



**ROL – Etude complémentaire sur
l'impact des tempêtes sur le littoral
de la Plaine Orientale de Corse –
Etat des connaissances sur les
impacts des tempêtes sur le littoral**

Rapport final

BRGM/RP-59046-FR

janvier 2011



ROL – Etude complémentaire sur l'impact des tempêtes sur le littoral de la Plaine Orientale de Corse – Etat des connaissances sur les impacts des tempêtes sur le littoral

Rapport final

BRGM/RP-59046-FR
janvier 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2007 LIT A / PSP07CSC17

A. Stepanian et Y. Balouin
Avec la collaboration de
R. Belon et G. Bodéré

Vérificateur :

Nom : De la Torre, Y.

Date : 08/03/11

Approbateur :

Nom : Frissant, N.

Date : 14/03/11

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

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

Mots clés : tempêtes, Plaine Orientale de Corse, levé topo-bathymétrique LIDAR

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

Stépanian, A., Balouin, Y., Belon, R. et Bodéré, G., 2011. ROL – Etude complémentaire sur le littoral de la Plaine Orientale de Corse – Etat des connaissances sur les impacts des tempêtes sur le littoral. Rapport final. Rapport BRGM RP-59058-FR, 137 p., 64 ill., 4 ann..

© BRGM, 2011, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Les tempêtes sont parmi les aléas météorologiques les plus dévastateurs, causes de pertes importantes en biens matériels et vies humaines. Leurs impacts sur les zones littorales participent à l'augmentation des risques liés à la mer. La Plaine Orientale est un cordon littoral sableux particulièrement exposé aux phénomènes de tempêtes. Cette plaine alluviale basse parcourue par un réseau de fleuves côtiers et d'étangs lagunaires est protégée du domaine marin par un complexe dunaire de faible amplitude. Son attrait touristique en a fait une zone où les constructions se développent fortement. L'ensemble de ces éléments renforcent la vulnérabilité de ce secteur face aux tempêtes dont les conséquences, en termes d'érosion côtière et de submersion marine, sont à l'origine de nombreux et coûteux dommages. Une étude pluriannuelle à l'échelle globale de la Plaine Orientale a été donc engagée par le BRGM en partenariat avec l'Office de l'Environnement de la Corse avec la participation financière de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse pour estimer l'exposition de la plaine aux risques côtiers liés aux tempêtes.

Ce rapport présente les résultats de la première phase de cette étude qui concerne l'analyse historique des tempêtes qui ont impactées le littoral de la Plaine Orientale et l'acquisition de données topo-bathymétriques nécessaires à la mise en œuvre des modèles numériques. L'analyse historique a pour objectif d'identifier des scénarios plausibles qui seront utilisées pour contraindre la modélisation des processus hydrodynamiques (en phase 2) lors des tempêtes qui ont des conséquences en termes de submersion marine en particulier. Le levé topo-bathymétrique global de la zone côtière a été réalisé en mars 2010 à l'aide d'un LIDAR bathymétrique. La méthodologie utilisée et les résultats originaux obtenus sont détaillés. Cette base de données de grande précision permettra d'affiner les résultats des modélisations de propagation de la houle en zone côtière et de cartographie des secteurs soumis au phénomène de submersion marine.

Un inventaire des événements a été ainsi réalisé à partir des informations bibliographiques recueillies après consultation des archives départementales et des organismes concernés. Il ressort que les tempêtes qui ont des conséquences importantes sur le littoral et les infrastructures côtières sont relativement rares. En effet, 69 événements ont fait l'objet de publications de presse et ont été recensés depuis 1979. Parmi ceux-ci, les tempêtes de décembre 1979 et de novembre 2008 sont considérées comme les plus importantes et pour lesquelles le plus d'information est disponible. Une analyse des tempêtes historiques par reconstitution des chroniques des houles a permis de préciser les caractéristiques des coups mer qui ont impacté le littoral de la Plaine Orientale entre 1979 et 2009. Ainsi, entre 300 et 400 événements de tempêtes ont été reconnus et les processus hydrodynamiques aux cours des grands événements ont été caractérisés de manière précise. L'analyse des caractéristiques des événements des 3 dernières décennies confirme l'occurrence de deux événements majeurs : les tempêtes du 22 décembre 1979 et celle du 27 et 28 novembre 2008 qui sont proches d'une période de retour de 50 ans. Au vu des

incertitudes pesant sur l'estimation des périodes de retours centennales de la hauteur des vagues extrêmes, en raison de la durée de série de données (30 ans), les événements de référence retenus pour la suite de l'étude sont ces deux tempêtes qui ont occasionné les plus gros dommages sur la côte Est de la Corse.

C'est sur la base de ces deux scénarios que seront développées les modélisations numériques visant à cartographier les secteurs soumis à un risque de submersion marine dans la suite du projet.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Etat des connaissances sur les événements de tempêtes affectant le littoral de la Plaine Orientale de Corse	13
2.1. LES PHENOMENES DE TEMPETES	13
2.1.1. Inventaire des phénomènes extrêmes	13
2.1.2. Conséquences des tempêtes sur les milieux littoraux.....	15
2.2. LES TEMPETES EN MEDITERRANEE OCCIDENTALE.....	18
2.2.1. Généralités	18
2.2.2. Les tempêtes en Corse	21
2.3. INVENTAIRE DES EVENEMENTS	27
2.3.1. Sources des informations bibliographiques	27
2.3.2. Liste des évènements.....	28
2.3.3. Evènements marquants.....	32
2.3.4. Synthèse.....	43
2.4. APPROCHE PAR MODELISATION NUMERIQUE	44
2.4.1. Principe de modélisation	44
2.4.2. Résultats.....	46
2.4.3. Analyse statistique des vagues extrêmes et estimation des périodes de retour	51
2.4.4. Etude des tempêtes principales	57
2.4.5. Synthèse.....	67
2.5. CONCLUSION	68
2.5.1. Inventaire des évènements historiques	68
2.5.2. Analyse des tempêtes historiques par reconstitution des chroniques des houles	69
2.5.3. Évènements majeurs et scénarios de modélisation	70
3. Levé altimétrique à haute résolution par laser aéroporté (LIDAR)	73
3.1. INTRODUCTION	73
3.2. LA TECHNOLOGIE LIDAR.....	74
3.3. CARACTERISTIQUES DU LEVE LIDAR	76

3.3.1. Consultation	76
3.3.2. Date du levé et zone d'étude	76
3.3.3. Livrables et contrôles de qualité du prestataire.....	78
3.4. PRESENTATION DES RESULTATS	79
3.5. CONTROLE DE QUALITE DES PRODUITS LIVRES	84
3.6. EXPLOITATIONS PRELIMINAIRES DES RESULTATS.....	87
3.6.1. Accès à la morphologie de l'avant-côte	87
3.6.2. Effets des ouvrages de protection et aménagements portuaires.....	93
3.6.3. Conclusion	94
4. Conclusion.....	95
5. Bibliographie	97

Liste des illustrations

Illustration 1 : Processus physiques en action lors d'une tempête : agitation et surélévation du plan d'eau.....	16
Illustration 2 : Tableau récapitulatif des différents types de tempêtes en Méditerranée occidentale et dans le Golfe du Lion (Tirard, 2010). Les épisodes cèvenoles épargnent la Corse ; ils sont cités ici au titre de leur caractère extrême particulier du contexte méditerranéen.....	19
Illustration 3 : Situation météorologique du 07 novembre 1982 (source : www.wetterzentrale.de).	20
Illustration 4 : Situation météorologique du 26/12/2008 (source : www.wetterzentrale.de).	21
Illustration 5 : Niveaux moyens de la mer à Bastia (marée moyenne, marnage de 0,2 m ; Données SHOM). A Bastia, le niveau 0 m NGF/IGN78 se situe 0,4 m au dessus du niveau 0 m CM (Cote Marine), définit comme le niveau des plus basses mers.	21
Illustration 6 : Zones d'observation des houles des côtes corses ; roses des houles pour la côte orientale Corse (SOGREAH et BRGM, 1987).	24
Illustration 7 : Niveaux extrêmes de la mer en fonction de la période de retour (Ministère des Transports, 1987)	26
Illustration 8 : Sources des informations.....	28
Illustration 9 : Liste des évènements de tempête identifiés à partir d'inventaire bibliographique. Les lignes en grisé concernent les évènements qui ont particulièrement touché la Plaine Orientale de Corse avec des vents de secteur Est et des dégâts importants.	32

Illustration 10 : Propagation de la dépression lors de la tempête du 22 décembre 1979 (source : www.wetterzentrale.de). En ligne blanches les isobares au niveau de la mer (Sea Level Pressure en hPa).....	33
Illustration 11 : Digue du port de commerce de Batia pendant la tempête du 22 décembre 1979 (Corse Matin, 23/12/1979). a) On note la destruction de la partie centrale et les surverses occasionnées lors de l'impact des houles déferlantes sur la digue. b) Vue vers le Sud et le vieux port de Bastia.....	34
Illustration 12 : Bateaux coulés dans le vieux-port de Bastia lors de la tempête du 22 décembre 1979 (Corse Matin, 23/12/1979).....	35
Illustration 13 : Situation synoptique du 23 octobre au 1 ^{er} novembre 2007 (source : www.wetterzentrale.de). En ligne blanches les isobares au niveau de la mer (Sea Level Pressure en hPa), l'échelle de couleur représente l'altitude du géopotential 500 hPa (en décimètre).....	37
Illustration 14 : Dégâts sur le littoral d'Aléria, le 26 octobre 2007 (France 3 Corse, journal régional, Corsica prima, du 26/10/2007, captures d'écran).....	38
Illustration 15 : Caractéristiques, secteur de provenance et vitesses en km/h des vents mesurés aux niveau des sémaphores sur la côte orientale de la Corse les 27 et 28 novembre 2008 (en bleu les vents moyens, en rouge les valeurs en rafales) – Source : Météo-France, 2008.....	39
Illustration 16 : Hauteurs maximales des vagues en mètre observées aux sémaphores de l'île-Rousse, du Cap-Corse, du Cap Sagro et d'Alistro du 27/11/2008 à 19h00 locales au 30/11/2008 à 22h00 locales (Source : Météo-France,2008).....	40
Illustration 17 : Propagation de la dépression lors de la tempête des 27 et 28 novembre 2008 (source : www.wetterzentrale.de). En ligne blanches les isobares au niveau de la mer (Sea Level Pressure en hPa).....	41
Illustration 18 : Franchissements de paquets de mer dans le Vieux-Port de Bastia (source inconnue, le 28/11/2008).	42
<i>Illustration 19 : Franchissements de paquets de mer au dessus de la digue de Solenzara (Source : capitainerie du port de Solenzara, le 28/11/2008).</i>	<i>42</i>
Illustration 20 : Endommagement par les vagues déferlantes sur la terrasse de l'hôtel Pineto, Lido de la Marana (BRGM, décembre 2008).....	43
Illustration 21 : Méthodologie mise en œuvre pour la reconstitution des chroniques de houle entre 1979 et 2009. Les simulations concernent actuellement la reconstitution de la houle au large. Elles vont se poursuivre à la côte lors de l'obtention des données du lidar bathymétrique (Phase 2 du présent projet).....	46
Illustration 22 : Coordonnées des points virtuels de reconstitution des chronologies de houle.....	46
Illustration 23 : Implantation des bouées virtuelles au large de la Plaine Orientale de Corse (fond GoogleEarth).....	47
Illustration 24 : Série chronologique et statistiques des houles au niveau du point Plaine Orientale 1 (PO1).....	48
Illustration 25 : Série chronologique et statistiques des houles au niveau du point Plaine Orientale 2 (PO2).....	49
Illustration 26 : Série chronologique et statistiques des houles au niveau du point Plaine Orientale 3 (PO3).....	50

Illustration 27 : Statistiques de la hauteur significative de la houle aux trois points d'extraction	51
Illustration 28 : Principe de l'algorithme utilisé pour l'analyse des événements extrêmes.....	52
Illustration 29 : Valeurs de hauteurs significatives (H_s) et intervalles de confiance (IC) associés pour différentes périodes de retour.	54
Illustration 30 : Hauteur significative en fonction de la période de retour. La loi sélectionnée est une loi GPD.	54
Illustration 31 : Valeurs de hauteurs significatives (H_s) et intervalles de confiance (IC) associés pour différentes périodes de retour pour les houles du secteur N-NE	55
Illustration 32 : Valeurs de hauteurs significatives (H_s) et intervalles de confiance (IC) associés pour différentes périodes de retour pour les houles du secteur S-SE.	55
Illustration 33 : Houles de secteur N-NE : Hauteur significative en fonction de la période de retour. La loi sélectionnée est une loi GPD.	56
Illustration 34 : Houles de secteur S-SE : Hauteur significative en fonction de la période de retour. La loi sélectionnée est une loi GPD.	56
Illustration 35 : Evènements de tempêtes reconstitués au point Plaine Orientale 1 - PO1.....	60
Illustration 36 : Evènements de tempêtes reconstitués au point Plaine Orientale 2 - PO2.....	61
Illustration 37 : Evènements de tempêtes reconstitués au point Plaine Orientale 3 – PO3.....	62
Illustration 38 : Diagramme de relation $H_{s,max}/T_{moy}$ au niveau du point PO2	63
Illustration 39 : Diagramme de relation Durée / $H_{s,max}$ au niveau du point PO2	64
Illustration 40 : Répartition saisonnière des évènements de tempêtes sur la Plaine Orientale (données 1979-2009 : point PO2)	65
Illustration 41 : Evolution de la durée annuelle totale et du nombre d'évènements de tempête au point PO2 (données 1979-2009).	66
Illustration 42 : Evolution des conditions d'agitation au large lors de la tempête du 21 au 24 décembre 1979 (point PO2). a) H_s : Hauteur significative de la houle (m) ; b) T_{m0} : Période de la houle (s) ; c) Dir : Direction de provenance de la houle (°).....	71
Illustration 43 : Evolution des conditions d'agitation au large du 27 au 30 novembre 1979 (point PO2). a) H_s : Hauteur significative de la houle (m) ; b) T_{m0} : Période de la houle (s) ; c) Dir : Direction de provenance de la houle (°).	72
Illustration 44 : Schémas de fonctionnement de la mesure LIDAR.....	75
Illustration 45 : données et produits issus d'un levé LIDAR aéroporté.....	75
Illustration 46 : Emprise du levé LIDAR sur la Plaine Orientale de Corse.	76
Illustration 47 : Vues de l'avion et de l'installation du matériel à bord.....	77
Illustration 48 : Equipe de Blom Aerofilm et représentant du BRGM lors de la campagne de mesure.....	78
Illustration 49 : Caractéristiques des jeux de données demandés.....	78
Illustration 50 : Résultats des comparaisons mesures LIDAR / mesures classiques.	79

Illustration 51 : Visualisation des résultats préliminaires sur les sites de la Marana (à gauche) et au niveau de l'embouchure du Golo (à droite), fond GoogleEarth.	80
Illustration 52 : Visualisation des résultats préliminaires du Tavignano au Grau de l'étang de Diane (à gauche) et au niveau du port de Solenzara (à droite).	81
Illustration 53 : Visualisation en trois dimensions des résultats préliminaires au niveau du Grau de l'étang de Diane.	82
Illustration 54 : Visualisation en trois dimensions des résultats préliminaires au niveau de Bravone.	82
Illustration 55 : Visualisation en trois dimensions des résultats préliminaires au niveau du port de Solenzara.	83
Illustration 56 : Exemple de drapage de l'orthophoto (© IGN 2007) sur le modèle numérique de surface (en haut) et d'élévation (en bas) au niveau de Solenzara.	84
Illustration 57 : Corrélation entre les données mesurées par GPS et les données LIDAR.	85
Illustration 58 : Comparaison des données acquises lors du levé LIDAR et de données GPS au niveau de la chicane sur le Lido de la Marana.	86
Illustration 59 : Morphologies de barres d'avant-côte parallèles entre le Golo et Fium'Alto ; coupe au niveau de Castellare-di-Casinca.	88
Illustration 60 : Morphologies de barres d'avant-côte parallèle (barre interne) et en mega-croissants (barre externe) au niveau du Lido de la Marana ; coupe au niveau de la chicane de la D107.	89
Illustration 61 : Morphologies de barres d'avant-côte en croissants irréguliers au niveau de l'Etang de Diane (Aleria).	90
Illustration 62 : Morphologie du delta de l'embouchure du Tavignano. On note la présence de 5 barres formant le delta qui s'étend à près de 1.5 km en mer.	91
Illustration 63 : Retour chaotique des fonds au niveau de Alba Serena. La densité du levé permet de caractériser la présence de rochers sur les petits-fonds et la présence de l'herbier à posidonies.	92
Illustration 64 : Bathymétrie dans le secteur du port de Taverna. On note l'absence de plage émergée et de barre d'avant-côte dans la zone en aval-transit du port.	93

Liste des annexes

Annexe 1 Revue de presse, archives photographiques, archives vidéos.	101
Annexe 2 Inventaire des phénomènes de tempêtes sur la côte orientale de la Corse.	121
Annexe 3 Statistiques des paramètres hydrodynamiques et lors des tempêtes reconstituées par simulation numérique.	129
Annexe 4 Report of survey – BLOM Aerofilms.	137

1. Introduction

La Corse est sujette à une régression de son littoral due à des phénomènes naturels ou anthropiques. Les études réalisées en 1996 dans le cadre de la convention OEC-BRGM concernant l'évolution historique du trait de côte de la Corse, ont permis de dresser un état des lieux du littoral et de définir un programme d'observation pour fournir les données nécessaires à la compréhension et à l'identification des évolutions observées et des remèdes possibles.

Depuis 1999, ce programme se décline en un **Réseau d'Observation du Littoral de la Corse** qui s'étend à des sites témoins représentatifs des évolutions régionales naturelles, à des sites à évolutions critiques ponctuelles et à des sites économiquement sensibles à des impacts d'aménagements.

Les actions de ce Réseau d'Observation ont permis de mettre en place un outil de suivi des morphologies littorales et de leur évolution, de développer des outils d'information et de gestion des séries de données indispensables à une meilleure compréhension des phénomènes. Les acquisitions de données réalisées alimentent des bases et systèmes géographiques qui demeurent nécessaires au développement d'outils de prévision de l'évolution morphologique du littoral.

Deux grands processus sont responsables de l'évolution du littoral : la dynamique globale, faisant intervenir le climat de houle et les courants induits par les vagues et par la circulation générale ; les phénomènes événementiels (tempêtes, surcotes). Ce projet propose de faire une étude focalisée sur ces événements extrêmes dont l'impact peut entraîner des modifications irréversibles du trait de côte et du système sédimentaire littoral.

Les phénomènes météo-marins ayant un fort impact sur l'évolution du système côtier sont les tempêtes et les surcotes. Ces phénomènes mettent en péril de vastes zones de la région méditerranéenne européenne, malgré le développement de mesures pour protéger les littoraux de l'érosion et de la submersion. La compréhension des processus et de l'impact des phénomènes météo-marins événementiels demeure très limitée. Face à ces risques littoraux, on observe une lacune des connaissances détaillées sur la dynamique littorale en relation avec les conditions météo-marines et un manque de données systématique sur l'intensité et les effets de tels phénomènes.

Dans ce contexte, L'Office de l'Environnement de la Corse, L'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse et le BRGM ont engagé une étude complémentaire sur le rôle des tempêtes sur les évolutions du littoral de la Plaine Orientale de Corse.

La première phase de l'étude, objet du présent rapport, est une phase préalable à la simulation des phénomènes affectant le littoral Est Corse. Il s'agissait d'une part d'analyser les événements historiques et leurs impacts afin d'obtenir les scénarios des

événements de référence ; et d'autre part de mettre en œuvre des méthodologies afin d'obtenir un levé topo-bathymétrique à haute résolution nécessaire à la phase de simulation numérique des tempêtes.

2. Etat des connaissances sur les événements de tempêtes affectant le littoral de la Plaine Orientale de Corse

Ce chapitre concerne une analyse des tempêtes majeures ayant affecté la côte orientale de la Corse, de leurs impacts sur le littoral et de leurs conséquences sur les risques côtiers. Elle s'appuie sur une description préalable des phénomènes et des processus hydrodynamiques lors de ces événements en insistant sur les particularités du contexte méditerranéen. Puis, un inventaire des phénomènes à partir des informations bibliographiques est réalisé. Enfin, la reconstitution par simulation numérique des séries chronologiques des houles au large de la plaine entre 1979 et 2009 permet d'identifier et de caractériser la fréquence, l'intensité, de ces événements. L'ensemble de ces informations permet de déterminer les caractéristiques des événements qui seront choisis dans la suite de l'étude comme événements de référence » pour les simulations numériques de l'impact des houles de tempête sur le littoral de la Plaine Orientale (Phase 2).

2.1. LES PHENOMENES DE TEMPETES

Les tempêtes sont parmi les aléas météorologiques les plus dévastateurs, causes de pertes importantes en biens matériels mais également en vies humaines. Bien que ces phénomènes de vents violents soient sensiblement moins dévastateurs en région tempérée qu'en zone intertropicale, ils n'en demeurent pas moins un risque naturel majeur : chaque année les dommages causés par les tempêtes en Europe s'élèvent à plusieurs dizaines de morts et des centaines de millions d'euros de dégâts (MEDD, 2002). L'ampleur des dégâts s'explique d'une part par la superficie couverte par le phénomène et son intensité, et, d'autre part, par des difficultés pour la prévision de son intensité et pour l'information aux populations. Leurs impacts sur les zones littorales participent à l'augmentation des risques liés à la mer, tel que l'érosion sur les côtes sableuses et rocheuses, et les submersions marines des zones basses.

2.1.1. Inventaire des phénomènes extrêmes

Depuis le début des années 2000, le territoire métropolitain a été touché à plusieurs reprises par des événements de tempêtes catastrophiques en termes de dégâts humains et/ou matériels :

- ainsi, fin 1999, deux tempêtes tropicales, Lothar et Martin, traversent l'Atlantique et balaient successivement la France, sur une ligne Brest-Strasbourg le 26 décembre (Lothar), et Nantes-Lyon les 27 et 28 décembre (Martin). Les vents dépassent 200 km/h (maximum mesuré en rafales : 259 km/h). Les dégâts sont énormes et se chiffrent à 6,9 milliards d'euros. L'impact sur le littoral atlantique et sur celui de la Manche est relativement limité du fait que le passage des dépressions n'a pas coïncidé avec la marée haute. Une submersion marine critique s'est cependant

produite au niveau de la centrale nucléaire du Blayais sur l'estuaire de la Gironde, qui a dû être stoppée en urgence, en raison du franchissement des digues de protection par les vagues (Salomon, 2002). En Corse, les dégâts sont essentiellement concentrés sur la côte occidentale. ;

- le 10 mars 2008, la tempête Johanna atteint le Nord-Ouest de la France (Pays de la Loire, Bretagne, Basse-Normandie). Les vitesses maximales de vents sont de 156 km/h à la Pointe du Raz. Les dégâts sont importants sur les zones littorales avec la submersion marine dans Morlaix, en raison de la conjonction de la tempête avec une marée de fort coefficient ;
- la tempête, baptisée « Klaus » a balayé le Sud-Ouest de la France le 23 et 24 janvier 2009, en générant des vents qui ont dépassé 170 km/h sur la quasi-totalité du territoire aquitain. Les dégâts matériels importants concernent essentiellement les chablis dans les forêts landaises. Le littoral de la Côte Aquitaine n'a pas été épargné, avec des reculs importants du trait de côte, une érosion des falaises des cordons dunaires, des amaigrissements spectaculaires des niveaux des plages, des transports éoliens importants en arrière des dunes, et un évènement de submersion marine au fond du Bassin d'Arcachon (Favennec *et al.*, 2009) ;
- le 28 février 2010, la tempête Xynthia ravage la côte atlantique depuis les Landes jusqu'au Sud de la Bretagne. Cette tempête est due, selon Météo France, à une dépression provenant des basses latitudes au dessus de l'Atlantique qui s'est intensifiée progressivement lors de son passage au niveau de l'île de Madère puis des côtes portugaises. Elle a atteint les côtes françaises dans la nuit du 27 au 28 février avant de poursuivre sa route en direction du Nord-Est. Les départements de Charente-Maritime, Vendée et Loire Atlantique sont particulièrement touchés par des vents violents, qui coïncident avec une marée haute dans une période de très forts coefficient de marée (102). Les dégâts matériels sont très importants, mais surtout le coût humain est de 53 victimes, pour la plupart en raison de l'inondation de zones urbanisées située derrière suite à la rupture de digues à la mer (Pedreros *et al.*, 2010).

Ces évènements exceptionnels en termes de dommages marquent la mémoire collective, et un inventaire bibliographique de ces phénomènes montre que la fréquence d'évènements intenses est ainsi significative. Pourtant, Bessemoulin (2002) déplore qu'un tel inventaire ne soit pas systématiquement réalisé à l'échelon national, car il constitue une précieuse source de renseignements sur les risques associés, leur prévention et leur mode de gestion.

Il confirme cependant qu'à partir des informations historiques sur les événements ayant le plus marqué la mémoire collective, que les épisodes de vent fort et tempêtes présentent une forte variabilité interannuelle et qu'ils ne montrent pas de tendance significative, à l'augmentation ou diminution, depuis 1950.

2.1.2. Conséquences des tempêtes sur les milieux littoraux

a) *Processus physiques*

Les processus physiques mis en jeu lors des phénomènes de tempêtes sont liés principalement à l'action de la pression atmosphérique et du vent sur le plan d'eau (cf. Illustration 1) :

- la chute de la pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau plan d'eau. C'est le phénomène de baromètre inverse. Une diminution de 1hPa équivaut approximativement à une élévation de 1 cm du plan d'eau ;
- le vent a un double effet sur le plan d'eau :
 - o il est à l'origine de l'agitation du plan d'eau et de la formation des vagues dont les caractéristiques, hauteur, période, secteur de provenance, sont directement liées à celles du vent et au fetch¹ du bassin maritime ;
 - o il exerce une contrainte à la surface de l'eau en générant une modification du niveau du plan d'eau statique (surcote ou décote) et des courants ;
- les vagues, générées au large par le vent, se propagent vers la côte et déferlent. Elles transfèrent alors leur énergie sur la colonne d'eau, ce qui provoque une surélévation moyenne du niveau de la mer (le « *wave set-up* », ou *set-up*, ou surcote liée aux vagues) pouvant s'élever à plusieurs dizaines de centimètres.

¹ Fetch : distance en mer ou sur un plan d'eau au-dessus de laquelle souffle un vent donné sans rencontrer d'obstacle.

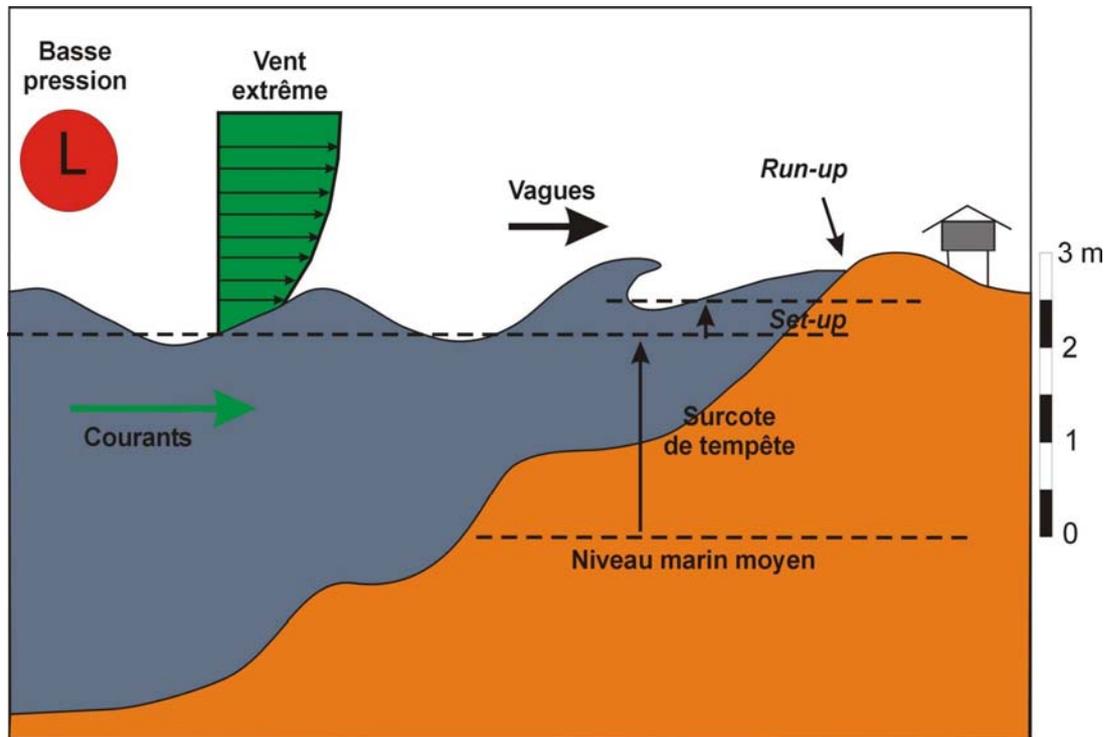


Illustration 1 : Processus physiques en action lors d'une tempête : agitation et surélévation du plan d'eau

Le phénomène de « surcote atmosphérique » ou « surcote de tempête » est l'addition de l'effet baromètre inverse et de l'élévation du niveau du plan d'eau sous l'effet du vent. Ainsi, lors d'une tempête, le niveau moyen de la mer résulte de l'addition de la surcote atmosphérique et du *set-up*. Le niveau maximal atteint par la mer est défini en tenant compte du « jet-de-rive » (*swash*). On appelle *run-up*, l'altitude maximale atteinte par le jet-de-rive sur la côte.

b) Aléas et risques côtiers liés aux tempêtes

Les risques côtiers associés aux phénomènes de tempêtes sont :

- la submersion marine ;
- l'érosion et le recul du trait de côte.

• Submersion marine

La submersion marine est définie comme une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques sévères (MEEDAT, 1997). Les submersions envahissent généralement les terrains situés en dessous du niveau des plus hautes mers mais atteignent aussi parfois des altitudes

supérieures si des projections d'eaux marines franchissent des ouvrages de protection et/ou la crête des cordons littoraux.

Elles peuvent se produire lorsqu'il y a :

- rupture d'un cordon sédimentaire (plage, dunes, cordon de galets) suite à une forte érosion ;
- débordement ou rupture de digues et d'ouvrages de protection ;
- franchissements exceptionnels de ces ouvrages par des « paquets de mer ».

Les franchissements des ouvrages par les paquets de mer peuvent s'accompagner sur les plages à galets de projections de volumes très importants de galets ayant un fort impact destructif. C'est un cas qui se rencontre fréquemment sur les côtes à falaises de craie de Normandie, où une plage de galets borde le pied des falaises, comme à Dieppe (Costa, 1997), mais également sur la Côte d'Azur le long de la plage de galets de Nice, par exemple lors de la tempête du 4 mai 2010.

• **Recul du trait de côte**

Le recul du trait de côte est le déplacement vers l'intérieur des terres de la limite entre le domaine marin et le domaine continental (MEEDAT, 1997). C'est la conséquence d'une perte de matériaux sous l'effet de l'érosion marine, combinée parfois à des actions continentales (barrages, prélèvements de sédiments, ...). Elle englobe à la fois l'érosion naturelle induite par les forces marines et l'érosion générée ou accélérée par l'homme (surfréquentation des cordons dunaires, extraction de matériaux, ouvrages côtiers...).

Sur les littoraux sableux, lors de tempêtes, la surcote globale du niveau du plan entraîne la surélévation du niveau d'impact des vagues déferlantes. Leur action érosive est alors à l'origine de la création de falaises dans le cordon dunaire, voire de brèches sur des secteurs déjà fragilisés, et de sape des fondations d'ouvrages côtiers (digues longitudinales, enrochements, etc...).

c) Typologie des dommages

Les dommages aux biens liés à l'aléa « tempête » sur le domaine littoral sont complexes et diversifiés.

Pedreras *et al.* (2010) synthétisent les dommages subis sur le littoral atlantique lors de la tempête Xynthia (28 février 2010). Les observations réalisées quelques jours après le passage de la tempête montrent clairement les effets conjugués des aléas submersion et érosion, l'érosion pouvant générer les conditions déclenchant le processus de submersion, en particulier sur les milieux dunaires. Les dégâts observés sont ainsi de plusieurs types :

- dégâts sur les terres agricoles : des masses importantes des sables ont été transportées vers l'intérieur des terres endommageant des terres cultivables. Les effets du sel apportés par les eaux marines sont également néfastes sur ces milieux ;
- endommagement des digues par altération de leur couche superficielle, attaque en pied, destruction de l'enrobé de la route, création de « renards hydrauliques »² ;
- endommagements d'ouvrages côtiers : front de mer, embarcadère, structures portuaires ;
- brèches dans les dunes, localisées essentiellement au niveau des zones d'accès à la plage ;
- dégâts sur les biens immobiliers : destruction du bâti, directement sous l'action mécanique des vagues déferlantes, ou par affouillement des fondations ;
- dégâts sur les biens mobiliers au niveau des maisons envahies par les eaux marines (inondations, corrosion, etc...).

Les dommages aux personnes associés aux phénomènes de tempêtes en milieu littoral sont également très divers :

- personnes emportées par des fortes vagues (3 victimes sur la côte occidentale de la Corse durant l'été 2010) ;
- personnes bloquées dans les maisons inondées (47 victimes lors de Xynthia) ;
- personnes bloquées dans des voitures dans les zones basses inondées.

2.2. LES TEMPETES EN MEDITERRANEE OCCIDENTALE

2.2.1. Généralités

Les tempêtes sont généralement définies en météorologie comme des événements avec des vents de vitesse supérieure à 10 Beaufort, soit au minimum à 25 m/s (90 km/h ; 48,6 nœuds).

En Méditerranée occidentale, la comparaison des vitesses normales entre 1951 et 1980 pour les différents points du littoral français, montre qu'au niveau du Cap Pertusato, au Sud de la Corse, cette classe d'évènements (vents > 90 km/h)

² Renard hydraulique : érosion interne du sol, créant progressivement une galerie à travers une digue par concentration des écoulements

représente 10% du temps, soit l'équivalent de la fréquence au Cap de la Hague, et la moitié de celle mesurée à Ouessant (Tabeaud, 1995).

Les tempêtes résultent ainsi soit de situations barométriques d'échelle zonale, c'est-à-dire résultant de la disposition et de la circulation des grandes masses d'air sur l'hémisphère nord, soit de situations plus locales en relation avec la formation de cellules orageuses formées par une forte convection thermique sur la mer. Les milieux insulaires comme la Corse, sont d'autant plus soumis à ces phénomènes convectifs locaux.

La Méditerranée occidentale est ainsi considérée comme un lieu de cyclogenèse active, ce qui explique, en partie, l'occurrence des tempêtes sur le littoral corse. Les tempêtes y sont plus fréquentes en saison hivernale, d'octobre à avril, en raison de la disposition des champs de pression, et en particulier la faiblesse de l'influence de l'anticyclone centré sur les Açores. Elles résultent également de conditions aérologiques typiques qui déterminent la direction des vents et en conséquence celle de la houle.

De manière très schématique, on distingue en Méditerranée et dans le Golfe du Lion, en particulier, deux différents types de tempêtes auxquels s'ajoutent les épisodes cévenols sur le golfe du Lion (cf. Illustration 2) :

	Vents	Houle	Exemples	Caractéristiques
Tempêtes liées à des fronts horizontaux	Sud-Est	Sud-Est	Novembre 1982 Décembre 1997	Dépression centrée sur le Golfe de Gascogne couplée à un anticyclone en Europe centrale
Tempêtes liées à des fronts verticaux	Nord-Est	Est	Décembre 2008	Système dépressionnaire sur les Baléares Vaste anticyclone sur la Sibérie
	Est à Sud-Est	Sud-Sud-Est	Novembre 1999	Dépression sur les Baléares couplée à un anticyclone centré sur l'Irlande
Tempêtes liées à des épisodes cévenols	Sud à Sud-Est	Secteur Sud à Sud-Est	Décembre 2003 Octobre 2009	Dépression centrée sur l'Atlantique Flux de Sud accompagné de fortes pluies

Illustration 2 : Tableau récapitulatif des différents types de tempêtes en Méditerranée occidentale et dans le Golfe du Lion (Tirard, 2010). Les épisodes cévenols épargnent la Corse ; ils sont cités ici au titre de leur caractère extrême particulier du contexte méditerranéen.

a) Les tempêtes de Sud-Est

Ce type de tempête associe le plus généralement, de hautes pressions sur la Scandinavie et les Balkans dirigeant vers l'Italie un air froid continental et la venue en Méditerranée occidentale d'une perturbation ayant traversé la péninsule ibérique (Tabeaud, 1995).

On peut citer comme exemple les tempêtes du 06 au 11 novembre 1982 et du 16 au 18 décembre 1997 qui ont balayé la région du Languedoc-Roussillon et qui firent de nombreux dégâts. Ces deux tempêtes marines, les plus fortes et destructrices de ces 50 dernières années sur le littoral du Languedoc-Roussillon, résultent en effet d'une forte dépression centrée entre le Golfe de Gascogne et les îles britanniques associée à un anticyclone en Europe centrale (Illustration 3). Cette géographie barométrique est

associée à un fort gradient zonal et à une circulation atmosphérique rapide de secteur Sud sur le pourtour méditerranéen entraînant des vents et une houle de secteur Sud-Est (Ullmann, 2008).

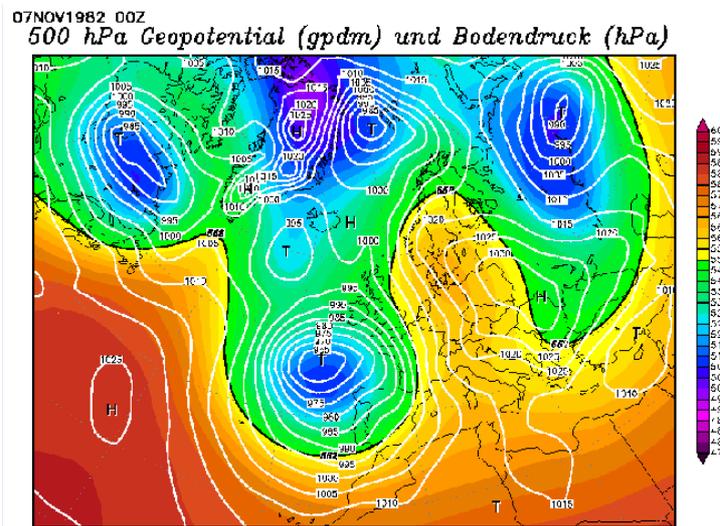


Illustration 3 : Situation météorologique du 07 novembre 1982 (source : www.wetterzentrale.de).

En Corse, la tempête de novembre 1982 a entraîné, par le déplacement du front de pluies d'Ouest en Est, de graves inondations sur la région montagneuse centrale et la transformation de la rivière Solenzara en un torrent de boue qui a dévasté le camping et le port de plaisance de Solenzara. Des dégâts importants dus aux vents (arbres arrachés) ont été constatés sur la côte orientale.

b) Les tempêtes d'Est

Ce type de tempête associe le plus généralement un système dépressionnaire centré sur les Baléares à un anticyclone centré sur le Nord de l'Europe (Cf. Illustration 4).

Ce type de conditions météorologiques est favorable aux tempêtes d'Est qui affectent principalement les rivages orientaux d'orientation Nord-Sud, comme la Plaine Orientale. On peut citer comme exemples la tempête des 27 et 28 novembre 2008 sur la côte orientale de Corse, ainsi que, un mois plus tard, celle des 26, 27 et 28 décembre 2008 qui a affecté particulièrement le département de l'Aude et des Pyrénées Orientales.

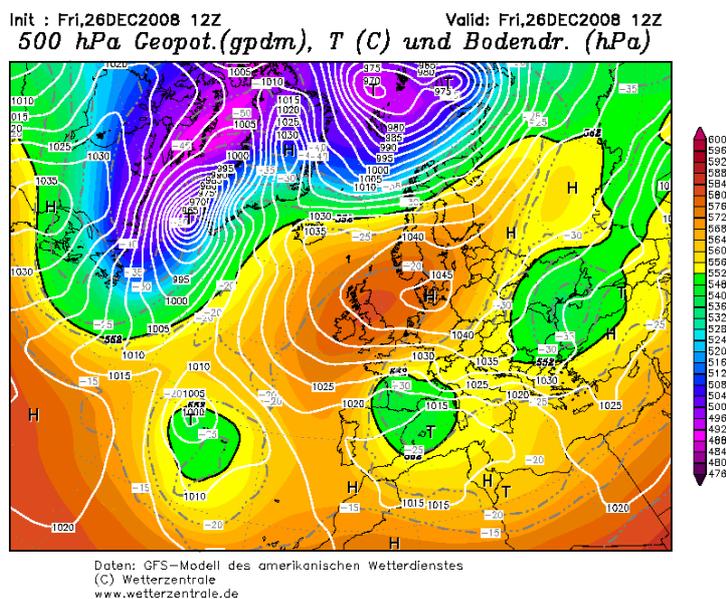


Illustration 4 : Situation météorologique du 26/12/2008 (source : www.wetterzentrale.de).

2.2.2. Les tempêtes en Corse

La position de la Corse en Méditerranée occidentale l'expose à une grande diversité de situations de « vents forts » en raison du contexte météorologique régional mais aussi de ces caractéristiques physio-géographiques insulaires. Ces mêmes caractéristiques modulent significativement les conséquences des tempêtes sur les zones littorales en termes de processus, aléas et dommages.

a) Cadre climatique et hydrodynamique du littoral de la Plaine Orientale de Corse

- Marée

En Corse, la marée est caractérisée par un régime de type semi-diurne à inégalité diurne avec un marnage microtidal dont l'amplitude maximale en vive-eau ne dépasse pas 0,4 m. L'illustration 5 montre les niveaux moyens de marée à Bastia (d'après le SHOM).

	Pleine Mer	Niveau moyen	Basse mer
Niveau / 0 CM	+0,6	+0,5	+0,4
Niveau / 0 NGF	+0,2	+0,1	0

Illustration 5 : Niveaux moyens de la mer à Bastia (marée moyenne, marnage de 0,2 m ; Données SHOM). A Bastia, le niveau 0 m NGF/IGN78 se situe 0,4 m au dessus du niveau 0 m CM (Cote Marine), définit comme le niveau des plus basses mers.

En raison de ce faible marnage, l'influence directe de la marée est donc relativement limitée sur un littoral qui est en outre caractérisé par des plages à forte pente. De même, les courants générés par la marée sont quasi-inexistants.

• Régime des vents

Les vents ont une action majeure sur la dynamique sédimentaire littorale, car ils sont responsables de la génération des houles au large. Ils contribuent ainsi directement aux transits sédimentaires littoraux et à l'évolution morphologique des plages.

Le long des côtes de Corse, les vents dominants sont :

- U Libeccio qui est un vent violent de secteur ouest à Sud-Ouest. Il expose les régions nord et la façade occidentale de l'île. Ce vent s'accompagne en hiver de fortes précipitations sur les versants exposés, alors qu'en été, il est associé à un temps sec et doux ;
- U Maestrale (le Mistral) qui est un vent de secteur Nord-Ouest, particulièrement violent et sec en été. Il affecte surtout la partie occidentale de la Corse ;
- A Tramuntana (la Tramontane), vent de secteur Nord à Nord-Est, violent et froid. Lorsqu'il sévit en hiver, il est responsable de pluies soutenues ;
- U Grecale (le Grec), qui est un vent d'Est typiquement tyrrhénien qui accompagne de très fortes précipitations sur la façade orientale de l'île ;
- U Levante (le Levant) qui est un vent de secteur Est à Nord-Est. Il peut être très violent entre l'automne et la fin de l'hiver ;
- le Sirocco, vent de secteur Sud à Sud-Est, chaud et humide. Il apporte souvent des poussières venant d'Afrique du Nord.

Au Sud de la Corse, le secteur des Bouches de Bonifacio est réputé pour être un endroit extrêmement venté. Les vents y soufflent environ 300 jours/an, souvent avec violence (des rafales supérieures à 60-80 Km/h sont enregistrées 150 jours/an par la station de Pertusato). Les vents dominants sont majoritairement de secteur Sud-Ouest (U Libeccio) ou, notamment en hiver, de secteur Nord-Est (U Levante). Ces vents sont à l'origine de fortes houles dans la zone de Bonifacio.

Sur la façade orientale de l'île, les vents sont assez irréguliers. Les vents de secteur Ouest (U Libeccio) sont cependant dominants toute l'année, mais leur influence est limitée sur le littoral à l'abri des fortes houles. En revanche, les vents de secteur Est (U Grecale, U Levante, le Sirocco) sont moins fréquents, mais ont une influence directe sur le littoral, en particulier lors des épisodes de forte énergie.

• Agitation

Les caractéristiques des houles en Méditerranée sont particulières en raison de la faible étendue de la zone d'action des vents sur la mer (fetch) au cours des tempêtes. Cela se traduit généralement par des agitations de type « mer de vent » caractérisée

par des houles de hauteurs significatives (H_s) limitées, des courtes périodes ($T_s < 10$ s) et un spectre directionnel relativement étroit.

Il n'existe pas de longues séries de mesures de houle directionnelle sur la façade orientale de la Corse. Une bouée houlographe est actuellement implantée au niveau du Cap Corse, mais celle-ci ne mesure pas les directions de propagation de la houle (réseau CANDHIS, géré par le CETMEF). Une étude réalisée par le KMNI³ chargé de recueillir les observations sur la houle de 1961 à 1980 en Méditerranée a mis en évidence les houles du large et leur énergie (Illustration 6).

