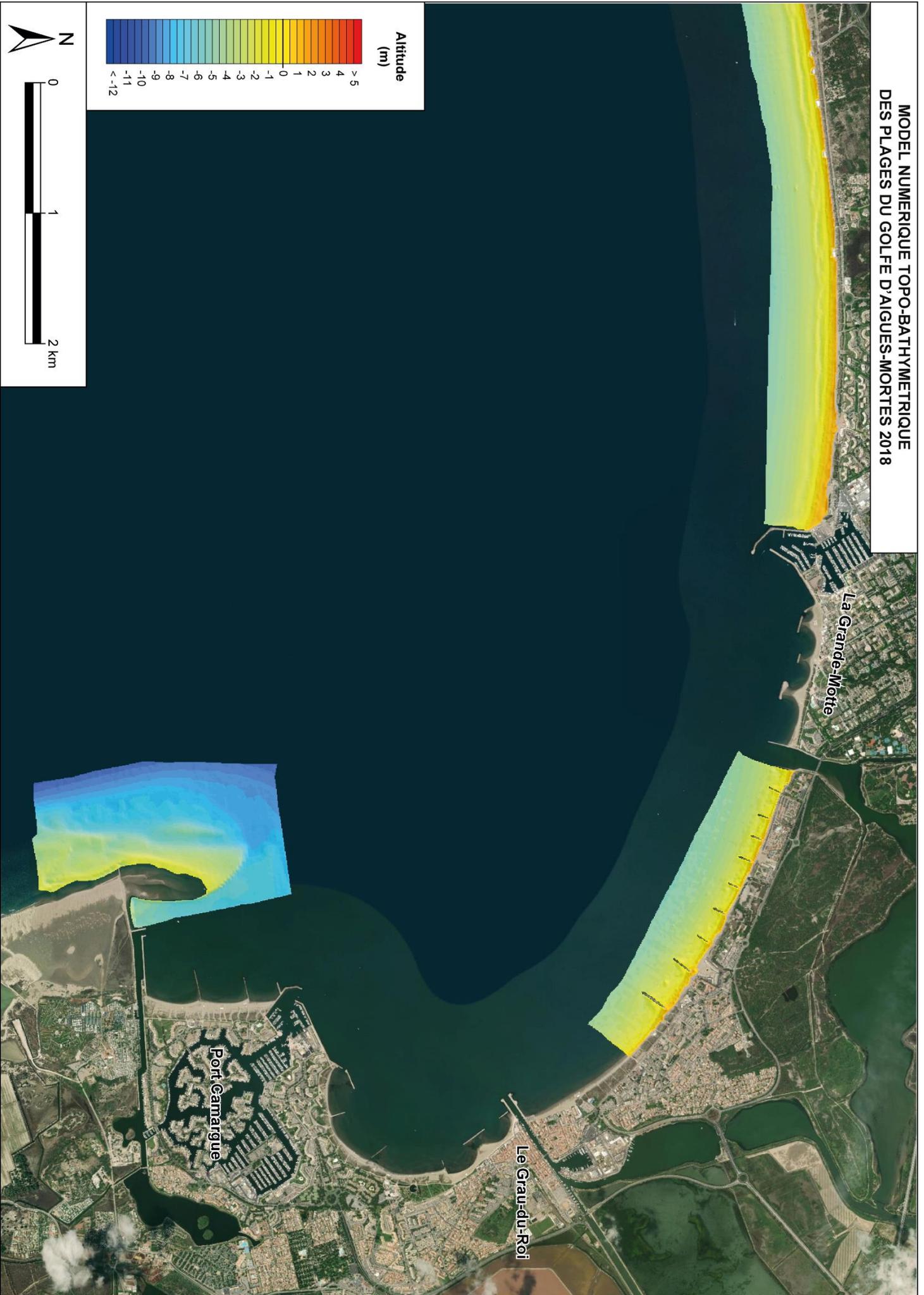
MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2016



MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2018

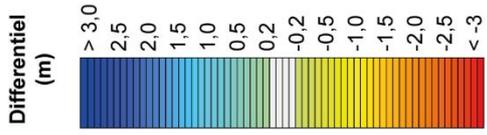


MODEL NUMERIQUE TOPO-BATHYMETRIQUE
DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES-MORTES 2018



6.2. Différentiels topo-bathymétriques des plages du Golfe d'Aigues-Mortes

**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2008 avant rechargement - 2008 après rechargement**



TRAVERS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	152 679 ±16 622	159 574 ±40	55 221 ±1 875	367 474 ±16 537
m ² /m ²	0,099 ±0,011	1,122 ±0,000	0,505 ±0,017	0,206 ±0,010

CARNON

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	50 722 ±5 585	89 148 ±78	26 270 ±1 020	166 140 ±6 683
m ² /m ²	0,052 ±0,006	1,234 ±0,001	0,406 ±0,016	0,150 ±0,006

PALAVAS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	130 326 ±16 404	84 570 ±0	54 977 ±659	269 872 ±16 073
m ² /m ²	0,052 ±0,007	0,873 ±0,000	0,454 ±0,005	0,099 ±0,007

**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2008 avant rechargement - 2008 après rechargement**

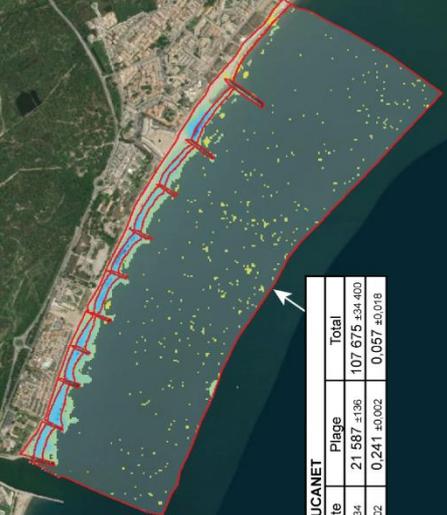


TRAVERS				
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	152 679 ±16,622	159 574 ±40	55 221 ±1 875	367 474 ±18 537
m ³ /m ²	0,099 ±0,011	1,122 ±0,000	0,505 ±0,017	0,206 ±0,010

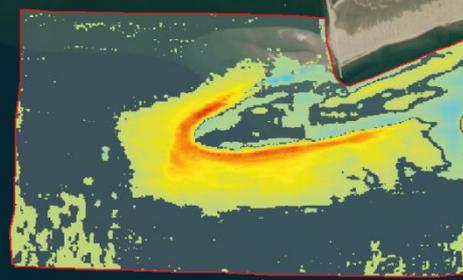
La Grande-Motte

Le Grau-du-Roi

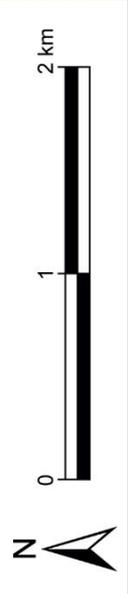
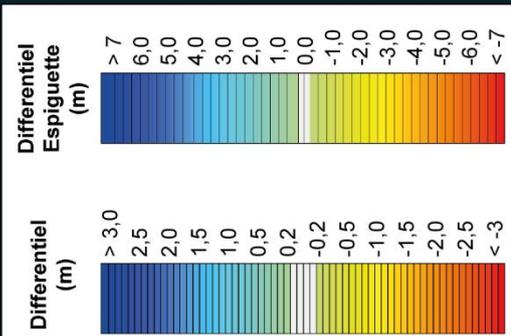
Port Camargue