Ces observations montrent que la côte orientale, sous l'influence directe des vents de secteur Est, les directions préférentielles de propagation de la houle sont relativement équilibrées entre les quarts Nord-Est et Sud-Est.

• Courants marins

Courants généraux

Très peu de données existent sur les courants autour de la Corse et elles restent très générales. Comme expliqué précédemment, les courants de marée sont inexistant en raison du faible marnage.

Des courants de densité, courants de profondeur causés par différence de températures des masses d'eau, existent cependant sur la plate-forme continentale orientale de la Corse. Le long de la Plaine Orientale, un courant de densité du Nord vers le Sud est clairement identifié au large de la Corse. Ce courant maritime longe la pente de la plate-forme continentale. Sa vitesse décroît fortement vers la côte, et l'influence de ce courant Nord-Sud sur le littoral est donc négligeable (Pluquet, 2006).

³ Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut : Institut de Météorologie du Royaume des Pays-Bas

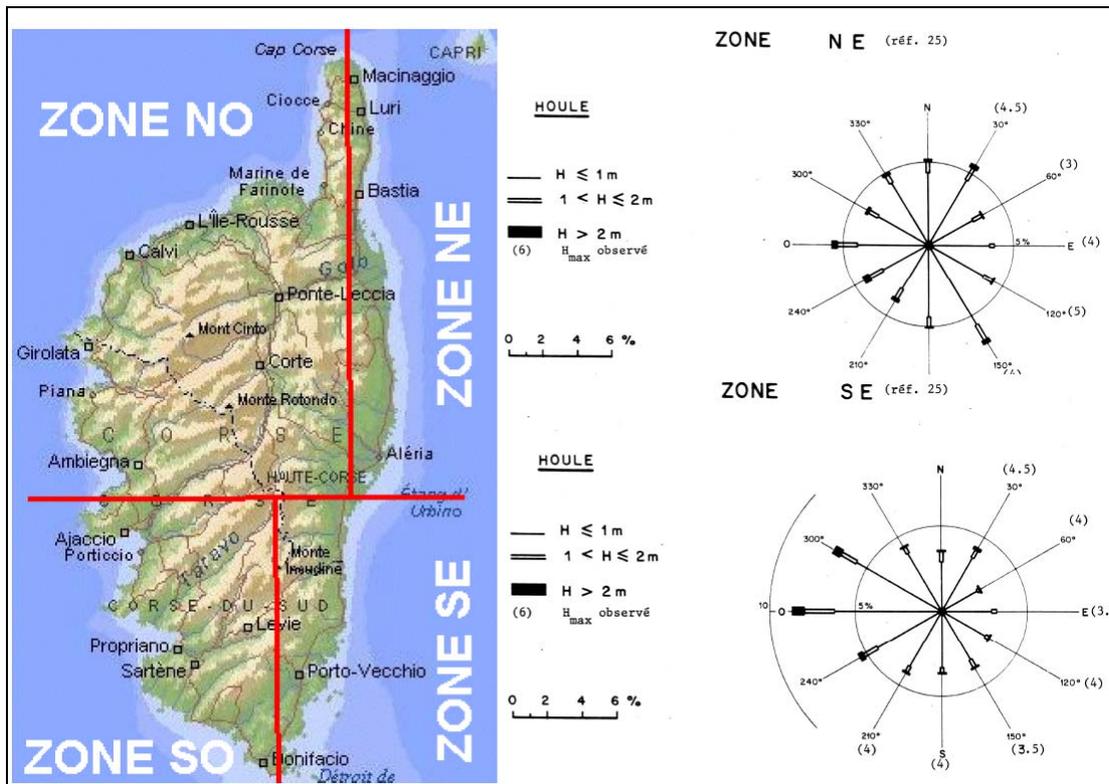


Illustration 6 : Zones d'observation des houles des côtes corses ; roses des houles pour la côte orientale Corse (SOGREAH et BRGM, 1987).

Courants de dérive littorale

Les courants de dérive littorale sont les courants générés par le déferlement de la houle et se concentrent sur les plages et le proche avant-côte. Leur direction dépend directement de l'angle d'incidence de la houle. Sur un littoral globalement orientée Nord-Sud, comme la Plaine Orientale, une houle provenant du quart Sud-Est génère un courant et un transport sédimentaire associé vers le Nord, et inversement, une houle provenant du quart Nord-Est engendrera une dérive littorale vers le Sud. Une houle arrivant parfaitement frontalement au littoral aura donc un effet nul sur la dérive littorale.

- **Surcote et niveaux et niveaux extrêmes de la mer**

Phénomènes de surcote

Une analyse des phénomènes de surcote du niveau de la mer en période de tempête marine a été réalisée par Rayet (2008) à partir des données enregistrées au niveau du marégraphe du Port d'Ajaccio.

Ce travail d'inventaire des évènements de surcote sur les côtes Corse montre :

- l'amplitude du phénomène a atteint 1 m lors des tempêtes de décembre 1999 ;

- le rôle relatif du vent et de la pression atmosphérique par comparaison, lors des tempêtes d'Ouest, des données du marégraphe avec le modèle de surcote développé par Météo-France sur la Méditerranée ;
- la différence d'amplitude entre la côte occidentale et la côte orientale en fonction de la bathymétrie et de la géomorphologie, les plages sableuses à pente douce à l'Est étant plus exposées que les plages occidentales, au profil topo-bathymétrique plus raide.

Cependant, l'étude des phénomènes de surcote sur la Plaine Orientale souffre d'un manque de données de mesures *in situ*, en raison de l'absence d'un marégraphe implanté à proximité, et d'un manque de données de houle.

La transposition directe des mesures faites à Ajaccio est ainsi délicate, car lors d'épisodes tempétueux avec des vents de secteur Est, la surcote liée au vent n'est pas enregistrée à Ajaccio dont la baie est exposée à l'Ouest. De plus, la surcote atmosphérique (effet baromètre inverse) enregistrée est ainsi significative uniquement dans le cas où le centre dépressionnaire est d'échelle spatiale suffisamment importante pour concerner les deux côtes, avec cependant des perturbations locales dues à la barrière orographique.

Ces informations de surcote doivent donc être considérées avec précaution et uniquement à titre de comparaison et pour préciser l'ordre de grandeur des phénomènes rencontrés. Ainsi, à titre d'exemples, sur la côte ouest :

- durant le passage de la tempête du 26 décembre 1999, la pression minimale était de 978 hPa, et les rafales de vents de 150 à 200 km/h de secteur Sud-Sud-Ouest. Cela a entraîné une surcote de 0,7 à 1 m sur la côte occidentale de Haute-Corse ;
- un coup de vent de secteur Nord-Est a touché le 8 janvier 2003, la commune de l'île Rousse. Une dépression de 1000 hPa a généré une surcote de 0,3 m, valeur enregistrée à Ajaccio, et en cohérence avec l'évolution de la pression atmosphérique régionale et la vitesse des vents (vents moyens à 70 km/h).

Les valeurs de surcote constatées peuvent ainsi fréquemment atteindre 0,3 à 0,4 m, et de manière exceptionnelle 1 m sur les côtes de Corse. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que les variations marégraphiques, qu'elles peuvent éventuellement masquer lors des tempêtes les plus fortes.

Niveaux extrêmes du niveau de la mer

Pour rappel, le zéro du Nivellement Général de la France (0 NGF/IGN78) à Bastia se situe 0,40 m au-dessus du zéro hydrographique (0 CM).

Sur le littoral, le niveau de la mer dépend de la conjugaison de trois phénomènes :

- la marée astronomique, dont le marnage maximal est de l'ordre de 0,4 m ;
- la pression barométrique, et notamment les dépressions de tempête qui provoquent une surélévation du niveau d'eau (surcote/décote, de l'ordre de 1 cm par hectopascal de dépression) ;
- les vents de mer qui tendent à accumuler l'eau à la côte notamment dans les zones de baies.

Les études réalisées par SOGREAH et le BRGM dans les années 1980 (Catalogue sédimentologique des côtes françaises ; BRGM & SOGREAH, 1987) aboutissent à une estimation des niveaux extrêmes pour Bastia (cf. Illustration 7).

Période de retour (an)	Niveau d'eau (m CM) Pleine Mer	Niveau de mer (NGF) Niveau moyen
2	+0,8	+0,4
10	+1,0	+0,6
20	+1,0	+0,6
50	+1,1	+0,7
100	+1,3	+0,9

Illustration 7 : Niveaux extrêmes de la mer en fonction de la période de retour (Ministère des Transports, 1987)

Les études de modélisation menées dans le présent projet participeront à l'amélioration/actualisation de la précision de ces informations, en particulier les valeurs de surcote sur la façade orientale de la Corse.

b) Caractéristiques générales des tempêtes en Corse

Du fait de son caractère insulaire, la Corse est exposée aux tempêtes en provenance de tous les secteurs géographiques. Il existe ainsi une grande différence entre la côte occidentale exposée aux vents de secteur Ouest, qui soufflent sur un long fetch depuis Gibraltar, et la côte orientale sur la mer Tyrrhénienne, où le fetch est plus limité entre la péninsule italienne et la Corse.

Il en résulte de grandes différences en termes de caractéristiques des houles (période, hauteur, direction) et des impacts associés sur le littoral :

- sur la côte occidentale, ces évènements se produisent lorsqu'un flux d'Ouest est bien établi entre un anticyclone situé sur la péninsule ibérique, et une dépression au niveau du Golfe de Gênes. Un flux de Nord important est alors bien établi, et la dépression réoriente ces vents dans des secteurs Nord-Ouest à Sud-Ouest sur la Corse. C'est une situation de Libeccio (Ouest - Sud-Ouest) ou Mistral (Nord - Nord-Ouest) ;
- sur la côte orientale, les tempêtes génératrices de dommages sur le littoral (associées à des surcotes du niveau moyen de la mer) sont de secteur Est. De manière schématisée, lorsqu'un anticyclone est localisé sur le Nord de l'Europe, et qu'une dépression se forme sur la Méditerranée, ou remonte vers le Nord depuis les

côtes d'Afrique du Nord, le vent souffle sur la mer Tyrrhénienne dans un flux d'Est à Sud-Est. Ce vent est alors canalisé par le canal de Corse entre l'île et l'Italie, et s'amplifie par effet venturi⁴. Ce type d'évènement amène une masse d'air chaud et humide sur la partie orientale de l'île, entraînant de fortes précipitations sur les reliefs, et un effet de Foëhn⁵ sur la partie occidentale en raison de la barrière orographique de la chaîne axiale.

L'ensemble de la Corse peut également être balayé par de plus grosses tempêtes. Ce sont généralement des dépressions importantes qui se forment ou se régénèrent sur la Méditerranée occidentale en provenance de l'océan Atlantique. Elles sont généralement très creuses, en termes barométriques (inférieures à 990 hPa), et se déplacent rapidement d'Ouest en Est sur le bassin méditerranéen.

Le cas des deux tempêtes tropicales, Lothar et Martin, qui ont traversé la France et la Corse les 26 et 28 décembre 1999, constitue à ce jour le modèle extrême de ce type d'évènement. Ces fortes dépressions sont à l'origine d'une surcote importante du niveau marin, par effet barométrique inverse, probablement sur l'ensemble du littoral, avec l'amplification des phénomènes par les vents en fonction de leur direction par rapport à la côte. Lors du passage de ces tempêtes sur la Haute Corse, les rafales de vent ont atteint 200 km/h, avec des vagues de 6 à 8 m, sur la côte occidentale. La pression au niveau de la mer étaient de 978 hPa, et la surcote associée étaient comprise entre 0,7 m et 1 m sur le littoral de Haute-Corse (Rayet, 2008).

2.3. INVENTAIRE DES EVENEMENTS

Un inventaire des phénomènes de tempêtes qui ont affecté la Plaine Orientale de Corse depuis une trentaine d'année a été réalisé auprès de diverses sources d'information. Les renseignements qui ont été recueillis sont ainsi recensés en fonction des caractéristiques des phénomènes (intensité et direction du vent, hauteur des vagues, état de la mer, etc..) mais également en fonction des dommages occasionnés.

2.3.1. Sources des informations bibliographiques

La recherche documentaire a été réalisée à partir de plusieurs sources d'information bibliographiques (Illustration 8).

⁴ Effet venturi : phénomène de dynamique des fluides où les particules gazeuses ou liquides se retrouvent accélérées à cause d'un rétrécissement de leur zone de circulation.

⁵ Effet de foehn : phénomène météorologique qui se produit lorsque le versant d'une montagne fait directement face à un flux de précipitations abondant. L'effet qui en résulte est un vent fort, très sec, et réchauffé en température, qui s'écoule d'amont-aval sur le versant opposé.

Sources	Période
Journal « le Petit Bastiais »	1924
Journal « Corse Matin »	1968 - 1990
INA	1968 - 2007
Archives Départementales de la Haute Corse	1980 - 1996

Illustration 8 : Sources des informations

Des coupures de journaux, photographies, archives vidéos (extraits de journaux télévisés, vidéos amateurs) ont pu être récupérés et archivés. Les éléments bibliographiques les plus intéressants sont rassemblés dans l'Annexe 1.

Cet inventaire bibliographique a été complété par la consultation de différents organismes (Météo-France, SHOM, CETMEF...).

Un rapport de stage effectué au sein de la Délégation Départementale de Haute-Corse de Météo-France est particulièrement précieux (Rayet, 2008). Il étudie la « Prédiction des surcotes sur le littoral corse » et synthétise des informations sur les phénomènes de surcotes rencontrés lors des différents épisodes tempétueux qui ont touché la Corse entre 1979 et le début de l'année 2008.

De plus, les données du marégraphe d'Ajaccio ont été, à titre d'information, récupérées sur la base de données SONEL⁶.

2.3.2. Liste des évènements

Le tableau suivant (Illustration 9) rassemble les principales informations recueillies lors de l'inventaire bibliographique.

73 évènements ont été répertoriés depuis 1968. Les deux évènements identifiés en 1924 sont fournis à titre d'information.

Les évènements en grisé dans le tableau concernent les tempêtes, ayant affectées la Plaine Orientale de Corse, et identifiées comme majeures, en termes d'intensité et/ou de dommages et perturbations répertoriés dans la presse locale. Cela concerne 12 évènements depuis 1979.

⁶ SONEL : Systèmes d'Observation du Niveau des Eaux Littorales, www.sonel.rog

Pour chaque évènement sont rassemblées les informations disponibles sur les conditions générales météorologiques, le type de temps (situation générale barométrique), l'intensité et la direction de vents et de la houle et la valeur supposée ou mesurée de la surcote. Ces informations sont présentées en Annexe 2.

Les situations synoptiques des grandes masses d'air et des champs de pression proviennent des modélisations rétrospectives du modèle GFS⁷ disponibles sur le site www.wetterzentrale.de.

Les indications concernant la surcote du niveau marin proviennent, pour la plupart des données du marégraphe installé dans le port d'Ajaccio.

Il ressort de l'inventaire bibliographique que si les coups de vents sont fréquents (69 évènements depuis 1979), ils conduisent rarement à l'observation d'impact ou de dommages. Seuls douze évènements ont impacté suffisamment significativement la Plaine Orientale pour faire l'objet d'articles dans les journaux et rester dans les mémoires.

Les contextes météorologiques générales (conditions synoptiques, vents, etc...) sont précisées, lorsque les informations sont disponibles, en Annexe 2.

N°	Date	Commentaires / Dégâts et perturbations constatés
1	27-28/11/2008	Très forte tempête sur la côte orientale de la Corse, vents de 50 à 90 km/h, rafales à 120-140 km/h de secteur Est à Sud-Est, houle de secteur Est de 6 à 8 m / dégâts très importants sur la Plaine Orientale et dans le secteur de Bastia
2	03/01/2008	Tempête sur Calvi, vagues de 3 à 4 m de secteur Nord-Ouest, surcote de 0,2 à 0,5 m / 1 mort à Lumio emporté par les vagues
3	23/10 - 01/11/2007	Tempête sur la Plaine Orientale, vents de 30 à 50 km/h de secteur Sud-Est à Est, rafales à 90 km/h, vagues de 2 à 4 m, surcote de 0,25 m / dégâts importants au niveau du camping à Aléria
4	24-31/01/2005	Tempête d'Est sur la côte orientale d'Ersa à Moriani, vents de secteur Est à Nord-Est, rafales à 110 km/h, vagues de 2 à 4 m, surcote de 0,2 m à Ajaccio / peu de dégâts
5	20/02/2004	Tempête d'Est d'échelle zonale. Masse d'air chaud remonte d'Algérie et s'enroule sur dépression en Espagne, Effet de Foëhn sur Ajaccio, rafales à 120km/h / Pluie de boues, mais pas de dégâts signalés sur le littoral, malgré de fortes vagues (7 m).
6	08/01/2003	Vents de secteur Nord-Est à 70km/h sur la Balagne, surcote de 0,3 m à l'île Rousse / dégâts importants sur les restaurants de plage
7	13/12/2001	Tempête pluvio-neigeuse sur la Plaine Orientale ; rafales de 122km/h de Sud-Est à Alistro
8	26-28/12/1999	Tempêtes "Lothar" et "Martin" / impacts sur la côte ouest (Balagne, Saint Florent)

⁷ GFS : Global Forecast System, modèle météorologique américain de haute résolution (maille de 0,5°).

N°	Date	Commentaires / Dégâts et perturbations constatés
9	21/06/1999	Vents violents de secteur Ouest à Nord sur le Cap Corse - 2 morts à Lumio et Calvi
10	08/07/1996	Tempête sur la Corse / liaisons maritimes coupées
11	15/03/1996	Fortes précipitations sur le versant est de l'île ; Plaine Orientale en état d'alerte
12	02/01/1996	Vent violent sur la région bastiaise
13	17/08/1995	Violents orages accompagnés de fortes rafales de vents.
14	13/05/1995	Violents orages et vents très forts
15	28/03/1995	Rafales à plus de 150 km/h sur toute l'île
16	26/02/1995	170 km/h sur Cap Corse (Libecciu)
17	27/01/1995	Vents à 160km/h perturbant la navigation aérienne
18	19/01/1995	140 km/h sur le cap corse
19	11/01/1995	137 km/h sur le cap corse
20	23/12/1994	Violente tempête d'Est à Bastia occasionnant des dégâts importants au port de Toga - "vents poussés vers la marina"
21	25/08/1994	140 km/h ; bateaux bloqués au large de Bastia
22	12/06/1994	Inondations à Bastia
23	10/04/1994	Froid, vents, pluies
24	02/04/1994	Un coup de vent violent perturbe le trafic aérien et maritime
25	28/01/1994	Bastia : rafales à 120 km/h, empêchent le Kalliste d'entrer au port
26	01/01/1994	Bastia : sous des rafales de 150 km/h, le car-ferry de la sncm rompt ses amarres et percute un navire italien
29	26/12/1993	Risées violentes sur la côte est et houle dans le Vieux Port de Bastia
28	17/12/1993	Risées violentes sur la côte est et houle dans le Vieux Port de Bastia
27	08/12/1993	De violentes rafales de vent (180 km/h) soufflent sur Bastia et la Haute-Corse / Le 11, 212 km/h sur le Cap, 220km/h le 12, un avion Marseille-Bastia détourné vers Ajaccio
30	31/10/1993	Fleuves en crue dans la Plaine Orientale, cellule de crise à la préfecture, 6 morts, plan ORSEC enclenché jusqu'au 7 novembre
31	28/02/1993	Pluies et vents
32	05/12/1992	Vents et pluies diluviennes en Haute-Corse
33	21/10/1992	Haute-Corse sous les eaux : plaine de la Marana inondée
34	18/10/1992	Pluies et vents sur la Haute-Corse : 170 km/h au Cap Corse
35	05/10/1992	Bastia paralysée par la tempête : nombreux dégâts sur le vieux port, tunnel inondé...
36	23/11/1990	Tempête sur le Nord de la Corse
37	27/02/1990	Tempête en haute corse : mini-tornade à Bastia, maisons évacuées sur la côte orientale, incendies, bulletin spécial le 27/08
38	14/02/1990	Vents de 160 km/h dans la région bastiaise, >200 km/h au Cap Corse (W à NW sur est corse), aucun bateau ne peut entrer ou sortir du port, incendies, toiture envolée à Bastia, ponton retourné à Bonifacio
39	08/10/1989	Trombes d'eau et vents violents sur la région bastiaise, dégâts importants, coulées de boues, incendies

N°	Date	Commentaires / Dégâts et perturbations constatés
40	01/09/1989	Graves inondations, principalement sur la Plaine Orientale
41	01/03/1989	Vents violents Mer démontées Inondations (sur reportage TF1 sortie de port agitée pour un paquebot + vagues par-dessus un brise-lame à Ajaccio ??)
43	13/05/1988	Grosse Houle sur la Plaine Orientale (pas prévu par Météo)/ Vedette prise dans la tempête au large de Calvi (3 morts)
44	28/04/1988	Mauvais temps sur Bastia
45	12/01/1987	Trafic maritime perturbé à Bastia
46	15/01/1987	Trafic maritime et aérien perturbé à Bastia (Digue emportée à Cargèse
47	20/11/1987	Le vent a atteint 180 km/h sur Bastia (incendies sur la Plaine Orientale
48	20/12/1986	Vent à 200 km/h sur la Haute-Corse : trafic aérien perturbé, 2000 abonnés privés d'électricité
49	20/10/1986	Vent à 230 km/h sur le Cap Corse
50	30/03/1986	Libecciu à 200 km/h
51	02/03/1986	Mauvais temps : trafic portuaire perturbé à Bastia
52	15/01/1986	Libecciu à 180 km/h, nombreux dégâts
53	12/01/1986	Tempête de vent, 160 km/h au Cap Corse
54	20/11/1985	Mauvais temps sur la Haute-Corse et plus particulièrement sur la région bastiaise
55	06/11/1985	vent de 120 km/h sur la région bastiaise
56	24/01/1985	Dans la région bastiaise, pointes de vent à 150 km/h
57	08/02/1984	Grosses rafales (160 km/h à Sagro, 200 à Pertusato et 130 à Poretta), cargo en péril à Calvi, mort à Bastia suite à rafale, incendies dans la Plaine Orientale, vagues sur la route du Lido de la Marana, Pylônes FT et EDF tombés sur toute le littoral Est
58	24/01/1984	Trafic maritime et aérien perturbé suite au vent violent dans la région bastiaise. Vent 130km/h à Poretta (cargo rompt ses amarres) Motos et camion renversés à Teghime
59	28/11/1983	Nombreux dégâts dans la plaine du Golo suite à un coup de vent
60	24-25/04/1982	Tempête sur la Corse
61	06-10/11/1982	Arrêté catastrophe naturelle "tempête" - La Solenzara se transforme en torrent de boue suite aux précipitations importantes
62	13/12/1981	Tempête sur la Côte orientale incendies, Bastia vents >100 km/h
63	19/07/1981	Tempête sur l'île : noyades et voiliers en difficulté sur la côte ouest et l'extrême sud. Incendies sur la Plaine Orientale (noyade due aux vagues le 22/07/81 à Campoloro)
64	20/01/1981	Vent violent à Bastia et sur la Cap Corse, un voilier coule au large de Giraglia
65	04/01/1981	Violente tempête sur la Cap Corse (190 km/h)
66	21/04/1980	Violente tempête et voilier en détresse au large de Bastia
67	15/01/1980	Pris par la tempête, un cargo italien s'échoue et coule au large du Cap Corse
68	01/01/1979	Vents atteignant 150 km/h nuit 31 au 1er. Pointe à 150km/h. incendies à Casinca. Trafic aérien perturbé, voiture renversée à Teghime. (forte neige le lendemain)

N°	Date	Commentaires / Dégâts et perturbations constatés
69	22/12/1979	Vent de force 11, vagues de plusieurs mètres (digue port de commerce détruite sur 100m, blocs arrachés, chantier du tunnel inondé, hangars et canalisations détruits) Bilan de la tempête à Bastia : 40 millions de francs
70	11/01/1977	Tempête sur toute la Corse (dégâts plus importants sur la côte Ouest) Bourrasque la nuit suivante à Bastia (description = courtes rafales comme coup de buttoir)
71	03/12/1976	plaine de la Marana inondée (voies d'accès coupées) - vent Force 12 enregistré à Poretta - navire Livourne-Bastia annulé
72	23/02/1973	Bateau de pêche pris dans tempête (large des Sanguinaires)
73	18/12/1968	Mer en furie Ajaccio paquet de mer sur la route des sanguinaires - Bastia touchée par des inondations (pluies)
74	25/09/1924	Violents orages, importants dégâts sur le vieux port
75	09/12/1924	Cyclone - accident : bateau coulé puis renfloué à l'entrée du vieux port

Illustration 9 : Liste des événements de tempête identifiés à partir d'inventaire bibliographique. Les lignes en grisé concernent les événements qui ont particulièrement touché la Plaine Orientale de Corse avec des vents de secteur Est et des dégâts importants.

2.3.3. Evènements marquants

Trois événements ressortent particulièrement de cet inventaire en raison de leurs impacts importants sur les structures portuaires et sur le littoral de la côte orientale de Corse :

- la tempête du 22 décembre 1979 ;
- la tempête du 25 octobre au 1^{er} novembre 2007 ;
- la tempête du 27 et 28 novembre 2008.

Ces événements ont sensiblement marqué la mémoire collective comme le montrent les informations et les divers témoignages qui ont pu être recueillis.

a) Tempête du 22 décembre 1979

Cet événement a eu un impact important dans la mémoire des Bastiais en raison des dégâts très importants qu'a subi le port. Sur la Plaine Orientale, les dégâts ont été a priori moindres mais les informations sur ce secteur restent fragmentaires.

• Contexte

Une tempête de Sud-Est a touché la Corse les 21 et 22 décembre 1979. Les vents ont été particulièrement violents avec des rafales qui atteignent durant la journée du 22 décembre (Rayet, 2008) :

- 158 km/h à Bonifacio (direction E-NE);

- 72 km/h à Porto-Vecchio (direction E);
- 83 km/h à Solenzara (direction E-SE) ;
- 101 km/h à Bastia (direction E-SE).

Cette tempête de force 11 s'est accompagnée de vagues de plusieurs mètres (estimées à 3 à 4 m à la côte, d'après Rayet, 2008).

• Situation synoptique

Etant donné l'ancienneté de cet événement, les informations des situations synoptiques proviennent du rejeu du modèle GFS (Illustration 10).

Les coupures de presse de Corse Matin du 23 décembre 1979 signalent le comportement particulier de cette tempête décrite comme un « mini-cyclone », avec une dépression fortement creusée (988 mbar/hPa) sur le Sud de la Corse et qui s'est propagée rapidement vers le Nord. Les vents circulant autour du centre dépressionnaire dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, ils ont atteint la côte orientale en provenance du Sud-Est et de l'Est. Les vents ont rapidement faibli dans la journée du 23 décembre.

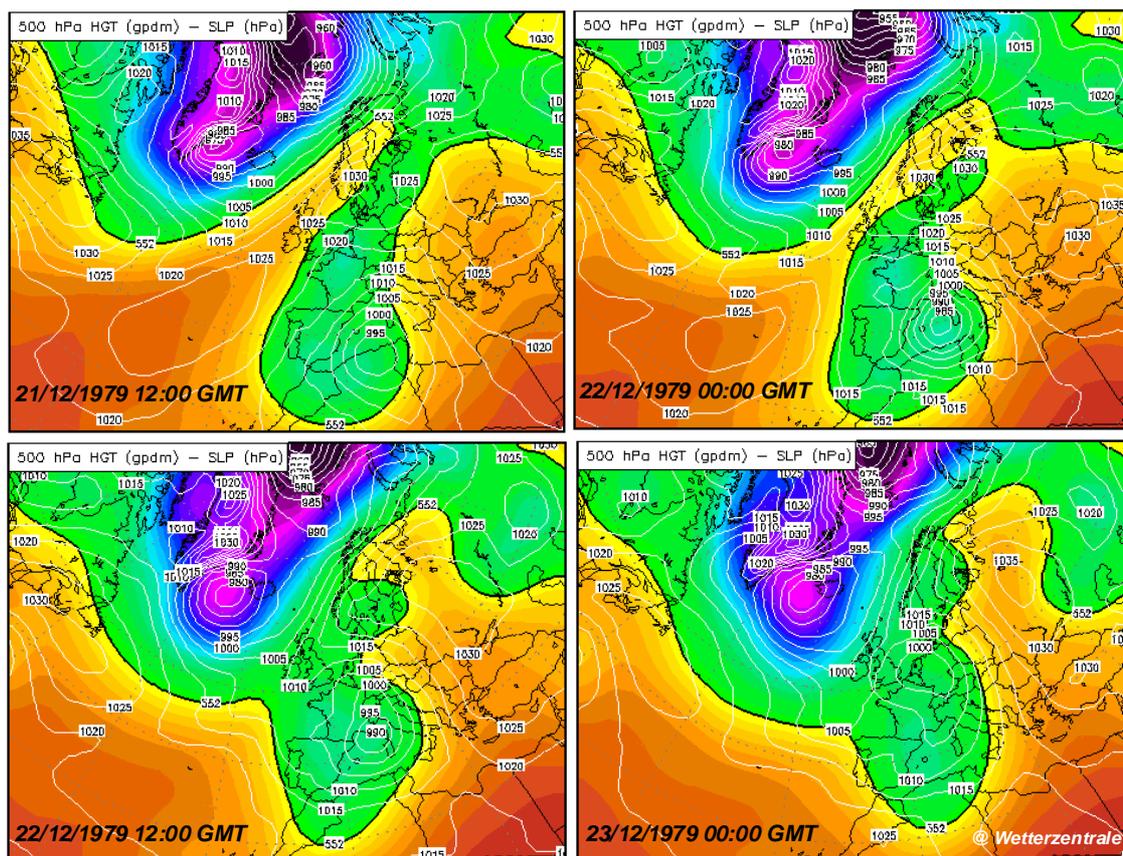


Illustration 10 : Propagation de la dépression lors de la tempête du 22 décembre 1979 (source : www.wetterzentrale.de). En ligne blanches les isobares au niveau de la mer (Sea Level Pressure en hPa)

Des rafales de vents violents ont favorisé un phénomène de surcote sur la côte Est, sans que son amplitude ait pu être estimée.

- **Dégâts occasionnés**

Les dégâts ont été particulièrement importants au niveau Bastia avec un grave endommagement de la digue du port de commerce (Illustration 11), détruite sur une centaine de mètres avec des blocs arrachés, le chantier du tunnel inondé, la destruction de hangars et canalisations, des bateaux coulés dans le port (Illustration 12). Le montant global des dégâts à Bastia a été estimé à 40 millions de francs.

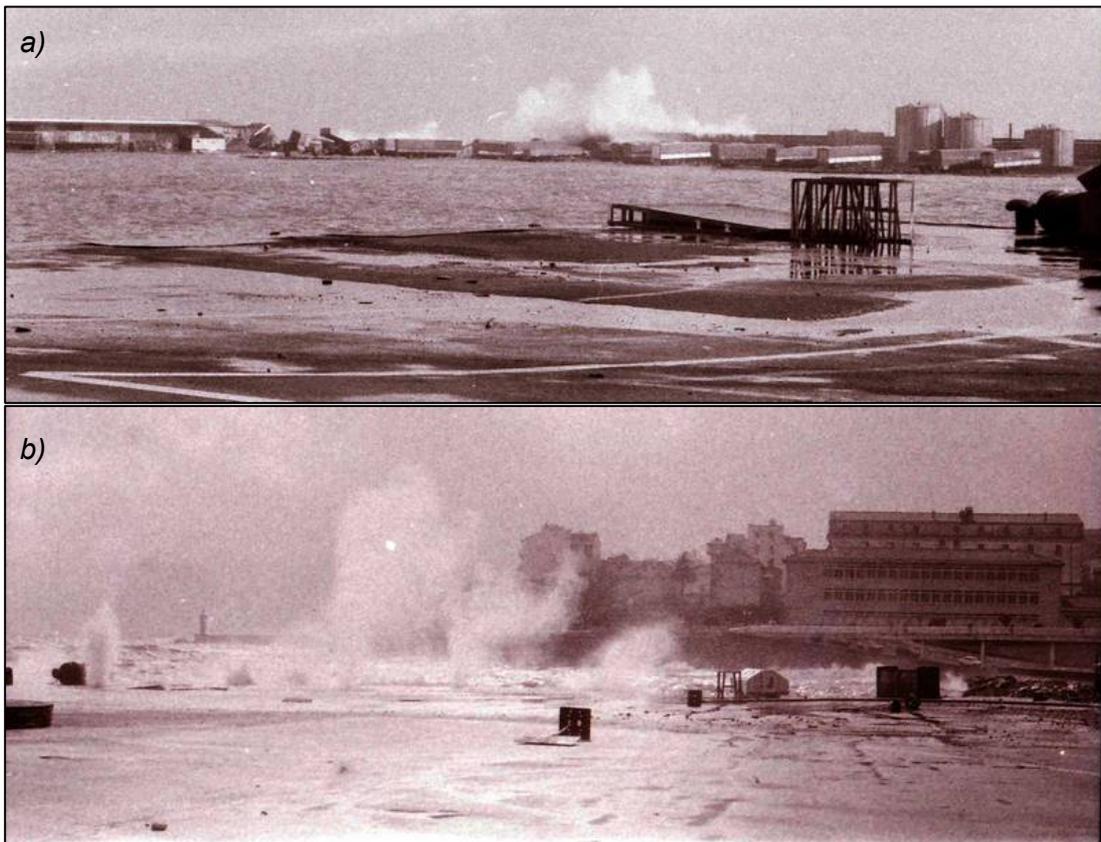


Illustration 11 : Digue du port de commerce de Bastia pendant la tempête du 22 décembre 1979 (Corse Matin, 23/12/1979). a) On note la destruction de la partie centrale et les surverses occasionnées lors de l'impact des houles déferlantes sur la digue. b) Vue vers le Sud et le vieux port de Bastia.



Illustration 12 : Bateaux coulés dans le vieux-port de Bastia lors de la tempête du 22 décembre 1979 (Corse Matin, 23/12/1979).

Sur la Plaine Orientale, c'est à San Pellegrino (Marina de Folelli), que des dégâts importants ont été particulièrement signalés avec la submersion de la digue et l'invasion par la mer des maisons situés en front de mer (Corse Matin, 23/13/1979).

b) Tempêtes du 23 octobre au 1^{er} novembre 2007

Un événement de tempête s'est produit pendant plusieurs jours et a fortement impacté la Plaine Orientale, en particulier le secteur de l'embouchure du Tavignano à Aléria. Des vents de secteur Est ont généré une houle importante qui a érodé très rapidement la plage à tel point que les restaurants construits sur la plage, et le camping de la Marina d'Aléria, ont été mis en situation de danger.

Une demande de reconnaissance de catastrophe naturelle pour les dommages liés à cette tempête a été demandée mais refusée en commission interministérielle.

• Contexte

Cet événement est dû à une série de passages dépressionnaires qui se sont succédés sur les côtes de Corse du 23 octobre au 1^{er} novembre 2007 : une première dépression centrée sur l'Italie le 23 octobre, une seconde se déplaçant d'Ouest en Est du 25 au 27 octobre et une 3^{ème} dépression de 1003 hPa centrée sur le sud de la Sardaigne, en liaison avec un anticyclone de 1031 hPa sur le proche Atlantique, qui est arrivée par le Sud et a traversé toute la Corse.

Rayet (2008) signale que, d'après les graphiques de l'élévation totale du niveau de la mer du 23 octobre au 2 novembre 2007, mesurées au marégraphe d'Ajaccio, la surélévation maximale du niveau du plan d'eau est d'environ +0,9 m en fin de journée du 24 octobre.

La marée théorique étant de 0,65 m (période de vive-eau), la surcote est alors de +0,25 m. Cette surcote correspond à une légère chute de pression et à un pic d'intensité du vent de secteur Sud-Est à Est, dont l'effet se fait ressentir au niveau du marégraphe à Ajaccio. Sur la Plaine Orientale, à Aléria, la tempête se fait sentir le 30 octobre. Elle génère des vents de secteurs Sud-Est à Est de 30 à 50 km/h avec des rafales locales de 90 km/h. La mer était agitée avec des vagues allant de 2 à 2,5 m avec des maximales exceptionnelles comprises entre 3 et 4 m à la côte.

- **Situation synoptique**

L'évolution de la situation atmosphérique est schématisée dans l'illustration 13. On note la présence de la première dépression sur la péninsule italienne le 23 octobre, le passage de la seconde d'Ouest en Est du 25 et 27 octobre, et la persistance d'un centre dépressionnaire au Sud-Est de la Corse 29 octobre au 1^{er} novembre.

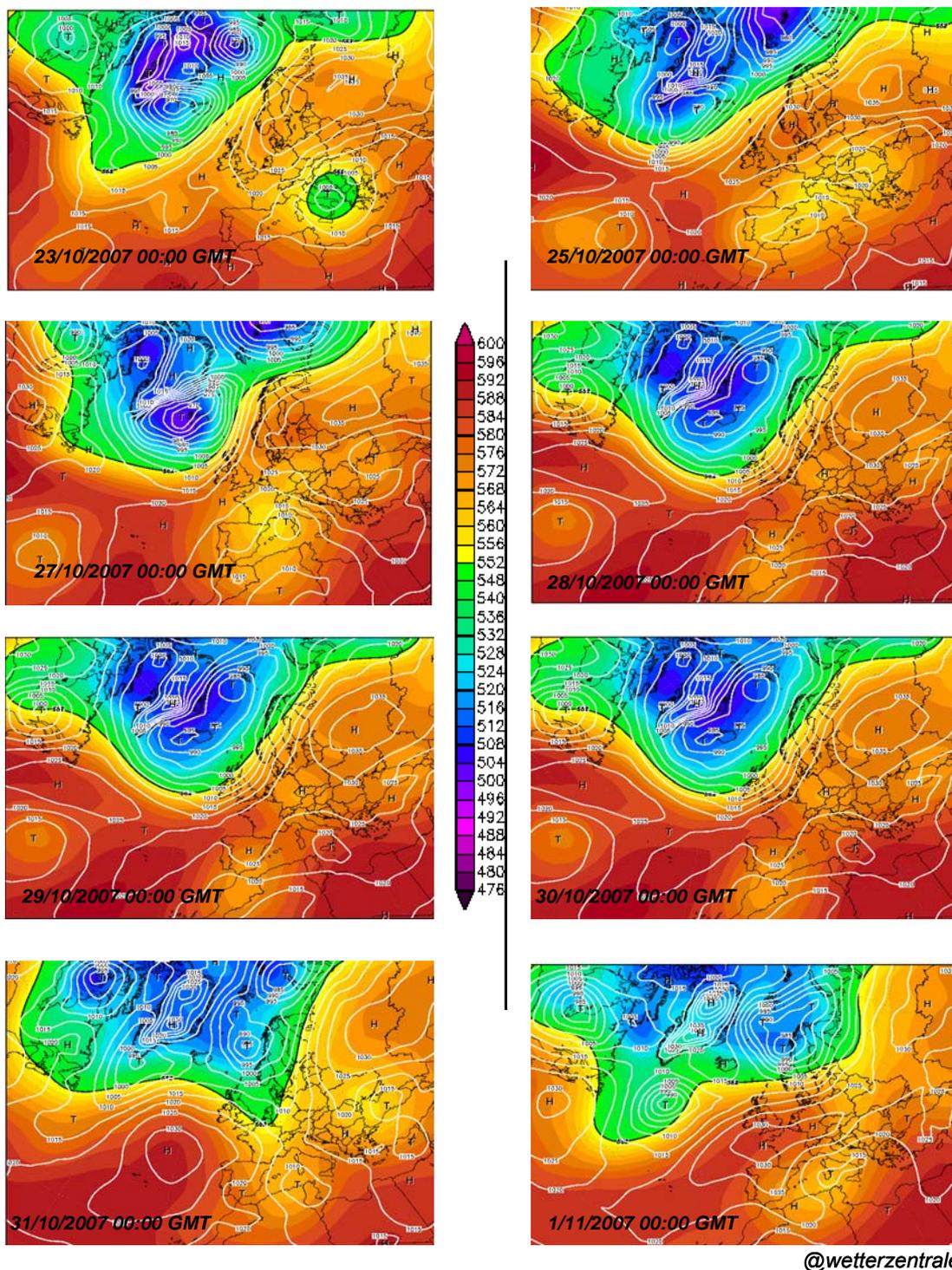


Illustration 13 : Situation synoptique du 23 octobre au 1^{er} novembre 2007 (source : www.wetterzentrale.de). En ligne blanches les isobares au niveau de la mer (Sea Level Pressure en hPa), l'échelle de couleur représente l'altitude du géopotential 500 hPA (en décimètre).

• Dégâts occasionnés

Les dégâts occasionnés se sont surtout fait ressentir à Aléria dès le 26 octobre 2010 au niveau de l'embouchure du Tavignano. Les vagues ont attaqué la plage et mis en périls les installations touristiques sur le littoral (Camping de la Marina d'Aléria, restaurants du Bounty, etc...). France 3 Corse a consacré un reportage sur ces événements diffusé le 26 octobre (Illustration 14).



Illustration 14 : Dégâts sur le littoral d'Aléria, le 26 octobre 2007 (France 3 Corse, journal régional, Corsica prima, du 26/10/2007, captures d'écran)

Rayet (2008) signale que des dégâts concernant le bouleversement de la circulation en Plaine Orientale se sont produits avec l'invasion par les eaux de la route départementale au niveau de Ghisonaccia, une voiture ayant été emportée par un torrent d'eau.

c) Tempête du 27-28 novembre 2008

Cet événement est un événement majeur qui a affecté la côte orientale de la Corse et qui reste de fait le plus présent dans la mémoire collective. Il a été également à l'origine d'une procédure de reconnaissance de Catastrophe Naturelle pour « Inondation et choc mécanique liés à l'action des vagues », approuvée en 2009⁸. Les éléments météorologiques concernant cet événement proviennent du rapport établi par Météo-France 2B⁹ pour la procédure de reconnaissance de catastrophe naturelle (Météo-France, 2008).

• Contexte

Le contexte de cette tempête exceptionnelle est une dépression, à l'origine sur l'Algérie (1008 hPa), qui est remontée vers le Nord en longeant la côte Ouest de la Sardaigne

⁸ Journal Officiel de la République Française JORF n°0150 du 1 juillet 2009 page 10953.

⁹ Note rédigée par J.P. Rambaud, Délégué départemental Météo France Haute-Corse.

et de la Corse. Sur la Méditerranée, cette dépression s'est réactivée et a engendré des vents forts de secteur Sud-Est sur la mer Tyrrhénienne. Ces vents ont soufflé entre le jeudi 27 et le vendredi 28 novembre 2008 et ont levé une mer importante de Sud-est, qui a touché la côte orientale de la Corse.

Des très forts vents de secteur Est à Sud-Est ont été mesurés sur la côte Est à Solenzara, Alistro, Bastia et au niveau du Cap Corse (Illustration 15).

	Solenzara	Alistro	Bastia	Cap Corse
27/11/08	NNO 32 N 47	E 46 ESE 72	ENE 43 E 68	E 80 E 97
28/11/08	SE 72 SE 104	ESE 66 ESE 108	E 68 ESE 100	E 97 E 140

Illustration 15 : Caractéristiques, secteur de provenance et vitesses en km/h des vents mesurés aux niveau des sémaphores sur la côte orientale de la Corse les 27 et 28 novembre 2008 (en bleu les vents moyens, en rouge les valeurs en rafales) – Source : Météo-France, 2008

Ces intensités et directions de vents sont particulièrement rares. La rapport de Météo-France (2008) confirme leur caractère exceptionnel en soulignant que les probabilités des vents de secteur N-NE à S-SE sont à Bastia :

- de 0,8 pour mille (0,08 %) pour les vents moyens, supérieurs à 66 km/h ;
- de 0,4 pour mille (0,04 %) pour les rafales (vents instantanés) supérieures à 100 km/h.

Ils entraînent la formation d'une mer « très forte » sur tout le littoral oriental de l'île et même « grosse » entre Aléria et Bastia, durant toute la journée du vendredi 28 novembre 2008.

L'illustration 16 représente les hauteurs de la houle estimée à partir des observations visuelles faites à partir de sémaphores le long du littoral corse. Les vagues sont maximales sur la partie nord de la côte orientale (6 m au Cap Sagro) et elles ont fortement impactées la ville et le port de Bastia, où elles ont atteint 8 à 8,50 m (Météo-France, 2008).

Sur la Plaine Orientale (sémaphore d'Alistro), les valeurs maximales des houles sont estimées aux alentours de 4 m. La baisse de l'agitation s'est fait rapidement ressentir dans l'après-midi du samedi 29 novembre, avec la persistance d'une houle résiduelle d'environ 1 m pendant deux jours.