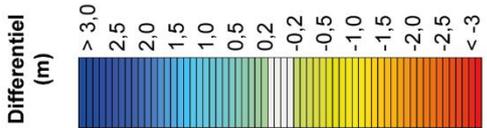
BOUCANET				
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	18 966 ±34 129	67 122 ±134	21 587 ±136	107 675 ±34 400
m ³ /m ²	0,011 ±0,020	1,011 ±0,002	0,241 ±0,002	0,057 ±0,018



ESPIGUETTE		
	Avant-côte	Total
m ³	-883 260 ±96 715	
m ³ /m ²	-0,357 ±0,038	



**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2008 après travaux - 2009**



TRAVERS				
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	124 783 ±19 692	-31 741 ±403	-12 802 ±687	80 239 ±20 579
m ³ /m ²	0,065 ±0,010	-0,501 ±0,006	-0,078 ±0,004	0,037 ±0,010

CARNON				
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	273 288 ±13 885	-30 423 ±33	-19 858 ±1 208	223 007 ±14 926
m ³ /m ²	0,301 ±0,016	-0,832 ±0,001	-0,187 ±0,011	0,212 ±0,014

PALAVAS				
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	71 127 ±74 598	-30 334 ±167	-19 834 ±1 175	20 958 ±75 628
m ³ /m ²	0,029 ±0,030	-0,571 ±0,003	-0,110 ±0,007	0,008 ±0,028

**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2008 après rechargement - 2009**



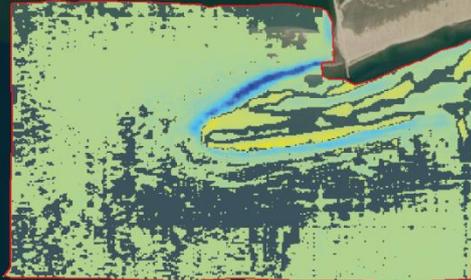
TRAVERS				
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	124 783 ±19 482	-31 741 ±400	-12 802 ±687	80 239 ±20 579
m ³ /m ²	0,065 ±0,010	-0,501 ±0,006	-0,078 ±0,004	0,037 ±0,010

La Grande-Motte

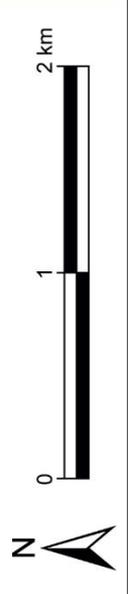
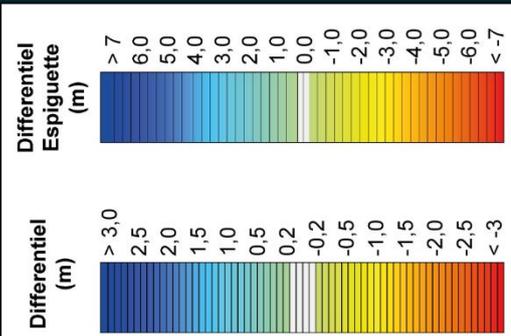
Le Grau-du-Roi

Port Camargue

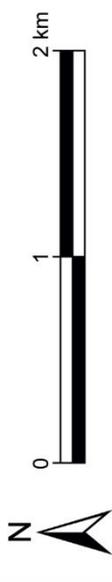
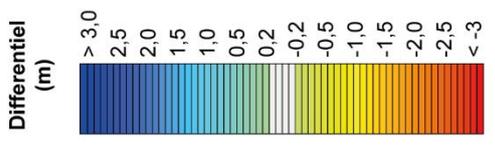
BOUCANET				
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-28 438 ±61 282	-37 705 ±186	-7 444 ±364	-16 711 ±61 868
m ³ /m ²	-0,017 ±0,037	-0,719 ±0,004	-0,068 ±0,003	-0,009 ±0,034



ESPIGUETTE	
	Avant-côte
m ³	690 810 ±88 552
m ³ /m ²	0,257 ±0,033



**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2009 - 2010**



TRAVERS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-69 983 ±116 022	-15 005 ±379	-45 687 ±9 715	-130 675 ±26 116
m ³ /m ²	-0,021 ±0,036	-0,421 ±0,011	-0,168 ±0,036	-0,037 ±0,035