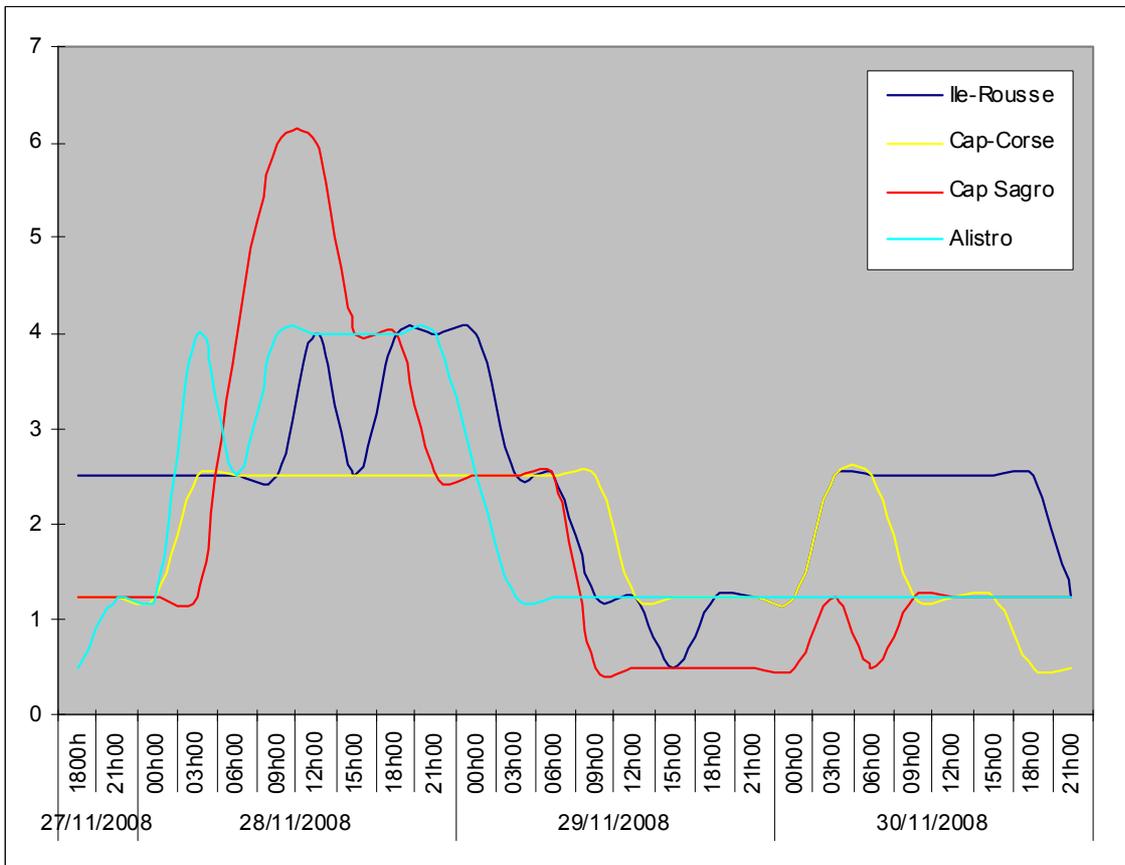


Illustration 16 : Hauteurs maximales des vagues en mètre observées aux sémaphores de l'Ile-Rousse, du Cap-Corse, du Cap Sagro et d'Alistro du 27/11/2008 à 19h00 locales au 30/11/2008 à 22h00 locales (Source : Météo-France, 2008).

• **Situation synoptique**

L'évolution de la situation synoptique sur l'illustration 17 permet de suivre le déplacement rapide de la dépression du Sud vers le Nord. On remarque également qu'après son passage, elle traverse la France le 1^{er} décembre, et qu'un creux dépressionnaire à 995 hPa subsiste encore au Nord de la Corse. Ce centre est probablement à l'origine des houles résiduelles qui atteignent encore la Plaine Orientale après le 28 novembre.

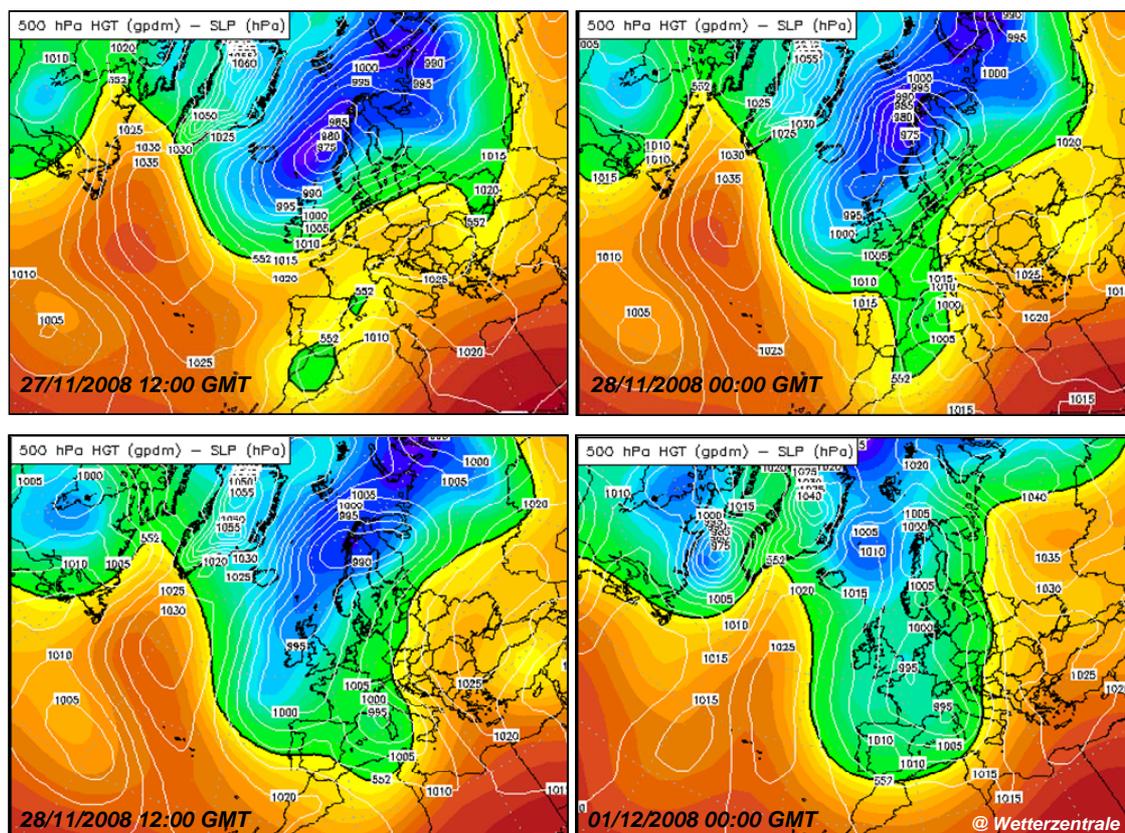


Illustration 17 : Propagation de la dépression lors de la tempête des 27 et 28 novembre 2008 (source : www.wetterzentrale.de). En ligne blanches les isobares au niveau de la mer (Sea Level Pressure en hPa).

• Dégâts occasionnés

Les dégâts occasionnés par cet évènement exceptionnel sont très importants, en particulier sur les structures portuaires :

- la digue du vieux port de Bastia a été fortement impactée avec l'arrachement de tétrapodes et l'agrandissement de deux fissures, déjà présentes avant l'évènement (Corse Matin, 3/12/2008). Il en est de même de la capitainerie, envahie par 15 cm d'eau, de restaurants inondés et de pêcheurs sinistrés dans le Vieux-Port (Corse Matin, 2/12/2008). Les houles pénètrent dans le vieux port et la surcote marine engendrée entraîne une submersion des quais par franchissements de paquets de mer (Illustration 18) ;
- Plus au Nord, la digue du port d'Erbalunga a été également endommagée, avec des blocs arrachés sur une trentaine de mètres (Corse Matin, 7/12/21008) ;
- A Solenzara, la digue du port a été franchie par des paquets de mer qui endommagent les bateaux de plaisance dans le bassin (Illustration 19).



Illustration 18 : Franchissements de paquets de mer dans le Vieux-Port de Bastia (source inconnue, le 28/11/2008).



Illustration 19 : Franchissements de paquets de mer au dessus de la digue de Solenzara (Source : capitainerie du port de Solenzara, le 28/11/2008).

Cette tempête, qui s'est accompagnée de pluies importantes et d'une surcote associée, a entraîné des inondations au niveau du tunnel de Bastia et le débordement du fleuve Golo qui est sorti de son lit et a coupé la route de la Canonica (Corse Matin, 29/12/2009).

La surélévation du plan d'eau a également exposé les installations touristiques en bordure littorale aux vagues déferlantes avec parfois un effet de sape des fondations bétonnées (perré, digue, terrasses...) et de destruction des surfaces, comme le montre l'illustration 20.



Illustration 20 : Endommagement par les vagues déferlantes sur la terrasse de l'hôtel Pineto, Lido de la Marana (BRGM, décembre 2008).

Malgré l'intensité de ce phénomène, nous avons retrouvé peu d'informations sur ses effets sur le littoral sableux de la Plaine Orientale.

Enfin, les dégâts associés liés à l'action de la mer durant cet évènement n'ont pas fait de victime.

2.3.4. Synthèse

L'analyse des archives pour reconstituer les tempêtes historiques permet d'obtenir des informations, souvent qualitatives, sur les événements et les dégâts occasionnés. Ce type de recensement ne peut en aucun cas être exhaustif, d'une part car les observations sont réalisées dans les lieux fréquentés, les ports, et des impacts probables sur d'autres secteurs du littoral ne sont souvent pas mentionnés (surtout si aucun enjeu n'est affecté) ; et d'autre part parce que les observations sont souvent associées à la perception du risque, et un évènement majeur, rehaussant cette perception va entraîner une observation plus assidue des événements successifs, même s'ils sont beaucoup moins importants.

Il ressort toutefois de cette analyse des événements historiques que les tempêtes affectant la côte sableuse de la Plaine Orientale sont relativement rares, mais que lorsqu'elles se produisent, elles ont des conséquences importantes sur le littoral et les infrastructures côtières.

Des caractères communs à ces événements ressortent également au niveau des situations synoptiques. En effet, les tempêtes, considérées comme les plus importantes (1979 et 2008) sont dues à l'existence d'une forte dépression sur le Sud

de la Corse et à son déplacement rapide vers le Nord, en générant de forts vents de secteur Sud-Est à Nord-Est. Ces vents génèrent alors des fortes vagues qui atteignent alors frontalement la côte orientale.

Au niveau des processus physiques, une surcote atmosphérique est systématiquement associée aux événements majeurs. Cependant, en l'absence de marégraphe sur la côte orientale, la détermination locale de celle-ci n'est pas possible, et il reste difficile de distinguer la surcote liée au vent et la surcote due à l'effet barométrique inverse. Le modèle numérique de surcote atmosphérique, disponible à Météo-France, estime à +0,25 m la surcote maximale enregistrée lors des 27-28 novembre 2008 (Météo-France, 2008).

Les impacts associés à ces phénomènes sont importants en particulier sur le Nord de la Plaine Orientale et Bastia où les dégâts les plus importants, surtout en ce qui concerne les infrastructures, sont signalés.

Cependant, la relative faible occupation de la Plaine Orientale en automne et hiver induit éventuellement un biais dans ce constat. En effet, les principaux dégâts sont recensés au niveau des zones urbanisées, dans des secteurs affectés par un processus naturel d'érosion marine chronique, comme à Aléria, ou Moriani, et où des enjeux touristiques se situent en première ligne sur la plage.

Concernant le risque de submersion marine, aucun cas de submersion par rupture de digue et/ou de création de brèche dans le cordon dunaire n'a été recensé. En revanche, les submersions qui se sont produites ont été causées par des franchissements de paquets de mer au-dessus du cordon littoral.

Enfin, il est à noter que les tempêtes majeures qui ont affecté le littoral oriental de la Corse ont fait quasi-exclusivement des dégâts matériels. Un seul cas de perte humaine liée à la mer (noyade) a été recensé. Il s'est produit à Valle-di-Campoloro le 18 juillet 1981.

2.4. APPROCHE PAR MODELISATION NUMERIQUE

Afin de mieux caractériser les processus agissant lors des tempêtes sur la Plaine Orientale, et pour pallier au manque de données hydrodynamiques issues de mesures *in situ*, en l'absence de houlographe directionnel implantés au large de la Corse, une approche par modélisation numérique des conditions de houle entre 1979 et 2009 a été menée.

Elle a pour objectif de reconstituer la chronique des houles sur cette période et permettre ainsi d'extraire les caractéristiques de l'agitation au large pendant les événements de tempête.

2.4.1. Principe de modélisation

Les modèles numériques actuels permettent de générer et de propager à la côte des séries de vagues issues de modèles globaux, où les champs de vagues sont

régénérés à partir des champs de vents observés ou simulés. Dans cette étude, Le modèle utilisé est le modèle SWAN (Booij *et al.* 1999). Il est forcé par des champs de vents issus du modèle global du NCEP (*National Center for Environmental Prediction*).

a) Le modèle SWAN (*Simulating Wave Nearshore*)

SWAN est un modèle spectral de houle développé par l'Université de Delft (Pays Bas) prenant en compte divers phénomènes :

- la propagation de la houle dans le temps et l'espace, le gonflement de la houle à la côte, la réfraction due aux courants ou à la bathymétrie ;
- la génération des vagues par le vent ;
- les interactions vague-à-vague ou les interactions pour les houles composées de 3 à 4 nombres d'ondes en résonance ;
- le moutonnement, le frottement au fond et le déferlement dû aux variations bathymétriques ;
- le *set-up* induit par la houle.

Les simulations peuvent être effectuées sur un maillage régulier ou curvilinéaire, dans un système de coordonnées cartésiennes ou sphériques permettant respectivement d'exprimer les directions en convention cartésienne ou nautique.

Swan est généralement utilisé pour simuler la propagation de la houle sur des zones côtières sans ouvrages et pour des bathymétries simples à complexes, sur des domaines d'étude s'étendant sur des échelles allant du kilomètre à plusieurs centaines de kilomètres (Booij *et al.*, 1999).

b) Sources de vents NCEP (*National Center for Environmental Prediction*)

Aux Etats-Unis, le National Center for Environmental Prediction (NCEP) fournit des prévisions en continu (intensité et direction du vent) ainsi que des ré-analyses d'anciennes simulations en les améliorant par assimilation des observations. La résolution spatiale est de 1°. Les données sont disponibles à un pas de temps de 6h sur une grille de 0.5*0.5°, de 1979 à 2009. Il s'agit de données météorologiques proches de la surface terrestre, comprenant la température à 2 m de hauteur, l'humidité spécifique et les vents à 10 m de hauteur, à un pas de temps tri-horaire.

c) Stratégie de modélisation de la houle

Le principe de la modélisation est basé sur un concept d'emboîtement de modèles : un modèle à maille large (Rang 1) à l'échelle de la Méditerranée occidentale donne en sortie une série de caractéristiques qui pourront par la suite contraindre en limite un modèle d'échelle inférieure (Rang 2).

Le modèle SWAN Rang 1, de grande emprise permet d'appréhender la génération de la houle par le vent et d'avoir une idée globale de la propagation de la houle vers la

côte. Le modèle SWAN Rang 2, plus fin et donc plus précis permet de déterminer les caractéristiques de la houle à la côte sur une échelle plus locale. Il utilise comme conditions limites les données issues du Rang 1.

A ce stade du travail, la modélisation est réalisée pour obtenir les conditions de houle au large (Rang 1) et déterminer les grandes caractéristiques de l'agitation lors des tempêtes, en termes d'intensité et de direction de provenance (Illustration 21).

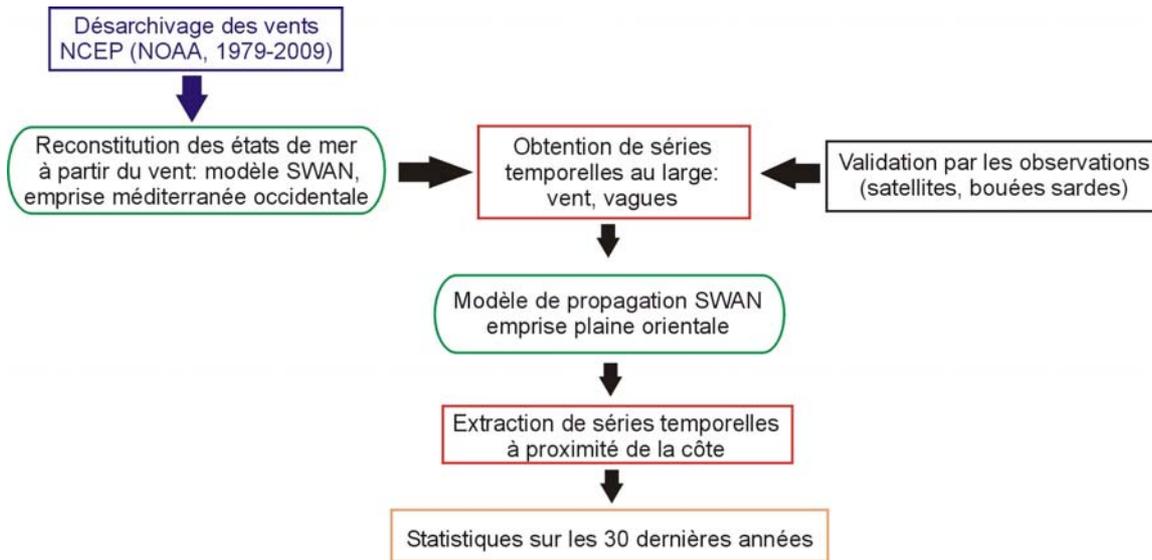


Illustration 21 : Méthodologie mise en œuvre pour la reconstitution des chroniques de houle entre 1979 et 2009. Les simulations concernent actuellement la reconstitution de la houle au large. Elles vont se poursuivre à la côte lors de l'obtention des données du lidar bathymétrique (Phase 2 du présent projet).

2.4.2. Résultats

Les chroniques de houle ont été ainsi reconstituées au niveau de 3 points ou « bouées virtuelles » réparties du Nord au Sud au large de la Plaine Orientale de Corse (Illustration 22 et Illustration 23).

Point	Latitude WGS84	Longitude WGS84	Profondeur (m)
Plaine Orientale 1 / PO1	42,70° N	9,65° E	426
Plaine Orientale 2 / PO2	42,35° N	9,73° E	595
Plaine Orientale 3 / PO3	41,92° N	9,63° E	582

Illustration 22 : Coordonnées des points virtuels de reconstitution des chronologies de houle

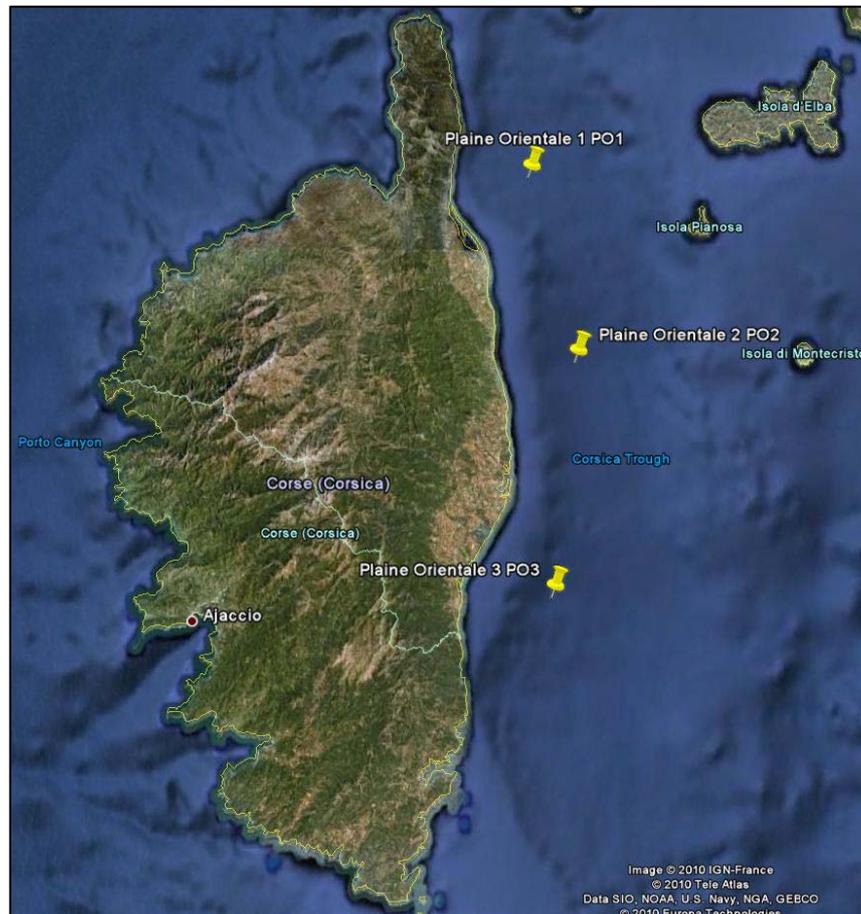


Illustration 23 : Implantation des bouées virtuelles au large de la Plaine Orientale de Corse (fond GoogleEarth).

a) Reconstitution des chroniques des houles : 1979-2009

Les illustrations 21 à 23 montrent les différentes caractéristiques de l'agitation au niveau des 3 bouées virtuelles. Sur chaque planche sont représentés :

- a) la chronique des hauteurs significatives de la houle H_s entre 1979 et 2009 : elle montre l'évolution de l'agitation et laisse transparaître les grands événements ;
- b) un histogramme de fréquence des H_s par classes de 1 m d'intervalle ;
- c) un corrélogramme des caractéristiques primaires de la houle H_s et T_{m0} (période de la houle déterminée par analyse spectrale du signal) ;
- d) une rose des houles qui expriment la fréquence des conditions d'agitation pour une combinaison classe de H_s / direction de provenance de la houle.

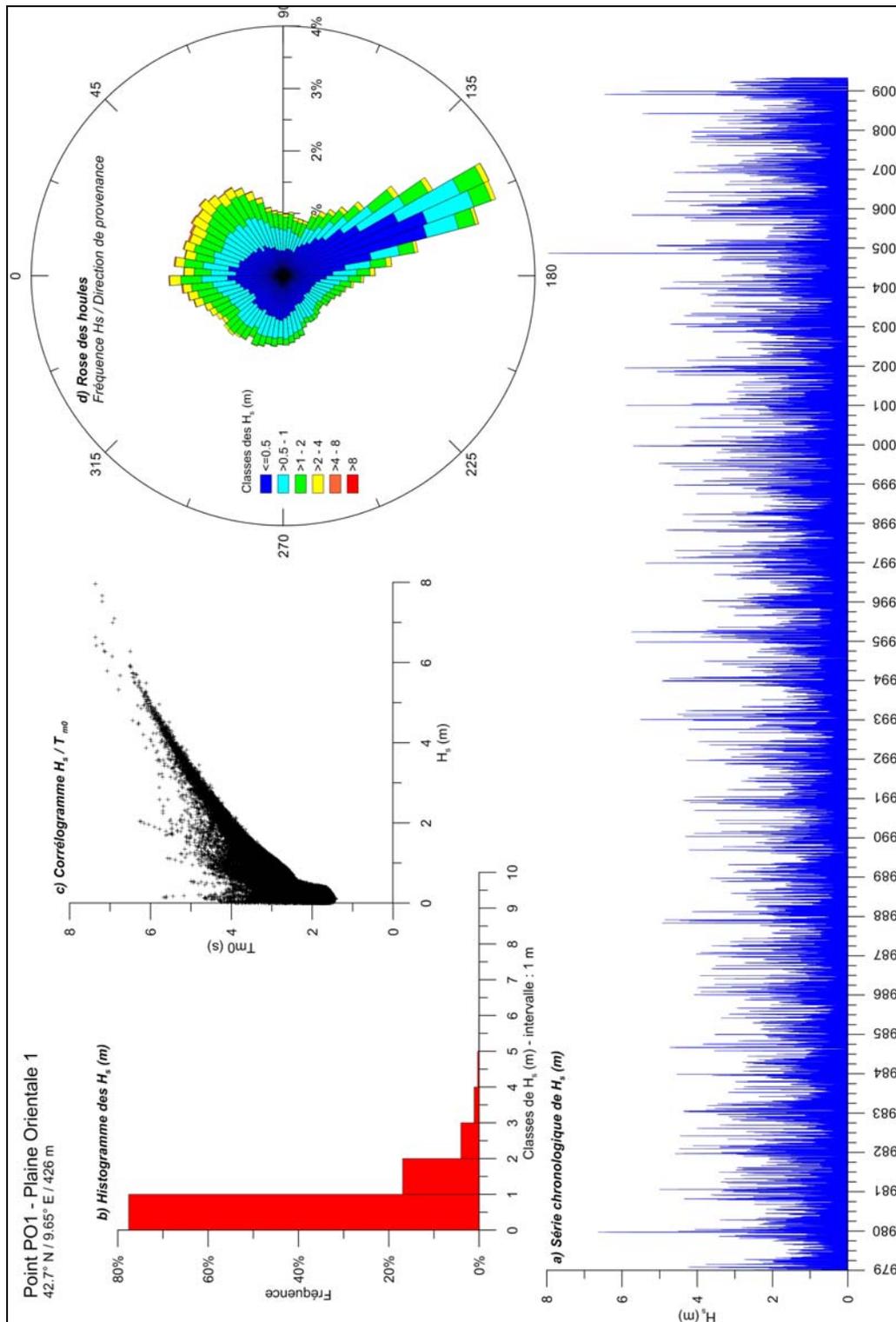


Illustration 24 : Série chronologique et statistiques des houles au niveau du point Plaine Orientale 1 (PO1)

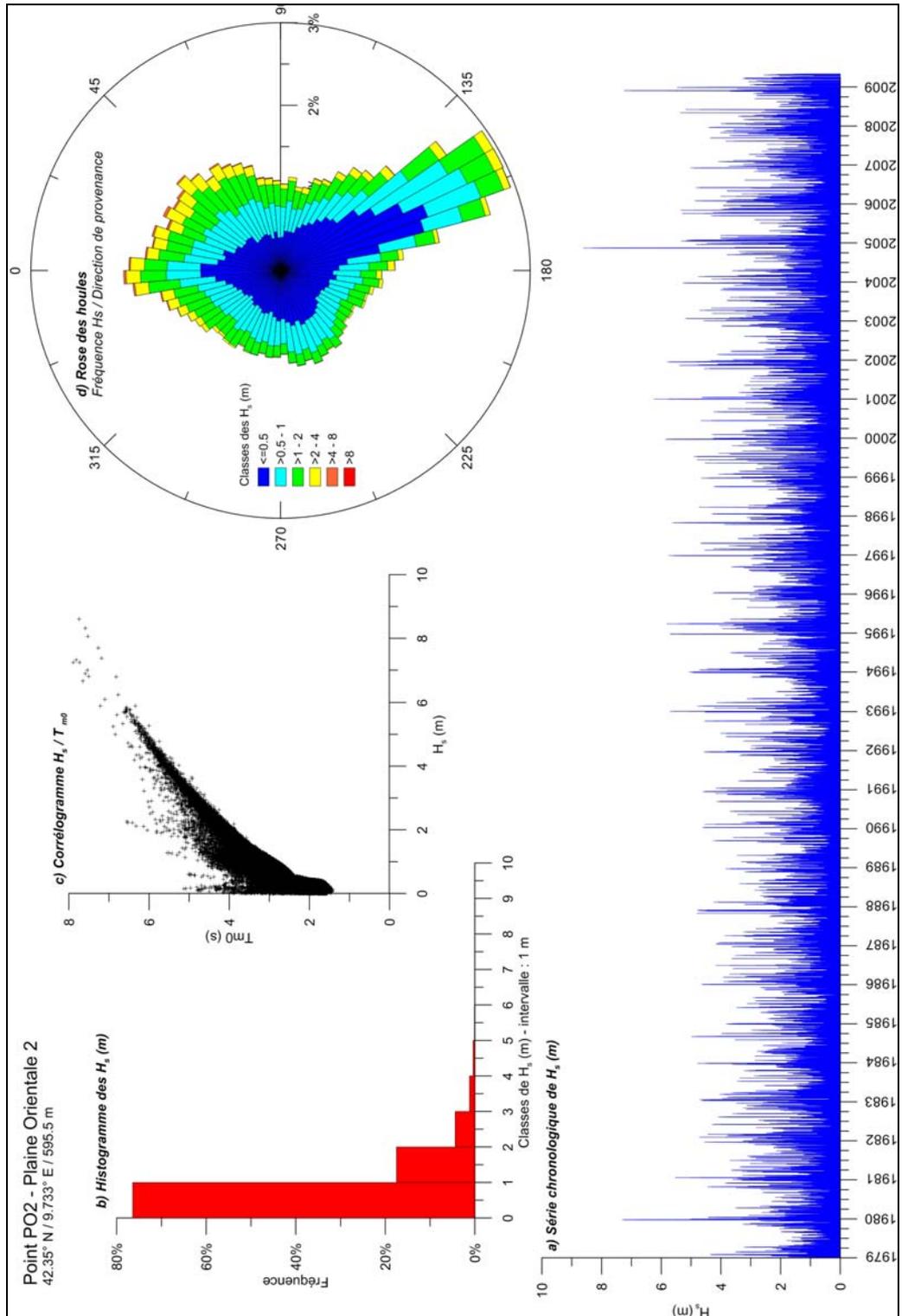


Illustration 25 : Série chronologique et statistiques des houles au niveau du point Plaine Orientale 2 (PO2)

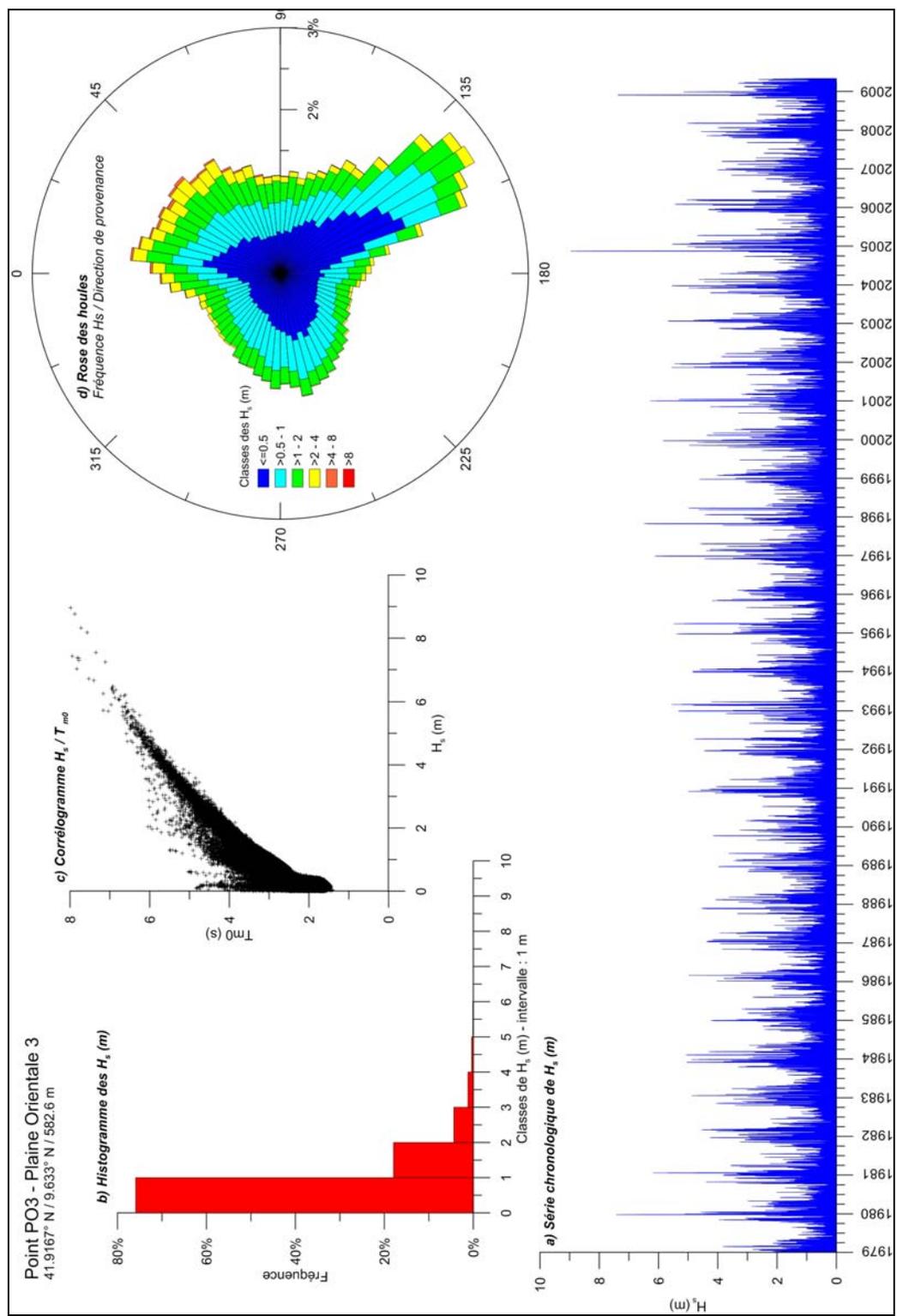


Illustration 26 : Série chronologique et statistiques des houles au niveau du point Plaine Orientale 3 (PO3)

Les séries de données sont relativement homogènes sur les 3 points d'extraction.

La répartition des directions de provenance de la houle est fonction de l'exposition des points d'extraction par rapport aux vents de secteur Ouest qui sont de plus en plus fréquents du Nord au Sud (entre PO1 et PO3).

Concernant la hauteur significative H_s (Illustration 27), on note également une amplification générale du Nord au Sud, au niveau des valeurs moyennes et des valeurs extrêmes, avec une différence de 1 m entre PO1 et PO3, en relation probable avec l'augmentation de l'exposition aux vents à l'extérieur du Canal de Corse.

		PO1	PO2	PO3
Hauteur significative H_s (m)	Maximum	7,96	8,61	8,96
	Moyenne	0,71	0,74	0,76
	Ecart-type	0,67	0,70	0,71

Illustration 27 : Statistiques de la hauteur significative de la houle aux trois points d'extraction

De manière générale, les conditions de faible agitation ($H_s > 1$ m) représentent 75 à 80% du temps. La classe [1-2m] est inférieure à 20%, et la classe des événements où la hauteur significative de la houle est supérieure à 2 m est inférieure 10% du temps.

Les corrélogrammes H_s/T_{m0} montrent une relation de dispersion relativement classique, la période des vagues augmentant de manière quasi-linéaire avec la hauteur significative : les périodes maximales de l'ordre de 8 s se retrouvent lors épisodes de très fortes vagues ($H_s > 8$ m).

2.4.3. Analyse statistique des vagues extrêmes et estimation des périodes de retour

a) Méthode d'évaluation

Les différentes étapes mises en œuvre pour évaluer les hauteurs significatives (H_s) de la houle pour des périodes de retour données sont les suivantes (Illustration 28) :

- identification d'événements extrêmes indépendants (sélection des événements par la méthode des blocks maxima ou bien par la méthode des seuils) ;
- ajustement de plusieurs lois candidates et calcul des intervalles de confiance ;
- choix de la loi qui donne le meilleur ajustement en fonction des résultats de tests statistiques (test du χ^2 et test de Kolmogorov-Smirnov) et sur le nombre de valeurs situées en dehors des intervalles de confiance) ;
- sortie des résultats.

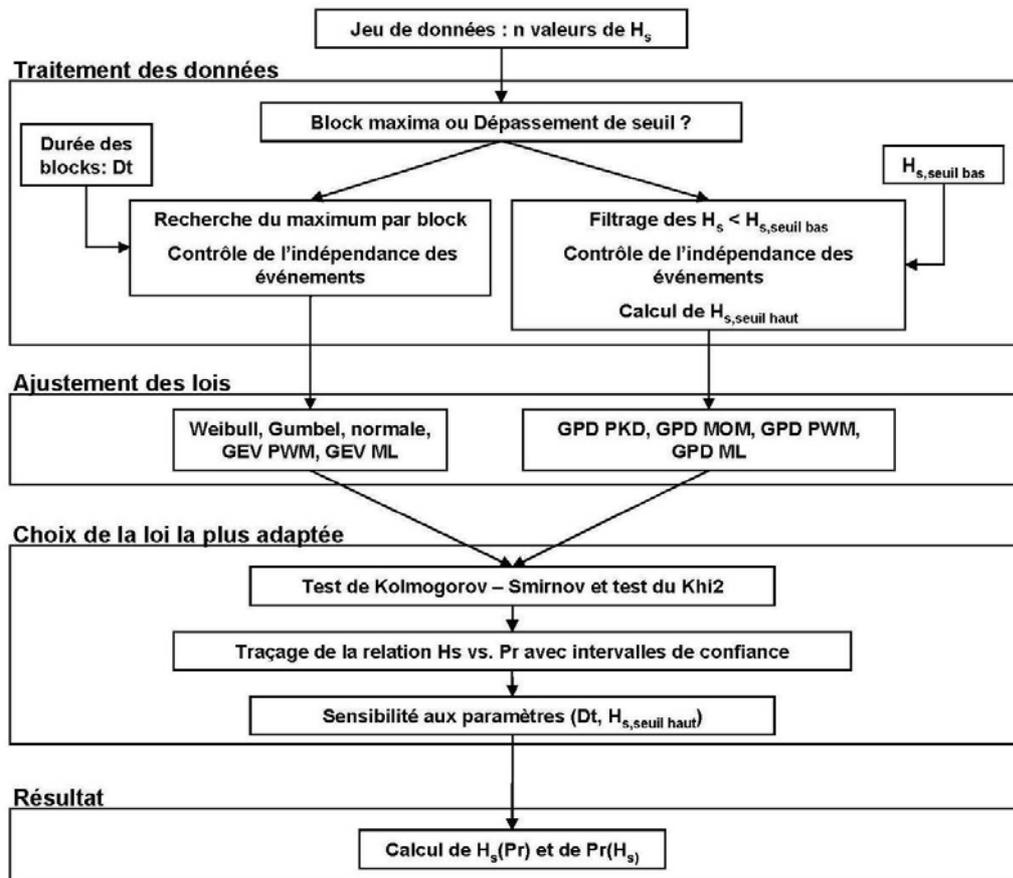


Illustration 28 : Principe de l'algorithme utilisé pour l'analyse des événements extrêmes

En fonction de la méthode de sélection des événements indépendants, nous utilisons soit des lois basées sur la probabilité de renouvellement (Weibull, Gumbel, normale, Generalized Extreme Value) soit des lois basées sur la probabilité de dépassement d'un seuil (Generalized Pareto Distribution).

Différentes méthodes d'ajustement sont testées pour les lois à trois paramètres GEV et GPD : le maximum de vraisemblance (ML), la méthode des moments pondérés (PWM), la méthode des moments (MOM) et la méthode de Pickands (PKD).

Il est impossible de savoir *a priori* quelle loi et quelle méthode de calcul des coefficients donne le meilleur ajustement avec les données, car cela dépend des caractéristiques du site étudié. Pour déterminer la meilleure combinaison possible de lois de probabilités et de méthode d'ajustement, toutes les possibilités sont testées les unes après les autres.

Enfin, la méthode de sélection des événements indépendants est une étape délicate mais importante dans l'analyse des extrêmes. La difficulté est liée au fait qu'il faut définir un critère qui permette de sélectionner automatiquement un nombre important

d'événements tout en s'assurant que ces événements sont bien liées à des événements météo-marins distincts (indépendance).

En pratique, pour les lois basées sur la probabilité de renouvellement, la sélection des événements s'effectue en identifiant le maximum atteint pendant une période de longueur donnée (un bloc).

Pour les lois de dépassement des seuils, les événements extrêmes analysés sont des événements pendant lesquels H_s dépasse une valeur seuil. Plus le seuil est bas, plus il y a d'événements à analyser et plus il est difficile de dissocier les événements indépendants. Plus le seuil est haut, moins il y a d'événements à analyser et plus il est facile de s'assurer que les événements sont indépendants.

Un test de sensibilité des deux méthodes d'approche, celle des blocks maxima et celle des dépassements de seuil, a été réalisé et montre que ces deux approches donnent des résultats sensiblement proches. De plus, la sensibilité des résultats à la valeur du seuil a également été testée. Une durée Δt a été introduite pour pouvoir distinguer des événements indépendants. Si deux pics de tempêtes se produisent à un intervalle de temps inférieur à Δt , les événements sont considérés dépendants (i.e. ils sont générés par le même événement météorologique) et seul le pic associé à la plus grande valeur de H_s est conservé. La sensibilité des résultats à Δt a également été évaluée.

Nous avons donc choisi d'utiliser la méthode de dépassement de seuil avec la loi du maximum de vraisemblance (GPD ML) en effectuant également un test de sensibilité sur la valeur du seuil et celle de Δt .

Les différents tests réalisés donnant des résultats équivalents, nous présenterons les valeurs obtenues pour une valeur seuil de $H_s = 4$ m et $\Delta t = 2$ j.

Quelques événements extrêmes correspondent à des événements atypiques, appelés "horsains"¹⁰ dont la valeur s'éloigne de la courbe issue de l'analyse statistique des données disponibles sur le site d'observation. La prise en compte des horsains nécessite des études complémentaires, encore à mener, pour définir l'approche statistique la plus adaptée.

Deux approches ont été abordées pour mener à bien cette analyse :

1. une analyse sur l'ensemble des houles ayant un impact sur la Plaine Orientale (houles de secteur Est) ;
2. une analyse sur deux cadrans Nord-Est et Est-Sud, en fonction de la provenance de la houle.

¹⁰ Horsain : donnée qui se distingue par sa valeur significativement différente de celles des autres données de l'échantillon concerné.

b) Résultats

• Approche globale

Nous considérons dans notre série temporelle que les évènements ayant une incidence sur la côte de la Plaine Orientale, soit au sens large, les houles provenant des directions comprises entre 0 et 180°. Ceci signifie que nous considérons que toutes ces houles sont générées par la même situation météorologique.

Les valeurs de hauteurs significatives obtenues pour les périodes de retour de 1, 10, 50 et 100 ans sont répertoriées dans le tableau ci-dessous (Illustration 29) conformément au graphique (cf. Illustration 31).

Période de retour (ans)	H_s (m)	IC 68% (m)	IC 95% (m)
1	4,45	[4,37 ; 4,52]	[4,30 ; 4,59]
10	6,15	[5,86 ; 6,44]	[5,59 ; 6,71]
50	7,3	[6,77 ; 7,83]	[6,26 ; 8,33]
100	7,78	[7,09 ; 8,47]	[6,43 ; 9,13]

Illustration 29 : Valeurs de hauteurs significatives (H_s) et intervalles de confiance (IC) associés pour différentes périodes de retour.

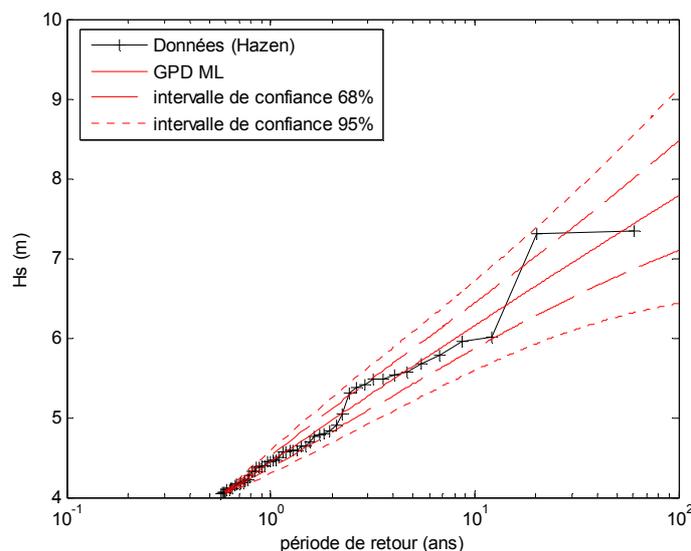


Illustration 30 : Hauteur significative en fonction de la période de retour. La loi sélectionnée est une loi GPD.

Pour illustrer ces résultats, nous avons 68% de chance d'observer une fois tous les 10 ans une houle de hauteur significative comprise entre 5,86 et 6,44 m (valeur moyenne de 6,15 m) ayant une direction de provenance comprise entre 0 et 180 degrés.

• Approche sectorielle

Nous considérons deux situations météorologiques distinctes :

- les houles provenant du secteur N-NE générées principalement par la Tramontane ;
- et celles provenant du secteur S-SE générées principalement par le Sirocco.

Les résultats pour ces deux secteurs sont rassemblés dans les tableaux ci-dessous (cf. Illustration 32 à 33).

Période de retour (ans)	Hs (m)	IC 68% (m)	IC 95% (m)
1	4,29	[4,24 ; 4,34]	[4,20 ; 4,38]
10	5,59	[5,43 ; 5,75]	[5,28 ; 5,90]
50	6,04	[5,87 ; 6,21]	[5,71 ; 6,38]
100	6,17	[5,99 ; 6,35]	[5,81 ; 6,53]

Illustration 31 : Valeurs de hauteurs significatives (Hs) et intervalles de confiance (IC) associés pour différentes périodes de retour pour les houles du secteur N-NE

Période de retour (ans)	Hs (m)	IC 68% (m)	IC 95% (m)
10	5,78	[5,38 ; 6,18]	[5,00 ; 6,57]
50	7,24	[6,37 ; 8,11]	[5,54 ; 8,94]
100	7,80	[6,59 ; 9,01]	[5,43 ; 10,17]

Illustration 32 : Valeurs de hauteurs significatives (Hs) et intervalles de confiance (IC) associés pour différentes périodes de retour pour les houles du secteur S-SE.

Les graphiques associés à ces valeurs pour les secteurs N-NE et S-SE sont représentés respectivement sur l'illustration 33 et l'illustration 34.

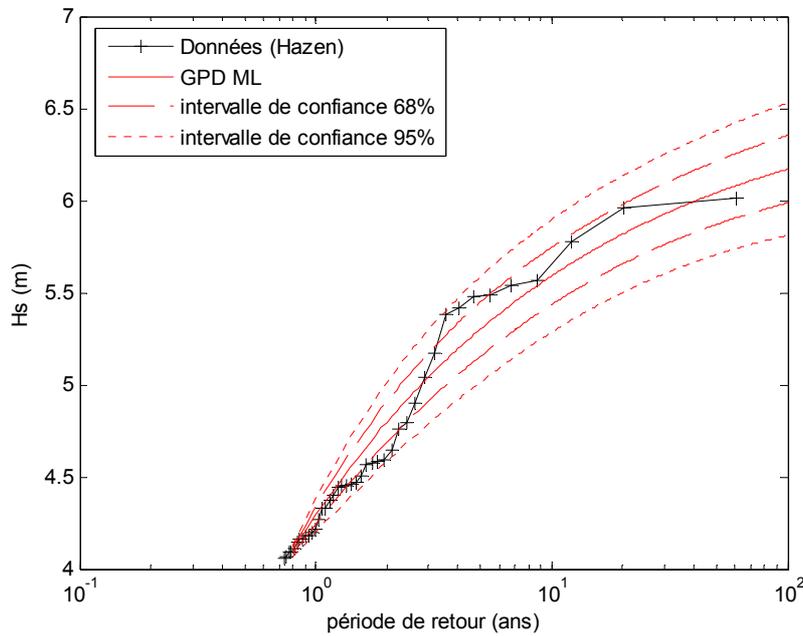


Illustration 33 : Houles de secteur N-NE : Hauteur significative en fonction de la période de retour. La loi sélectionnée est une loi GPD.

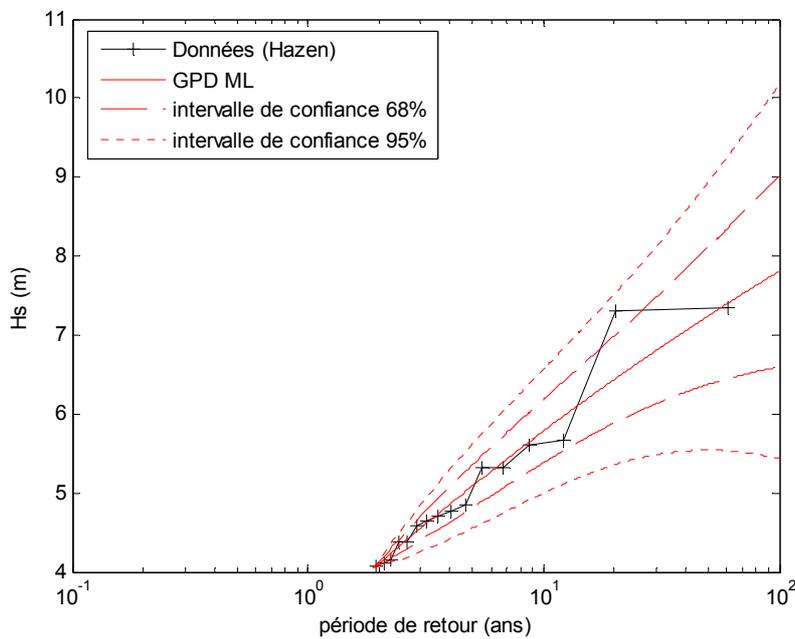


Illustration 34 : Houles de secteur S-SE : Hauteur significative en fonction de la période de retour. La loi sélectionnée est une loi GPD.

Il est à noter que dans le cas des houles de secteur S-SE, la hauteur associée à une période de retour annuelle est inférieure à 4 m (Illustration 34), et donc hors du domaine de définition des ajustements mathématiques choisis, la valeur seuil des évènements étant fixée par convention pour l'analyse à $H_s = 4$ m.

c) Conclusions sur les périodes de retour

Selon l'approche globale, intégrant l'ensemble des évènements, les résultats montrent que la période de retour annuelle est de l'ordre de 4 m et la période de retour décennale de 6,15 m.

Selon l'approche sectorielle, les résultats sont comparables avec des valeurs pour une période de retour annuelle de l'ordre de 4,29 m pour le secteur N-NE, et légèrement inférieure à 4 m pour le secteur Sud-Est. A l'échelle décennale, les hauteurs associées aux périodes de retour sont respectivement de 5,59 m et 5,78 m. Au-delà, les valeurs divergent avec des valeurs plus importantes pour les évènements en provenance du S-SE, qui sont vraisemblablement plus énergétiques.

Cette estimation des périodes de retour des vagues extrêmes est une première analyse sur les bases de données issues de modélisations sur les 30 dernières années sur des points d'extraction situées au large de la Corse.

Ces deux conditions font que ces estimations doivent être considérées avec une grande prudence en ce qui concerne les valeurs des vagues à la côte, notamment pour les périodes de retour 50 et 100 ans, supérieures à l'échelle de temps de la série de données disponibles. Cependant, en l'absence de ce type de données fiables et sur de longues périodes de temps, les périodes de retour calculées restent d'une valeur indicative intéressante.

2.4.4. Etude des tempêtes principales

a) Caractérisation des évènements de tempête

La détermination des évènements de tempêtes s'effectue à partir des séries chronologiques des conditions d'agitation calculées au large à l'aide d'une méthode POT (*Peak Over Threshold*). Cette méthode consiste à définir un évènement lorsqu'un paramètre dépasse un certain seuil. Les épisodes de tempête sont ainsi définis comme les périodes pendant lesquelles la hauteur significative de la houle (H_s) est supérieure à une valeur seuil.

La détermination de la valeur seuil est par définition arbitraire, mais elle est fonction pour partie de l'exposition des sites étudiés aux conditions hydrodynamiques régionales :

- ainsi, sur la plage de Duck en Caroline du Nord (USA) sur la côte atlantique, en domaine océanique ouvert, Lee *et al.* (1998) fixent la valeur seuil à $H_{s,0} = 2$ m. avec $H_{s,0}$, hauteur significative de la houle au large ;

- sur la plage d'Omaha beach en Normandie, en domaine de mer semi-fermée avec un fetch étroit, Stépanian (2002) considère la valeur seuil de 1 m. Ce type de conditions représente 10% du temps, et la valeur est deux fois supérieure à la valeur de la houle moyenne, et des observations de terrain ont montré que des changements morphologiques érosifs significatifs se produisent au dessus de ce seuil.

Dans le cadre de la présente étude, la valeur seuil de la houle au large déterminant la période de tempête est fixée à 2 m. Ce seuil a été utilisé dans de nombreuses autres études régionales à l'échelle méditerranéenne, ainsi sur la côte de Catalogne Mendoza, (2008), le long du lido de Sète (Gervais *et al.*, 2010) et sur le littoral du Golfe du Lion (Tirard, 2010). Il permet de retenir les événements les plus importants, susceptibles d'impacter significativement le littoral de Corse.

Par ailleurs, on considère par hypothèse que la durée minimale pour une tempête est de 6 heures. Cette valeur est utilisée pour assurer que l'évènement étudié dure suffisamment longtemps pour provoquer un impact sur le littoral. De même, la durée de retour minimale entre deux tempêtes est fixée à 12 heures. En dessous de cette valeur, on peut considérer qu'il s'agit d'un seul et même épisode de tempête.

Compte tenu de ces critères, les événements de tempêtes sont identifiés directement à partir des séries chronologiques d'agitation reconstituées. Pour chaque événement, les paramètres extraits concernent :

- les dates de début et fin de la tempête ;
- la durée de la tempête (h) ;
- la date à laquelle la hauteur significative maximale de la houle $H_{s,max}$ est enregistrée ;
- la valeur de la hauteur significative maximale au cours de l'évènement, $H_{s,max}$ (m) ;
- la valeur moyenne de la hauteur significative au cours de l'évènement $H_{s,moyen}$ (m) ;
- la période moyenne sur le pic d'énergie de la tempête T_p (s) ;
- la période de pic pour $H_{s,max}$, T_{max} (s) ;
- la date Tpic max (date du maximum de la période) ;
- la direction de pic en coordonnées nautiques (°) ;
- la direction globale moyenne Dir (°) ;
- l'énergie totale de la tempête E (J/m²).

L'ensemble de ces paramètres permet ainsi de caractériser de manière quantitative les événements tempêtes et fournit ainsi des éléments de comparaison entre eux.

b) Principales tempêtes affectant le littoral de la Plaine Orientale

Les caractéristiques principales des tempêtes identifiées au niveau des trois points d'extraction sont reportées sur les Illustration 35 à Illustration 37.

Une série d'histogrammes des différents paramètres décrivant les événements de tempêtes et de graphiques montrant les relations entre ces différents paramètres est disposée en Annexe 3.

• Nombre d'évènements

Pour le point PO1 (Illustration 35), le nombre d'évènements est de 339 dont 140 avec une durée inférieure à 12 h.

Au niveau du point PO2 (Illustration 36), le nombre d'évènements identifiés est de 413 dont 151 qui ont une durée inférieure à 12 h.

Pour le point PO3 (Illustration 37), 406 évènements ont été reconnus dont 142 d'une durée inférieure à 12 h.

• Description générale

De manière générale, sur l'ensemble des trois points, les grands événements identifiés dans l'analyse bibliographique sont retrouvés, notamment les tempêtes de décembre 1979 et de novembre 2008, qui se distinguent en particulier au niveau de la valeur atteinte par $H_{s,max}$, qui dépasse 6 m lors de ces deux événements sur les trois points de mesure. Sur le point PO3, on constate cependant qu'il y a quelques événements supplémentaires avec des valeurs de $H_{s,max}$ supérieures à 6 m par rapport aux points plus au Nord, en relation avec la position plus exposée de ce point au Sud-Est de la Corse.

En termes de direction des houles de tempêtes (direction moyenne pendant l'évènement), les événements caractérisés par des houles en provenance du secteur Nord-Est sont largement plus fréquents que ceux de secteur Sud-Est. On constate cependant une variation du Nord au Sud de la distribution des directions, avec une augmentation progressive de la fréquence des houles de secteur Sud-Est entre les points PO1 et PO3, alors que la distribution des $H_{s,max}$ reste relativement homogène sur ces trois points. Cette variation est une fois de plus mise en relation avec la plus grande exposition du point d'extraction au Sud.

Les périodes associées sont de l'ordre de 5 à 8 s (T_{moy}) et de 6 à 15 s pour les périodes de pic (T_{pic}).

La durée moyenne des événements de tempêtes est de l'ordre de 20 h pour une durée maximale qui atteint 140 h, soit environ 5,5 jours pendant lesquels la hauteur de la houle au large reste supérieure à 2 m.

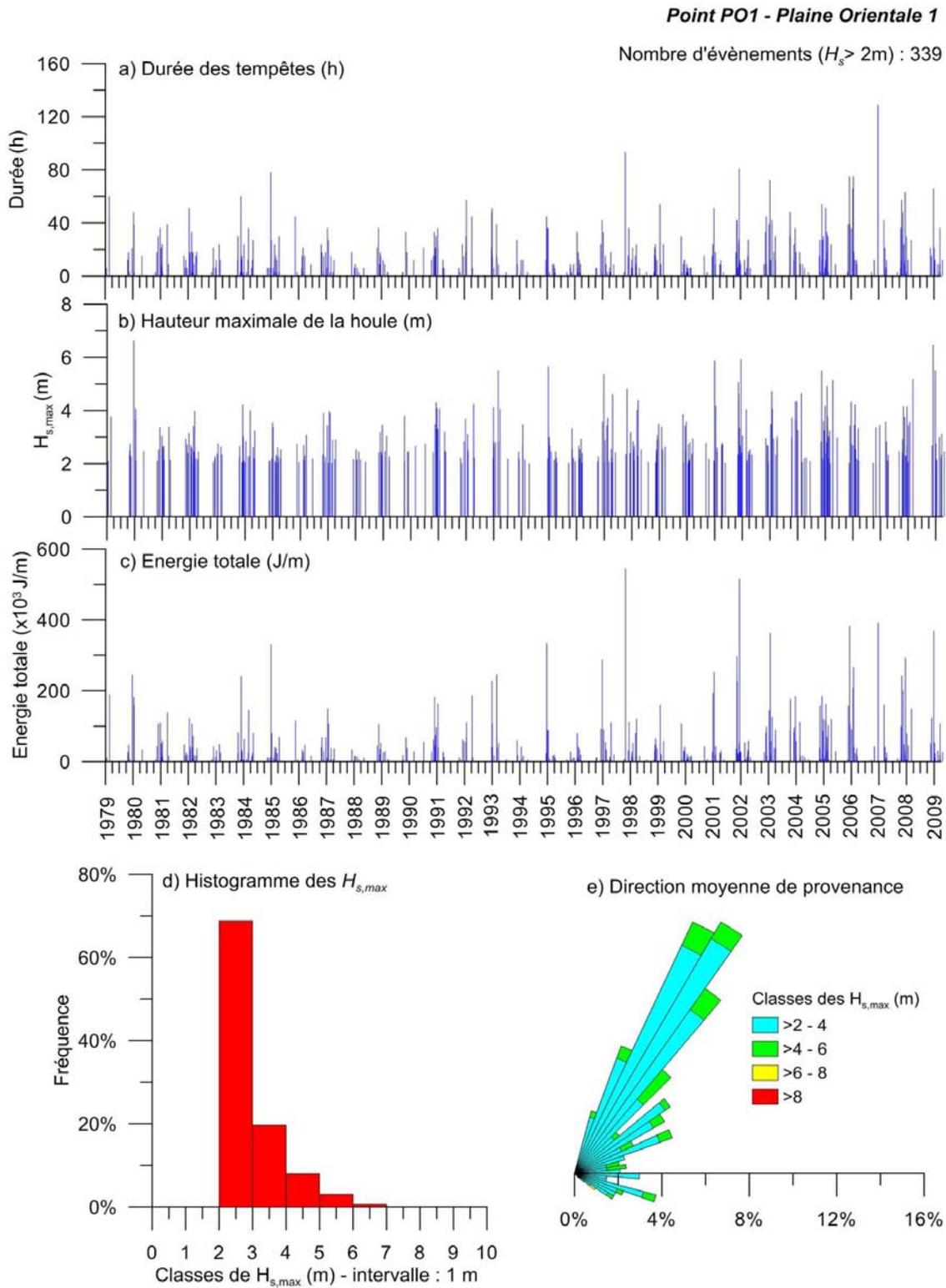


Illustration 35 : Evènements de tempêtes reconstitués au point Plaine Orientale 1 - PO1

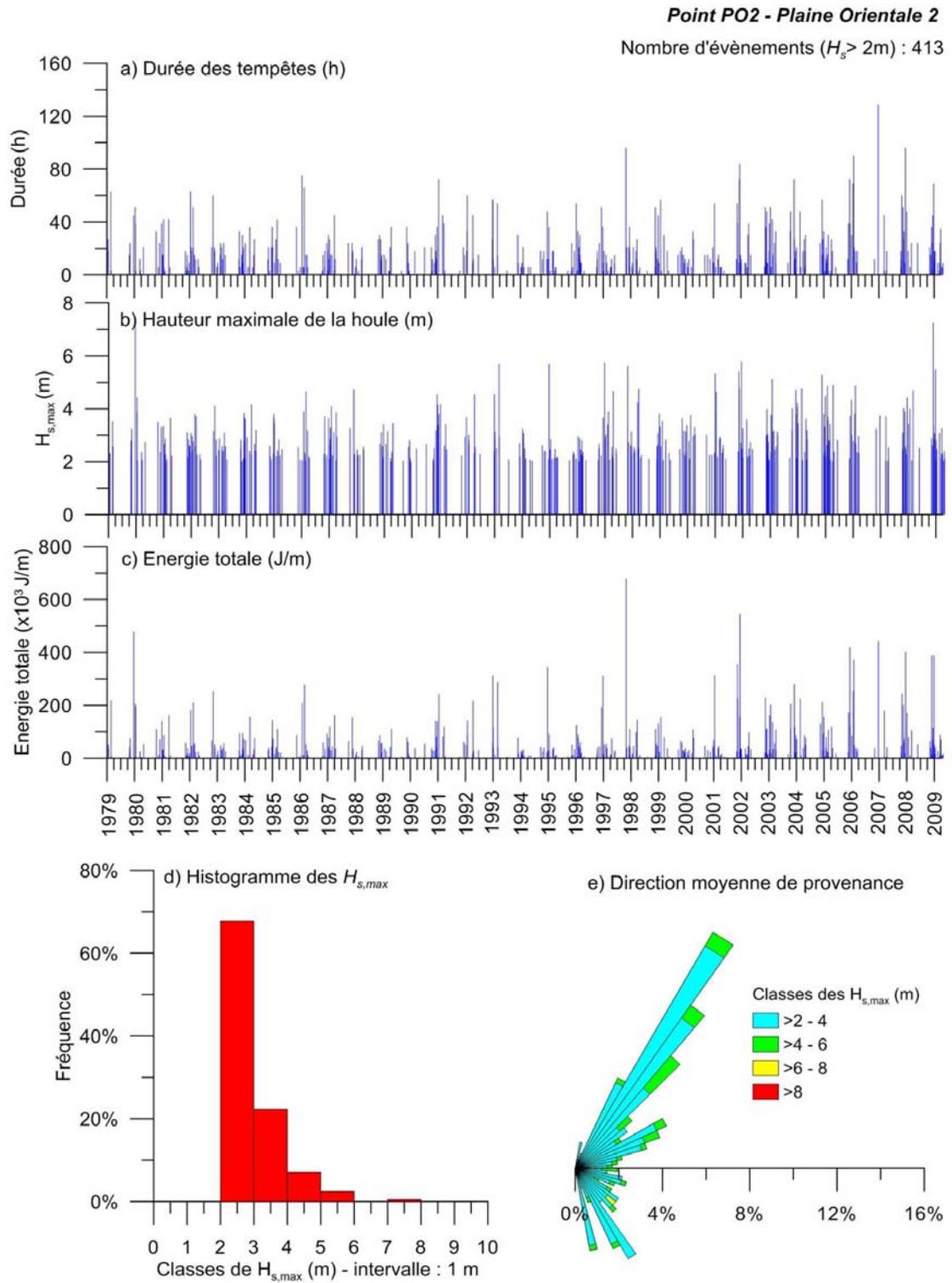


Illustration 36 : Evènements de tempêtes reconstitués au point Plaine Orientale 2 - PO2

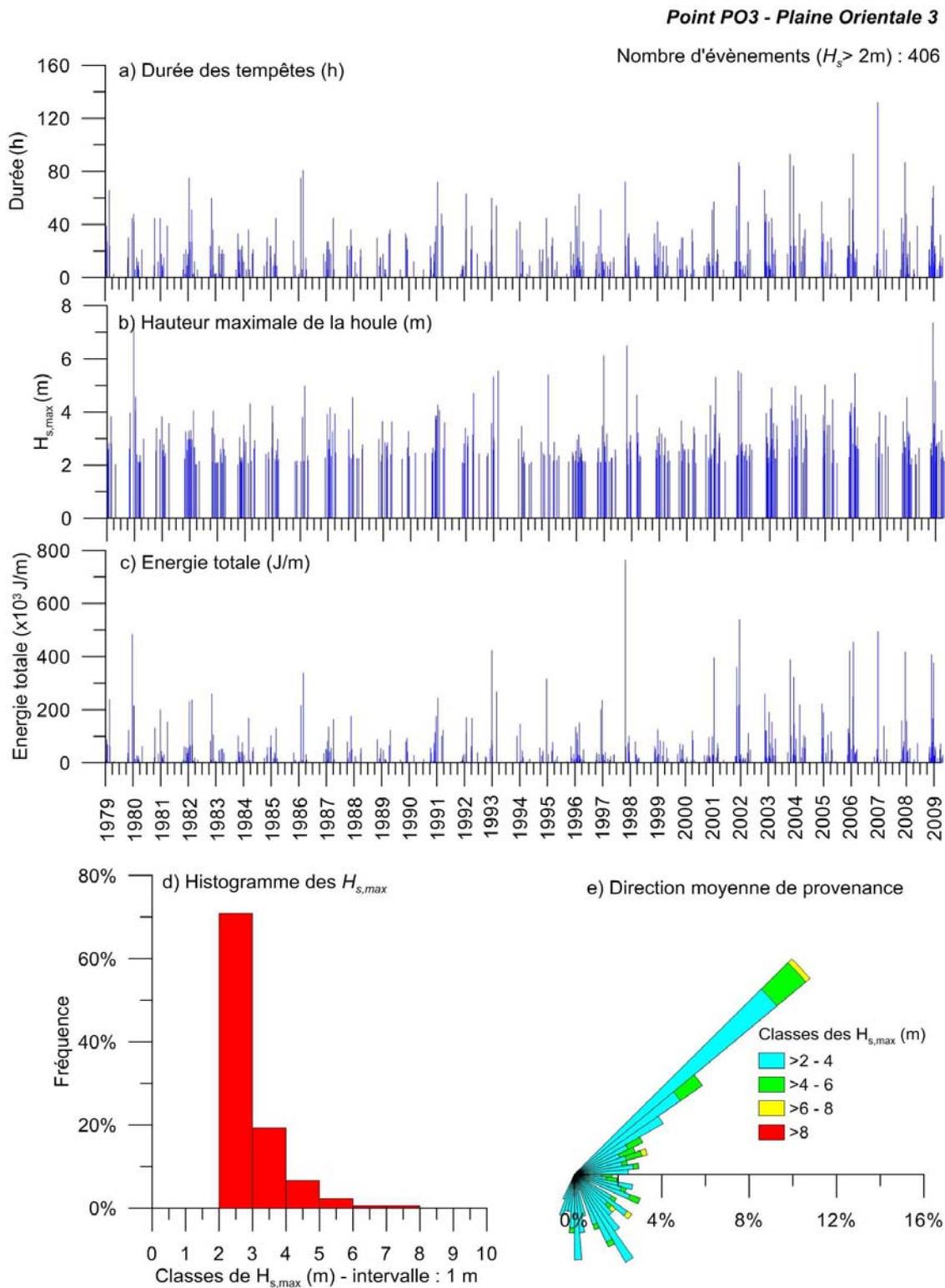


Illustration 37 : Evènements de tempêtes reconstitués au point Plaine Orientale 3 – PO3

- **Relation période moyenne / hauteur maximale de la houle**

La période de la houle (T_{moy}) évolue de manière quasi-linéaire avec la hauteur $H_{s,max}$, ce qui est une observation typique d'une agitation de type « mer de vent ». L'illustration 38 montre cette relation au niveau du point d'extraction PO2, au large de la partie centrale de la Plaine Orientale : les plus fortes houles de l'ordre de 8 m sont ainsi associées à des périodes moyennes de 8 s.

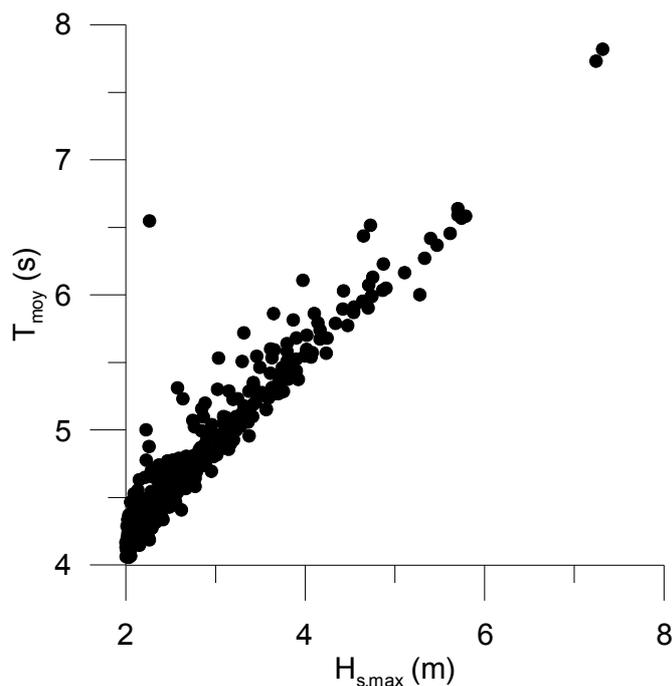


Illustration 38 : Diagramme de relation $H_{s,max}/T_{moy}$ au niveau du point PO2

- **Relation durée de la tempête / hauteur maximale de la houle**

La relation entre la durée de la tempête et $H_{s,max}$ n'est pas aussi claire. Le diagramme sur l'illustration 39 montre une tendance générale à une évolution conjointe des deux paramètres, mais également une grande dispersion des valeurs de part et d'autre d'une droite de tendance idéalisée.

Il apparaît aussi que les deux valeurs maximales de $H_{s,max}$ se sont produites lors d'évènements qui se sont étalés sur une quarantaine d'heures, soit deux fois la durée moyenne des tempêtes. Des évènements de moindre importance, mais très énergétiques avec des $H_{s,max}$ aux alentours de 6 m, se produisent lors d'évènements dont la durée varie de 40 à 100 heures.

Ceci tend à montrer que ce secteur est particulièrement sensible à des évènements de courte durée, de type cyclone méditerranéen, par rapport à des longues périodes de

mauvais temps, où les conditions de houle forte perdurent cependant à des niveaux d'intensité inférieurs. Et que, lors de ces épisodes, la hauteur de la houle peut être très importante, en relation directe avec l'intensité des vents violents.

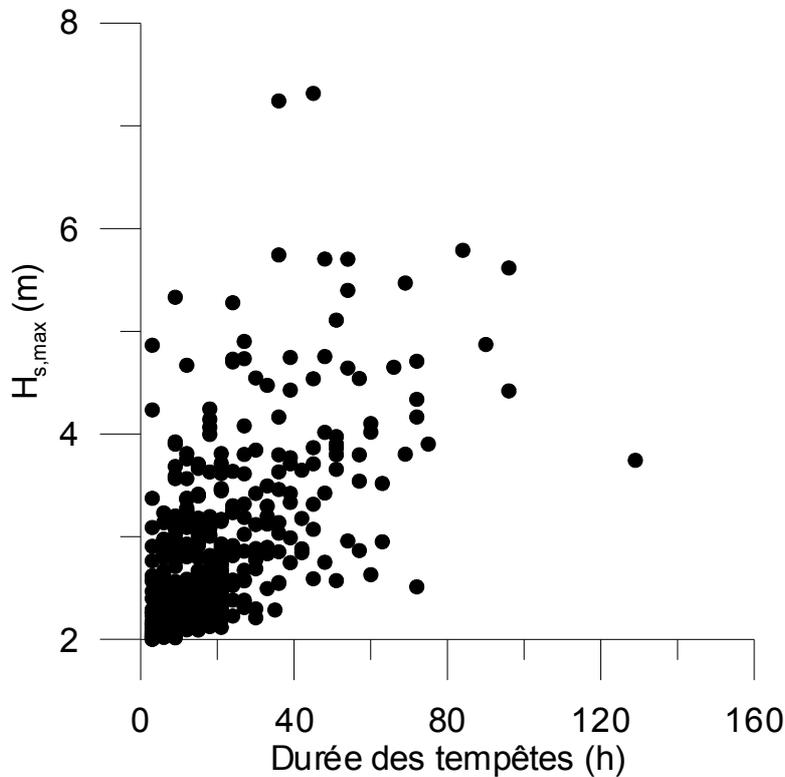


Illustration 39 : Diagramme de relation Durée / $H_{s,max}$ au niveau du point PO2

• Répartition saisonnière des évènements de tempêtes

L'illustration 40 montre la distribution mensuelle du nombre de tempêtes sur la période 1979-2009 pour le point PO2. Une telle distribution est fréquente dans le contexte méditerranéen avec :

- une majorité des tempêtes qui se produisent au cours de la période hivernale avec un pic de fréquence pendant les mois de novembre, décembre et janvier ;
- des mois de mars et avril présentent également une probabilité d'occurrence de tempête significative ;
- en revanche, une période estivale de mai à septembre particulièrement calme, mais au cours de laquelle des tempêtes de forte intensité et de faible durée, de type cyclone méditerranéen peuvent se produire.

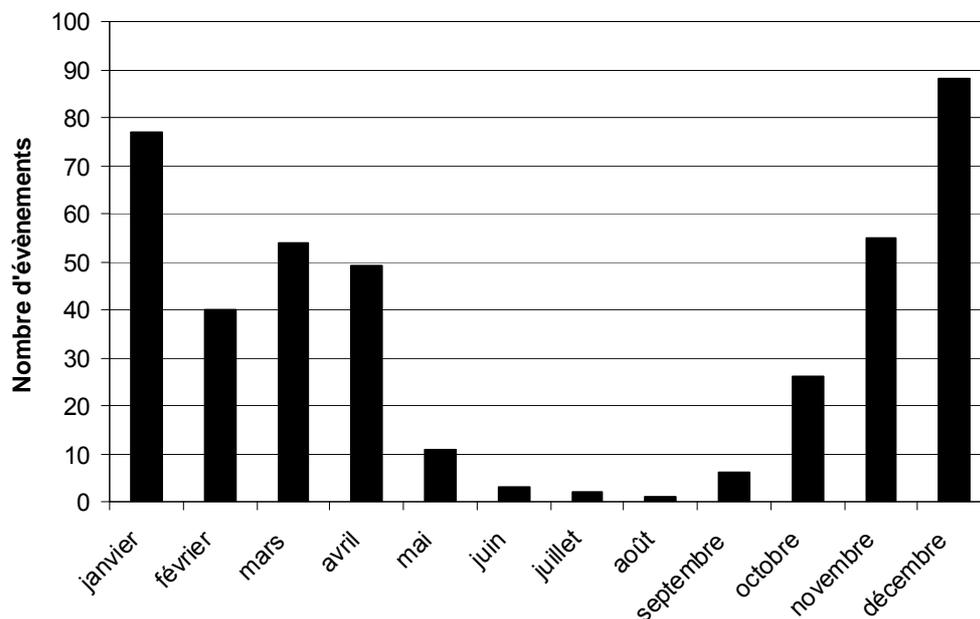


Illustration 40 : Répartition saisonnière des évènements de tempêtes sur la Plaine Orientale (données 1979-2009 : point PO2)

c) Evolution temporelle du nombre de tempêtes

La récurrence des tempêtes de forte intensité sur le littoral métropolitain depuis une dizaine d'année (Lothar et Martin fin 1999, Johanna en 2008, Klaus en 2009, et Xynthia en février 2010), et le fait avéré d'un changement climatique au niveau global, amènent les scientifiques et le public à s'interroger sur les relations entre ces phénomènes. La question qui se pose couramment est : « un réchauffement climatique global va-t-il entraîner une augmentation de la fréquence des tempêtes sur le littoral à une échelle régionale, voire locale ? ».

En l'absence de mesures, la modélisation rétrospective réalisée à partir des champs de vents permet la constitution de chroniques qui peuvent servir à une analyse statistique préliminaire de l'évolution annuelle du nombre d'évènements.

Une analyse de ce type a été réalisée sur les données modélisées au large de la Plaine Orientale au niveau du PO2 sur la période 1979-2009. Si la durée de la période analysée est suffisante pour évaluer de potentielles tendances d'évolution, elle reste toutefois trop limitée pour évaluer le rôle du changement climatique global.

L'illustration 41 montre l'évolution de deux paramètres :

- le nombre total d'évènements recensés par année ;
- la durée totale, en heures, des tempêtes, c'est-à-dire, la durée totale pendant laquelle $H_{s,0} \geq 2$ m.

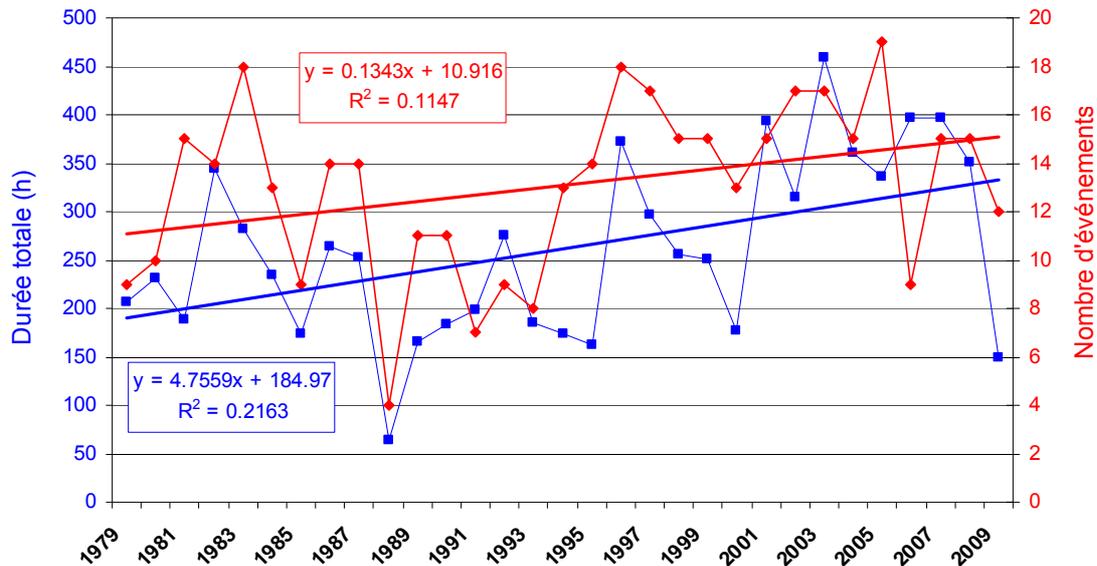


Illustration 41 : Evolution de la durée annuelle totale et du nombre d'événements de tempête au point PO2 (données 1979-2009).

Des droites de régression linéaire pour chaque paramètre sont représentées sur le graphique afin d'estimer la tendance de la relation statistique entre les deux paramètres et le temps. Les équations et les coefficients de corrélation sont également mentionnés pour chaque série de données.

Le nombre d'évènements annuels varie de 4 en 1988 à 19 en 2005. Depuis 1979, ce nombre est très variable (moyenne = 13 ; écart-type = 3,5), et la droite de régression linéaire (en rouge) montre une légère tendance à l'accroissement du nombre de tempêtes depuis 1979. Cet augmentation reste toutefois peu significative statistiquement ($R^2=0,1147$), la longueur de la série de données étant certainement trop courte. On constate cependant une diminution du nombre d'évènements dans les années 80 et au début des années 90.

On retrouve une tendance similaire pour la durée totale des évènements qui varie d'environ 50 h en 1988 à 450 h en 2003. Cela représente 0,5% à 5,2% du temps total annuel. La régression linéaire indique une augmentation de la durée des tempête (courbe de régression en bleu) peu significative statistiquement ($R^2=0,22$).

Les résultats de cette analyse indiquent donc une augmentation peu significative de la fréquence et de la durée des tempêtes. Devant la forte variabilité interannuelle, il n'est pas possible de conclure à une réelle tendance à l'augmentation du nombre des tempêtes, et de leur intensité, au large de la Plaine Orientale entre 1979 et 2009. Cette observation est basée sur les données analysées ici et ne préjuge pas du potentiel effet du changement climatique global sur la fréquence et l'intensité des tempêtes dans le futur.

2.4.5. Synthèse

L'approche par modélisation numérique et reconstitution des chroniques de houle à partir des champs de vents archivés dans des modèles météorologiques globaux est une méthode originale et pertinente pour reconstituer les caractéristiques des tempêtes qui ont impacté dans le passé le littoral de la Plaine Orientale et pour lesquelles les informations bibliographiques et les mesures *in situ* sont inexistantes.

Cette approche a été menée au large de la Plaine Orientale au niveau de 3 points d'extraction (bouées virtuelles) répartis du Nord au Sud. Cela a permis de reconstituer les caractéristiques de la houle au large, donc non perturbée par les phénomènes de réfraction sur les fonds côtiers, sur la période 1979-2009. Ces données serviront de conditions limites pour contraindre des modèles numériques de propagation de la houle en zone côtière et d'approcher ainsi les caractéristiques de l'agitation au niveau du littoral, en incluant les phénomènes de surcote liés aux vagues.

Les caractéristiques de l'agitation au large sont relativement homogènes sur les 3 points d'extraction. Elle est caractérisée par :

- une répartition des directions de provenance de la houle conditionnée par l'exposition et le degré d'éloignement au littoral oriental de la Corse. On note cependant une dominance des houles de secteur Sud-Est par rapport à celles de secteur Nord-Est ;
- une hauteur significative moyenne $H_{s,moy}$ de l'ordre de 0,7 m (écart-type = 0,7 m). La hauteur maximale $H_{s,max}$ varie de 8 à 9 m du Nord au Sud. De manière générale, les conditions de faible agitation ($H_s > 1$ m) représentent 75 à 80% du temps, et les conditions de tempêtes ($H_s > 2$ m) sont inférieures à 10% du temps ;
- la période modale des houles est de l'ordre de 4 à 5 s pour $T_{0,moy}$ et de 5 à 6 s pour $T_{0,pic}$. Les valeurs maximales de $T_{0,moy}$ sont de l'ordre de 8 s et se retrouvent lors épisodes de très fortes vagues ($H_s > 8$ m).

Une analyse statistique a été également réalisée pour déterminer la période de retour des vagues extrêmes. Les périodes de retour obtenues pour les hauteurs de vagues au large sont de l'ordre de 4 m à l'échelle annuelle, et 6,15 m à échelle décennale. Etant donnée la longueur de la série analysée (30 ans), les périodes de retour à 50 et 100 ans doivent être considérées comme une indication qualitative uniquement.

Enfin, l'identification des tempêtes a été réalisée à partir de la série chronologique par une méthode POT (Peak Over Threshold). Elles sont ainsi définies dans le cadre de cette étude, comme la période de temps pendant laquelle la hauteur significative de la houle au large $H_{s,0}$ est supérieure à 2 m. Les grands événements identifiés dans l'analyse bibliographique sont ainsi retrouvés, notamment les tempêtes de décembre 1979 et de novembre 2008, qui se distinguent par une valeur maximale de la houle au large $H_{s,max}$, dépassant les 6 m.

Les tempêtes affectant la Plaine Orientale peuvent ainsi être caractérisées par de nombreux paramètres :

- les houles de tempêtes en provenance du secteur Nord-Est sont largement plus fréquentes que celles de secteur Sud-Est ;
- la hauteur moyenne de la houle en tempête est de l'ordre de 2,52 m, pour une valeur maximale enregistrée à 7,32 m ;
- les périodes moyennes associées sont de l'ordre de 5 à 8 s (T_{moy}) et de 6 à 15 s pour les périodes de pic (T_{pic}) ;
- la durée moyenne des événements de tempêtes est de l'ordre de 20 h pour une durée maximale qui atteint 140 h, soit environ 5,5 jours.

Enfin, une analyse de la variabilité inter-annuelle des tempêtes a montré que bien qu'une tendance à l'augmentation au cours du temps du nombre d'évènements, et de la durée totale de ces événements, soit perceptible sur la période 1979-2009, la qualité de l'ajustement statistique ne permet pas de conclure à la réalité physique de cette relation. Ce constat rejoint celui des études récentes au niveau du littoral du Golfe du Lion (Balouin *et al.*, 2009).

Il n'y a donc pas de mise en évidence de changement radical de la fréquence des tempêtes depuis 1979 au niveau de la Méditerranée occidentale en général et du littoral oriental de la Corse en particulier.

2.5. CONCLUSION

2.5.1. Inventaire des événements historiques

Un inventaire des événements a été ainsi réalisé à partir des informations bibliographiques recueillies après consultation des archives départementales et des organismes. Il ressort de cette analyse que les tempêtes qui ont des conséquences importantes sur le littoral et les infrastructures côtières sont relativement rares. 69 événements ont fait l'objet de publications de presse et ont été ainsi recensés depuis 1979.

Parmi ceux-ci, les tempêtes de décembre 1979 et de novembre 2008 sont considérées comme les plus importantes et pour lesquelles le plus d'information est disponible. Elles résultent toutes d'une forte dépression sur le Sud de la Corse qui se déplace très rapidement vers le Nord, en générant de forts vents de secteur Sud-Est à Nord-Est. Les impacts répertoriés et associés à ces phénomènes sont importants en particulier sur le Nord de la Plaine Orientale et Bastia. La faible occupation de la Plaine Orientale en automne et hiver induit éventuellement un biais dans ce constat, dans la mesure où les principaux dégâts sont recensés au niveau des zones urbanisées où des enjeux touristiques se situent en première ligne sur la plage (Aléria, Moriani).

Concernant le risque de submersion marine, aucun cas de submersion par rupture de digue et/ou de création de brèche dans le cordon dunaire n'a été recensé. En revanche, les submersions qui se sont produites ont été causées par des franchissements de paquets de mer au-dessus du cordon littoral. Enfin, il est à noter que les tempêtes majeures qui ont affecté le littoral oriental de la Corse ont fait quasi-

exclusivement des dégâts matériels. Un seul cas de perte humaine liée à la mer (noyade) a été recensé (Valle-di-Campoloro, 18 juillet 1981).

Cette analyse a montré également que les informations précises sur les processus physiques en tempêtes (surcote) sont rares sur la partie orientale de la Corse. En effet, bien qu'une surcote atmosphérique soit associée quasi-systématiquement aux événements, l'absence de marégraphe sur la côte orientale est un gros handicap pour la détermination locale de celle-ci, et pour permettre la distinction entre la surcote liée au vent et la surcote due à l'effet barométrique inverse. Cependant, un modèle numérique de surcote atmosphérique est opérationnel depuis 2008 à Météo-France.

2.5.2. Analyse des tempêtes historiques par reconstitution des chroniques des houles

Cette approche a permis de reconstituer les caractéristiques des coups de vents qui ont impacté dans le passé le littoral de la Plaine Orientale entre 1979 et 2009. Un plus grand nombre d'événements ont été recensés avec cette méthode que lors de la phase d'inventaire bibliographique.

Ainsi, entre 300 et 400 événements de tempêtes ont été reconnus à partir d'un critère lié à l'intensité de l'agitation au large ($H_s > 2$ m). Les processus hydrodynamiques aux cours des grands événements identifiés dans l'analyse bibliographique peuvent être ainsi caractérisés de manière précise, notamment lors des tempêtes de décembre 1979 et de novembre 2008, qui se distinguent par une valeur maximale de la houle $H_{s,max}$, qui dépasse 6 m.

Chaque événement a été ainsi caractérisé par de nombreux paramètres. La compilation de ces données permet de déterminer les grands traits de l'agitation en tempête au large de la Plaine Orientale :

- les houles de tempêtes en provenance du secteur Nord-Est sont plus fréquentes par rapport à celles de secteur Sud-Est ;
- la hauteur moyenne de la houle en tempête est de l'ordre de 2,52 m, pour une valeur maximale enregistrée à 7,32 m ;
- les périodes associées sont de l'ordre de 5 à 8 s (T_{moy}) et de 6 à 15 s pour les périodes de pic (T_{pic}) ;
- la durée moyenne des événements de tempêtes est de l'ordre de 20 h pour une durée maximale qui atteint 140 h, soit environ 5,5 jours ;
- sur la période 1979-2009, la grande variabilité de la fréquence des tempêtes ne permet pas de conclure à l'existence d'une tendance à l'accroissement ou à la diminution du nombre d'événement à l'échelle pluri-annuelle.

2.5.3. Événements majeurs et scénarios de modélisation

La compilation des informations bibliographiques et des analyses des caractéristiques des tempêtes permet d'identifier les événements majeurs qui serviront de scénarios de modélisation.

Les tempêtes du décembre 1979 et de novembre 2008 sont les événements qui ont eu des impacts importants et les plus documentés sur la côte orientale de la Corse. D'autres tempêtes, légèrement plus importantes en termes de hauteur significative de la houle ont été identifiées lors de la reconstitution des chroniques de houle au large. Pour autant, ces événements n'ont pas fait l'objet de dégât recensé dans la presse locale et la mémoire collective.

Dans le cadre de l'établissement d'un PPR submersion marine, le guide méthodologique recommande de retenir l'aléa submersion pour un événement de référence (occurrence du niveau d'eau) qui est soit l'événement avec la période de retour centennale, soit l'événement maximal qui s'est déjà produit si la période de retour centennale ne peut être calculée ou si cet événement est supérieur à la période de retour centennale (MEEDAT, 1997).

Dans le cadre de cette étude, à la vue des incertitudes pesant sur l'estimation des périodes de retours à 50 et 100 ans de la hauteur des vagues extrêmes, en raison de la durée de série de données (30 ans), nous retiendrons en première approche, comme événements de référence les deux tempêtes qui ont occasionné les plus gros dommages sur la côte Est de la Corse, soit celle du 22 décembre 1979 et celle du 27 et 28 novembre 2008.

Les caractéristiques de l'agitation au large pour ces deux événements sont représentées dans les illustrations 42 et 43, respectivement :

- la tempête de décembre 1979 se caractérise par une phase de montant rapide de la hauteur de la houle qui atteint 7 m pour des périodes de 8 s. La direction de provenance passe de secteur Nord-Est en début de tempête à Sud-Est voire Sud-Sud-Est sur la fin ;
- en novembre 2008, l'évolution des caractéristiques, hauteur et période, de la houle est similaire. En revanche, elle est caractérisée par une direction de provenance qui passe d'Est le 27 novembre à Sud-Est, puis Sud par la suite. On note qu'une phase d'agitation où la hauteur de la houle atteint 4 m, succède à la tempête principale le 29 et 30 novembre.