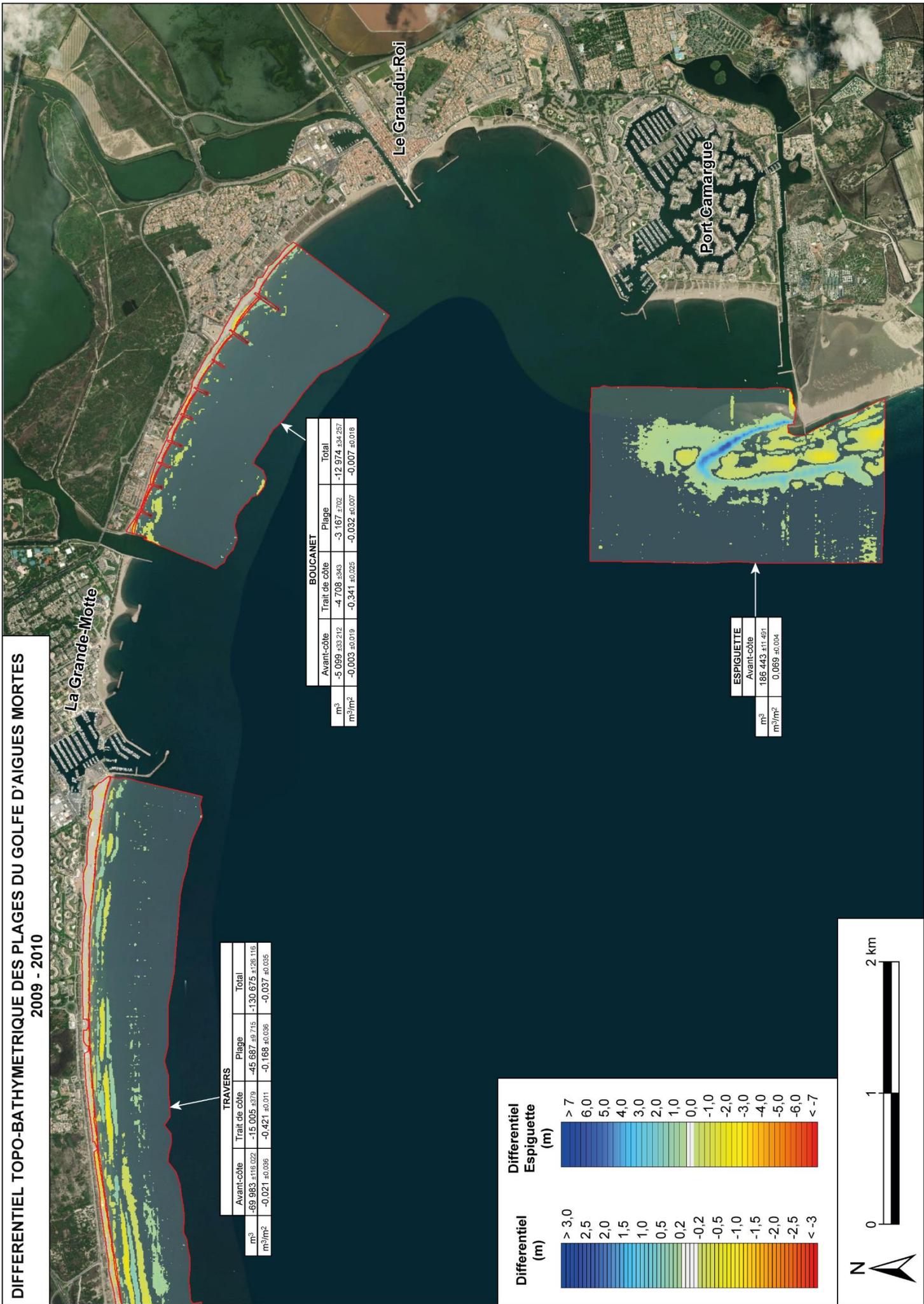
CARNON

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-229 608 ±19 780	-14 873 ±60	-16 405 ±2 379	-260 886 ±22 199
m ³ /m ²	-0,283 ±0,024	-0,642 ±0,003	-0,184 ±0,027	-0,282 ±0,024

PALAVAS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-65 485 ±63 043	-15 412 ±159	-31 862 ±6 075	-112 758 ±69 273
m ³ /m ²	-0,026 ±0,025	-0,498 ±0,005	-0,199 ±0,038	-0,042 ±0,026

**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2009 - 2010**



TRAVERS

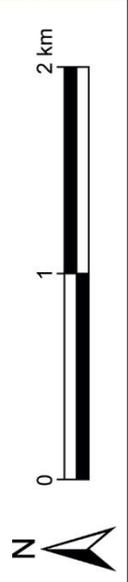
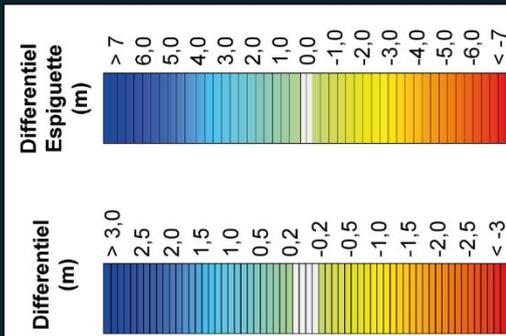
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-69 983 ±116 022	-15 005 ±379	-45 687 ±9 715	-130 675 ±126 116
m ³ /m ²	-0,021 ±0,006	-0,421 ±0,011	-0,168 ±0,036	-0,037 ±0,035

BOUCANET

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-5 099 ±33 212	-4 708 ±543	-3 167 ±702	-12 974 ±54 267
m ³ /m ²	-0,003 ±0,019	-0,341 ±0,025	-0,032 ±0,007	-0,007 ±0,016

ESPIGUETTE

	Avant-côte	Total
m ³	186 443 ±11 491	186 443 ±11 491
m ³ /m ²	0,069 ±0,004	0,069 ±0,004



**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2010 - 2011**



TRAVERS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-52 011 ±90 062	2 580 ±508	12 482 ±2 788	-36 949 ±93 357
m ³ /m ²	-0,014 ±0,024	0,109 ±0,021	0,041 ±0,008	-0,009 ±0,023

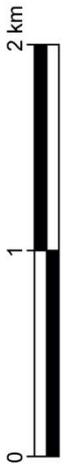
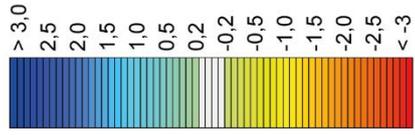
CARNON

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	24 894 ±19 760	1 355 ±69	7 447 ±259	33 696 ±12 956
m ³ /m ²	0,029 ±0,015	0,285 ±0,014	0,089 ±0,003	0,036 ±0,014

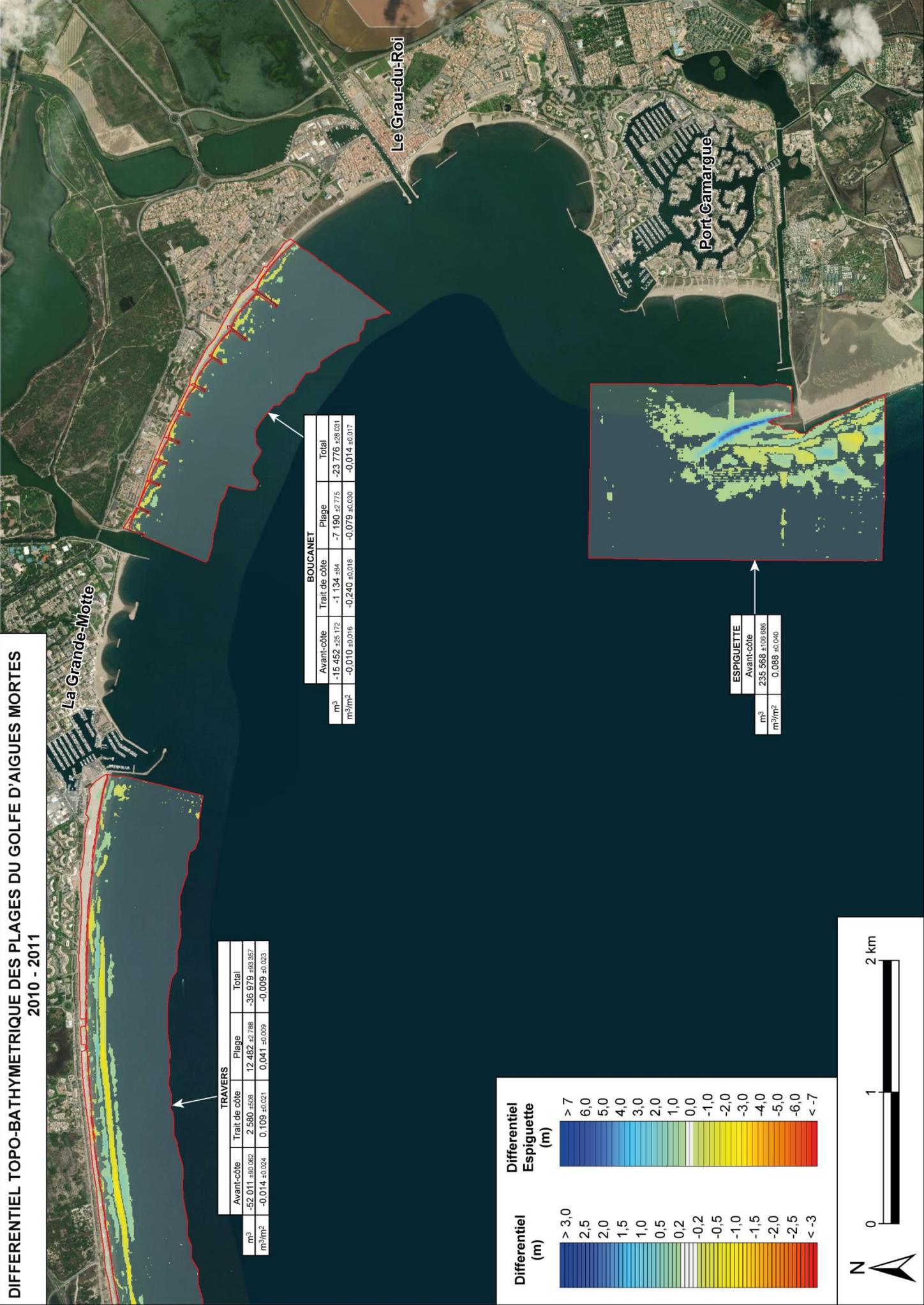
PALAVAS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-73 029 ±65 052	-3 353 ±36	-33 889 ±1 855	-110 271 ±66 943
m ³ /m ²	-0,030 ±0,035	-0,276 ±0,003	-0,225 ±0,012	-0,043 ±0,034