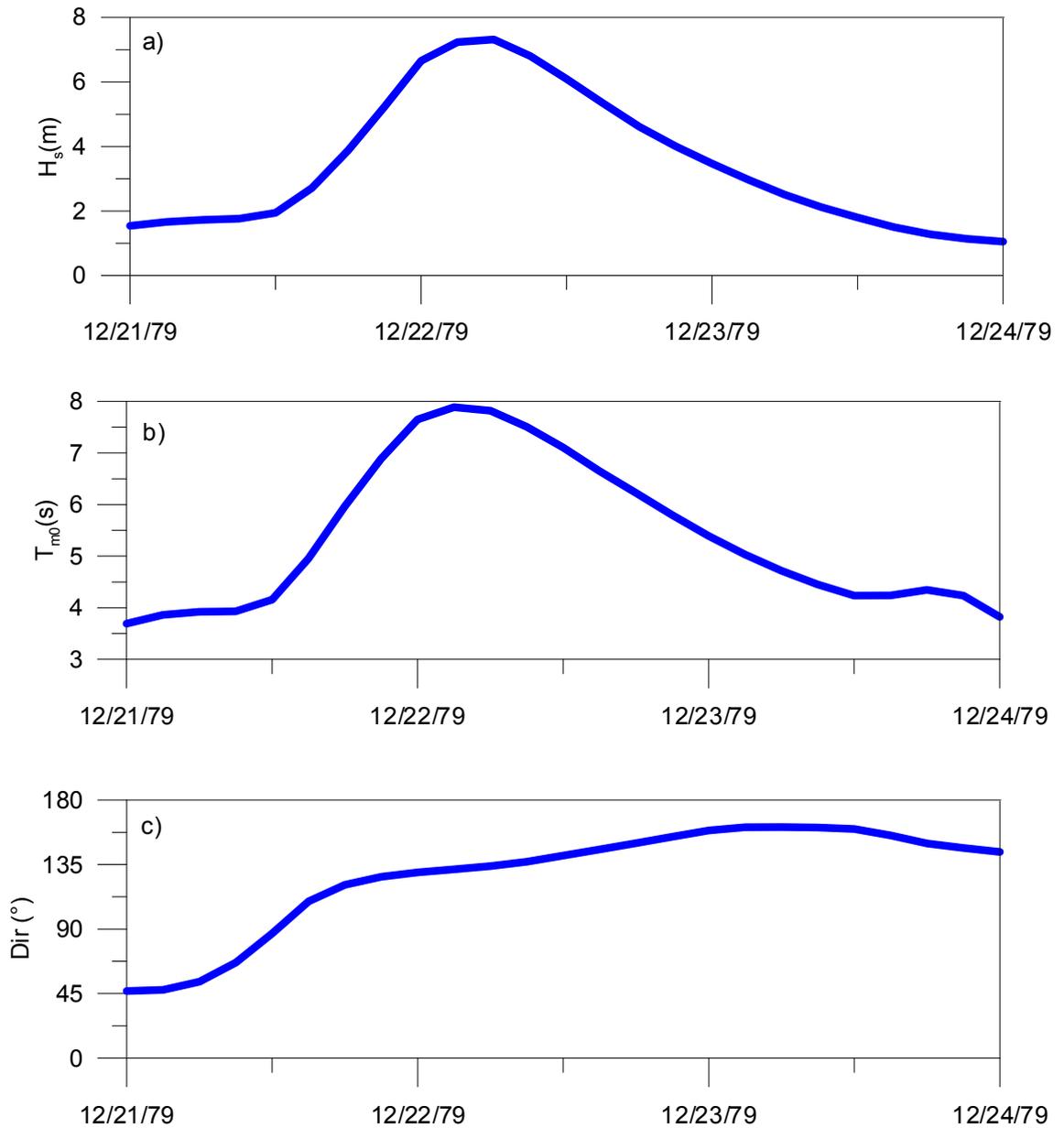


Illustration 42 : Evolution des conditions d'agitation au large lors de la tempête du 21 au 24 décembre 1979 (point PO2). a) H_s : Hauteur significative de la houle (m) ; b) T_{m0} : Période de la houle (s) ; c) Dir : Direction de provenance de la houle ($^{\circ}$)

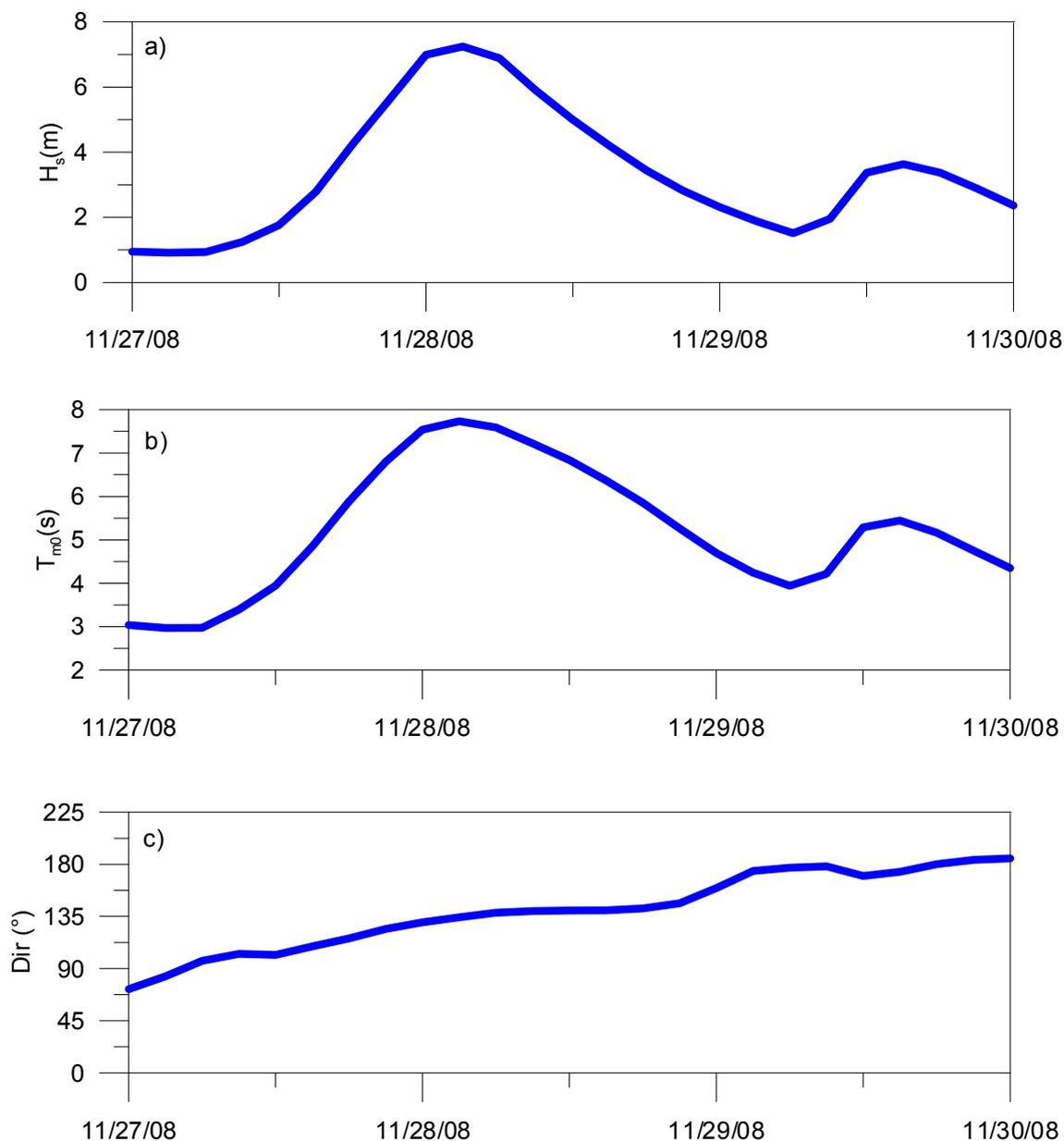


Illustration 43 : Evolution des conditions d'agitation au large du 27 au 30 novembre 1979 (point PO2). a) H_s : Hauteur significative de la houle (m) ; b) T_{m0} : Période de la houle (s) ; c) Dir : Direction de provenance de la houle ($^{\circ}$).

3. Levé altimétrique à haute résolution par laser aéroporté (LIDAR)

3.1. INTRODUCTION

La connaissance et la gestion de l'érosion du littoral et de la submersion marine des plaines côtières nécessitent de connaître très finement les reliefs immergés et émergés du système côtier et de suivre leur évolution.

Afin de simuler finement les processus hydrodynamiques qui affectent le littoral Est corse, l'acquisition d'un levé topo-bathymétrique complet de la zone d'étude était indispensable. Ce levé devait permettre d'obtenir un continuum terre-mer du littoral avec une résolution suffisamment élevée pour anticiper les phénomènes d'inondations par submersion marine. Dans cet objectif, une consultation a été lancée pour réaliser un levé altimétrique à haute résolution par technologie LIDAR (laser) aéroporté. Celle-ci permet l'acquisition simultanée de la topographie et de la bathymétrie avec une très grande résolution et à très grande vitesse (50 km²/jour). La finesse d'un tel levé permet d'obtenir une cartographie à très haute densité sur le littoral et l'avant-côte, mais également de réaliser un levé des aménagements, zones urbaines, ... utiles pour l'évaluation des impacts.

L'un des objectifs est d'obtenir une densité de points compatible avec les applications et les milieux rencontrés et qui devra permettre :

- d'étudier la morphologie du cordon dunaire ;
- d'étudier les zones de submersion éventuelles à l'arrière du cordon dunaire ;
- d'étudier la morphologie des barres sous-marines (barre interne et barre externe quand elle est présente).

Globalement, ce type de mesures LIDAR devra permettre de pallier le manque de données sur :

- le trait de côte ;
- l'emprise spatiale des artificialisations (épis, brise-lames) et leurs conséquences sur le milieu ;
- l'emprise spatiale des habitations dites de front de mer quand elles existent ;
- la microtopographie nécessaire aux modèles hydrodynamiques à maille fine appliqués à des problématiques locales (transport sédimentaire...).

3.2. LA TECHNOLOGIE LIDAR

Les récents développements du LIDAR (*Light detection and ranging*) constituent une véritable révolution technologique pour le suivi de la topographie. De nombreuses applications récentes ont montré la capacité du LIDAR à représenter très précisément la topographie de larges portions de côtes (Revell *et al.*, 2002 ; Sallenger *et al.*, 2003, White & Wang, 2003, ...) et à suivre l'évolution de ces morphologies côtières au cours du temps (Stockdon *et al.*, 2002 ; Gares *et al.*, 2006, Deronde *et al.*, 2006).

Les LIDAR bathymétriques permettent la mesure de la profondeur dans les eaux côtières peu profondes. Cette capacité a été observée dans les années 1960-70 (Hickman et Hogg, 1969) et a entraîné un important développement technologique (Guenther *et al.*, 2000). Dans les années 1990 sont apparus les premiers systèmes opérationnels en Australie (LADS)(Setter & Willis, 1994 ; Nairn, 1994), aux Etats-Unis (SHOALS)(Lillycrop *et al.*, 1994, 1997) et en Suède (Hawk Eye) (Steinvall *et al.*, 1994). Cette technique s'est montrée particulièrement performante pour réaliser des levés bathymétriques de grandes envergures dans les zones côtières, atteignant parfois des fonds de 70 m (le système peut atteindre jusqu'à trois fois la profondeur de Secchi)¹¹.

La technique LIDAR bathymétrique s'appuie sur un laser vert (532 nm), longueur d'onde qui pénètre l'eau dans le visible. Le principe de fonctionnement repose sur l'émission et la détection de l'impulsion laser émis depuis l'avion. Une partie de cette émission est réfléchiée par la surface de l'eau, et lorsque la diffusion dans la colonne d'eau est faible, une partie est réfléchiée par le fond de l'eau. La mesure de la hauteur d'eau est déduite du temps entre les deux échos marquant la surface et le fond de l'eau sur le train d'ondes retour du pulse laser (cf. illustration 45). Le système Hawk Eye mis en œuvre dans cette étude utilise deux lasers, un laser topographique infrarouge (1064 nm) qui ne pénètre pas dans l'eau, et le laser vert. En mer, le laser infrarouge est totalement réfléchi par la surface de l'eau, ce qui améliore le positionnement de la surface, et la profondeur d'eau qui en découle.

¹¹ Profondeur (altitude négative) à laquelle un disque de Secchi, plaque circulaire (d'environ 20 cm de diamètre) dont la surface supérieure est divisée en quatre secteurs égaux qui sont peints alternativement en noir et en blanc, disparaît lorsqu'il est immergé dans l'eau. C'est une mesure de la transparence de l'eau.

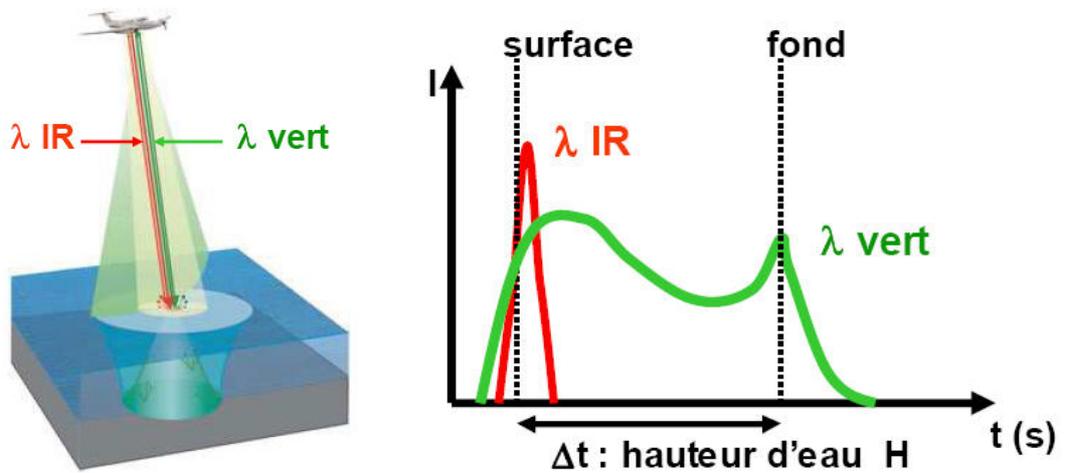


Illustration 44 : Schémas de fonctionnement de la mesure LIDAR.

La technique présente des limites, liées notamment à la clarté de l'eau, à la présence d'algues, ou encore aux écoulements turbulents tels que le jet de rive ou les effets de chasse aux embouchures ou dans les ports. Il convient donc d'optimiser les campagnes de mesures lors des périodes météorologiques calmes.

A la mesure de la topographie et de la bathymétrie est associé un positionnement centimétrique par GPS (couplée à une centrale inertielle). Les résultats issus de la mesure sont des nuages de points localisés très précisément qui permet par interpolation d'obtenir différents produits (cf. Illustration 46) : le modèle numérique de surface, correspondant au premier retour de l'onde (végétation, bâtiments, ...), le modèle numérique de terrain qui correspond à la topographie réelle une fois enlevée les éléments de sursol, les éléments de sursol extraits (infrastructures, bâtiments, ...).

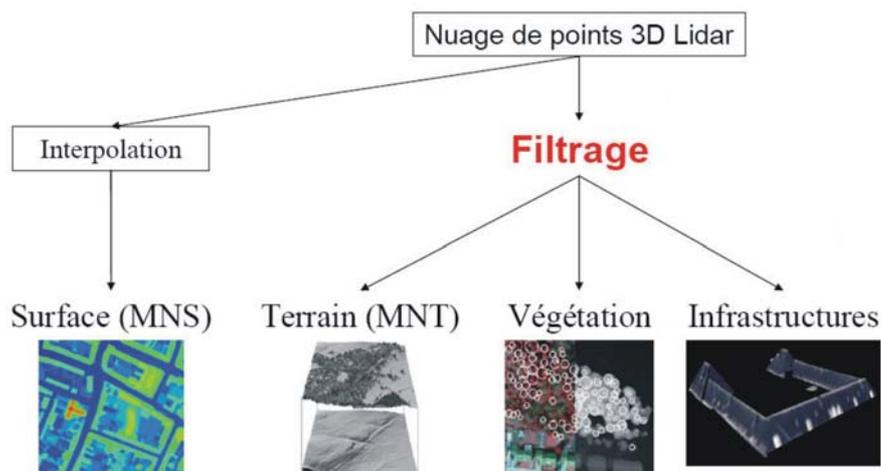


Illustration 45 : données et produits issus d'un levé LIDAR aéroporté.

3.3. CARACTERISTIQUES DU LEVE LIDAR

3.3.1. Consultation

La prestation du levé LIDAR a fait l'objet d'un marché. Cinq prestataires potentiels ont été consultés. A l'issue de la phase de consultation, Blom Aerofilm a été sélectionné en raison de sa disponibilité et de ses capacités techniques.

3.3.2. Date du levé et zone d'étude

La zone levée s'étend du sud de Bastia à Solenzara (cf. illustration 47). Seule la frange littorale est concernée. La zone couverte s'étend à environ 1 km en mer, soit jusqu'à des fonds de -10 m et 200 à 300 m à terre (cordon littoral).

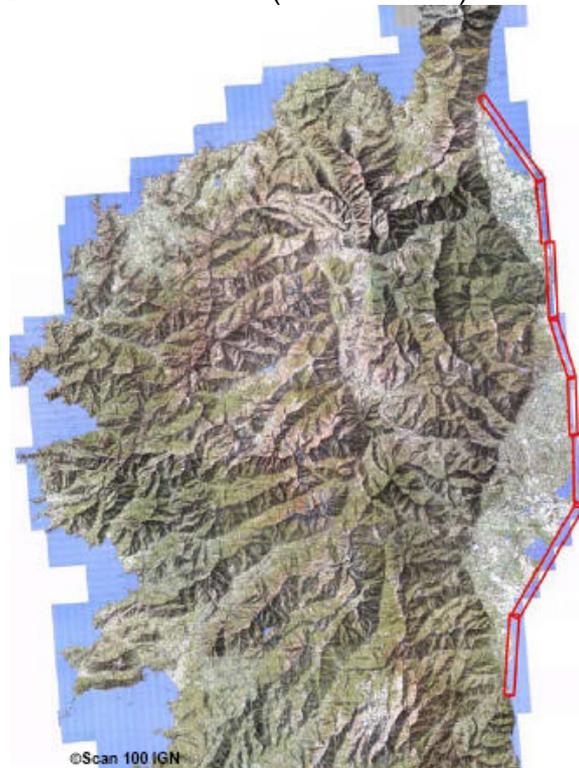


Illustration 46 : Emprise du levé LIDAR sur la Plaine Orientale de Corse.

Le levé, initialement prévu fin 2009, a été repoussé en raison d'avaries sur le système LIDAR de Blom Aerofilms, puis de conditions météo-marines défavorables.

Le levé a dû être reprogrammé en 2010. Il a été réalisé du 25 au 29 Mars 2010.

Les caractéristiques du levé (positions des stations GPS de référence, position des levés bathymétriques de validation, ...) sont décrites dans le rapport de campagne de BLOM annexé à ce document.

Lors de la campagne de mesure, plusieurs visites ont été organisées pour la présentation des outils et du processus de traitement par les équipes de Blom Aerofilms. Celles-ci ont permis de faire la démonstration du matériel d'acquisition (cf. illustrations 48 et 49).



Illustration 47 : Vues de l'avion et de l'installation du matériel à bord.



Illustration 48 : Equipe de Blom Aerofilms et représentant du BRGM lors de la campagne de mesure.

3.3.3. Livrables et contrôles de qualité du prestataire

Les livrables demandés au prestataire étaient les jeux de données bruts et traités ainsi que les modèles numériques de terrain (MNT) interpolés. Le format de ces jeux est décrit dans l'illustration 50.

	Description	Taille des dalles	Format
1	Nuage de points	Dalles de 2 km et topographie/ bathymétrie séparées par ligne de vol	ASCII xyz (Lambert 93 et Lambert IV)
2	MNT (interpolé)	Bathymétrie : 5*5 m (L93 et L4) Topographie : 2*2 m (L93 et L4)	ASCII
3	MNT (interpolé)	Bathymétrie / topographie : 5*5 m, 10*10 m et 25*25 m (L93 et L4)	. Geotiff
4	Orthophotos	5 km	.ecw
5	Données brutes	Format natif (WGS84)	Natif
6	Métadonnées		.xml
7	Rapport de campagne		.pdf

Illustration 49 : Caractéristiques des jeux de données demandés.

Le contrôle de qualité a été réalisé par le prestataire (voir rapport de campagne en annexe 4. Les tests ont portés sur l'analyse de densité des points du levé, l'analyse du croisement avec des lignes de vol perpendiculaires, la comparaison avec des données LIDAR acquises en 2006 et la comparaison avec des données topographiques et bathymétriques acquises par un sous-traitant du prestataire. Les résultats de ce contrôle de qualité sont les suivants.

La densité moyenne des points est de :

- 8 points par zone de 5* 5 m en bathymétrie ;
- 6.5 points par zone de 1*1 m en topographie.

Le croisement entre les lignes perpendiculaires a été réalisé et est présenté en annexe C du rapport de campagne. Sur les échantillons présentés, les données après corrections présentent des écarts faibles. 90 à 97% des points analysés présentent un écart inférieur à 40 cm.

Cinq zones de contrôle terrain ont été utilisées, 2 en bathymétries et 3 en topographie. Les résultats sont présentés sur l'illustration suivante.

	Zone	Nombre de points	Moyenne	Déviat ion standard
Bathymétrie	Talasani	1815	7.1 cm	20 cm
	Port de Taverna	2191	21.2 cm	21 cm
	Total	4006	14.8 cm	21 cm
Topographie	Plage Pineto	69	10.6	7 cm
	Ghisonaccia	92	13.8	18 cm
	Port de Taverna	80	3.6	6 cm

Illustration 50 : Résultats des comparaisons mesures LIDAR / mesures classiques.

3.4. PRESENTATION DES RESULTATS

Les illustrations 52 à 57 présentent les résultats bruts du levé LIDAR sur plusieurs secteurs de la Plaine Orientale, en 2 et 3 dimensions. Il s'agit des modèles numériques de surface, sur lesquels figurent donc le sursol (la végétation, les bâtiments, etc.).

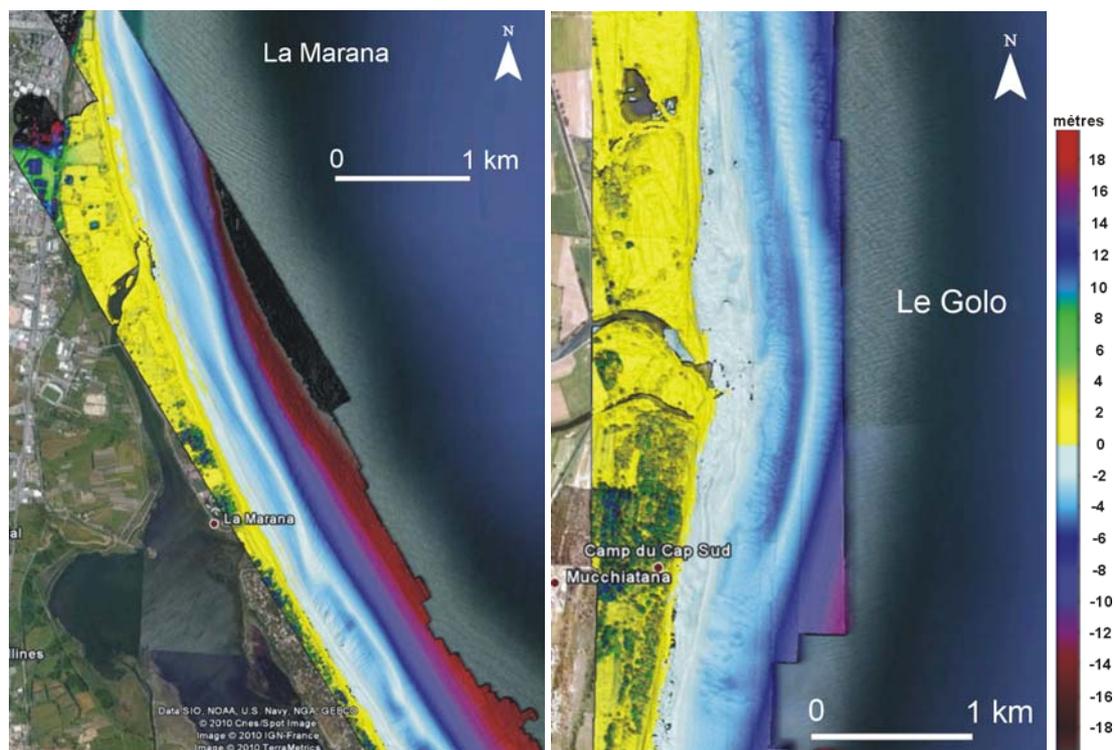


Illustration 51 : Visualisation des résultats préliminaires sur les sites de la Marana (à gauche) et au niveau de l'embouchure du Golo (à droite), fond GoogleEarth.

La végétation et les zones urbanisées sont clairement visibles sur ces illustrations. On distingue également très nettement les morphologies de barres d'avant-côte (en blanc) et leur complexité sur la partie nord du Lido de la Marana, ainsi que la barre de delta face à l'embouchure du Golo (cf. illustration 52).

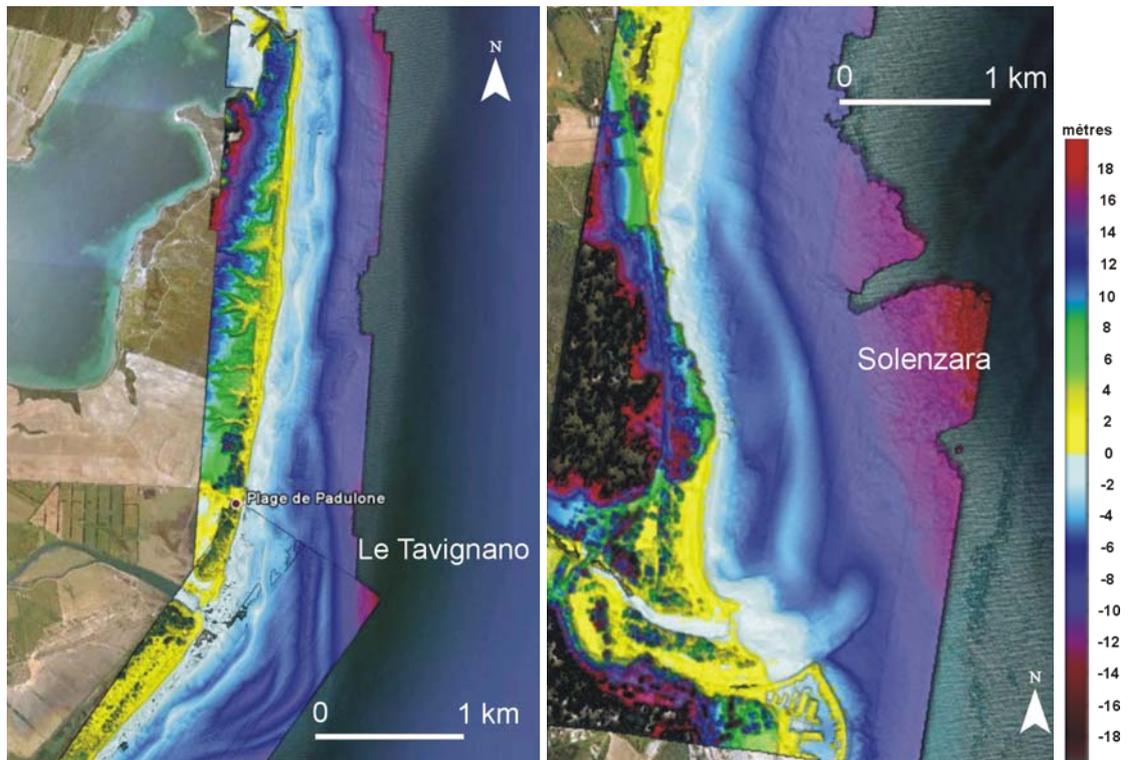


Illustration 52 : Visualisation des résultats préliminaires du Tavignano au Grau de l'étang de Diane (à gauche) et au niveau du port de Solenzara (à droite).

Les barres du delta du Tavignano sont également très développées (cf. illustration 53). On note la présence de dépressions dans le cordon dunaire qui longe l'étang de Diane au Nord du Tavignano (cf. illustration 53 et 54). Ces dépressions correspondent probablement à des réseaux d'écoulements des eaux superficielles.

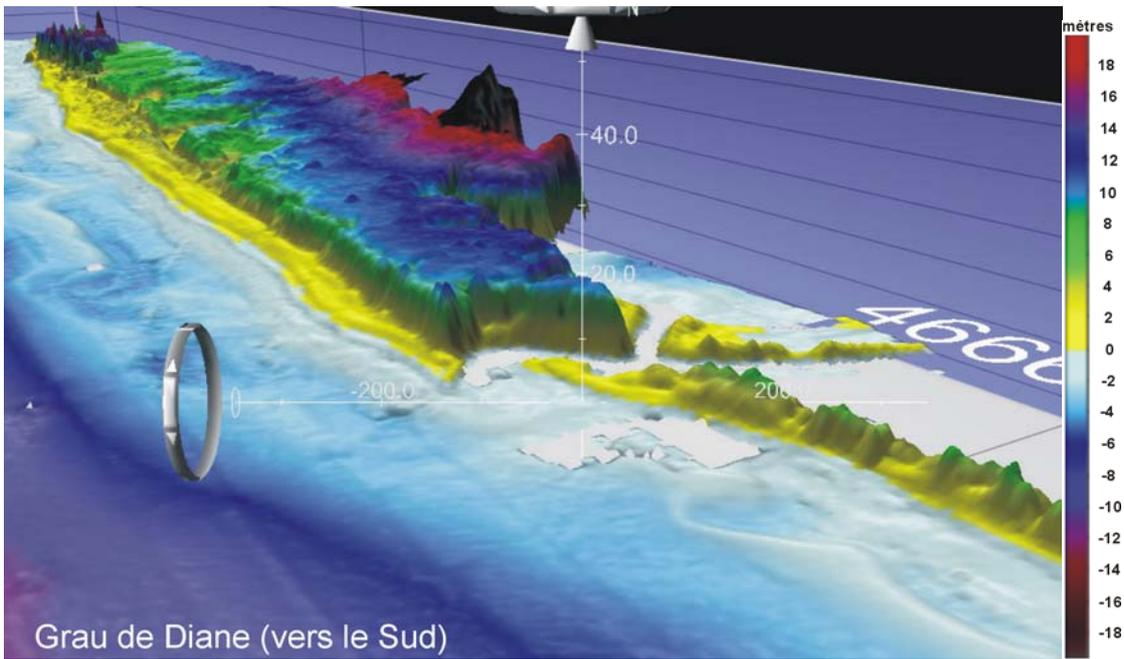


Illustration 53 : Visualisation en trois dimensions des résultats préliminaires au niveau du Grau de l'étang de Diane.

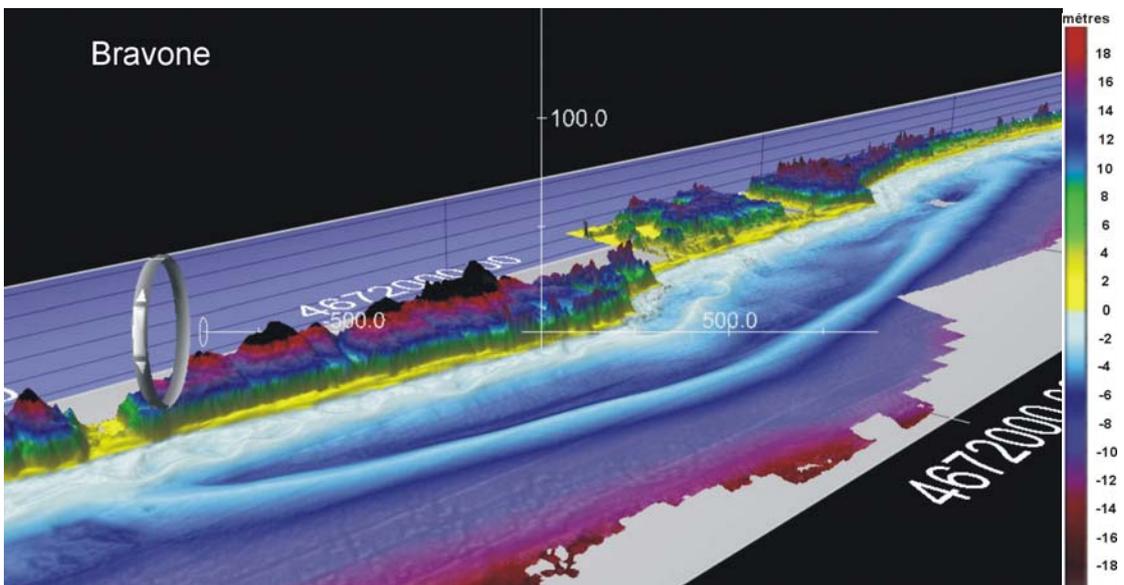


Illustration 54 : Visualisation en trois dimensions des résultats préliminaires au niveau de Bravone.

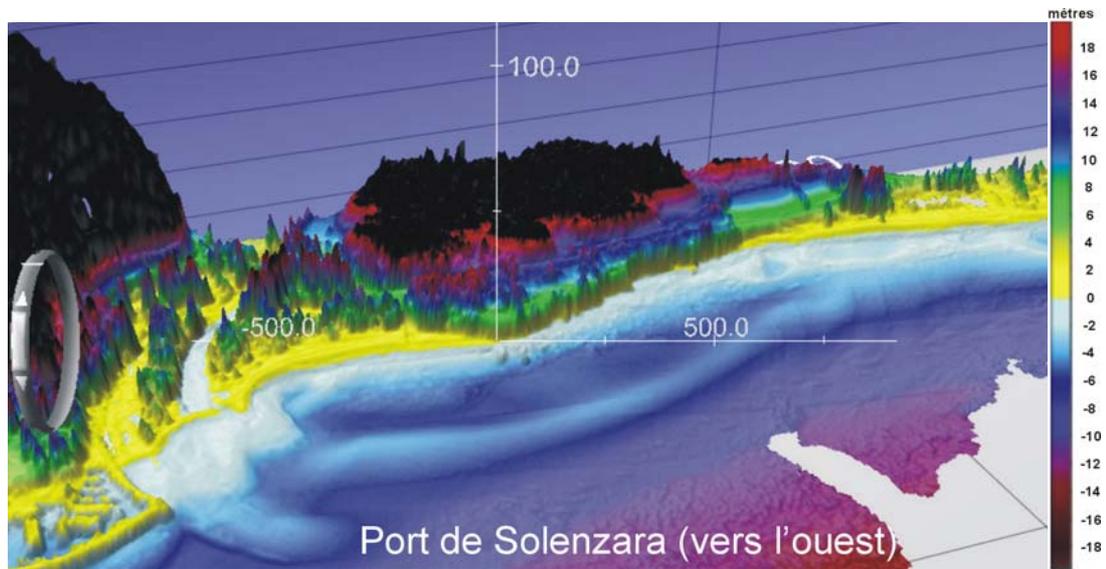


Illustration 55 : Visualisation en trois dimensions des résultats préliminaires au niveau du port de Solenzara.

Au niveau de l'embouchure de la Solenzara, la végétation est particulièrement dense, ce qui induit de très fortes variations verticales sur le modèle numérique de surface (cf. illustration 56). La technologie LIDAR permet, lorsque la végétation n'est pas trop dense, d'enlever le sursol pour générer le modèle numérique d'élévation (MNE). Ce filtrage des données a été réalisé par BLOM Aerofilms en décembre 2010. L'illustration 57 présente le MNS sur lequel est drapée l'orthophoto ©IGN 2007 (en haut) et le MNE (en bas), qui correspond donc à l'élévation réelle du sol dans ce secteur de Solenzara.

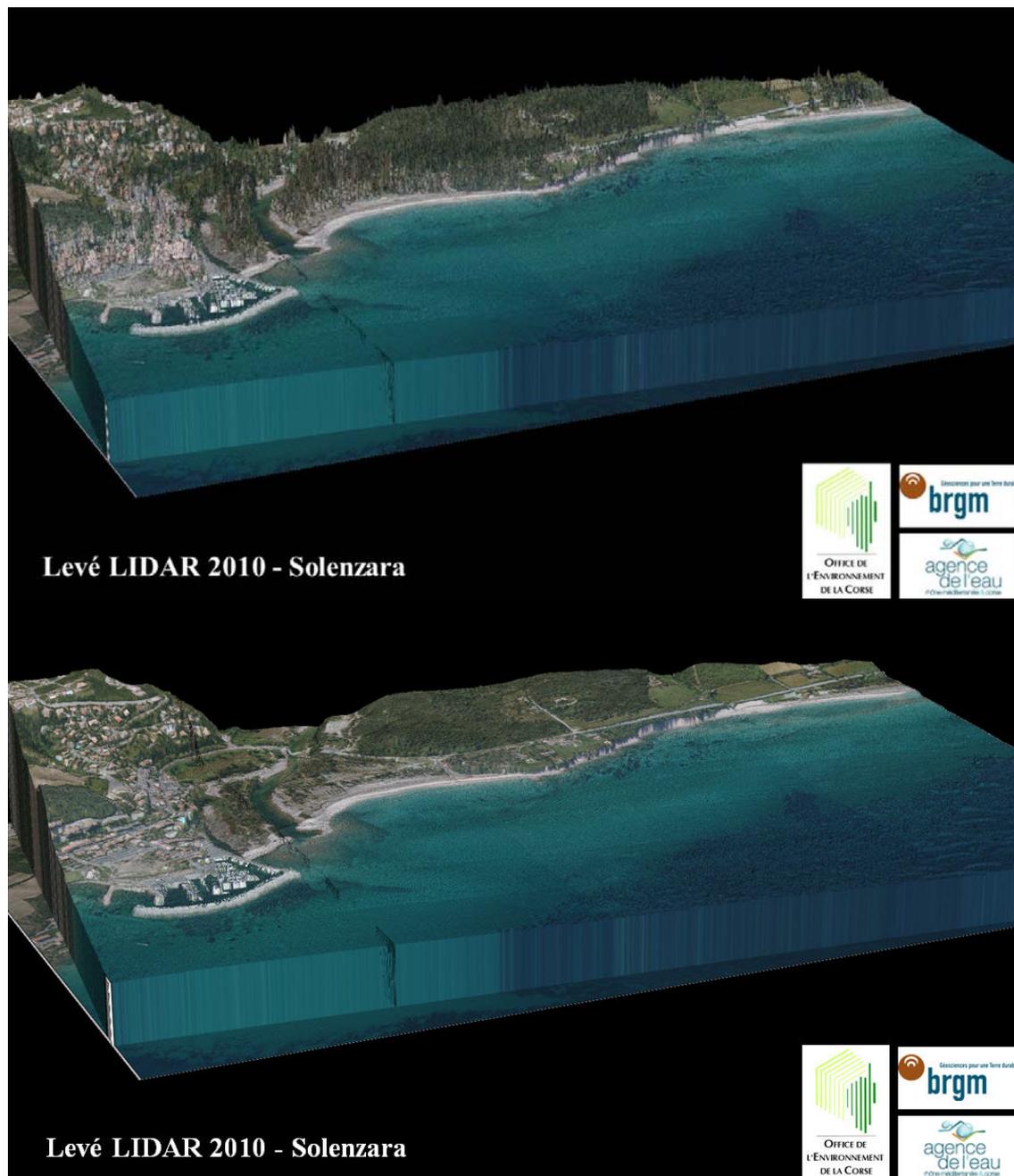


Illustration 56 : Exemple de drapage de l'orthophoto (© IGN 2007) sur le modèle numérique de surface (en haut) et d'élévation (en bas) au niveau de Solenzara.

3.5. CONTROLE DE QUALITE DES PRODUITS LIVRES

Un premier contrôle de qualité basé sur la comparaison des levés aéroportés avec des levés classiques par GPS et sondeur a été réalisé par le prestataire (cf. rapport annexé).

Des contrôles additionnels ont toutefois été réalisés sur les secteurs où des données topo-bathymétriques sont disponibles dans le cadre du Réseau d'Observation du Littoral de Corse. Les données finales n'étant pas encore livrées, seul un échantillonnage de ces tests est présenté dans ce rapport.

Des points GPS spécifiques ont été levés sur le Lido de la Marana pour tester (cf. illustration 58) la qualité des données topographiques LIDAR. La comparaison des données des deux types de levés met en évidence une bonne corrélation entre les deux sources (99%, cf. illustration 58). Sur cet échantillon, 95% des points de mesures ont un écart en z de moins de 10 cm avec les données GPS.

Des tests ont également été faits sur les données bathymétriques, par comparaison avec les données acquises dans le cadre du Réseau d'observation. Un exemple est présenté sur l'illustration 59, dans le secteur de la chicane sur le Lido de la Marana. Une évaluation plus approfondie sera menée à l'aide des données bathymétriques acquises par Ifremer au moment du levé LIDAR.

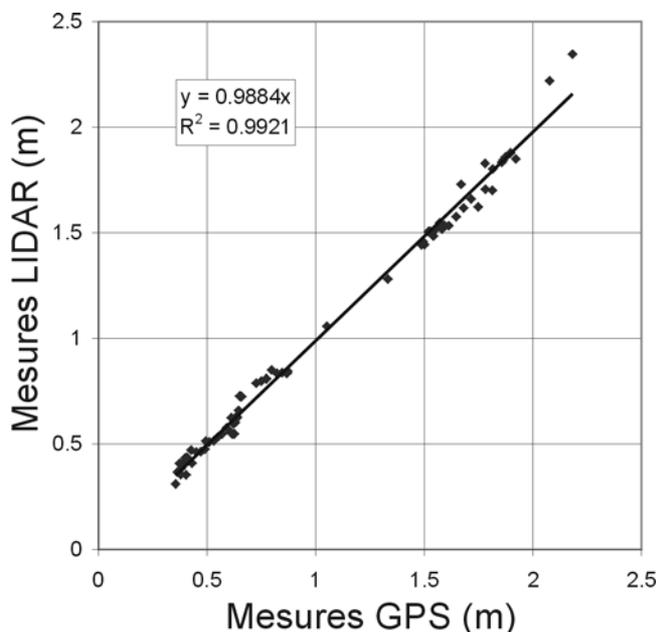


Illustration 57 : Corrélation entre les données mesurées par GPS et les données LIDAR.

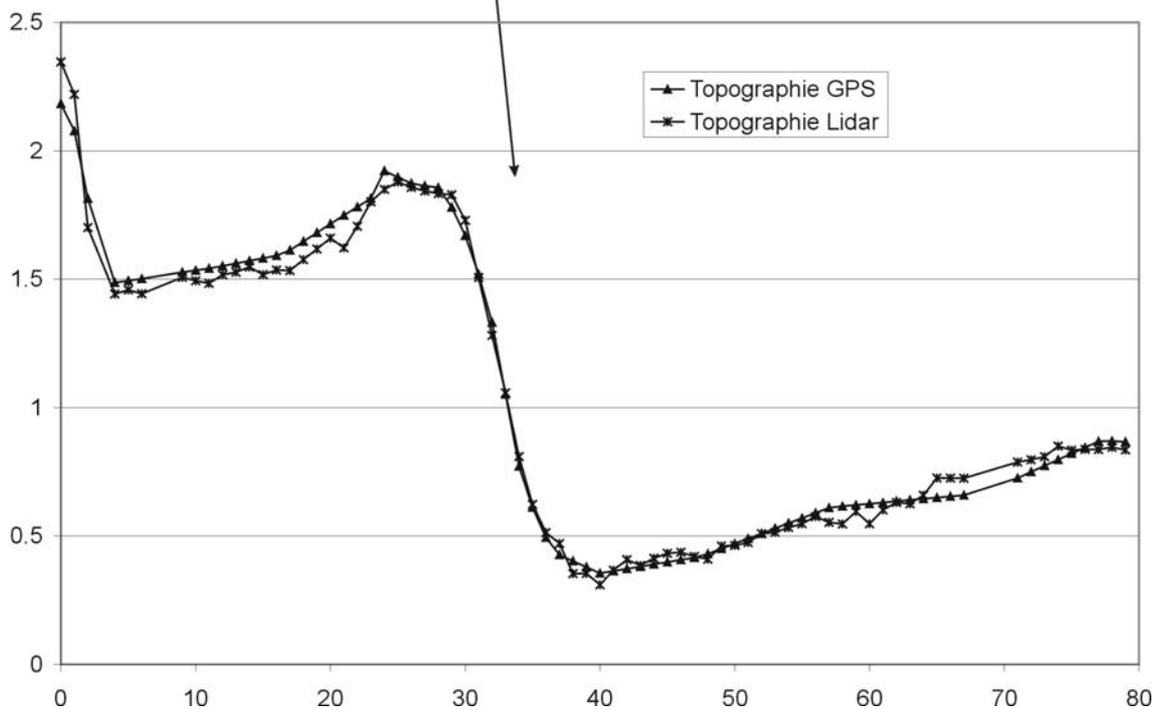
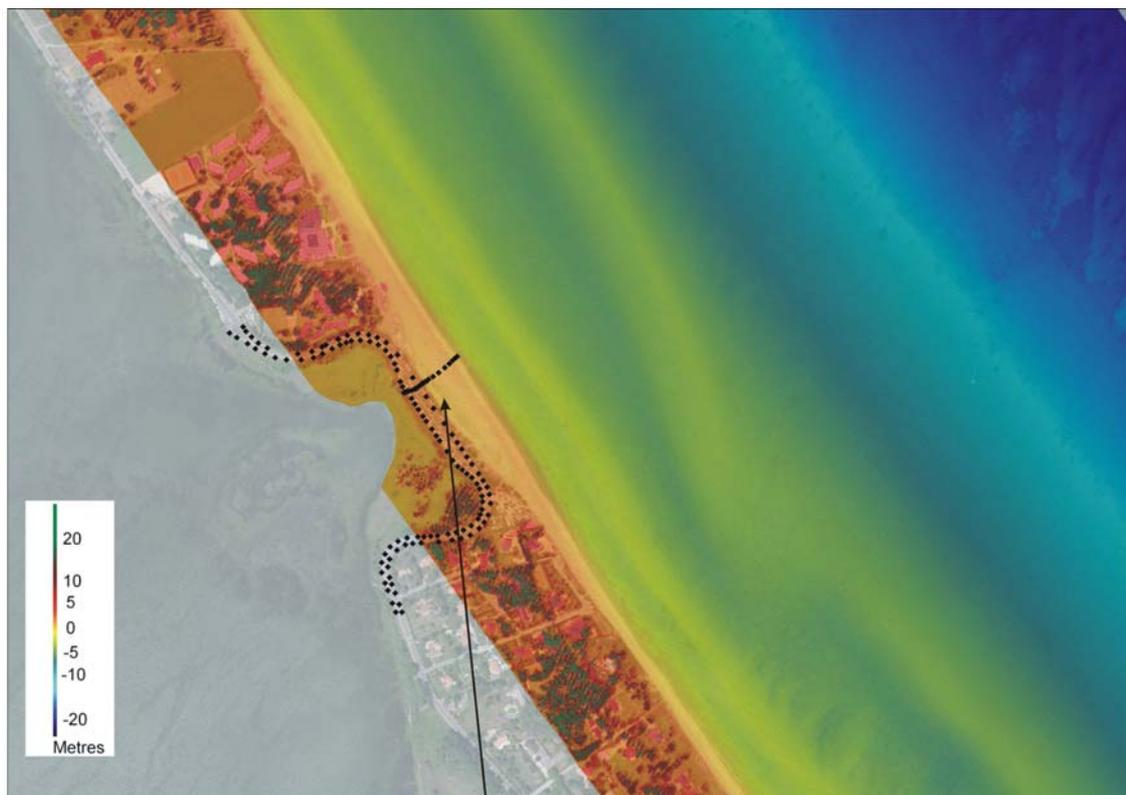


Illustration 58 : Comparaison des données acquises lors du levé LIDAR et de données GPS au niveau de la chicane sur le Lido de la Marana.

3.6. EXPLOITATIONS PRELIMINAIRES DES RESULTATS

3.6.1. Accès à la morphologie de l'avant-côte

Comme cela avait déjà pu être observé lors du levé test de 2006 sur le lido de la Marana (cf. rapport ROL RP-55617-FR), la technologie LIDAR permet d'accéder aux morphologies de l'avant-côte avec une précision ne pouvant être atteinte par les méthodes de bathymétrie classiques.

Si la connaissance des corps sédimentaires d'avant-côte, dites barres d'avant-côtes, existe depuis longtemps, leur variabilité spatiale reste méconnue. La qualité des données LIDAR permet de caractériser finement ces barres et de mettre en évidence leur typologie. Sur la quasi-totalité du littoral de la plaine, on observe deux systèmes de barres : une barre interne peu développée, entrecoupé de chenaux transverses dont la position présente souvent une rythmicité longitudinale et une barre externe plus développée. Les barres externes sont variables le long du littoral, tant en volume qu'en morphologie globale. On distingue notamment des barres « en croissants », des barres parallèles, ou encore des barres d'embouchure qui correspondent aux deltas des fleuves côtiers.

Entre le Golo et le Fium'Alto (cf. illustration 60), la barre interne est quasi-inexistante, très proche de la côte, et la barre externe est modérément développée et parallèle à la côte. Son amplitude est relativement importante (de l'ordre de 2 m entre la crête et le creux), et sa largeur de l'ordre de 150 m.

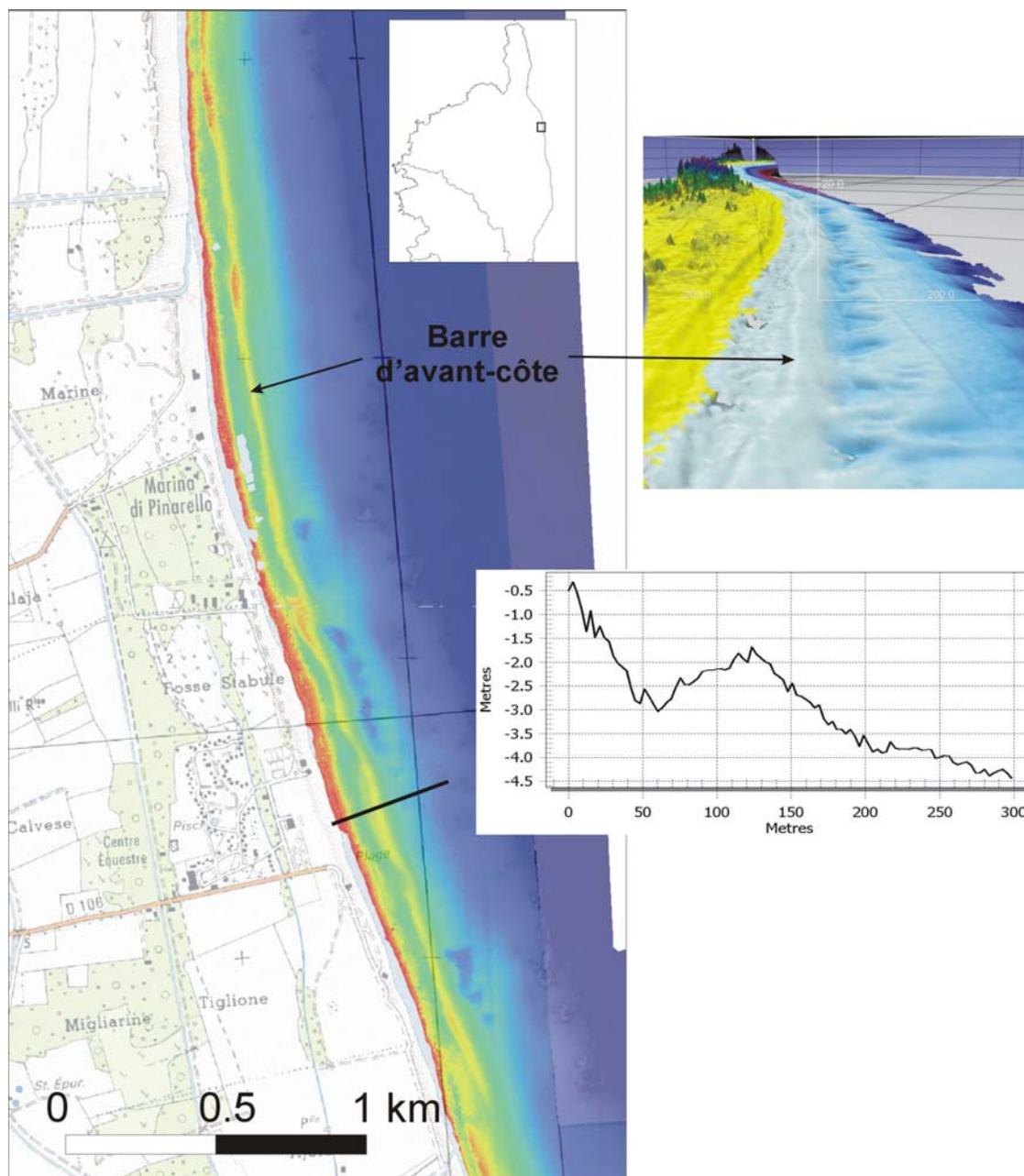


Illustration 59 : Morphologies de barres d'avant-côte parallèles entre le Golo et Fium'Alto ; coupe au niveau de Castellare-di-Casinca.

Face au Lido de la Marana, les barres d'avant-côtes sont très développées (cf. illustration 61). Une barre interne, quasi-rectiligne et de faible amplitude est localisée à quelques dizaines de mètres du trait de côte. La barre externe très développée, présente une morphologie « en croissant » de grande longueur d'ondes (environ 1 km). L'amplitude de cette barre est de l'ordre de 5 m, et sa largeur d'environ 170 m, ce qui représente un volume sableux considérable. Cette barre externe très développée

présente une grande stabilité. Elle est en effet présente sur les différentes orthophotos © IGN de 2002 et 2007. Le sable sur cette barre située très au large (près de 400 m de la côte) est mobilisé lors des événements les plus énergétiques qui n'ont visiblement pas d'impact sur sa morphologie à moyen terme. Depuis 2002, on constate que les motifs rythmiques ont tendance à se déplacer lentement vers le sud. L'analyse plus approfondie des vitesses de migration et de la modélisation des événements énergétiques récents (notamment la tempête de 2008) permettra de mieux comprendre cette migration longitudinale inverse à la dérive littorale plus côtière.

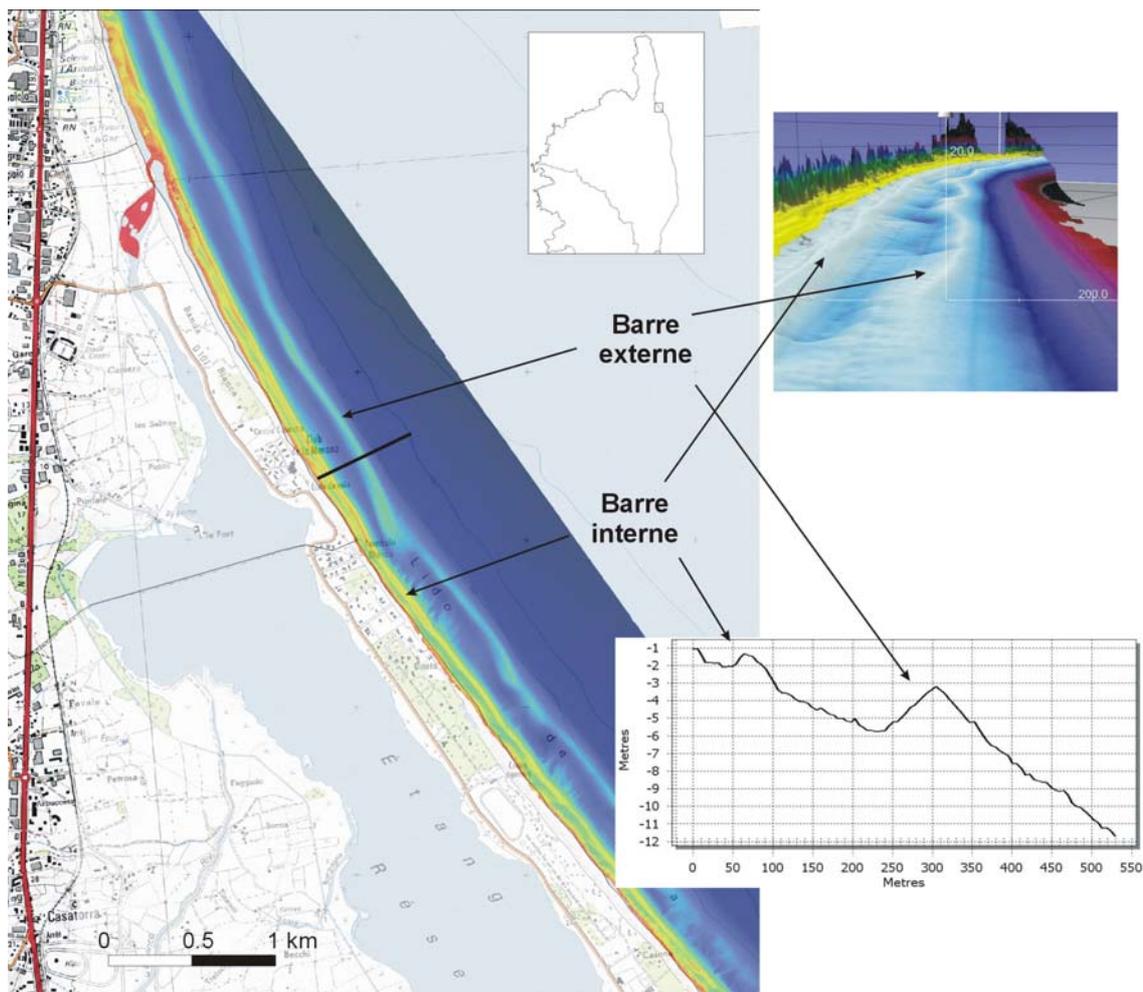


Illustration 60 : Morphologies de barres d'avant-côte parallèle (barre interne) et en mega-croissants (barre externe) au niveau du Lido de la Marana ; coupe au niveau de la chicane de la D107.

Au niveau de l'Etang de Diane (cf. illustration 62), une morphologie de barre en croissant est également observée. Elle a toutefois une longueur d'onde inférieure (environ 600 m), une amplitude beaucoup plus réduite (de l'ordre de 2 m) et une largeur de 200 m. Bien qu'aucun levé n'avait pu mettre en évidence ce type de morphologie dans ce secteur, sa présence était supposée du fait de l'évolution du trait

de côte qui présente une rythmicité marquée sur la quasi-totalité des levés GPS depuis 2002.

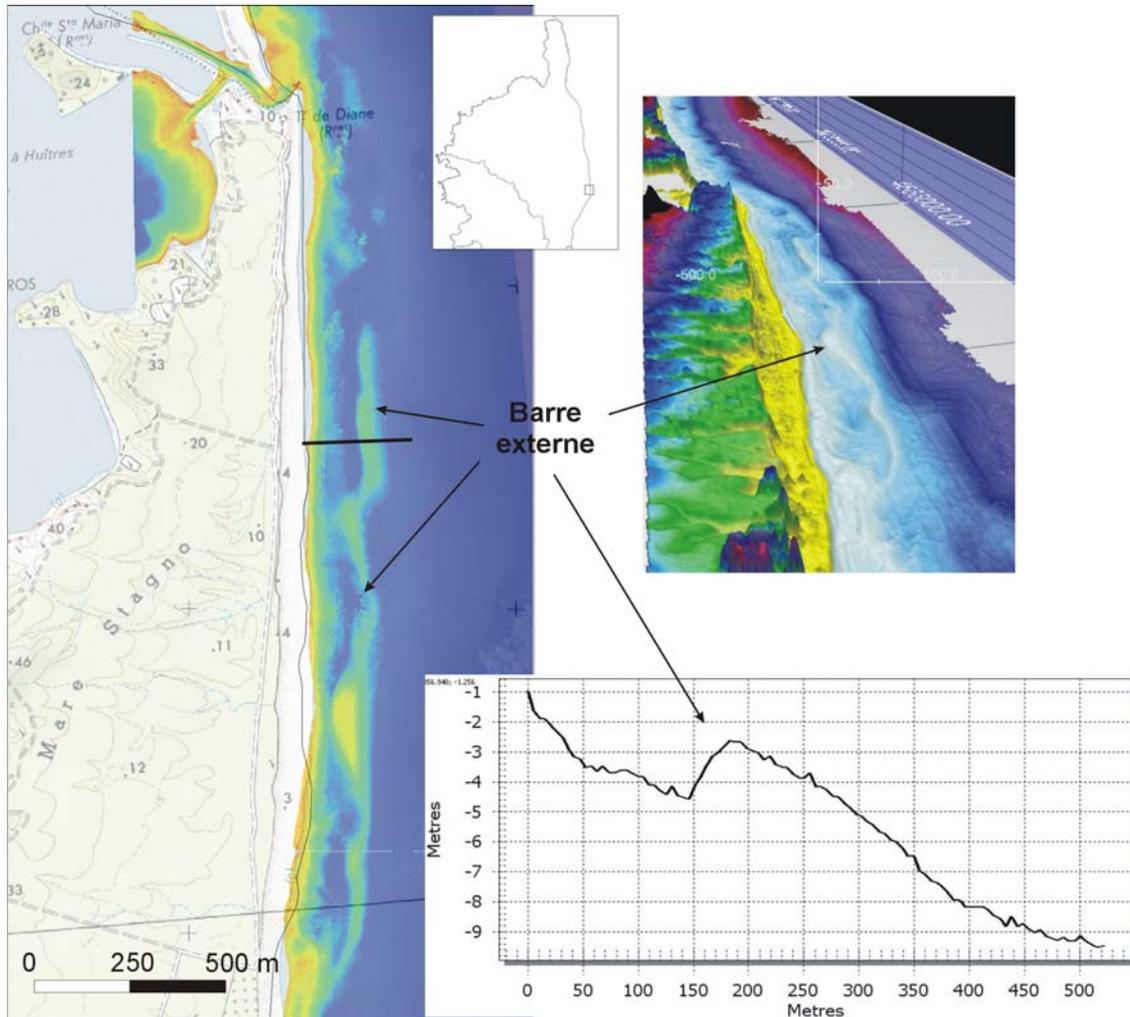


Illustration 61 : Morphologies de barres d'avant-côte en croissants irréguliers au niveau de l'Etang de Diane (Aleria).

Au droit des débouchés fluviaux, on observe également la présence de corps sableux très développés dont la morphologie et l'éloignement de la côte sont probablement à mettre en relation avec les apports fluviaux et avec débits aux embouchures qui peuvent constituer une barrière hydraulique au transit sédimentaire par la dérive littorale. Ces morphologies sont observées principalement au débouché du Golo, de la Bravona, de la Solenzara, mais surtout au débouché du Tavignano dont le delta est le plus développé de la plaine (cf. illustration 63).

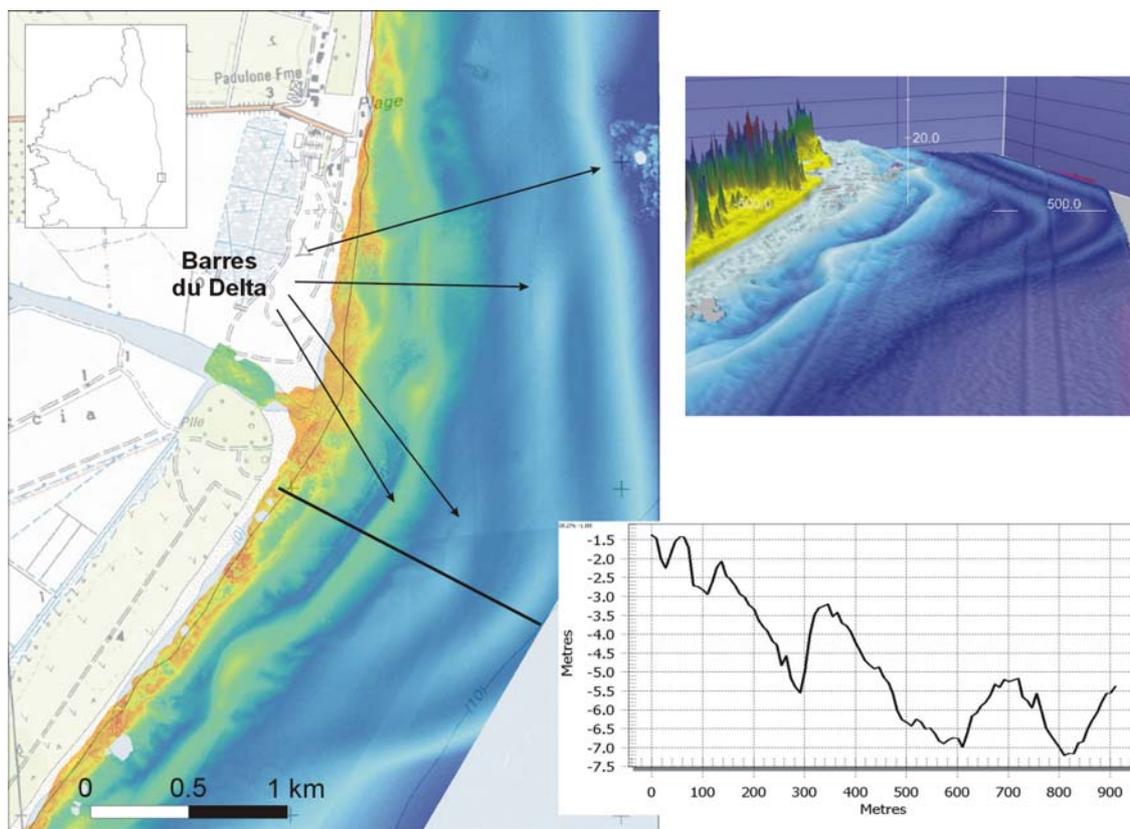


Illustration 62 : Morphologie du delta de l'embouchure du Tavignano. On note la présence de 5 barres formant le delta qui s'étend à près de 1.5 km en mer.

Le delta du Tavignano s'étend loin en mer (près de 1.5 km) et est constitué de 5 barres d'avant-côte. Ces morphologies convexes jouent un rôle significatif sur la propagation de la houle à la côte dans ce secteur. Le contact de la houle avec les fonds induits la réfraction de celle-ci et les crêtes de houle tendent à devenir parallèle à la bathymétrie. Etant donné la forme du delta de l'embouchure, ce phénomène de réfraction va tendre à orienter la houle vers l'embouchure, concentrant l'énergie dissipée vers ce secteur. Ce processus connu sur tous les deltas peut générer localement des transits sédimentaires inverses de part et d'autre de l'embouchure. On peut ainsi observer sur la rive nord du Tavignano une dérive vers le sud sur quelques centaines de mètres, alors que la houle dominante est de Sud-Est et génère sur le littoral une dérive sédimentaire vers le Nord. Cette dynamique entraîne une divergence des transports sédimentaires qui pourrait expliquer le recul particulièrement prononcé du trait de côte dans ce secteur.

La densité des points de sondes bathymétriques obtenues permet également de mettre en évidence des retours chaotiques du signal (cf. illustration 64) qui traduisent une grande irrégularité des fonds. La comparaison des cartes bathymétriques obtenues avec les orthophotos ©IGN permettent de confirmer la présence de rochers sur lesquels et à côté desquels se développent des herbiers à posidonies très proches

de la côte. C'est également le cas au nord du port de Solenzara et au droit de la base aérienne de Solenzara sur les communes de Solaro et Ventiseri.

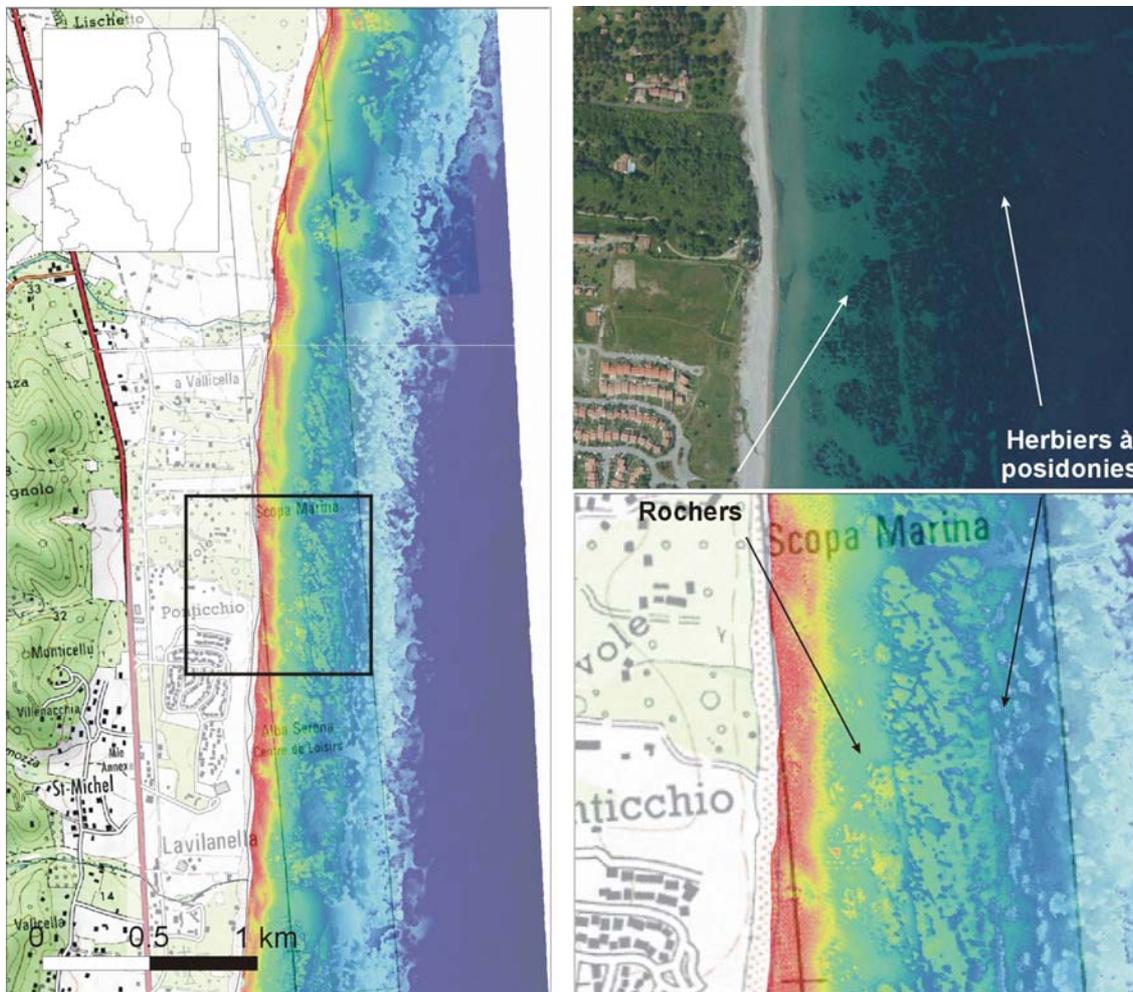


Illustration 63 : Retour chaotique des fonds au niveau de Alba Serena. La densité du levé permet de caractériser la présence de rochers sur les petits-fonds et la présence de l'herbier à posidonies.

3.6.2. Effets des ouvrages de protection et aménagements portuaires

Les ouvrages transverses au trait de côte, qu'il s'agisse d'ouvrages de défenses ou d'aménagements portuaires, ont un effet sur les littoraux adjacents en interrompant les transits sédimentaires. Les secteurs en amont-transit (en amont de l'ouvrage par rapport à la dérive littorale dominante) bénéficient du piégeage et présente une accrétion et un stock sableux important sur l'avant-côte ; les secteurs en aval-transit souffrent du déficit d'apports et présentent généralement des reculs importants du trait de côte. Le port de Taverna illustre bien ce phénomène (cf. illustration 65). Dans un secteur où la dérive littorale dominante est dirigée vers le nord, la plage située au nord a été progressivement érodée, et le stock sédimentaire présent sur l'avant-côte est très faible (absence de barres sableuses).

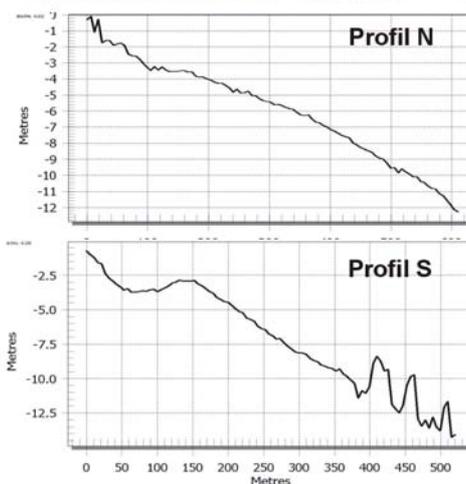
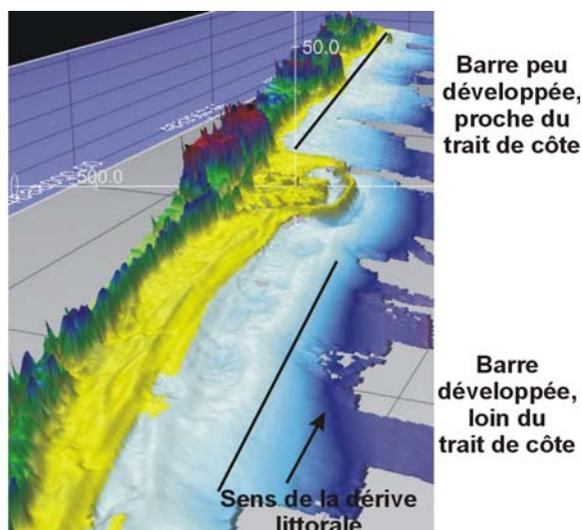
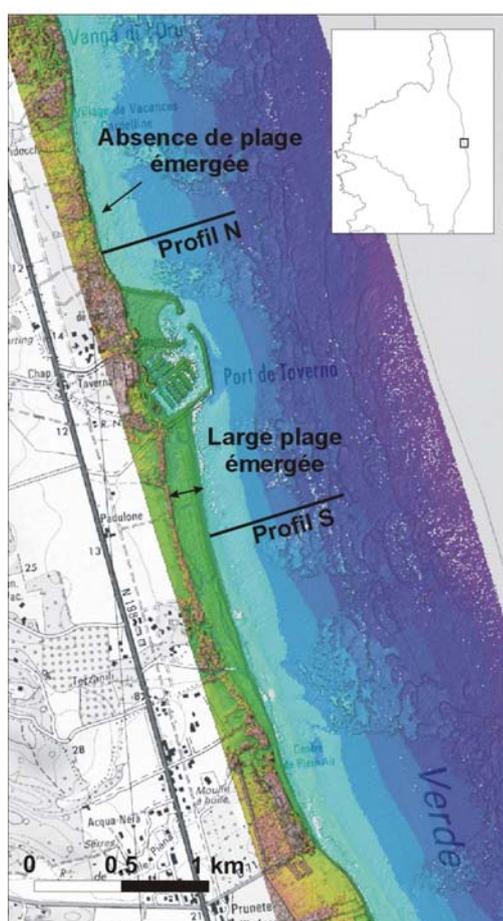


Illustration 64 : Bathymétrie dans le secteur du port de Taverna. On note l'absence de plage émergée et de barre d'avant-côte dans la zone en aval-transit du port.

3.6.3. Conclusion

Les données altimétriques acquises à l'aide du système LIDAR ont permis d'obtenir une densité de points de mesures inégalée sur le littoral Corse. Les données préliminaires de surface présentent une précision très satisfaisante et permettent de caractériser très finement des morphologies littorales qui n'avaient pu être cartographiées jusqu'à présent.

La quantité de données issues de la mesure Laser permet d'atteindre une très haute précision sur les objets observés. Toutefois, elle entraîne un besoin de stockage et de puissance de traitement qui ne sont pas à négliger. Le nombre de points de mesures s'élève à plusieurs centaines de millions et peu de logiciels sont en mesure de gérer une telle quantité d'informations. L'interpolation des données pour constituer un modèle numérique de terrain nécessitent des ressources informatiques importantes. Les besoins d'espaces de stockage sont importants. Si la donnée brute occupe un espace de seulement quelques centaines de Giga-octets, le moindre traitement ou interpolation peuvent très facilement multiplier cet espace.

4. Conclusion

La Plaine Orientale de Corse est un cordon littoral sableux particulièrement exposé aux phénomènes de tempêtes qui affectent l'ensemble de la côte est de la Corse. C'est une plaine alluviale basse parcourue par un réseau de fleuves côtiers et d'étangs lagunaires et protégée du domaine marin par un complexe dunaire de faible amplitude. Son attrait touristique en a fait une zone où les constructions se développent fortement depuis une trentaine d'années à proximité de la mer. L'ensemble de ces éléments renforcent la vulnérabilité de ce secteur face aux phénomènes de tempêtes dont les conséquences, en termes d'érosion côtière et de submersion marine, sont à l'origine de nombreux et coûteux dommages.

L'étude présentée dans ce rapport concerne l'analyse historique des tempêtes qui ont impactées le littoral de la Plaine Orientale. Elle constitue la première phase d'une étude pluriannuelle sur l'exposition de la plaine aux risques côtiers liés aux tempêtes et a pour objectif d'identifier des scénarios plausibles qui seront utilisées pour contraindre la modélisation des processus hydrodynamiques en tempête et qui ont des conséquences en termes de submersion marine en particulier.

Un inventaire des événements a été ainsi réalisé à partir des informations bibliographiques recueillies après consultation des archives départementales et des organismes concernés. Il ressort que les tempêtes qui ont des conséquences importantes sur le littoral et les infrastructures côtières sont relativement rares. En effet, 69 événements ont fait l'objet de publications de presse et ont été recensés depuis 1979. Parmi ceux-ci, les tempêtes de décembre 1979 et de novembre 2008 sont considérées comme les plus fortes et les plus impactantes et pour lesquelles le plus d'information est disponible. Une analyse des tempêtes historiques par reconstitution des chroniques des houles a permis de préciser les caractéristiques des coups mer qui ont impacté le littoral de la Plaine Orientale entre 1979 et 2009. Ainsi, entre 300 et 400 événements de tempêtes ont été reconnus et les processus hydrodynamiques aux cours des grands événements ont été caractérisés de manière précise. L'analyse des caractéristiques des événements des 3 dernières décennies confirme l'occurrence de deux événements majeurs : les tempêtes du 22 décembre 1979 et celle du 27 et 28 novembre 2008 qui sont proches d'une période de retour de 50 ans. Au vu des incertitudes pesant sur l'estimation des périodes de retours centennales de la hauteur des vagues extrêmes, en raison de la durée de série de données (30 ans), les événements de référence retenus pour la suite de l'étude sont ces deux tempêtes qui ont occasionné les plus gros dommages sur la côte Est de la Corse.

Afin de pouvoir mettre en œuvre les modélisations, un levé topo-bathymétrique LIDAR a été réalisé. Ce levé aéroporté a permis d'obtenir pour la première fois en Corse des données d'une très grande précision sur toute la frange littorale de la plaine. Ces

résultats vont permettre des analyses fines des phénomènes de submersion marine dans la suite de l'étude.

5. Bibliographie

- Balouin Y., Belon R., Le Cozannet G., et Gervais M.**, 2009. Review of climate change on storm occurrence – France Mediterranean. *MICORE Report D1-4* édité par Ferreira, Voudoukas et Ciavola, juin 2009. 124 p. (www.micore.eu)
- Bessemoulin P.** (2002). Les tempêtes en France. *Annales des Mines*, août 2002, p. 9-14.
- Booij N., Ris R. C., & Holthuijsen L. H.** (1999). A third generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geophys. Res.*, 104, C4, 7649-7666.
- BRGM & SOGREAH** (1987). Catalogue sédimentologique des côtes françaises - Tome 10 : La Corse. Ministère des Transports, Direction des Ports et de la Navigation Maritimes, Service Central Technique, 106 p.
- Deronde B., Houthuys R., Debruyn W., Fransaeer D., Van Lancker V., and Henriet J.-P.**, 2006. Use of airborne hyperspectral data and laserscan data to study beach morphodynamics along the Belgian coast. *J. of Coastal Research*, 22(5):1108-1117.
- Favennec J., Rosebery D., Daubet B., & Mallet C.** (2009). Tempête Klaus du 24 Janvier 2009 en Aquitaine. Impacts de la tempête sur le littoral - Rapport provisoire au 11 février 2009. *Communiqué de l'Observatoire de la Côte Aquitaine*. 7 p. www.littoral.aquitaine.fr
- Gares P.A., Wang Y. And White S.A.**, 2006. Using LIDAR to monitor a beach nourishment project at Wrightsville Beach, North Carolina, USA. *Journal of Coastal Research*, 22(5):1206-1219.
- Gervais M., Balouin Y., Certain R., Robin N., & Berné S.** (2010). Impacts des tempêtes sur la morphologie d'un littoral microtidal : le site du Lido de Sète à Marseillan, Golfe du Lion. *Actes XIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, France (2010)*.
- Guenther G.C., Cunningham A.G., LaRocque P.E. and Reid D.J.**, 2000. Meeting the accuracy challenge in airborne LIDAR bathymetry. *Proc. EARSeL-SIG Workshop LIDAR, Dresden/FRG, June 16-17, 2000*.
- Hickman G.D. and Hogg, J.E.**, 1969. Application of an airborne pulsed laser for nearshore bathymetric measurements. *Remote Sens. Of Env.*, 1:47-58.
- Lee G., Nicholls R.J., & Birkemeier W.A.** (1998). Storm-driven variability of the beach-nearshore profile at Duck, North Carolina, USA, 1981-1991. *Marine Geology*, 148, 163-177.
- Lillycrop W.J., Parson L.E., Estep L.L., LaRocque P.E., Guenther G.C., Reed M.D. and Truitt C.L.**, 1994. Field testing of the US Army Corps of Engineers airborne LIDAR hydrographic survey system. *Proc. US Hydro Conf'94*, The Hydrographic Society, April 18-23, Norfolk, VA, special pub. 32, 144-151.

Lillycrop W.J., Irish J.L. and Parson L.E., 1997. SHOALS system: Three years of operation with airborne LIDAR bathymetry – Experiences, capability and technology advancement, *Sea Technology*, 38(6):17-25.

Nairn R., 1994. Royal Australian Navy Laser Airborne Depth Sounder, the first year of operations. *Int'l Hydro. Rev.*, Monaco, LXXI(1), 109-119.

MEED (2002). Les tempêtes, Dossier d'information – Risques Naturels Majeurs, 24 p. www.prim.net

MEEDAT (1997). Plans de prévention des risques littoraux. Guide méthodologique. Ed. *La documentation française*, 49 p.

Mendoza E.T. (2008). Coastal vulnerability to storms in the catalan coast. *Thèse de Doctorat pour l'Universitat Politècnica de Catalunya*, 192 p.

Météo-France (2008). RAPPORT METEOROLOGIQUE, Procédure de reconnaissance de catastrophe naturelle « phénomènes liés à l'action de la mer » Tempête-Chocs mécaniques des vagues-Submersions marines du 27 au 29 novembre 2008. Référence : DIRSE/CDM2B/ n° 572, 7 p. Note rédigée par J.P. Rambaud, Délégué départemental Météo France Haute-Corse.

Pederos R., Garcin M., Krien Y, Monfort Climent D., Mugica J., & François B. (2010) – Tempête Xynthia : compte rendu de mission préliminaire. *Rapport BRGM/RP-58261-FR*, 45 p., 31 Figs.

Rayet P. (2008). Prévion des surcotes sur le littoral corse. *Rapport de stage* Météo-France de Haute Corse, Université de Aix-Marseille, 16 p. + Ann.

Revell D.L., Komar P.D. and Sallenger A.H., 2002. An application of LIDAR to analyses of El Nino erosion in the Netarts littoral cell, Oregon. *J. of Coastal Research*, 18(4):792-801.

Sallenger Jr. A.H., Krabill W.B., Swift R.N., Arens J., List J.H., Hansen M., Holman R.A., Manizade S., Sontag J., Stockdon H., 2003. Evaluation of airborne topographic LIDAR for quantifying beach changes. *J. of Coastal Research*, 19(1):125-133.

Salomon J.N. (2002). L'inondation dans la basse vallée de la Garonne et l'estuaire de la Gironde lors de la « tempête du siècle » (27-28 décembre 1999), *Géomorphologie*, 2002, p. 127-134.

Setter C and Willis R.J., 1994. LADS – From development to hydrographic operations, Proc. US Hydro Conf' 94, *The Hydrographic Society*, April 18-23, Norfolk, VA, special pub. 32, 134-139.

Steinval O. Koppari K. and Karlsson U., 1994. Airborne laser depth sounding: system aspects and performance, *Proc. SPIE Ocean Optics XII*, 2258:392-412.

Stépanian A. (2002). Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres : Omaha beach (Normandie). *Thèse de Doctorat, Université de Caen/Basse-Normandie*, 232 p. + ann.

Stockdon H.F., Sallenger Jr. A.H., List J.H., Holman R.A., 2002. Estimation of shoreline position and change using airborne topographic LIDAR data. *J. of Coastal Research*, 18(2):502-513.

Tabeaud M. (1995). Les tempêtes sur les côtes méditerranéennes françaises. In: *Annales de Géographie*, 1995, t. 104, n°584. pp. 389-401.

Tirard E. (2010). Impacts des tempêtes sur le littoral du Golfe du Lion – Mise en place d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité. *Rapport de stage BRGM*, Master Géorisque, *Université de Montpellier*, 45 p. + ann.

Ullman A. (2008). Surcotes dans le Golfe du Lion et conditions atmosphériques : variabilité contemporaine et future (1905-2100). Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille I, 250 p. + ann.

White S.A. and Wang Y., 2003. Utilizing DEMs derived from LIDAR data to analyse morphological change in the North Carolina Coastline. *Remote sens. of Env.* 85:39-47.

Annexe 1

Revue de presse, archives photographiques, archives videos

Tempête du 12 janvier 1977

Coupure de presse (Corse Matin, 14 janvier 1977)



Tempête du 22 décembre 1979

Coupure de presse (Corse Matin, 23 décembre 1979)



Photographies (Corse Matin, 23 décembre 1979)



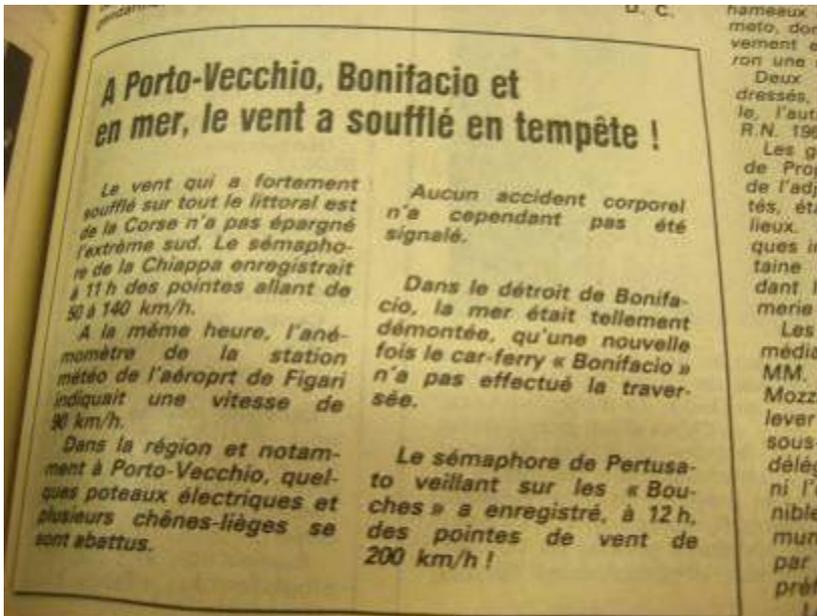
Tempête du 19 juillet 1981

Coupage de presse (Corse-Matin, 20 juillet 1981)



Tempête des 12 et 13 décembre 1981

Coupure de presse (Corse Matin, 13 décembre 1981)



Coupure de presse (Corse Matin, 14 décembre 1981)



Tempête des 8 et 9 février 1984

Coupure de presse (Corse Matin, 9 février 1984)



Coupure de presse (Corse Matin, 10 février 1984)



Tempête du 20 novembre 1987

Coupure de presse (Corse Matin, 21 novembre 1987)



CORSE INFOS CORSE INFOS CO

LE VENT A PLUS DE 180 KM/H SUR LE CAP ET BASTIA!

Antennes arrachées, tuiles emportées et six mises à feu!

BASTIA. — Les conditions météorologiques anticycloniques que nous avions connues ces jours derniers ont laissé place à une dépression qui a entraîné une chute brutale du baromètre et, dans la nuit de jeudi à hier, un « coup de tabac » en mer doublé d'un fort coup de vent ayant balayé toute la matinée la région bastiaise et le Cap-Corse notamment.

Au Cap-Sagré, le vent, le terrible « sbacchi », a atteint en pointe une vitesse supérieure à 180 km/h, soufflant régulièrement, plusieurs heures durant, entre 140 et 160 km/h !

Si l'on ne répertie aucun blessé ni aucune avarie notable en mer, la plupart des plaisanciers évités par le météo ayant été au sec, on a constaté néanmoins la disparition de deux embarcations légères qui se trouvaient sur le sable au bord de la mer et que le vent a emportés au large. Le canot de sauvetage « Jean-Marie » a tenté, mais en vain, de les retrouver au large de Bastia sur une mer blanche à l'infini. Elles étaient vides de tout équipage, mais constituaient cependant un danger pour la navigation.

A terre, les sapeurs-pompiers de Bastia ont procédé à plus d'une dizaine d'interventions pour enlever des tuiles, des antennes de télé-

vision, des volets ou personnes mis à mal par le bourrasque.

Par ailleurs, à noter, avec le sérieux qui persiste six mises à feu dans la région bastiaise, non loin du hameau de Cardo au-dessus de Bastia, à Foriani et à la Marina. A chaque fois, les hommes du service de secours principal de Bastia sont intervenus pour arrêter les flammes et éviter leur propagation. Les surfaces brûlées sont peu importantes.

Dans l'après-midi, le vent faiblissait nettement, tournant au nord-nord-ouest pour tomber pratiquement à la nuit.

Ghisoni, Linguizetta, Asco : le retour des incendiaires...

Il a suffi que le vent soufflé un peu fort hier pour que les incendiaires passent de nouveau à l'action, mettant à contribution tous les pompiers du secteur !

Le premier feu s'est déclaré hier matin au-dessus de Ghisoni ; il a nécessité l'intervention de sept véhicules et vingt-quatre hommes venant des centres de la B.A. 126, Aléria, des sapeurs forestiers de Ghisoni, Venaco et Ghisonaccia. A 15 h 20, le feu était circonscrit après avoir parcouru dix hectares de sous-bois et gros maquis et brûlé, en outre, 100 m² de bois déjà coupé. A 17 heures, seuls restaient sur les lieux les pompiers d'Aléria, le feu étant définitivement maîtrisé.

Un deuxième sinistre a pris dans la région de Poggi-di-Nazza ; a été combattu par deux C.C.F.M. et huit hommes du centre de Ghisonaccia et des sapeurs forestiers du Fiumorbo. Superficie brûlée : un hectare.