Differentiel (m)



**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2010 - 2011**



TRAVERS

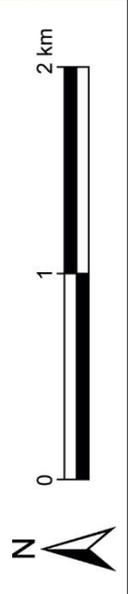
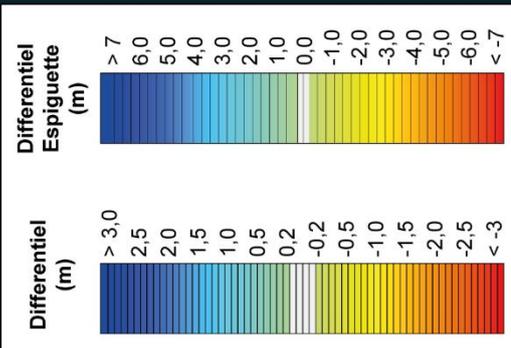
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-52 011 ±0,062	2 580 ±508	12 482 ±7 188	-36 979 ±63 357
m ³ /m ²	-0,014 ±0,024	0,109 ±0,021	0,041 ±0,009	-0,009 ±0,023

BOUCANET

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-15 452 ±26 172	-1 134 ±94	-7 190 ±2 776	-23 776 ±28 031
m ³ /m ²	-0,010 ±0,016	-0,240 ±0,018	-0,079 ±0,030	-0,014 ±0,017

ESPIQUETTE

	Avant-côte	Total
m ³	235 568 ±106 686	
m ³ /m ²	0,088 ±0,040	



**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2011 - 2012**



TRAVERS

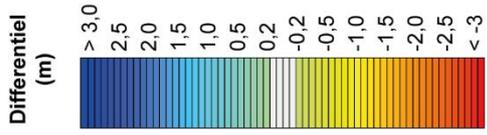
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m³	47 299 ±8 640	17 737 ±1 467	28 162 ±7 185	93 198 ±17 293
m³/m²	0,013 ±0,002	0,300 ±0,025	0,087 ±0,022	0,023 ±0,004

CARNON

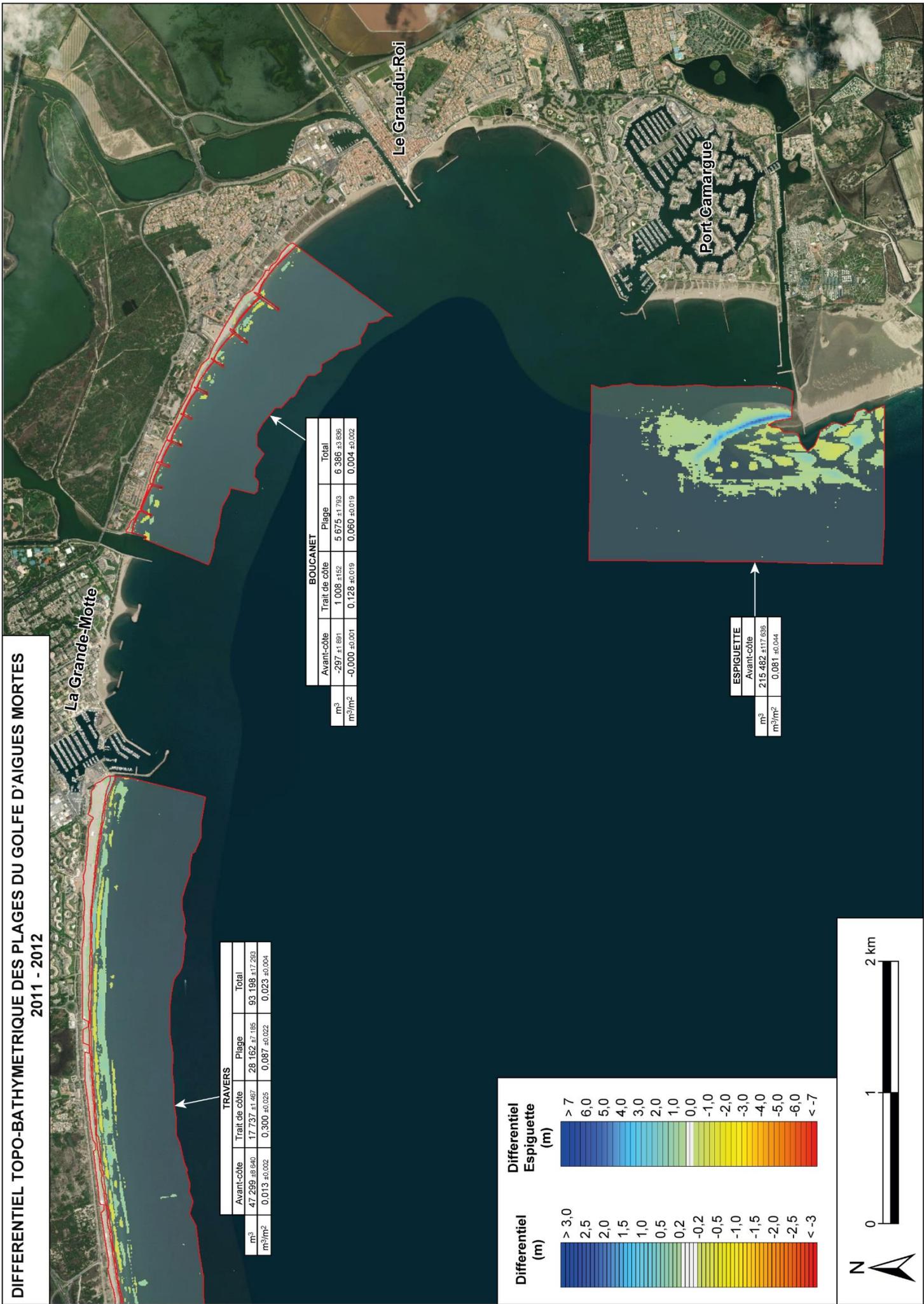
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m³	1 521 ±14 175	1 166 ±298	2 394 ±2 424	5 081 ±16 898
m³/m²	0,002 ±0,016	0,168 ±0,043	0,027 ±0,028	0,005 ±0,017

PALAVAS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m³	-27 209 ±28 572	1 940 ±272	-1 213 ±129	-26 481 ±28 973
m³/m²	-0,011 ±0,012	0,121 ±0,017	-0,007 ±0,001	-0,010 ±0,011