Le troisième incendie s'est déclaré à Linguizetta à 18 heures et a nécessité l'intervention de quatre véhicules et seize hommes des centres de secours de Cervione, Aléria, Ghisonaccia, ainsi que celle de deux Canadair qui ont effectué neuf largages car des maisons ont été un moment menacées.

A 18 heures, le feu continuait sa progression après avoir déjà parcouru trois hectares de gros maquis, tous les effectifs, sauf les Canadair, continuant à le combattre dans une zone assez difficile.

Le chalet de la Légion un moment menacé

CORTE. — Même si la température est fraîche, à chaque fois que le vent soufflé, les risques d'incendies reprennent ! Hier, à 9 h 30, les pompiers étaient alertés qu'un foyer prenait naissance sur les hauteurs d'Asco. Deux centres, ceux de Castifao et de Ponte-Leccia, dé-

chèes sur place, commençaient la lutte, mais le feu, situé en pleine forêt, a nécessité des renforts. Les sapeurs forestiers et une section de l'escadron de la Sécurité civile de Corte étaient donc appelés. Ces importants moyens ont combattu toute la journée pour venir à bout des flammes, hier, en début de soirée. Un dispositif a été laissé sur place la nuit dernière pour éviter toute reprise. Un moment, dans la matinée, le chalet de la Légion étrangère a été menacé par les flammes. Selon le P.C. secours, près de dix hectares de sous-bois ont été parcourus par les flammes.

Deux « Canadair » à Sari-Solenzara (15 hectares brûlés)

Par ailleurs, un incendie s'est déclaré hier, vers 11 heures, au lieu dit « Tremuta », dans la vallée de Ravella, commune de Sari-Solenzara.

Allié par un vent violent et tourbillonnant, le sinistre a parcouru une quinzaine d'hectares environ.

Il a été combattu toute la journée par les nombreux moyens mis en œuvre : les pompiers de Porto-Vecchio, Santa-Lucia, Solenzara, sapeurs forestiers et gardes forestiers.

En début d'après-midi, le feu avait atteint les crêtes et il a fallu le renfort de deux « Canadair » pour que les sauveteurs se rendent maîtres du sinistre, vers 17 heures.

Mais dans la crainte d'une reprise du vent, il a été décidé d'exercer une surveillance. On peut se demander ce qui aurait pu arriver sans la rapidité d'intervention des secours.

Le feu serait d'origine accidentelle.

Tempête du 12 au 15 février 1990

Coupage de presse (Corse Matin, 12 février 1990)

Sémaphore de Pertusato

On a l'habitude du vent mais c'est une sacrée tempête qu'on essuie actuellement...

Les vrais Bonifaciens ne s'émouvent guère du vent. Ils en ont l'habitude. Les pêcheurs savent qu'à cause de lui, à pareille époque et jusqu'en avril ou mai, leurs sorties risquaient d'être limitées. Cependant, pendant trois ans, selon M. Antoine Poggi, le responsable du port, s'en est passé à un curieux phénomène : on ne connaissait plus, en début d'année, les tempêtes mémorables d'antan.

C'est pourquoi celle qui fait rage depuis dimanche a créé quand même un effet de surprise. Soufflent en alternance, le mistral de nord-nord-ouest (qui chasse les nuages) et le "ibecciu" de sud-sud-ouest (qui, lui, amène la pluie).

Au sémaphore de Pertusato, on a enregistré des rafales de 140 kilomètres à l'heure dans la journée d'hier. Durant la nuit de dimanche à lundi, le vent moyen s'est maintenu entre 110 et 120 kilomètres à l'heure, avec des pointes plus élevées. En mer, les vagues atteignaient huit à neuf mètres.

Jusqu'à hier soir, le sémaphore n'avait pas reçu d'appels de détresse. Selon M. Gilbert Mahia, le responsable, « les gens de mer se sont méfiés ». Par gros temps, en Méditerranée, les bateaux "hauts sur l'eau" évitent les bouches de Bonifacio, préférant se dérouter sur le sud de la Sardaigne ou le nord de la Corse.

Le car-ferry Ichnuza, de la compagnie Saremar, qui assure les liaisons entre Bonifacio et la Sardaigne, n'a effectué qu'une seule rotation hier matin (sur les deux qui sont programmés chaque jour sauf le dimanche).

M. Antoine Poggi considère qu'il faut remonter à janvier 81 pour trouver trace d'un coup de vent aussi fort que celui-ci. Les dégâts avaient été alors assez importants au port de plaisance. Le circuit électrique avait notamment été endommagé car des bornes étaient placées sur les appointements flottants.

Un vent de force 11 était prévu cette nuit. La tempête devrait persister jusqu'à jeudi. Le 135^e anniversaire du naufrage de La Semillante dans l'archipel des Lavezzi risque donc, cette année, d'avoir une résonance toute particulière.

Jocelyne NORMAND

Flash

Le coup de chien de l'hiver

• A Bastia et en Haute-Corse

• A Ajaccio et en Corse-du-Sud

Bastia : et soudain le toit s'est envolé...

Une partie de la toiture d'un...
La toit venait d'être refait...
C'est un bâtiment de six étages...
Le toit venait d'être refait...
C'est un bâtiment de six étages...
Le toit venait d'être refait...
C'est un bâtiment de six étages...

Trafic aérien contrainé à Figari

Pas d'accalmie

Wier sûr les services de la...
Après une relative accalmie...

(Photo Gérard Baldocchi)
C.-L. S.

Coupure de presse (Corse-Matin, 15 février 1990)



Tempête du 11 juillet 1990

Coupage de presse (Corse Matin, 12 juillet 1990)

CORSE INFORMATIONS

L'accalmie annoncée pour aujourd'hui

Port de Bastia bloqué jusqu'à 22h aéroport de Poretta perturbé et rafales... à 213 km/h sur le Cap-Corse ! En vingt-quatre heures, les pompiers ont effectué plus de 300 interventions

Port bloqué jusqu'à 22h, rafales et vents déviants, dans la soirée, ont été les premiers symptômes d'une tempête qui a touché toute la Corse. Les vents ont soufflé fort, surtout sur le Cap-Corse, où ils ont atteint des pointes de 213 km/h. Les rafales ont duré jusqu'à 22 heures, puis ont diminué. Les pompiers ont effectué plus de 300 interventions dans la soirée. Les dégâts sont importants, notamment à Bastia et à Ajaccio.



Porto-Vecchio : des arbres et pylônes électriques arrachés mais... attention au feu !

Une dizaine d'arbres ont été arrachés par les vents déviants qui ont soufflé fort dans la soirée. Les pylônes électriques ont également été touchés. Les pompiers ont été appelés pour intervenir. Attention au feu !

Refuges supérieurs aux normes

À l'aéroport de Bastia-Poretta, les installations aéroportuaires ont été touchées par les vents déviants. Les pompiers ont été appelés pour intervenir. Les dégâts sont importants, notamment à Bastia et à Ajaccio.

Bonifacio : le car-ferry à quai depuis quatre jours

> Incendies en Haute-Corse

Une vingtaine de mises à feu ont mobilisé les centres de secours du département.

CORSE INFORMATIONS

Le coup de colère du ciel

Coup de tabac à L'Ile-Rousse

Le déluge sur Ajaccio

Le déluge sur Ajaccio a été très important. Les rues ont été inondées pendant plusieurs heures. Les pompiers ont été appelés pour intervenir. Les dégâts sont importants, notamment à Bastia et à Ajaccio.

Pluie et vent en Haute-Corse

La pluie et le vent ont touché toute la Haute-Corse. Les dégâts sont importants, notamment à Bastia et à Ajaccio.

Tempête du 11 novembre 2001

Recueil photographique (BRGM/ROL, prises de vue de la plage de Padulone le 21 octobre 2001)



Tempête du 23 octobre au 1^{er} novembre 2007

Reportage France 3 Corsica Prima du 26 octobre 2007 sur la tempête et l'érosion sur la plage d'Aléria (captures d'écran)



Tempête des 27 et 28 novembre 2008

Site internet (www.corsematin.com, paru le 29 novembre 2008)

Corse

dégâts | intempéries | tempête

Bastia

Tempête dévastatrice sur la Haute-Corse

Paru le samedi 29 novembre 2008 à 23:00 | 0 commentaire(s)



Photo : Gérard Baldocchi

Images de désolation sur le quai des Martyrs à Bastia inondé par des torrents d'eau

Routes impraticables, rivières en crue, éboulements, tunnel inondé, foyers privés d'électricité et de téléphone, bateaux coulés dans les ports de plaisance, commerçants sinistrés, il était encore trop tôt hier soir, pour recenser avec précision les dégâts occasionnés par les intempéries sur l'ensemble de la Corse. C'est, dans le jargon des météorologistes, une « perturbation (très) active » qui a affecté en effet, les deux départements dès jeudi soir, justifiant la mise en oeuvre de l'alerte orange. On avait annoncé 150 à 200 mm de précipitations sur l'Est de l'île mais plus encore que la pluie, qui a rempli ses promesses, le vent d'Est a sensiblement aggravé la situation, levant dans la nuit une grosse mer. Dès 4 heures, hier matin, tous les pêcheurs de Bastia, Gérard Romitù, président du comité régional des pêches en tête, étaient à l'oeuvre sur le Vieux-Port, consolidant tant bien que mal les amarres, et assistant, désarmés, aux ravages de la houle. Pannes, bornes d'eau et d'électricité arrachées, cuves de gasoil inondées, embarcations malmenées... « Plus d'un filet est parti à l'eau et nous avons manqué de cordes, expliquait-il, mais nous avons connu pire en 1978. Tant qu'on n'aura pas allongé la digue, on restera exposé à ce genre de tempête ! »

Également sur place, Dominique Dubois, administrateur départemental des affaires maritimes de Haute-Corse et François Tatti, adjoint au maire de Bastia qui prenait la mesure de la situation devenue très vite critique du côté du quai des Martyrs. Plusieurs voitures en stationnement longitudinal étaient soulevées par les flots, se positionnant en travers de la voie, tandis qu'à intervalles réguliers, des paquets de mer se projetaient sur l'esplanade, détruisant les structures métalliques, emportant les bâches des terrasses, le mobilier, inondant les bars et restaurants.

Brèche ouverte au môle sud

L'eau atteignait jusqu'à un mètre dans certaines caves. « Je n'ai jamais vu ça répétait Pierre Franceschi, le plus ancien pêcheur de Bastia, tout

Tempête dévastatrice sur la Haute-Corse - Bastia - Corse - l'actualité en...

en écopant l'eau qui affluait dans son petit local. Plus préoccupant encore... les brèches ouvertes sur le môle sud, la jetée du Dragon, au pied de la Citadelle, déjà fortement érodée, menaçait de s'effondrer. De leur côté, les commerçants s'efforçaient, entre deux vagues, de mettre à l'abri chaises, tables, parasols, appareils électroménagers, tout en chassant l'eau avec les moyens du bord. Peine perdue, devant l'ampleur des inondations, le quai et le Vieux-Port devaient être fermé à la circulation et aux piétons en milieu de matinée. « Tout est fichu », lamentait Henri Ghelardini, du restaurant « le Coby », à 3 h du matin, nous avions 1,5 m d'eau dans les cuisines, la terrasse en bois n'a pas tenu, les appareils électriques ont été endommagés ». Même discours Chez Mémé » où Lucette Hayache tentait de dresser un premier inventaire des dégâts. « Je viens de découvrir ce spectacle, les bacs vitrés n'ont pas résisté, j'ai rentré du matériel et averti mon assureur, rien n'a été épargné, expliquait-elle.

Bateaux coulés et le Golo hors de son lit

Au port de Toga, la situation n'était pas plus enviable, des vagues de m franchissaient la digue, formant des gerbes spectaculaires. « Le tablier avant du ponton 500 a été emporté devant le bar Mascana, précisait Pierre Jacques de Bernardi, directeur du port, plusieurs petites embarcations ont sombré ». Sur le plan d'eau gonflé en continu par ces flux, voiliers et vedettes frappaient les quais, s'entrechoquaient sous le regard de leurs propriétaires, impuissants.

Les sapeurs-pompiers de Bastia et Lucciana à rude épreuve depuis la veille, ont été sollicités la journée durant, totalisant plus de 70 interventions. Une cellule de crise a été mise en place à la préfecture sous la direction d'Antoine Poussier, directeur de cabinet du préfet de Haute-Corse, elle a été désactivée à 12 h 30 et en début d'après midi le bilan restait préoccupant. La fermeture du tunnel, gorgé d'eau de mer, a créé des embouteillages considérables en centre-ville, on restait très réservé hier soir, sur sa réouverture, compte tenu des conditions de circulation. Enfin, la route de la Canonica, rendue impraticable par les débordements du Golo, et la route Impériale ont été ouvertes à la circulation en début d'après midi.

Hélène ROMAN

SHARE

Coupure de presse (Corse Matin, 1^{er} décembre 2008)

érosion

Le comité de protection du littoral monte au créneau

Les membres du comité de protection du littoral se sont réunis hier soir dans les locaux de la Communauté de Communes de Costa Verde à Mariana. Assemblée à laquelle assistaient les représentants des municipalités d'Aleria, Linguizzetta, Cervione et Santa-Maria-Figuli, la CCI de Haute-Corse, le comité de communes de Mariana, et le conseiller général du canton de Campiolori-Morlet. Les différents aspects des problèmes touchant le secteur concerné par des risques du domaine maritime ont été évoqués, notamment depuis les récentes précipitations et la houle des marées d'équinoxe, qui ont fortement dégradé le littoral de la côte orientale.

Un point a été fait sur les résultats des deux expériences « Stabiplage » réalisées à Cervione et Aleria. A ce sujet, la polémique suscitée par la pose du Stabiplage du Camping Campiolori a été évoquée, ainsi que le recours devant le Tribunal Administratif.

Les récentes tempêtes ont littéralement mangé la plage de Morlet.

Des travaux immédiats

Pierre-Louis Nicolai, conseiller général du canton, a donné lecture d'un courrier du Département, stipulant que les procédures d'appels d'offres sont en cours pour réaliser les travaux de protection des plages de « marais ».

Tous les trois sites inscrits au budget de cette opération, San-Luciani, Pafrella, et Vango di Ura, le premier de ces sites devant voir le début des travaux début 2009. Travaux qui se réaliseront en deux phases : pose de protections géotextiles et ré-aménagement par voie maritime.

Jean-Claude Fraissinchi, adjoint au maire d'Aleria, a annoncé pour sa part que les travaux d'étude concernant la plage de Padulone à Aleria ont été acceptés quant au financement. Une étude devrait donc voir le jour incessamment.

Une nouvelle entrevue va être sollicitée prochainement par le comité Coprofit avec les services techniques du conseil général à l'effet de solliciter une audience ainsi demandée au Préfet de Haute-Corse ainsi qu'au président de la collectivité territoriale. Le président Bernard Cabot a insisté sur la revendication particulière du comité : « Tant que la CTC ne se sera pas dotée d'une ligne budgétaire annuelle spécifiquement consacrée à la protection du littoral, nos problèmes ne seront en fait ! Toutefois les autres séquences budgétaires à l'Agence maritime ne sont doubles, sauf la Corse ! Les problèmes d'érosion s'aggravent sérieusement avec le phénomène incontestable des tempêtes. Il y a urgence à agir et nous sommes obligés à promouvoir notre action de détection de phénomènes, il en va de la survie de toutes les exploitations portuaires, agricoles et industrielles de la côte orientale de la Corse et de notre patrimoine culturel ».

JACQUES PADOI

Coupure de presse (Corse Matin, 2 décembre 2008)

Pêcheurs et commerçants privés d'activités depuis la tempête

NTEMPÉRIES Après un premier état des lieux, les dégâts se chiffrent déjà à plusieurs dizaines de milliers d'euros. Les professionnels veulent rencontrer le maire rapidement

« Nous avons dix personnes au chômage »

Henri Ghelardini, Restaurateur

Henri Ghelardini (copropriétaire) : Hier le premier propriétaire de cet établissement était au travail. Le lendemain, il est au chômage. Nous sommes dix personnes à être privées d'activités. C'est très dur. Nous avons dix personnes au chômage. C'est très dur.

Jusqu'à 15 cm d'eau dans la capitainerie

Michel Bouchia, Capitaine du Vieux Port

Michel Bouchia est le responsable de la capitainerie du Vieux Port de Bastia. « Après le défilé, nous sommes restés avec plusieurs centimètres d'eau dans la capitainerie. C'est très dur. Nous avons eu dix personnes au chômage. C'est très dur. Nous avons eu dix personnes au chômage. C'est très dur. »

« Tout mon matériel est détérioré »

Sébastien Bouchard, Pêcheur

Sébastien Bouchard est le plus jeune pêcheur du Vieux Port de Bastia. Il a eu un gros problème avec son matériel. « Tout mon matériel est détérioré. C'est très dur. Nous avons eu dix personnes au chômage. C'est très dur. »

« Tout des locaux détruits »

« Tout des locaux détruits. C'est très dur. Nous avons eu dix personnes au chômage. C'est très dur. »

« Une polémique horticole qui durcit les positions »

« Une polémique horticole qui durcit les positions. C'est très dur. Nous avons eu dix personnes au chômage. C'est très dur. »

Coupure de presse (Corse Matin, 3 décembre 2008)

■ tempête

Des plongeurs pour examiner la jetée du Vieux Port



La tempête de la semaine dernière a fortement endommagé la digue du Vieux Port qui était déjà fissurée en deux endroits. (Photo Gérard Ballebois)

Les dégâts les plus importants occasionnés par la tempête survenue la semaine dernière, à Bastia, sont incontestablement ceux infligés à la jetée du Vieux Port. La force de la houle qui a malmené la digue durant de longues heures a fragilisé la structure. In effet, deux fissures verticales déjà bien repérées et les intempéries n'ont rien arrangé. En outre, ces fissures de béton armé, ont été élargies. Selon ses informations, une réunion a été organisée à la préfecture de Haute-Corse à laquelle ont participé les services de la municipalité de Bastia ainsi que ceux de la Collectivité territoriale de Corse, propriétaire de la digue. Il serait notamment question de faire descendre une équipe de plongeurs afin de vérifier l'état de la jetée et de permettre l'installation de l'ampleur des dégâts. Il faut attendre pour cela que les conditions météorologiques soient plus favorables et que la mer se calme. Ensuite, un bureau d'étude devra être saisi afin de réaliser avec précision la nature des travaux à réaliser et surtout leur coût. Selon certains experts, la facture pourrait se chiffrer à plusieurs centaines de milliers d'euros. Tous les acteurs de ce dossier savent qu'il y a urgence. Les tempêtes de cette violence sont rarissimes, mais il n'est pas impossible que de nouvelles séries d'intempéries de moindre intensité, se produisent et se fragilisent encore un peu plus la jetée du Vieux Port.

SARORA CAROTTI

Coupure de presse (Corse Matin, 3 décembre 2008)

■ intempéries

7 M€ seront nécessaires pour consolider la digue du Vieux Port



En compagnie des responsables techniques de la CTC, le président de l'assemblée, Ange Santini, s'est rendu sur le Vieux Port constatant l'ampleur des dégâts occasionnés par la récente tempête. (Photo U.S.)

Suite aux intempéries exceptionnelles qui ont touché la Corse ces jours derniers, et en particulier en Haute-Corse, Ange Santini, le président de l'assemblée, a souhaité se rendre à Bastia pour constater par lui-même l'importance des dégâts provoqués par la tempête. La digue du Vieux Port ainsi que sur le tunnel du vieux port, tous deux sous la responsabilité de la collectivité territoriale de Corse ont été sérieusement touchés par la forte houle. L'occasion pour lui également de saluer le travail réalisé par les équipes de la direction des routes et des ports de la Haute-Corse qui se sont mobilisées nuit et jour durant tout le week-end et sont encore à pied d'œuvre. Selon les premières estimations, qui seront prochainement affinées (Corse-Matin du 3 décembre), le montant total des réparations sur ces deux ouvrages s'élèverait à une dizaine de millions d'euros ; près de 7 millions pour la consolidation de la digue et environ 3 millions pour la réhabilitation des installations techniques du tunnel.

En fonction du bilan final établi par le bureau d'étude, les travaux devraient être lancés dès le mois de janvier 2009.

Recueil photographique (Capitainerie de Taverna, prises de vue le 28/11/2008)



Recueil photographique (Capitainerie de Solenzara, prises de vue le 28/11/2008)



Document vidéo amateur – Vieux-Port de Bastia le 28 novembre 2008 (captures d'écran)



Annexe 2

Inventaire des phénomènes de tempêtes sur la côte orientale de la Corse

N°	Date	Commentaires / Dégâts et perturbations constatés	Position du centre dépressionnaire / Type de temps	Pression minimale	Vents	Surcote mesurée à Ajaccio
				<i>Hpa</i>	<i>moyenne (rafale) km/h</i>	<i>M</i>
1	27-28/11/2008	Très forte tempête sur la côte orientale de la Corse, vents de 50 à 90 km/h, rafales à 120-140 km/h de secteur Est à Sud-Est, houle de secteur Est de 6 à 8 m / dégâts très importants sur la Plaine Orientale et dans le secteur de Bastia	Sud de la Corse	992	50-90 (12-140)	0,3 (modèle de surcote MétéoFrance)
2	03/01/2008	Tempête sur Calvi, vagues de 3 à 4 m de secteur Nord-Ouest, surcote de 0,2 à 0,5 m /1 mort à Lumio emporté par les vagues	Espagne se déplaçant vers le Sud			0,2 - 0,5
3	23/10 - 01/11/2007	Tempête sur la Plaine Orientale : vents de 30 à 50 km/h de secteur Sud-Est à Est, rafales à 90 km/h, vagues de 2 à 4 m, surcote de 0,25 m / dégâts importants au niveau du camping à Aléria	Sud Sardaigne et traverse la Corse du Sud vers le Nord	1003	50 (90)	0,25
4	24-31/01/2005	Tempête d'Est sur la côte orientale d'Ersa à Moriani, vents de secteur Est à Nord-Est, rafales à 110 km/h, vagues de 2 à 4 m, surcote de 0,2 m à Ajaccio / peu de dégâts	Golfe de Gênes au Nord de la Sicile		110	0,2
5	20/02/2004	Tempête d'Est d'échelle zonale. Masse d'air chaud remonte d'Algérie et s'enroule sur dépression en Espagne, Effet de Foëhn sur Ajaccio, rafales à 120km/h / Pluie de boues, mais pas de dégâts signalés sur le littoral, malgré de fortes vagues (7 m).	Flux d'air saharien de Sud - Sud Est			0,4
6	08/01/2003	Vents de secteur Nord-Est à 70km/h sur la Balagne, surcote de 0,3 m à l'île Rousse / dégâts importants sur les restaurants de plage				0,3
7	13/12/2001	Tempête pluvio-neigeuse sur la Plaine Orientale ; rafales de 122km/h de Sud-Est à Alistro			(122) SE	
8	26-28/12/1999	Tempêtes "Lothar" et "Martin" / impacts sur la côte ouest (Balagne, Saint Florent)	Dépressions tropicales océaniques se déplaçant d'Ouest en Est	978	150 (200) WSW	0,7 - 1
9	21/06/1999	Vents violents de secteur Ouest à Nord sur le Cap Corse - 2 morts à Lumio et Calvi		1003	80 (120) W - N	
10	08/07/1996	Tempête sur la Corse / liaisons maritimes coupées	Océanique puis dépression sur Golfe de Gênes			
11	15/03/1996	Fortes précipitations sur le versant est de l'île ; Plaine Orientale en état d'alerte	Baléares se déplace vers mer Tyrrhénienne	1000		
12	02/01/1996	Vent violent sur la région bastiaise				
13	17/08/1995	Violents orages accompagnés de fortes rafales de vents.	Alpes se déplaçant vers la Plaine du Pô et le Golfe de Gênes			
14	13/05/1995	Violents orages et vents très forts	Golfe du Lion vers le Golfe de	<990		

N°	Date	Commentaires / Dégâts et perturbations constatés	Position du centre dépressionnaire / Type de temps	Pression minimale	Vents	Surcote mesurée à Ajaccio
			Gênes			
15	28/03/1995	rafales à plus de 150 km/h sur toute l'île	Golfe de Gênes	<995	(150)	
16	26/02/1995	170 km/h sur Cap Corse (Libecciu)	Golfe de Gênes	<995	(170) W	
17	27/01/1995	Vents à 160km/h perturbant la navigation aérienne	Océanique		(160)	
18	19/01/1995	140 km/h sur le cap corse	Océanique puis dépression secondaire sur Italie		(140)	
19	11/01/1995	137 km/h sur le cap corse	Océanique puis dépression secondaire sur Italie		(137)	
20	23/12/1994	Violente tempête d'Est à Bastia occasionnant des dégâts importants au port de Toga - "vents poussés vers la marina"	mer Tyrrhénienne			
21	25/08/1994	140 km/h bateaux bloqués au large de Bastia	Italie		(140)	
22	12/06/1994	Inondations à Bastia	Golfe de Gênes			
23	10/04/1994	Froid, vents, pluies	Golfe de Gênes se déplaçant vers la mer Tyrrhénienne			
24	02/04/1994	Un coup de vent violent perturbe le trafic aérien et maritime	Golfe de Gênes			
25	28/01/1994	Bastia : rafales à 120 km/h, empêchent le Kalliste d'entrer au port	Adriatique		(120)	
26	01/01/1994	Bastia : sous des rafales de 150 km/h, le car-ferry de la sncm rompt ses amarres et percute un navire italien	Italie	<995	(150)	
29	26/12/1993	Risées violentes sur la côte est et houle dans le Vieux Port de Bastia	Océanique puis dépression secondaire sur Gênes	<990		
28	17/12/1993	Risées violentes sur la côte est et houle dans le Vieux Port de Bastia	Océanique			
27	08/12/1993	De violentes rafales de vent (180 km/h) soufflent sur Bastia et la Haute-Corse / Le 11, 212 km/h sur le Cap, 220km/h le 12, un avion Marseille-Bastia détourné vers Ajaccio	Océanique		(180) W	
30	31/10/1993	Fleuves en crue dans la Plaine Orientale, cellule de crise à la préfecture, 6 morts, plan ORSEC enclenché jusqu'au 7 novembre	Baléares, se déplace sur la mer Tyrrhénienne			
31	28/02/1993	Pluies et vents	Sardaigne	<990		
32	05/12/1992	Vents et pluies diluviennes en Haute-Corse	Golfe de Gênes	<990		
33	21/10/1992	Haute-Corse sous les eaux : plaine de la Marana inondée	Océanique			
34	18/10/1992	Pluies et vents sur la Haute-Corse : 170 km/h au Cap Corse	Baléares se déplaçant vers le Golfe de Gênes		(170)	
35	05/10/1992	Bastia paralysée par la tempête : nombreux dégâts sur le vieux port, tunnel inondé...	Golfe de Gênes	<990		

N°	Date	Commentaires / Dégâts et perturbations constatés	Position du centre dépressionnaire / Type de temps	Pression minimale	Vents	Surcote mesurée à Ajaccio
36	23/11/1990	Tempête sur le Nord de la Corse	Plaine du Pô			
37	27/02/1990	Tempête en haute corse : mini-tornade à Bastia, maisons évacuées sur la côte orientale, incendies, bulletin spécial le 27/08	Océanique puis dépression secondaire sur Adriatique			
38	14/02/1990	Vents de 160 km/h dans la région bastiaise, >200 km/h au Cap Corse (W à NW sur est corse), aucun bateau ne peut entrer ou sortir du port, incendies, toiture envolée à Bastia, ponton retourné à Bonifacio	Adriatique		(200)	
39	08/10/1989	Trombes d'eau et vents violents sur la région bastiaise, dégâts importants, coulées de boues, incendies	Golfe de Gênes se déplaçant vers la mer Tyrrhénienne	<990		
40	01/09/1989	Graves inondations, principalement sur la Plaine Orientale	Adriatique			
41	01/03/1989	Vents violents Mer démontées Inondations (sur reportage TF1 sortie de port agitée pour un paquebot + vagues par-dessus un brise-lame à Ajaccio ??)				
43	13/05/1988	Grosse Houle sur la Plaine Orientale (pas prévu par Météo)/ Vedette prise dans la tempête au large de Calvi (3 morts)				
44	28/04/1988	Mauvais temps sur Bastia				
45	12/01/1987	Trafic maritime perturbé à Bastia	Baléares se déplace vers mer Tyrrhénienne	<985		
46	15/01/1987	Trafic maritime et aérien perturbé à Bastia (Digue emportée à Cargèse)	Baléares se déplace vers le Golfe de Gênes	<990		
47	20/11/1987	Le vent a atteint 180 km/h sur Bastia (incendies sur la Plaine Orientale)	Tyrrhénienne	990	(180)	
48	20/12/1986	Vent à 200 km/h sur la Haute-Corse : trafic aérien perturbé, 2000 abonnés privés d'électricité	Océanique puis dépression secondaire sur Italie		(200)	
49	20/10/1986	Vent à 230 km/h sur le Cap Corse	Océanique		(230)	
50	30/03/1986	Libecciu à 200 km/h	Océanique		(200) W	
51	02/03/1986	Mauvais temps : trafic portuaire perturbé à Bastia	Gibraltar se déplace vers les Baléares	<995		
52	15/01/1986	Libecciu à 180 km/h, nombreux dégâts	Océanique puis dépression secondaire sur Adriatique		(180) W	
53	12/01/1986	Tempête de vent, 160 km/h au Cap Corse	Océanique puis dépression secondaire sur Adriatique		(160)	
54	20/11/1985	Mauvais temps sur la Haute-Corse et plus particulièrement sur la région bastiaise	Golfe du lion se déplace vers Golfe de Gênes	1000		
55	06/11/1985	Vent de 120 km/h sur la région bastiaise	Océanique puis dépression secondaire sur Adriatique		(120)	
56	24/01/1985	Dans la région bastiaise, pointes de vent à 150 km/h	Océanique			

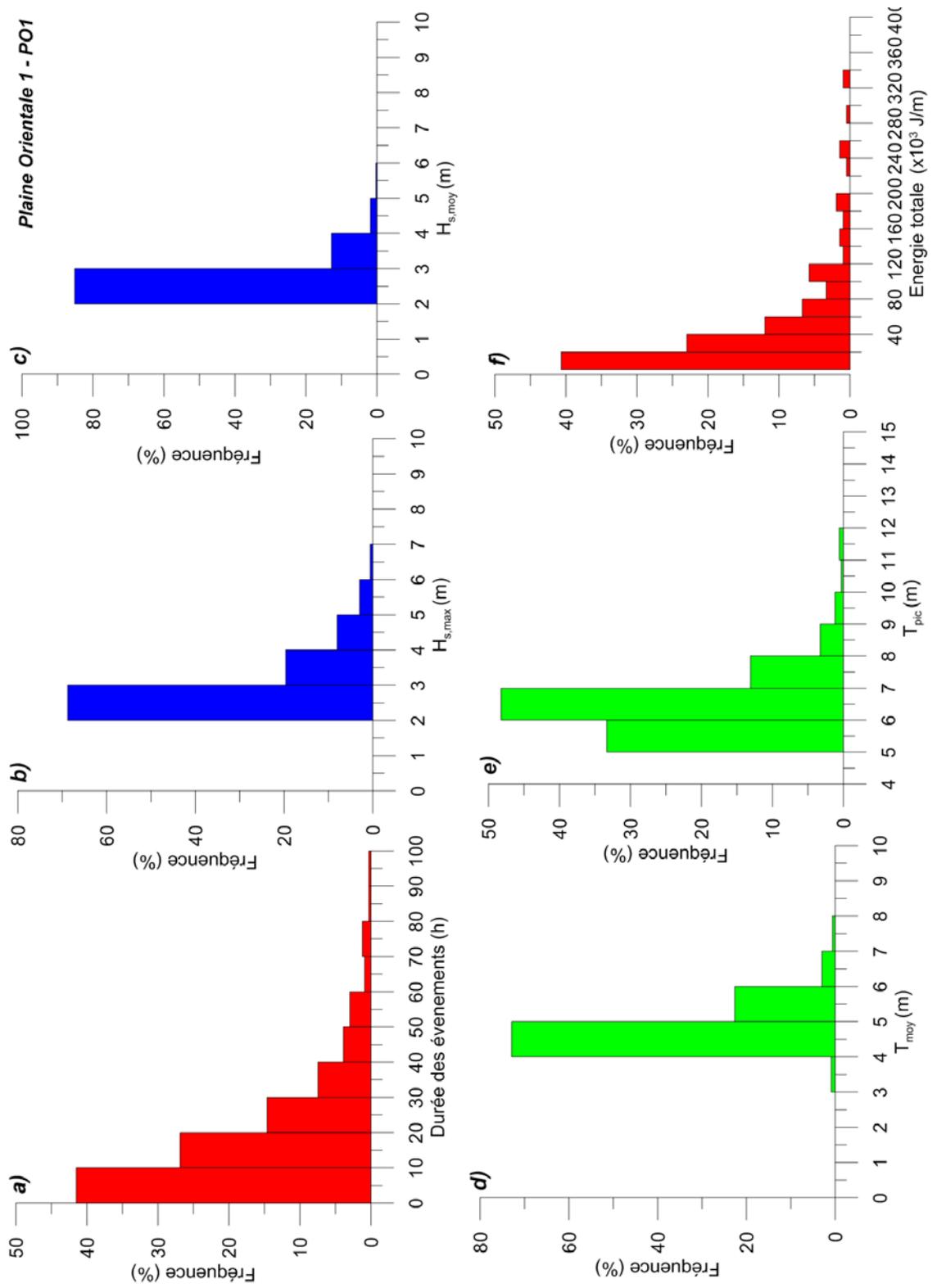
Etat des connaissances sur les impacts des tempêtes sur le littoral

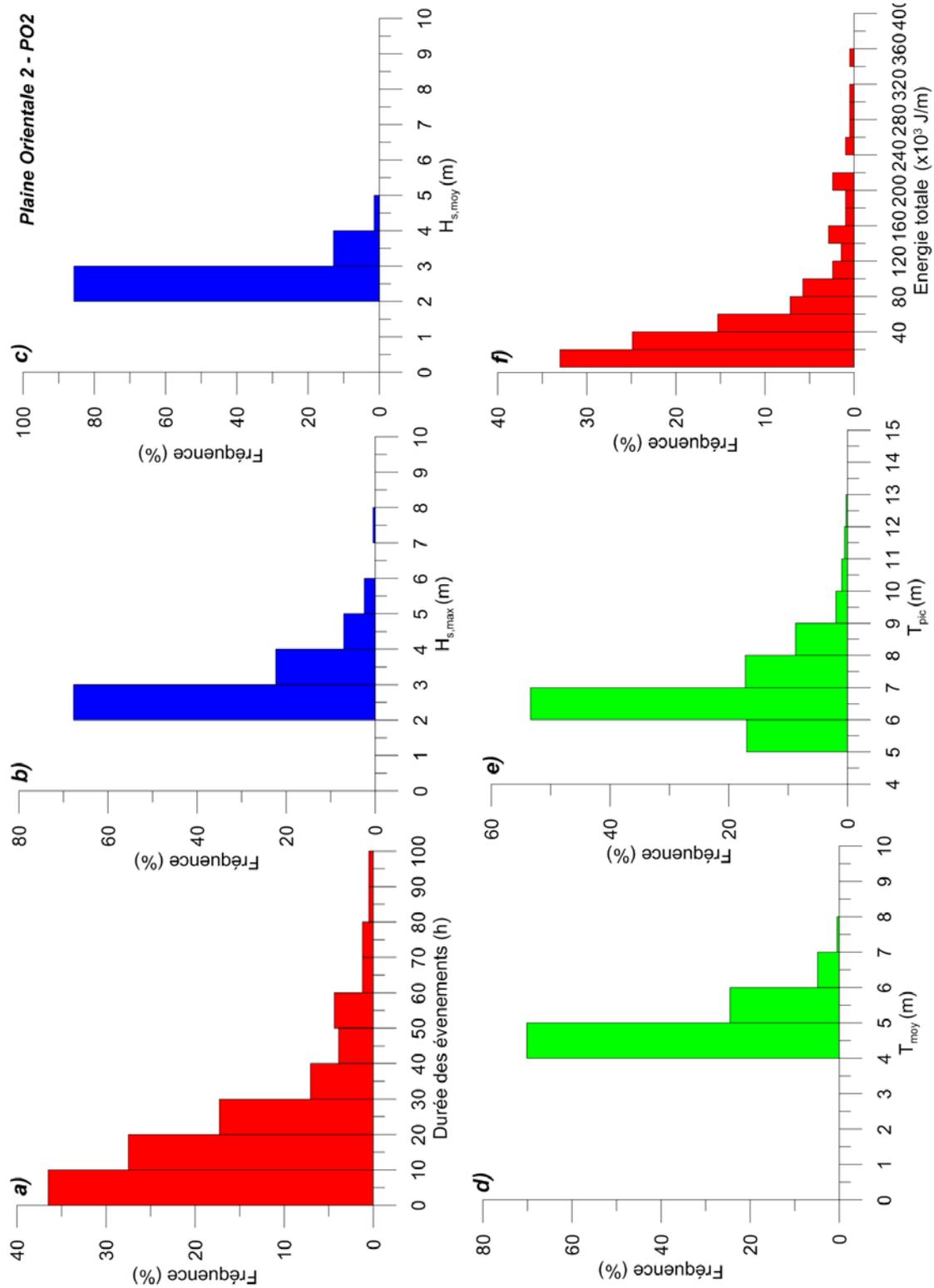
N°	Date	Commentaires / Dégâts et perturbations constatés	Position du centre dépressionnaire / Type de temps	Pression minimale	Vents	Surcote mesurée à Ajaccio
57	08/02/1984	Grosses rafales (160 km/h à Sagro, 200 à Pertusato et 130 à Poretta), cargo en péril à Calvi, mort à Bastia suite à rafale, incendies dans la Plaine Orientale, vagues sur la route du Lido de la Marana, Pylônes FT et EDF tombés sur toute le littoral Est	Italie	<985	(200)	
58	24/01/1984	Trafic maritime et aérien perturbé suite au vent violent dans la région bastiaise. Vent 130km/h à Poretta (cargo rompt ses amarres) Motos et camion renversés à Teghime	Océanique puis dépression secondaire sur Adriatique	<985	(130)	
59	28/11/1983	Nombreux dégâts dans la plaine du Golo suite à un coup de vent	Océanique puis D secondaire sur Adriatique			
60	24-25/04/1982	Tempête sur la Corse	initialement D sur les Balkans puis D se creuse en Tyrrhénienne			
61	06-10/11/1982	Arrêté catastrophe naturelle "tempête" - La Solenzara se transforme en torrent de boue suite aux précipitations importantes	Océanique se déplaçant d'Est en Ouest sur la Méditerranée			
62	13/12/1981	Tempête sur la Côte orientale incendies, Bastia vents >100 km/h	Golfe de Gênes	990	(100)	
63	19/07/1981	Tempête sur l'île : noyades et voiliers en difficulté sur la côte ouest et l'extrême sud. Incendies sur la Plaine Orientale (noyade due aux vagues le 22/07/81 à Campoloro)	Golfe de Gênes	<1000		
64	20/01/1981	vent violent à Bastia et sur la Cap Corse, un voilier coule au large de Giraglia	Tyrrhénienne	<985		
65	04/01/1981	Violente tempête sur la Cap Corse (190 km/h)	Adriatique/Balkans	<990	(190)	
66	21/04/1980	Violente tempête et voilier en détresse au large de Bastia	Tyrrhénienne	<1000		
67	15/01/1980	Pris par la tempête, un cargo italien s'échoue et coule au large du Cap Corse	Baléares se déplaçant vers mer Tyrrhénienne	990		
68	01/01/1979	Vents atteignant 150 km/h nuit 31 au 1er. Pointe à 150km/h. incendies Casinca. Trafic aérien perturbé, voiture renversée Teghime. (forte neige le lendemain)	flux d'ouest / circulation zonale		(150)	
69	22/12/1979	Vent de force 11, vagues de plusieurs mètres (digue port de commerce détruite sur 100 m, blocs arrachés, chantier du tunnel inondé, hangars et canalisations détruits) Bilan de la tempête à Bastia : 40 millions de francs	Entre Baléares et Sardaigne	<985		
70	11/01/1977	Tempête sur toute la corse (dégâts plus importants sur la côte Ouest) Bourrasque la nuit suivante à Bastia (description = courtes rafales comme coup de buttoir)	Golfe du Lion se déplace vers le Golfe de Gênes	<990		
71	03/12/1976	Plaine de la Marana inondée (voies d'accès coupées) - vent Force 12 enregistré à Poretta - navire Livourne-Bastia annulé	Flux d'ouest océanique	980		

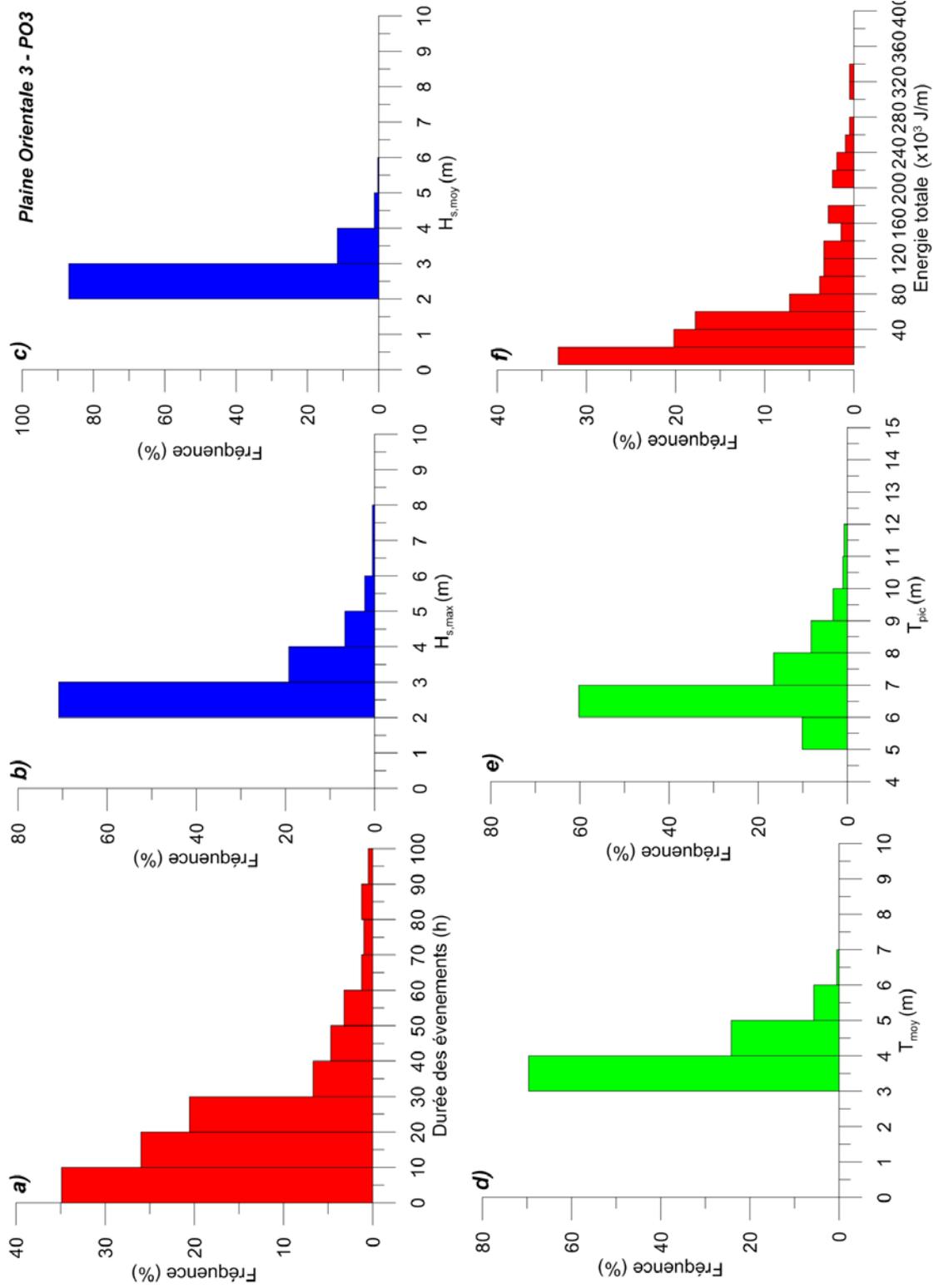
N°	Date	Commentaires / Dégâts et perturbations constatés	Position du centre dépressionnaire / Type de temps	Pression minimale	Vents	Surcote mesurée à Ajaccio
72	23/02/1973	Bateau de pêche pris dans tempête (large des Sanguinaires)				
73	18/12/1968	Mer en furie Ajaccio paquet de mer sur la route des sanguinaires - Bastia touchée par des inondations (pluies)				
74	25/09/1924	Violents orages, importants dégâts sur le vieux port				
75	09/12/1924	Cyclone - accident : bateau coulé puis renfloué à l'entrée du vieux port				