**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2011 - 2012**



TRAVERS

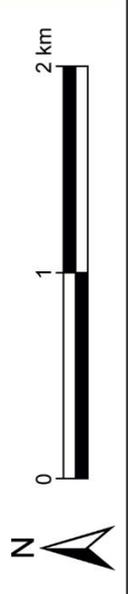
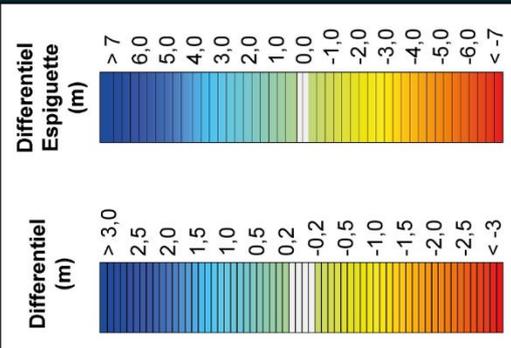
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	47 299 ±9 640	17 737 ±1 467	28 162 ±7 185	93 198 ±17 293
m ³ /m ²	0,013 ±0,002	0,300 ±0,025	0,087 ±0,022	0,023 ±0,004

BOUCANET

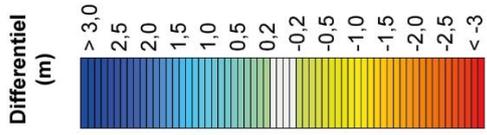
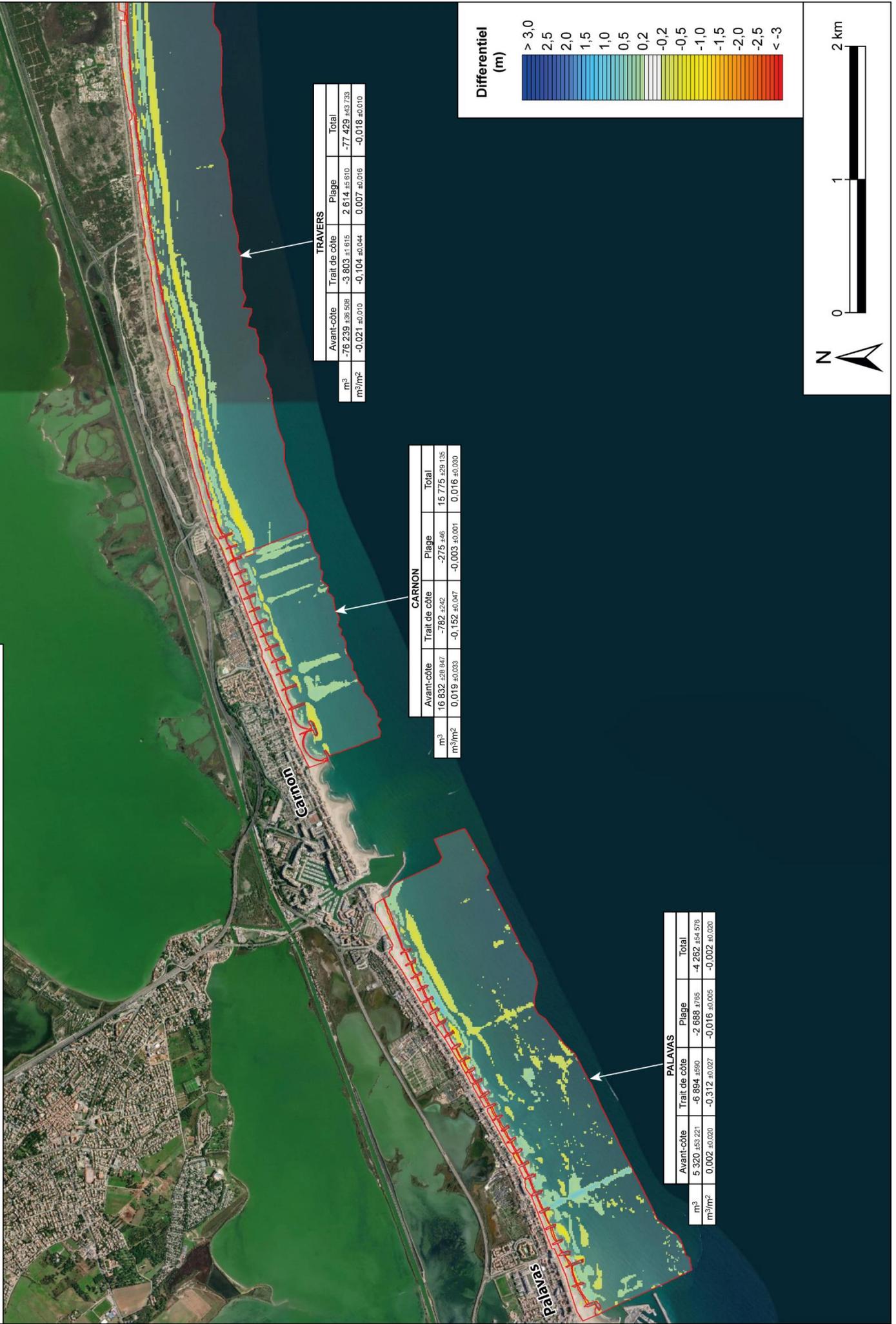
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-297 ±1 891	1 008 ±152	5 675 ±1 793	6 386 ±3 936
m ³ /m ²	-0,000 ±0,001	0,128 ±0,019	0,060 ±0,019	0,004 ±0,002

ESPIGUETTE

	Avant-côte	Total
m ³	215 482 ±117 636	
m ³ /m ²	0,081 ±0,044	



**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2012 - 2013**



TRAVERS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-76 239 ±98 598	-3 803 ±1 615	2 614 ±6 610	-77 429 ±43 733
m ³ /m ²	-0,021 ±0,010	-0,104 ±0,044	0,007 ±0,016	-0,018 ±0,010

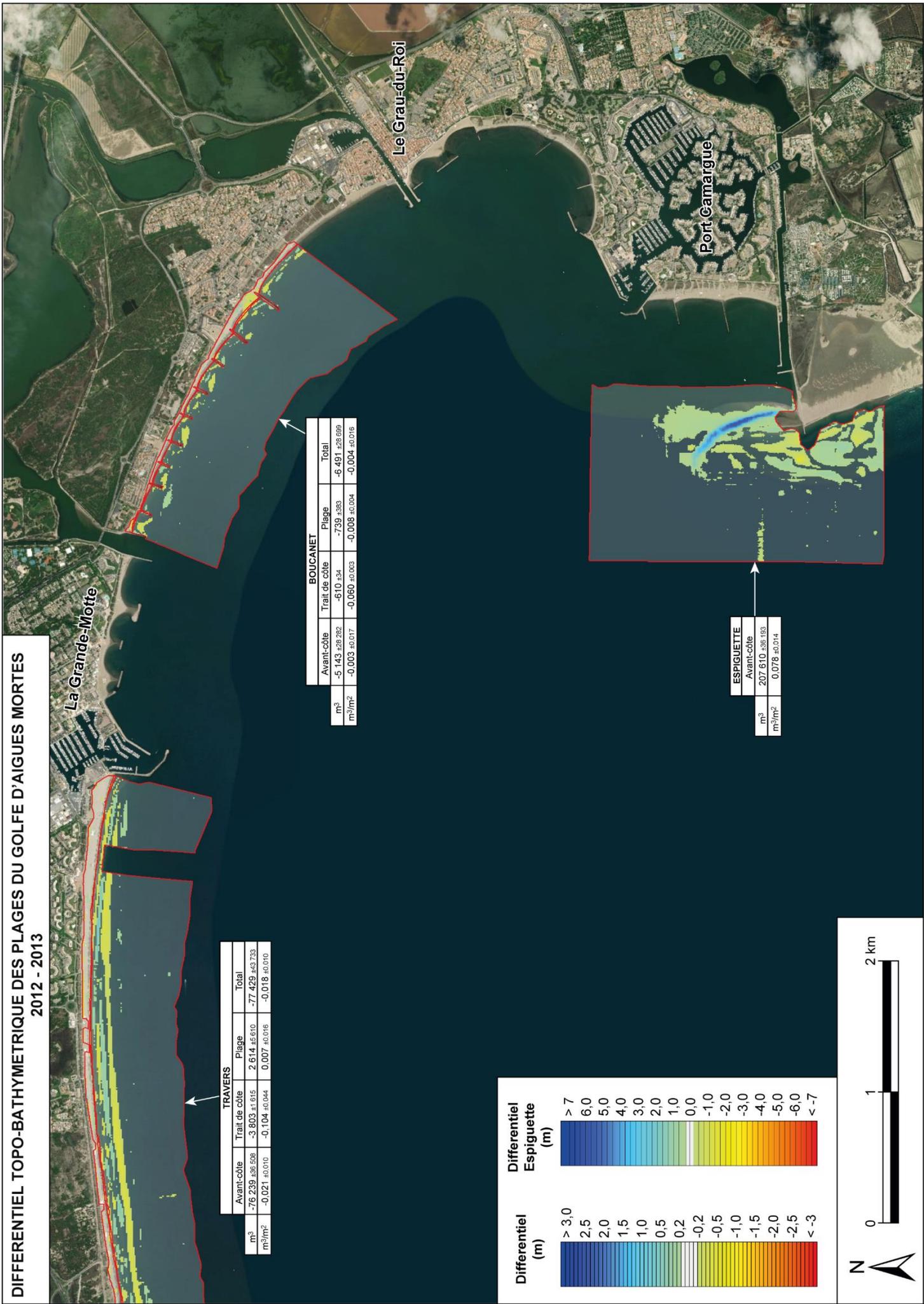
CARNON

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	16 832 ±28 847	-782 ±242	-275 ±46	15 775 ±29 135
m ³ /m ²	0,019 ±0,033	-0,152 ±0,047	-0,003 ±0,001	0,016 ±0,030

PALAVAS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	5 320 ±53 221	-6 894 ±590	-2 688 ±785	-4 262 ±54 576
m ³ /m ²	0,002 ±0,020	-0,312 ±0,027	-0,016 ±0,005	-0,002 ±0,020

**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2012 - 2013**



TRAVERS

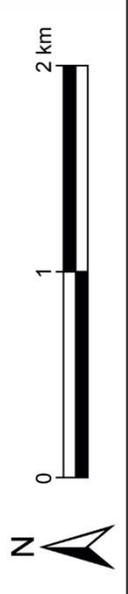
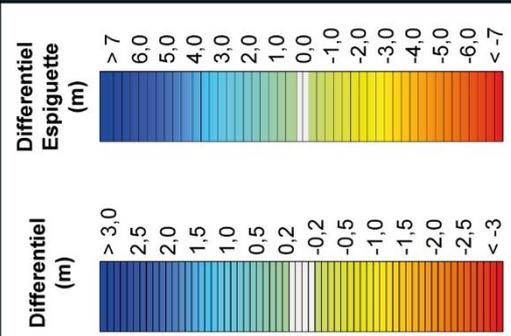
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-76 239 ±36 506	-3 803 ±1 615	2 614 ±5 610	-77 429 ±43 733
m ³ /m ²	-0,021 ±0,010	-0,104 ±0,044	0,007 ±0,016	-0,018 ±0,010

BOUCANET

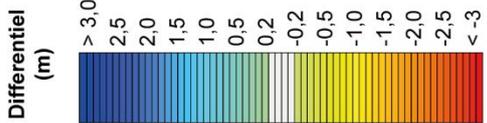
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-5 143 ±28 262	-610 ±34	-739 ±383	-6 491 ±28 669
m ³ /m ²	-0,003 ±0,017	-0,060 ±0,003	-0,008 ±0,004	-0,004 ±0,016

ESPIGUETTE

	Avant-côte	Total
m ³	207 610 ±36 193	207 610 ±36 193
m ³ /m ²	0,078 ±0,014	0,078 ±0,014



**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2013 - 2015**



TRAVERS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-108 315 ±27 672	-1 113 ±447	-19 964 ±3 712	-129 392 ±37 882
m ³ /m ²	-0,047 ±0,012	-0,032 ±0,013	-0,073 ±0,036	-0,047 ±0,014

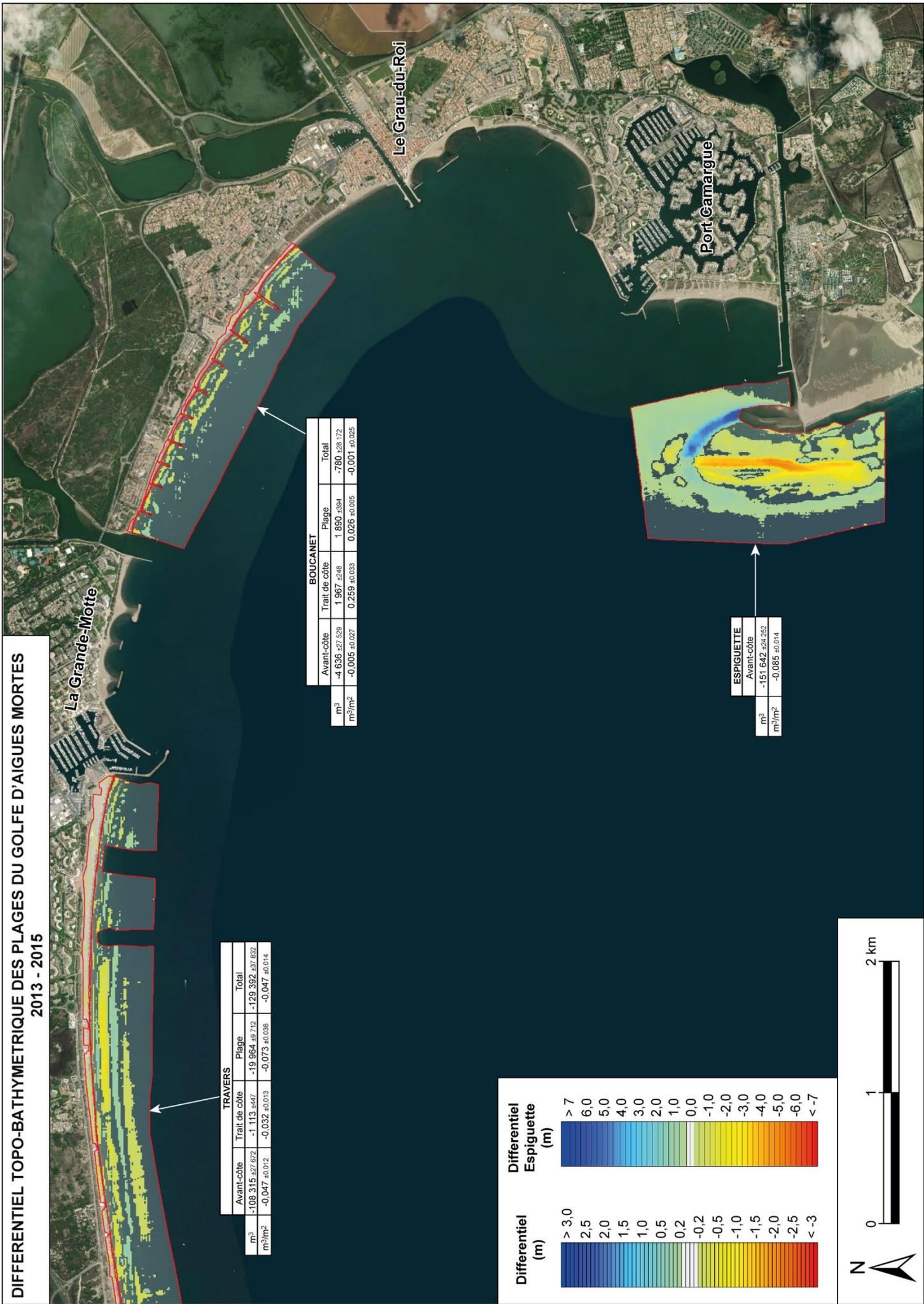
CARNON

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-85 796 ±12 331	533 ±74	1 725 ±1 406	-83 538 ±13 614
m ³ /m ²	-0,152 ±0,022	0,075 ±0,010	0,022 ±0,016	-0,129 ±0,021

PALAVAS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-100 857 ±18 719	5 037 ±122	3 699 ±1 781	-92 121 ±18 719
m ³ /m ²	-0,070 ±0,013	0,349 ±0,008	0,025 ±0,012	-0,057 ±0,013

**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2013 - 2015**



TRAVERS

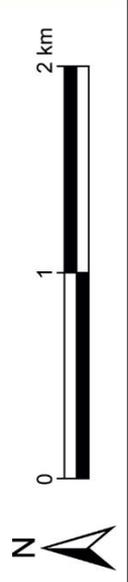
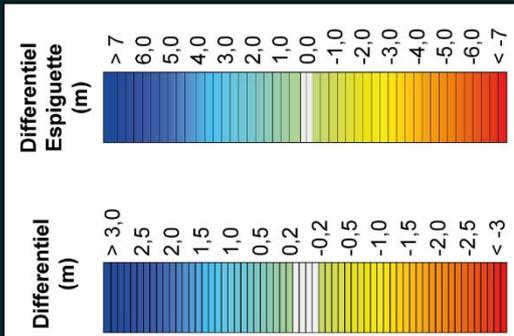
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-108 315 ±27 672	-1 113 ±447	-19 964 ±8 712	-129 392 ±37 832
m ³ /m ²	-0,047 ±0,012	-0,032 ±0,013	-0,073 ±0,036	-0,047 ±0,014

BOUCANET

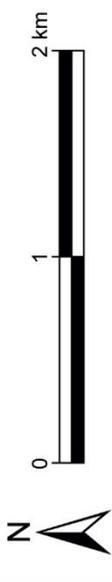
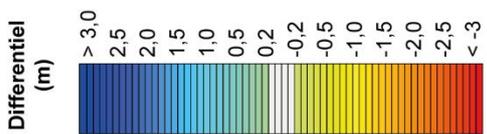
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	-4 636 ±27 529	1 967 ±246	1 890 ±384	-780 ±28 172
m ³ /m ²	-0,005 ±0,027	0,259 ±0,033	0,026 ±0,005	-0,001 ±0,025

ESPIGUETTE

	Avant-côte	Total
m ³	-151 642 ±24 252	-151 642 ±24 252
m ³ /m ²	-0,085 ±0,014	-0,085 ±0,014



**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2015 - 2016**



TRAVERS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	222 622 ±134 576	-2 870 ±790	27 819 ±11 735	247 574 ±147 101
m ³ /m ²	0,093 ±0,056	-0,076 ±0,021	0,115 ±0,048	0,091 ±0,054

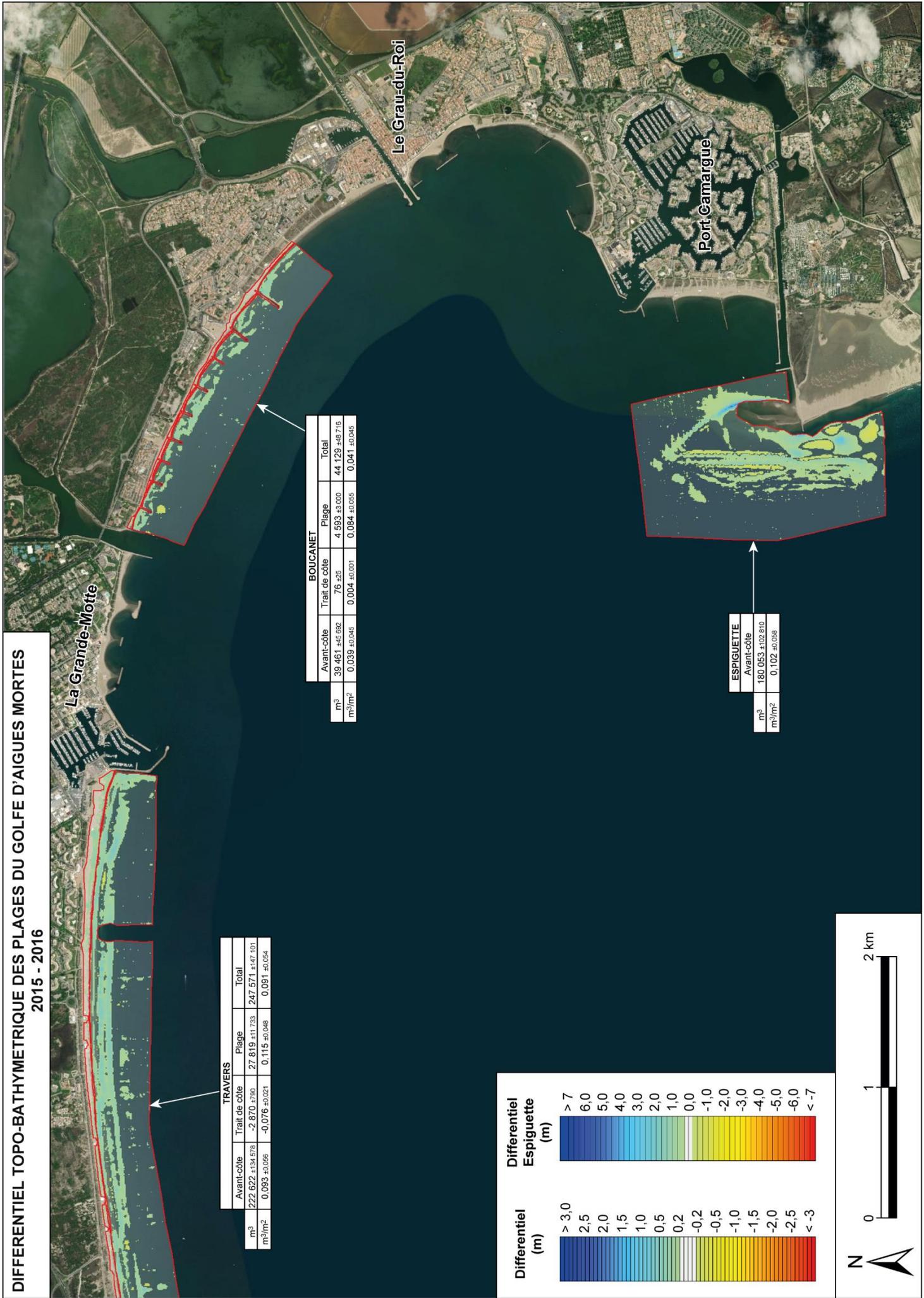
CARNON

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	46 140 ±42 486	-217 ±654	2 967 ±1 898	49 323 ±45 128
m ³ /m ²	0,074 ±0,058	0,014 ±0,042	0,043 ±0,028	0,069 ±0,054

PALAVAS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	74 198 ±50 754	-4 926 ±465	680 ±1 629	69 952 ±52 548
m ³ /m ²	0,053 ±0,036	-0,250 ±0,024	0,005 ±0,012	0,045 ±0,034

**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2015 - 2016**



TRAVERS

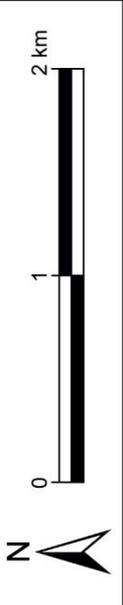
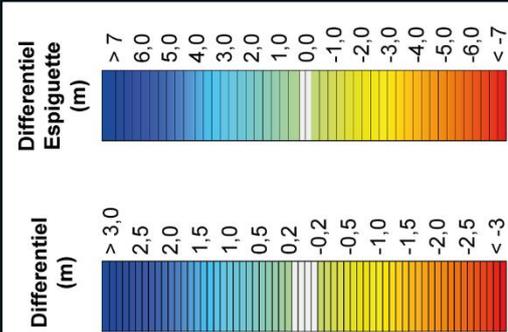
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	222 622 ±134 578	-2 870 ±760	27 819 ±11 733	247 571 ±147 101
m ³ /m ²	0,093 ±0,056	-0,076 ±0,021	0,115 ±0,048	0,091 ±0,054

BOUCANET

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	39 461 ±45 692	76 ±25	4 593 ±3 000	44 129 ±49 716
m ³ /m ²	0,039 ±0,045	0,004 ±0,031	0,084 ±0,055	0,041 ±0,045

ESPIQUETTE

	Avant-côte	Total
m ³	180 053 ±102 810	180 053 ±102 810
m ³ /m ²	0,102 ±0,058	0,102 ±0,058



**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2016 - 2018**

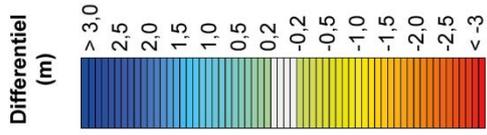


TRAVERS

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	24 183 ±27 848	608 ±691	926 ±3 056	25 717 ±31 595
m ³ /m ²	0,010 ±0,012	0,024 ±0,027	0,004 ±0,013	0,010 ±0,012

CARNON

	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	16 901 ±42 486	-624 ±103	-412 ±777	15 864 ±29 066
m ³ /m ²	0,027 ±0,040	-0,094 ±0,015	-0,006 ±0,011	0,022 ±0,037



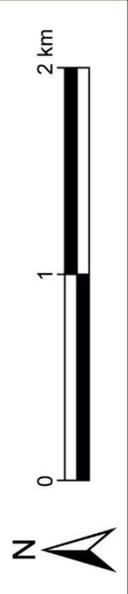
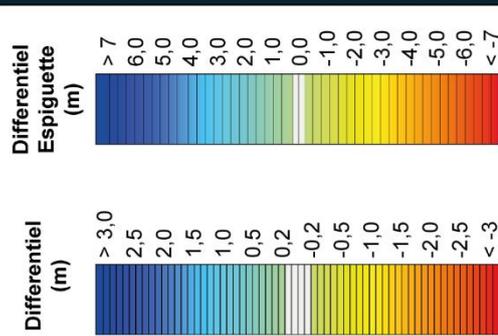
**DIFFERENTIEL TOPO-BATHYMETRIQUE DES PLAGES DU GOLFE D'AIGUES MORTES
2016 - 2018**



TRAVERS				
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	24 183 ±27 648	608 ±691	926 ±3 056	25 717 ±31 595
m ³ /m ²	0.010 ±0.012	0.024 ±0.027	0.004 ±0.013	0.010 ±0.012

BOUCANET				
	Avant-côte	Trait de côte	Plage	Total
m ³	1 353 ±16 423	-804 ±324	-2 594 ±2 277	-2 045 ±19 024
m ³ /m ²	0.001 ±0.016	-0.124 ±0.056	-0.049 ±0.043	-0.002 ±0.018

ESPIGUETTE		
	Avant-côte	Total
m ³	536 204 ±48 306	
m ³ /m ²	0.317 ±0.039	



7. BIBLIOGRAPHIE

- Brasington, J., Rumsby, B.T., Mcvey, R.A., 2000.** Monitoring and modelling morphological change in a braided gravel-bed river using high resolution GPS-based survey. *Earth Surface Processes and Landforms* 25, 973-990.
- EID, 2018.** Site du Petit et du Grand Travers. Avenant 2018 à la convention de coopération entre entités publiques en vue de renforcer la connaissance et l'ingénierie scientifique et technique en matière de conservation, d'aménagement et de gestion des zones côtières d'Occitanie. Rapport, 71p.
- Inizan, L., 2018.** L'érosion côtière dans l'Hérault, exploitation des données topo-bathymétriques de la période 2003-2017. Mémoire de Master 2, Université d'Aix-Marseille, 68p.
- Kulling, B., Sabatier, F., 2015b.** Atlas du Potentiel de transport sédimentaire longitudinal résultant annuel de l'avant-côte du Languedoc-Roussillon. DREAL-LR / CEREGE, 18 p.
- Plaine, J., 2013.** Efficacité et impact d'un rechargement artificiel sur une plage microtidale. Mémoire de Master 2, Université de Caen Basse-Normandie, 60p.
- Sibson, R., 1981.** A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation, Interpolating Multivariate Data. New York: John Wiley & Sons. 21–36.
- Squires, G.L., 1968.** Practical Physics. McGraw-Hill: London.
- Vanroye, C., 2008.** La protection du littoral du golfe d'Aigues-Mortes. X^{ème} Journée Nationales Génie Côtier - Génie Civil, Sophia Antipolis, 14-16 octobre, 303-312.



LMUSCA
CEFREM – UPVD
52 avenue Paul Alduy
66860 Perpignan Cedex 9
Tél : 04 68 66 20 57



DREAL-Occitanie
Division Risques Naturels et Littoral
520 all Henri II de Montmorency
34000 Montpellier