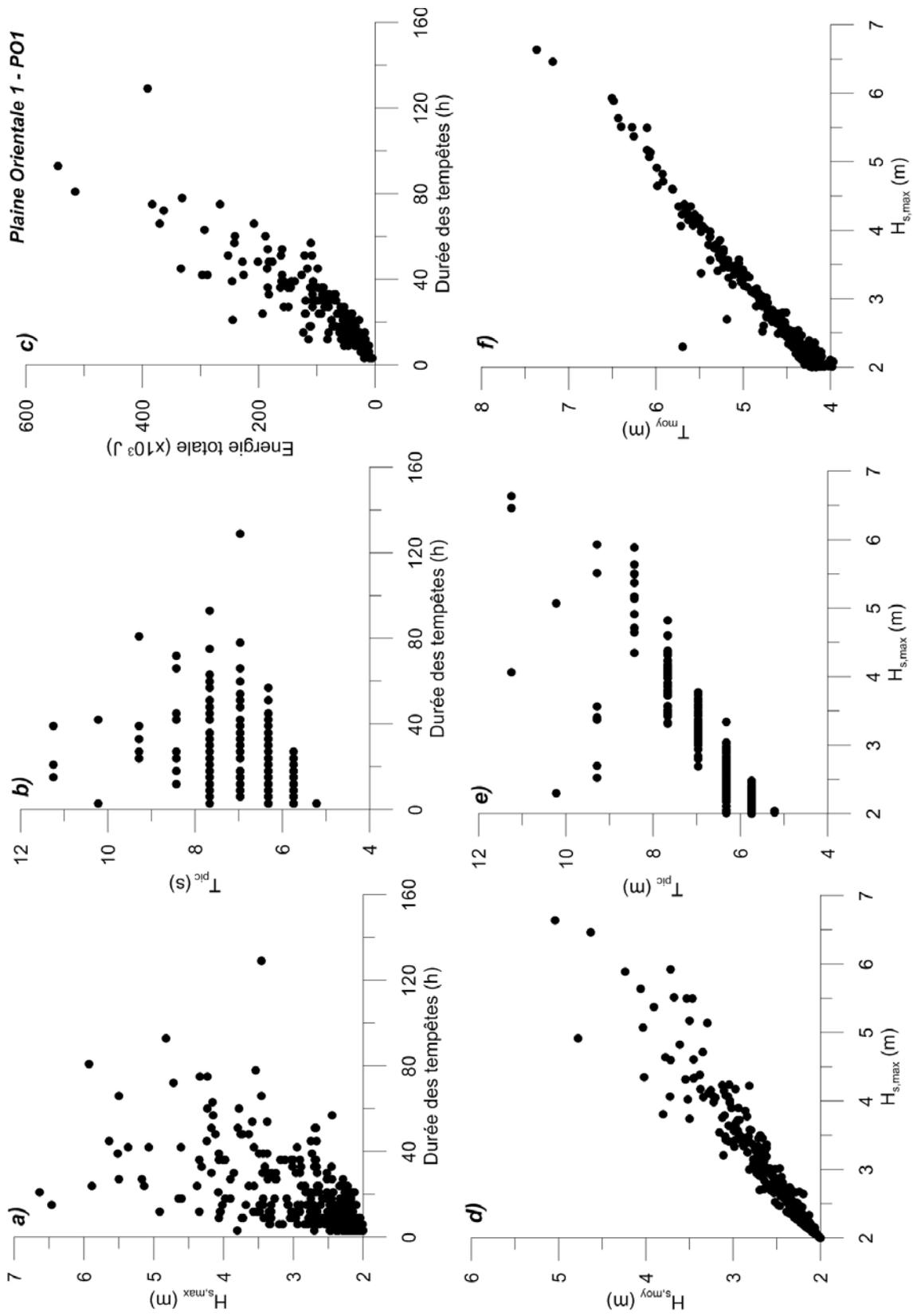
Annexe 3

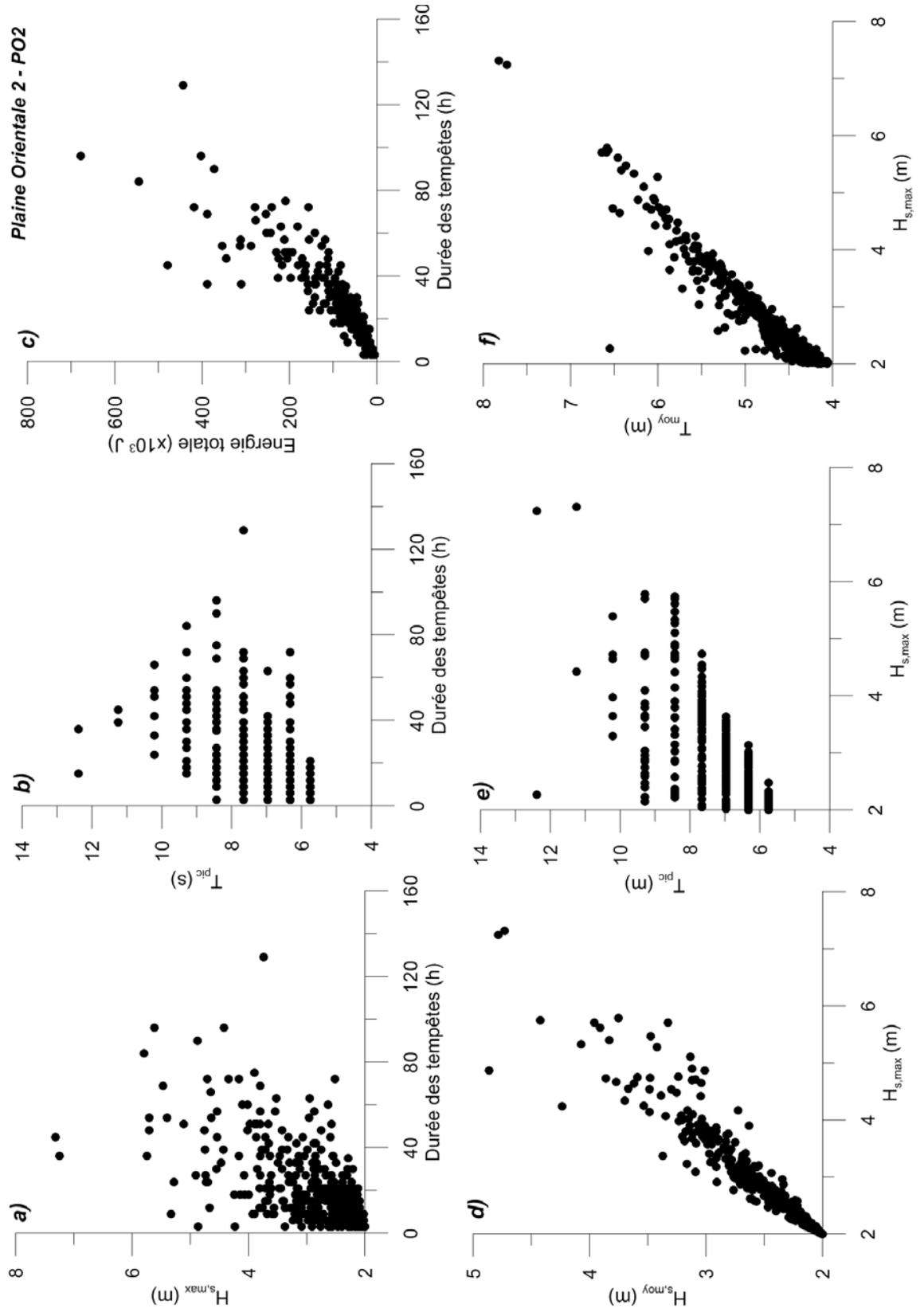
Statistiques des paramètres hydrodynamiques et lors des tempêtes reconstituées par simulation numérique

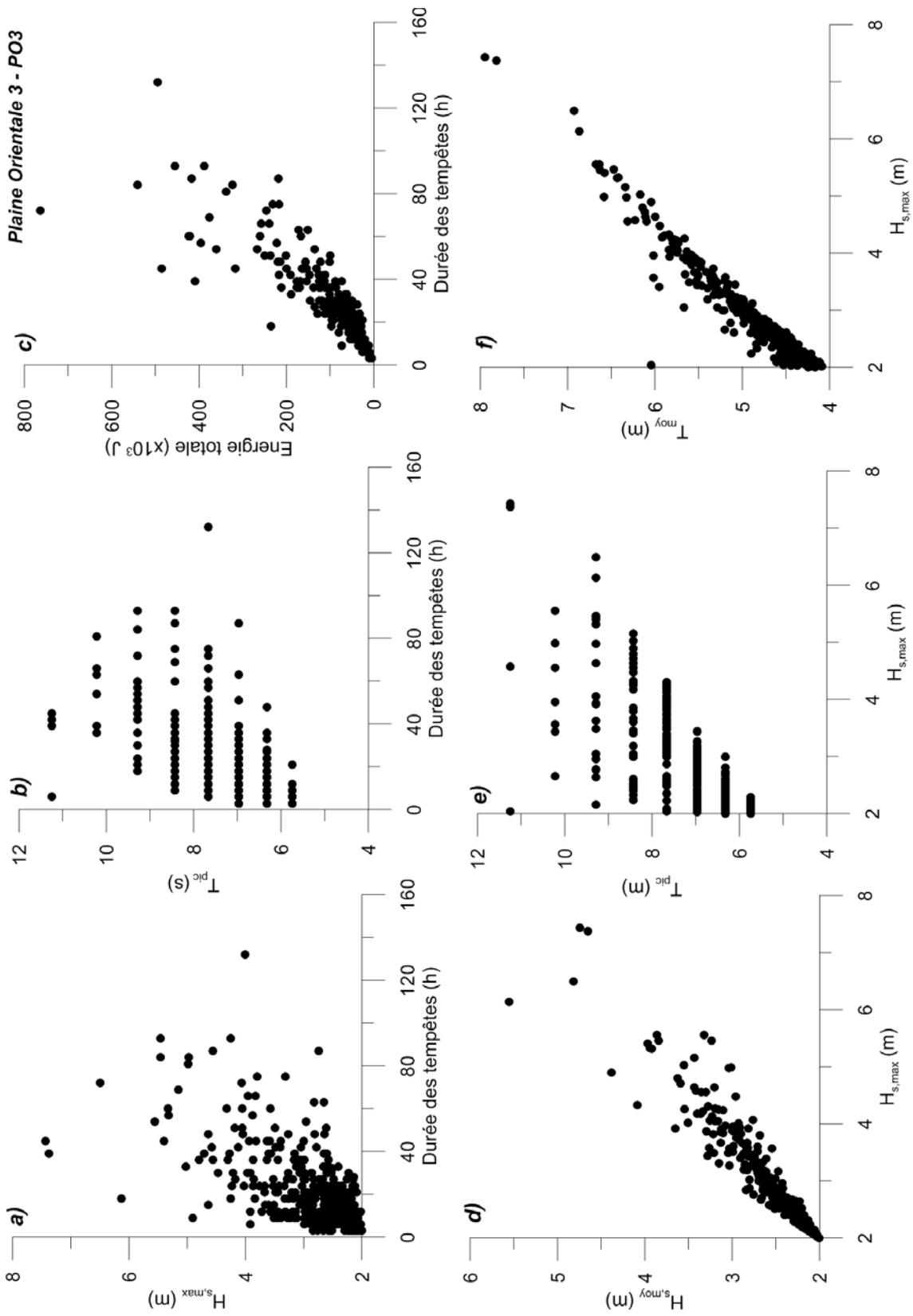












Annexe 4

Report of survey – BLOM Aerofilms



Chartered Geomatics Surveyors

Aerial Imaging, Digital Mapping & Geospatial Solutions

Oriental Plain of Corsica

REPORT OF SURVEY

Bathymetric LiDAR Survey

Job No: HK/008/09

Date of Survey: 25th – 29th March 2010

Blom Aerofilms

The Astrolabe
Cheddar Business Park
Wedmore Road
Cheddar
Somerset
BS27 3EB
United Kingdom

Tel: + 44 (0) 1934 311000

Fax: + 44 (0) 1934 745825

Email: info@blomasa.com

Web: www.blomasa.com

Version Control

Version	Date (dd/mm/yy)	Issued for	Written by / approved
1.0	30/07/2010	Draft for comment and review	GL / VG

Oriental Plain of Corsica
Bathymetry LiDAR Survey

To: Yann Balouin
Tour Mirabeau
39-43 quai André Citroën
75739 PARIS
CEDEX 15
N° SIRET 582 056 149 PARIS
France

From: Blom Aerofilms Ltd
The Astrolabe
Cheddar Business Park
Wedmore Road
Cheddar
Somerset
BS27 3EB

Company Ref: HK/008/09
Date of Survey: 25th – 29th March 2010

Contents

1.0 Introduction

2.0 Geodesy

3.0 Data Acquisition

4.0 Data Processing

5.0 Quality Control

Appendix A Flight sortie reports

Appendix B Daily project reports

Appendix C Cross Line Analysis

Appendix D Station description sheets

1.0 Introduction

Blom Aerofilms won a tender from BRGM, contracted through the Litto 3D framework for mapping all French territories. The area covers almost the entire East side of Corsica. Blom Aerofilms then undertook the capture of the Bathymetric and small amount of topographic LiDAR data as well as aerial photography for the project during March 2010. During this time, speculative hyperspectral imagery was flown simultaneously with the LiDAR using the Aisa Eagle 1K sensor. This imagery has not been processed as part of the main LiDAR delivery and requires further discussion.

An overview of the project area flown is shown in Figure 1.0.1 below. The area was divided into blocks 1-8 for survey and processing to better manage the data.



Figure 1.0.1 – Overview of project area

The aerial acquisition of the laser data for these areas was successfully completed on 29th March 2010 using the Hawk Eye Mk II airborne Bathymetric LiDAR System and Aisa Eagle 1K Hyperspectral sensor after a 3 day capture programme of the survey area. This report details all the different stages of work carried out in the acquisition and processing of the data.

2.0 Geodetic Parameters

The data was initially collected on the IGN datum and processed on ellipsoid heights. The ellipsoid heights were transformed to IGN78 via the GGF97 geoid model. All transformations were completed by Blom Aerofilms prior to issue of the final dataset.

Horizontal Datum:	ETRS89 / RGF93
Spheroid:	GRS80
Projection:	Universal Transverse Mercator (UTM)
Zone:	32 North
Central Meridian:	171° 00' 00" W
False Easting:	500 000m
False Northing:	0m
Scale Factor:	0.9996
Vertical Datum:	GRS80 ellipsoid

Table 2.0.1 – Geodetic Parameters

Deliverables items 1, 2 and 3 below were also delivered according in the following datums:

Projected Geodetics Parameters 1 (Lambert Conformal Conic)	
Horizontal Datum:	RGF97 / Lambert 93
Spheroid:	GRS80
Vertical Datum (geoid model):	IGN78 (GGF97)
Central Meridian:	3° 00' 00" E
Latitude of Origin:	46° 30' 00" N
Standard Parallel (SP) 1:	49° 00' 00" N
Standard Parallel (SP)2:	44° 00' 00" N
False Easting / Northing:	700,000m / 6,600,000m

Table 2.0.2 – Geodetic Parameters continued

Projected Geodetics Parameters 2 (Lambert Conformal Conic)	
Horizontal Datum:	NTF (Paris) / Lambert IV Carto
Spheroid:	Clarke 1880 IGN
Vertical Datum (geoid model):	IGN78 (GGF97)
Central Meridian:	0° 00' 00"
Latitude of Origin:	42° 09' 54" N
Standard Parallel (SP) 1:	42° 46' 03.58896" N
Standard Parallel (SP)2:	41° 33' 37.39536" N
False Easting / Northing:	234.358m / 4,185,861.369m
ETRS89 to NTF dx:	168.000
ETRS89 to NTF dy:	60.000
ETRS89 to NTF dz:	-320.000
<i>Table 2.0.3 – Geodetic Parameters continued</i>	

2.1 Horizontal Control

The survey area included 2 GPS base stations, one to the North (Hotel2) covering blocks 1-4 and one to the South (Ghison1) covering blocks 5-8 of the survey area. The data was collected over a 3 day period.

The first day's flights covered block 5-8 and used the Ghison1 base station. The second day's flights covered blocks 1-4 and used base station Hotel2. The final day included re-flights from for the entire area and required both base stations; however the Hotel2 station data was unusable due to data corruption. The Ghison1 station was used for all the blocks resulting in some poor quality GPS at the very North end due to the distance. The GPS base station coordinates used for the 2 stations are listed below.

Ghison1		Hotel2	
Latitude:	42° 00' 19.15559" N	Latitude:	42° 33' 02.94608" N
Longitude:	09° 27' 21.16710" E	Longitude:	09° 26' 45.51054" E
Height:	50.167m	Height:	94.110m

The base station data coordinates were verified using the AUSPOS service for each day and these verification sheets can be found in Appendix D.

2.2 Vertical Control

The vertical datum's for the project were used to create the required deliverables according to the tables above.

3.0 Data Acquisition

The laser data was collected using the Hawk Eye Mk II airborne laser scanner with the imagery being collected simultaneously with an integral digital camera. The laser data and imagery collected was flown using a fixed wing platform mounted to the CASA 212C platform; registration I-MAFE. The system and aircraft are shown below in Figure 3.0.1. Also fitted was an integrated Sagem POS AV 510 GPS/IMU system for airborne navigation and positioning. The camera used during acquisition was the uEye UCGA 2 Mega pixel camera.



Figure 3.0.1 – CASA 212C – I-MAFE

The aircraft was mobilised from Parma, Italy, to Corsica and the project site on 25th March 2010, with the acquisition starting on the 26th March and was completed on 29th March 2010. The flight sortie reports can be seen in Appendix A. The Daily Progress Reports for this project can be found in Appendix B.

3.1 Survey Area

The survey area was planned to be covered with 64 survey lines which was to be completed in a total of 8 hours, including 65 turns. The flying height for the survey was 400m (approx 1300ft) as required to achieve the quoted specification; flight speed was some 140knots (approx 72m/s; 260kmph).

3.3 Flight Control

The flight control was achieved using dual frequency GPS. An Active Network of control stations was used for the LiDAR mission as mentioned in Section 2, with data obtained at a 1 second 1Hz rate data for which was obtained by Blom Aerofilms post capture on each of the flight days, directly from the base stations. This data was then used to generate the trajectory files using the SBET of final navigation file for the flights.

On completion of each days flying he 1 second RINEX data from the active base stations was then downloaded by Blom Aerofilms. The trajectory processing was achieved using POSPac v.5.3 utilising active points (using the weighting strategy implemented in the Applanix software). The GPS RINEX data for these stations was obtained by Blom Aerofilms between during the period of acquisition from the 25th to the 29th March 2010.

4.0 Data Processing

During the data acquisition all the LiDAR data was stored directly onto a secure hard drive within the aircraft. Initial processing of the data took place in the field; this included the processing of trajectories, point cloud generation and coverage checks. Once the data was collected and the field QC checks were completed, the LiDAR data was sent to Blom in Cheddar. All LiDAR processing was carried out according to Blom's Quality Control and Quality Assurance documents.

4.1 Trajectory processing

The primary positioning method used throughout the survey was a post processed dual frequency kinematic GPS solution. This consists of processing the airborne position and inertial data provided by the Sagem POS AV 510 with Rinex data from the ground GPS control station in POSPAC version 5.3. Typical accuracies for the post processed Smoothed Best Estimate of Trajectory (SBET) are <10cm for the aircraft position. Online monitoring of the positional and inertial data was undertaken using POS View software. This enables the operator to monitor the quality of the position (DOP values below 3.0) and inertial data (Extreme Values or no change).

4.2 Production of the initial Point Cloud

The Hawk Eye Mk II system consists of two lasers scanners; one green which is used for capturing the Bathymetric data and one red for the Topographic data. The laser data from the Hawkeye MKII laser scanners was processed using Coastal Survey Studios v2.1 (CSS). The SBET from the post processing of the GPS data was input into the software and an initial Point Cloud was created. The laser data from each flight-line was then matched to create a seamless dataset.

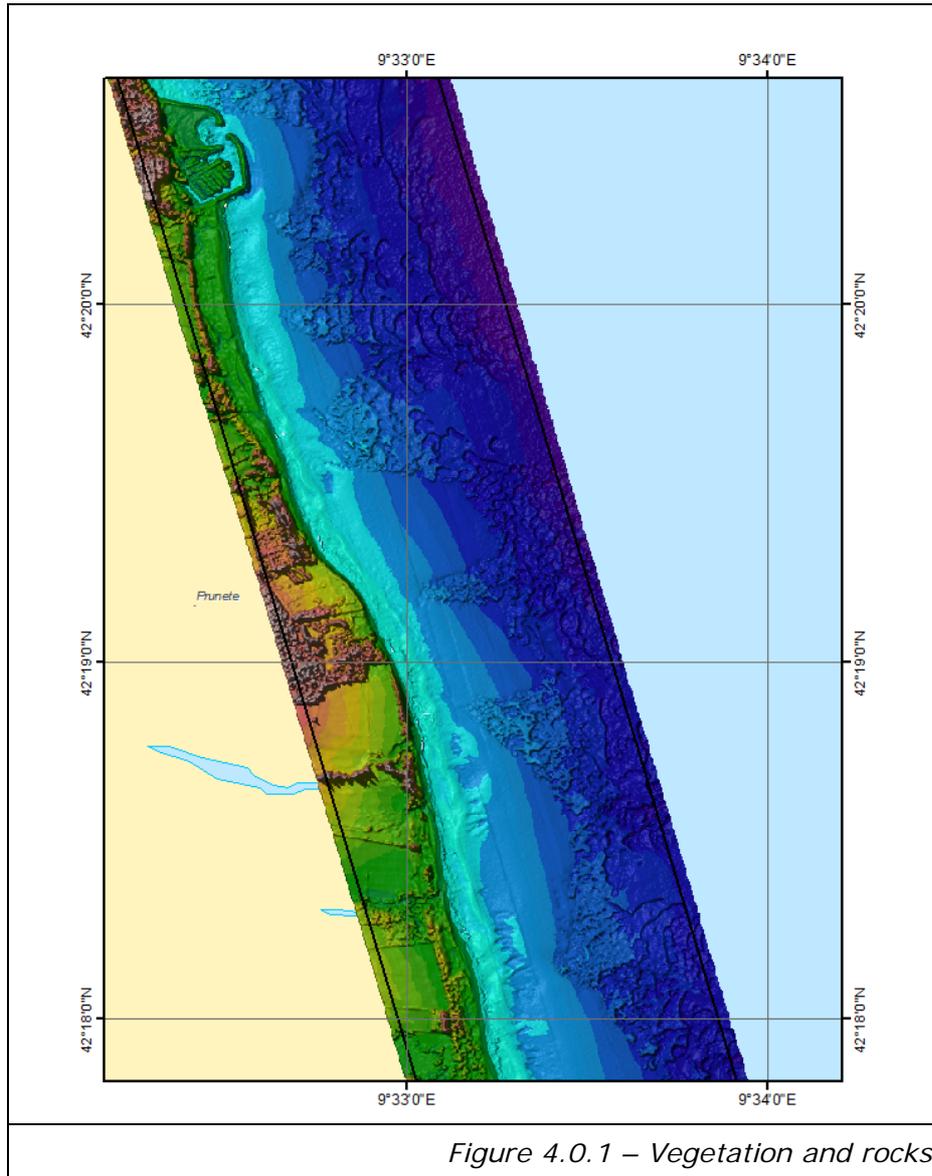
The GPS data was processed using Applanix POSPac software using the single base stations established during the survey. The initial data processing of the LiDAR data conducted using the CSS. The point clouds were then converted to Fledermaus PFM format using GreenC Solutions software for data editing.

4.3 LiDAR processing (hydro and topo)

The LiDAR data was first processed in CSS (as detailed above) to integrate the calibration values and navigation data and extract the bottom returns for each laser pulse. GreenC used in conjunction with Fledermaus enables, the hydrographer to access the waveform and imagery data to assist in the data editing process.

The data was edited on a block by block basis, with each block representing a polygon area of the survey. Blocks 2-3 and blocks 5-6 were processed together as single blocks due to the way they were flown. The best data quality was seen on the final day of survey during the re-flight, but unfortunately the poor quality GPS affected the quality of this data. After data editing was completed the data was matched. Due to the uncertainty in the manufactures calibration (currently under further development) there are inconsistent data mismatches visible in certain parts of the data. Many of these inconstancies were corrected by matching the data. The matched data was then used to create the final LiDAR deliverables.

In general the entire survey area included large areas of rocks/vegetation. Image 4.01 below shows such areas where data editing was more difficult. In most of these areas the rock/vegetation was pretty well defined with multiple lines showing the same feature, but in some other areas this less obvious.



The images below show the profiles views of the point data along these rocky areas. The 2 SCA locations were also partially surveyed over these features and it can be clearly seen that the single-beam sonar also shows the same details. The first image shows the flightlines colored by line and it's clear that all the lines are seen the same feature. The second image shows the single-beam data (in green and red) also seeing the same features. Note that for visual clarity the single-beam data is shown 1m above the LiDAR data.

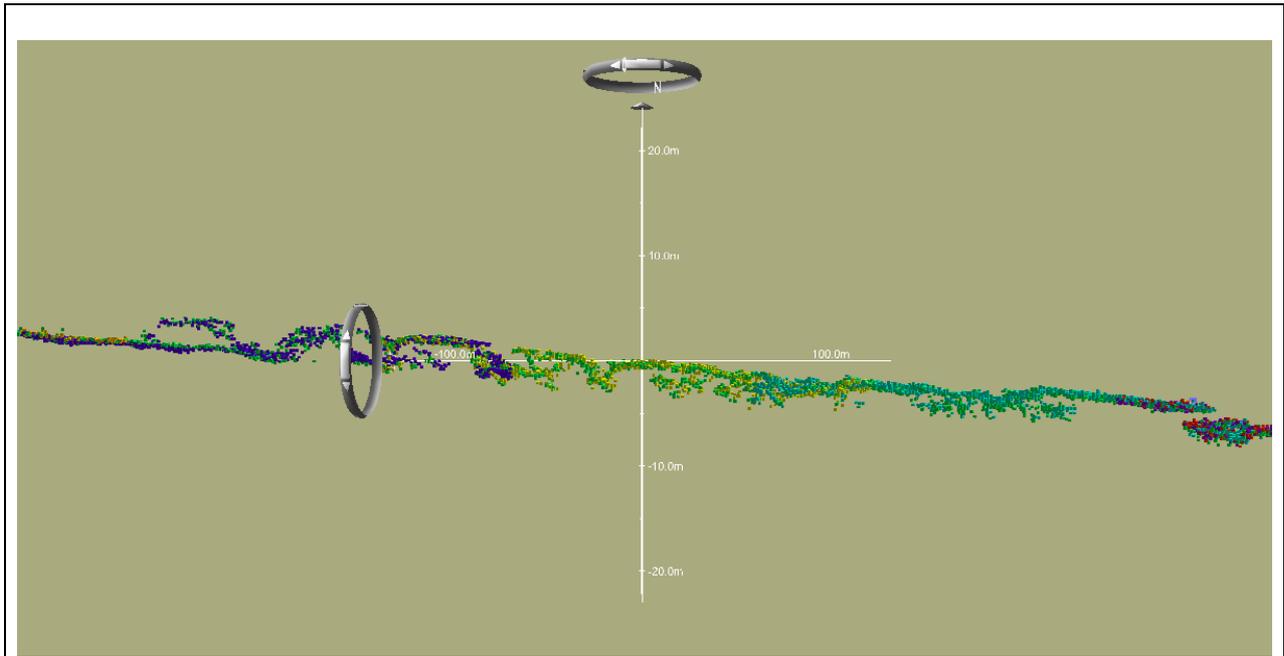


Figure 4.0.2 – Cross section 1

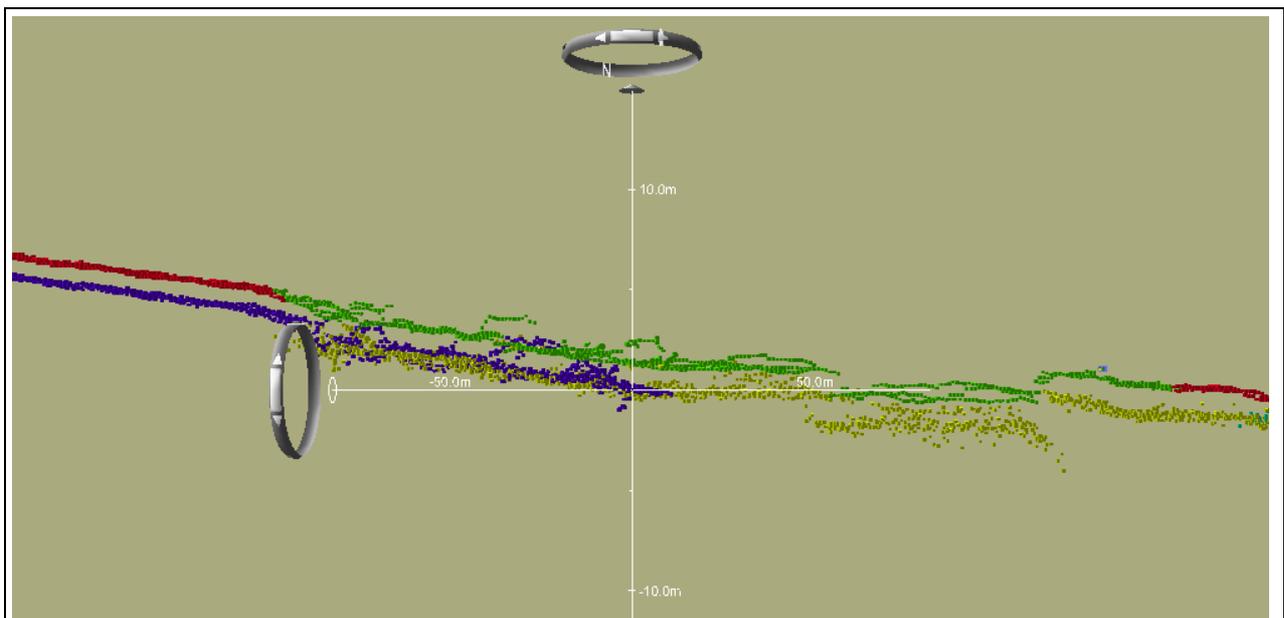
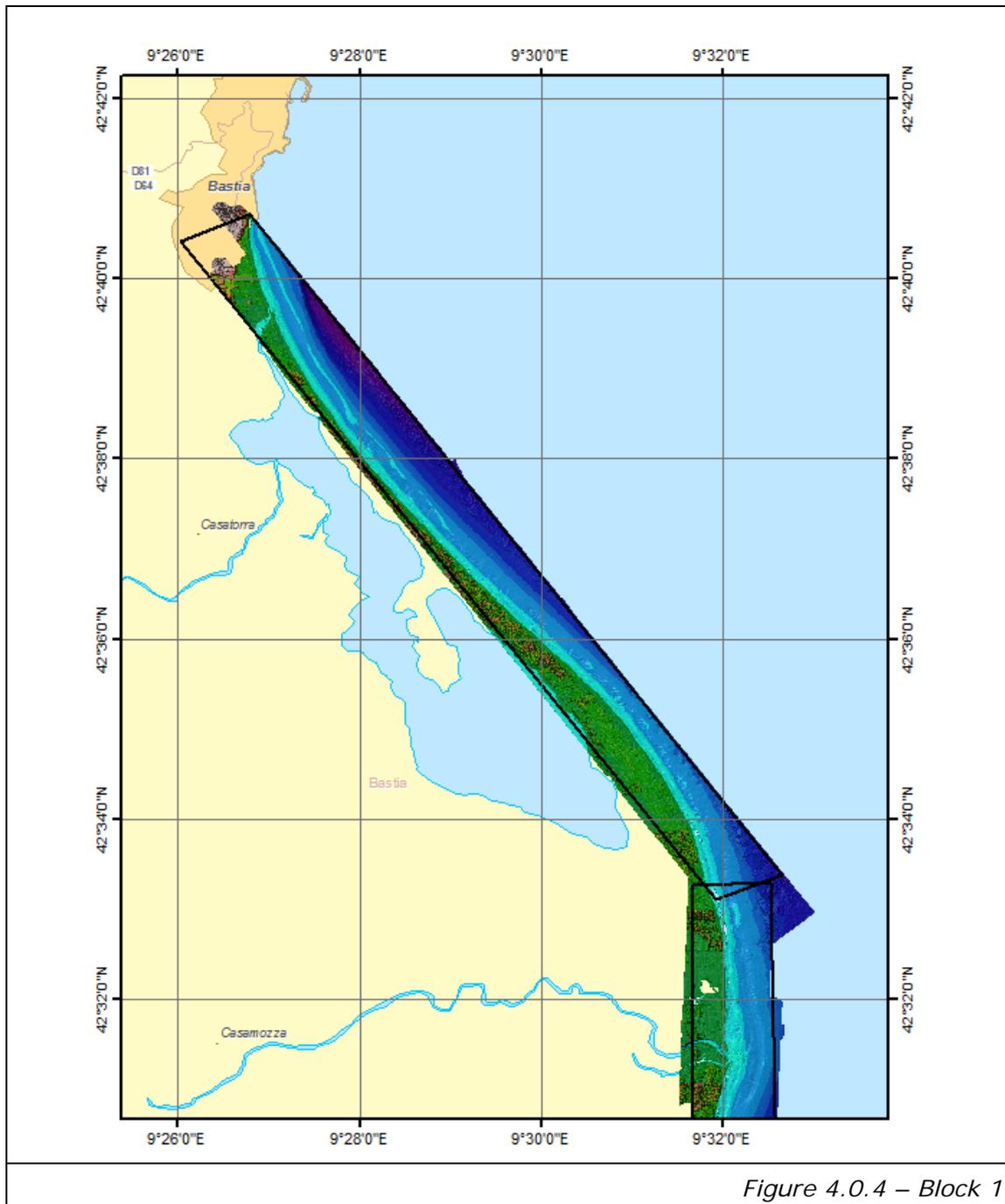


Figure 4.0.3 – Cross section 2

4.3.1 Block 01



The data from Block 1 was collected on the 28th and 29th of March. The 3 flightlines from the 29th were offset 30cm (lowered) to match the data from the 28th.

Since the GPS on the 29th was suspect, especially at the north end the data is probably in error giving confidence to the shift. The 3 lines from the 29th match very well with each other in the entire block following the shift. In general the lines from the 28th tie in well except for section in the middle where flightlines FL026, FL027 and FL028 have a slight roll error. This roll error in most areas are around the 20-30cm range, however there are some section that it is up to 50cm. Since this roll error is only in a small section of the block it is not possible to fix this roll problem.

4.3.2 Block 02 & 03

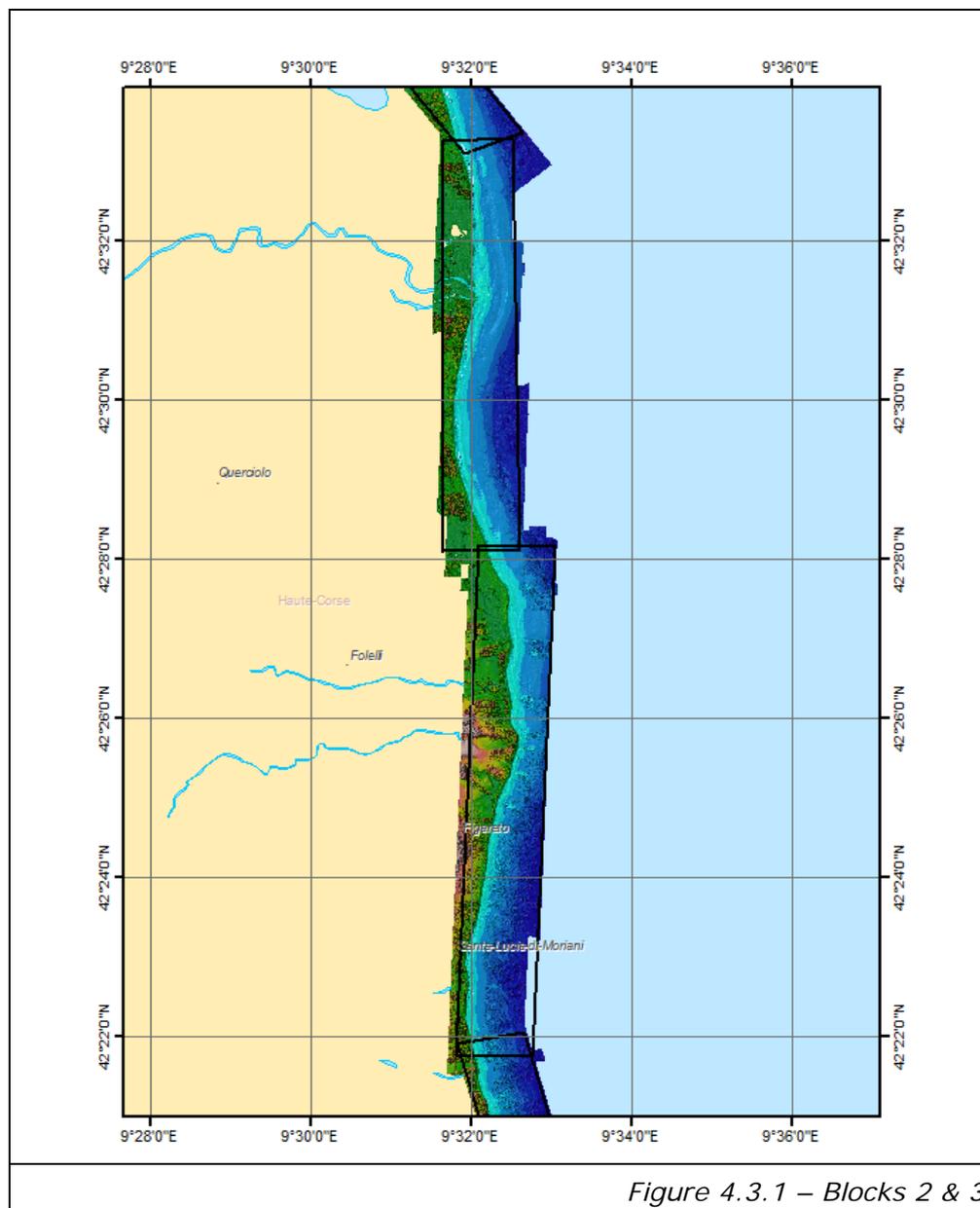


Figure 4.3.1 – Blocks 2 & 3

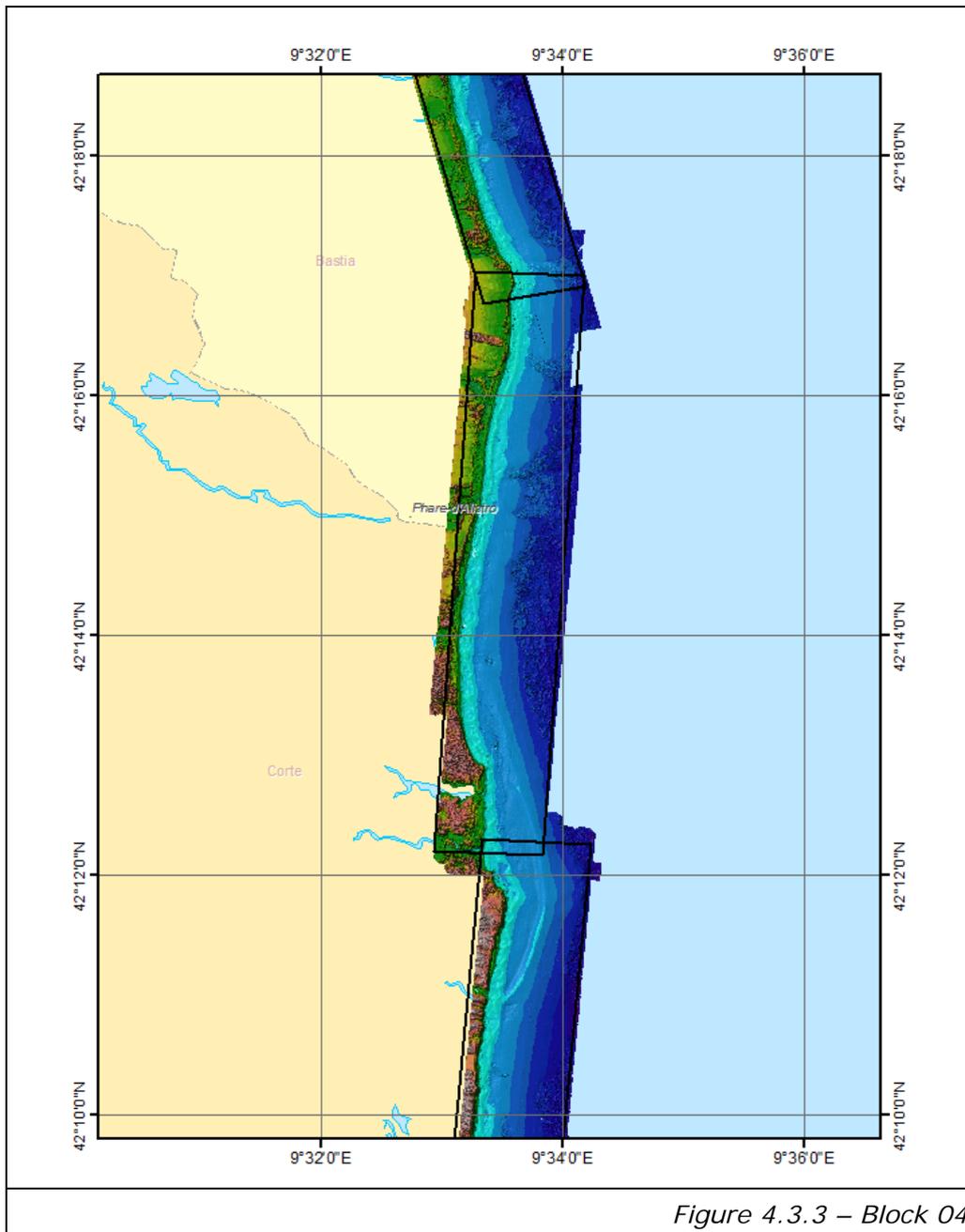
In general flightlines in this block did not show any constant shift, so no lines were shifted. However as with Block 1 there were some inconsistencies in roll and possibly pitch errors, but due to the fact that these are not the same in all areas (changes geographically) it was not possible to correct for all these errors.

The data in Block 3 was quite rocky and could include vegetation which made data editing very difficult. The image mosaic shows the rocky areas clearly as shown below in Figure 4.3.2.



Figure 4.3.2 – Ortho mosaic – blocks 2 & 3

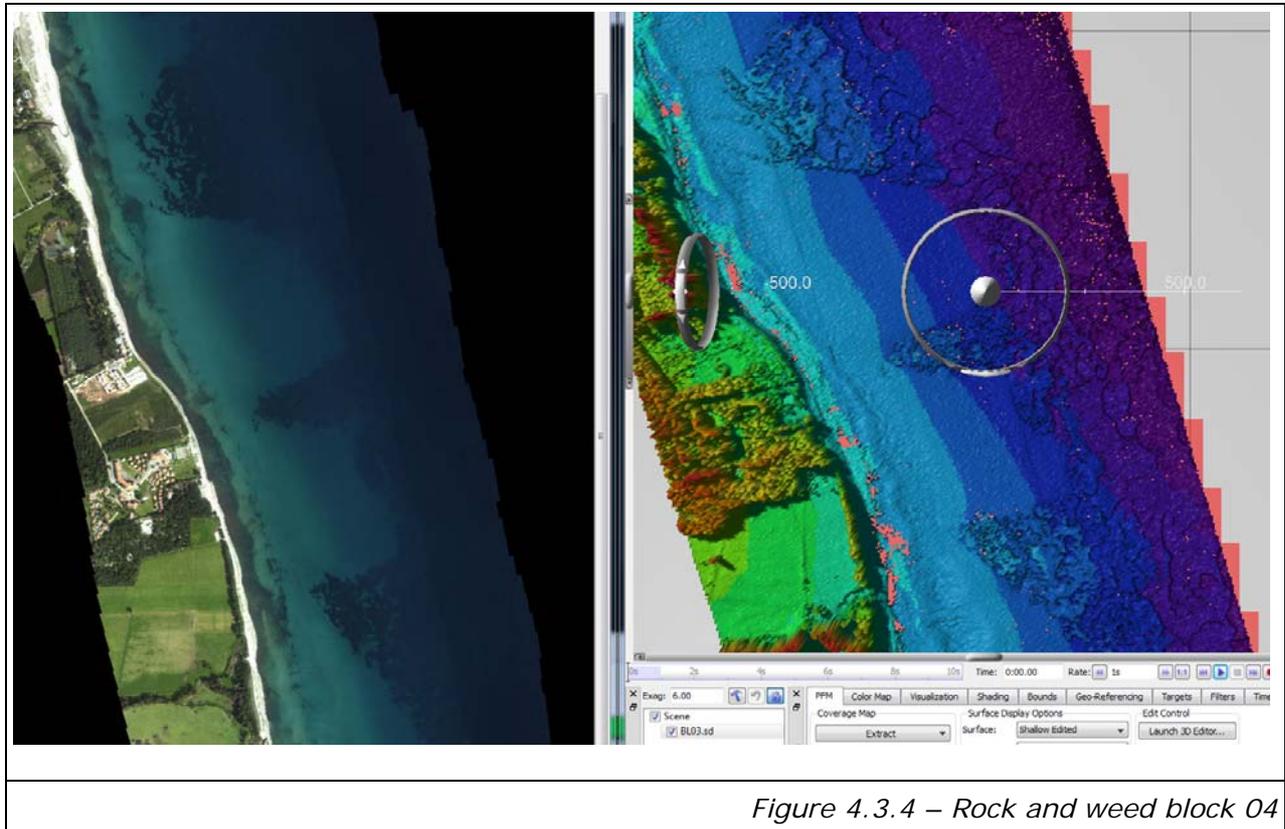
4.3.3 Block 04



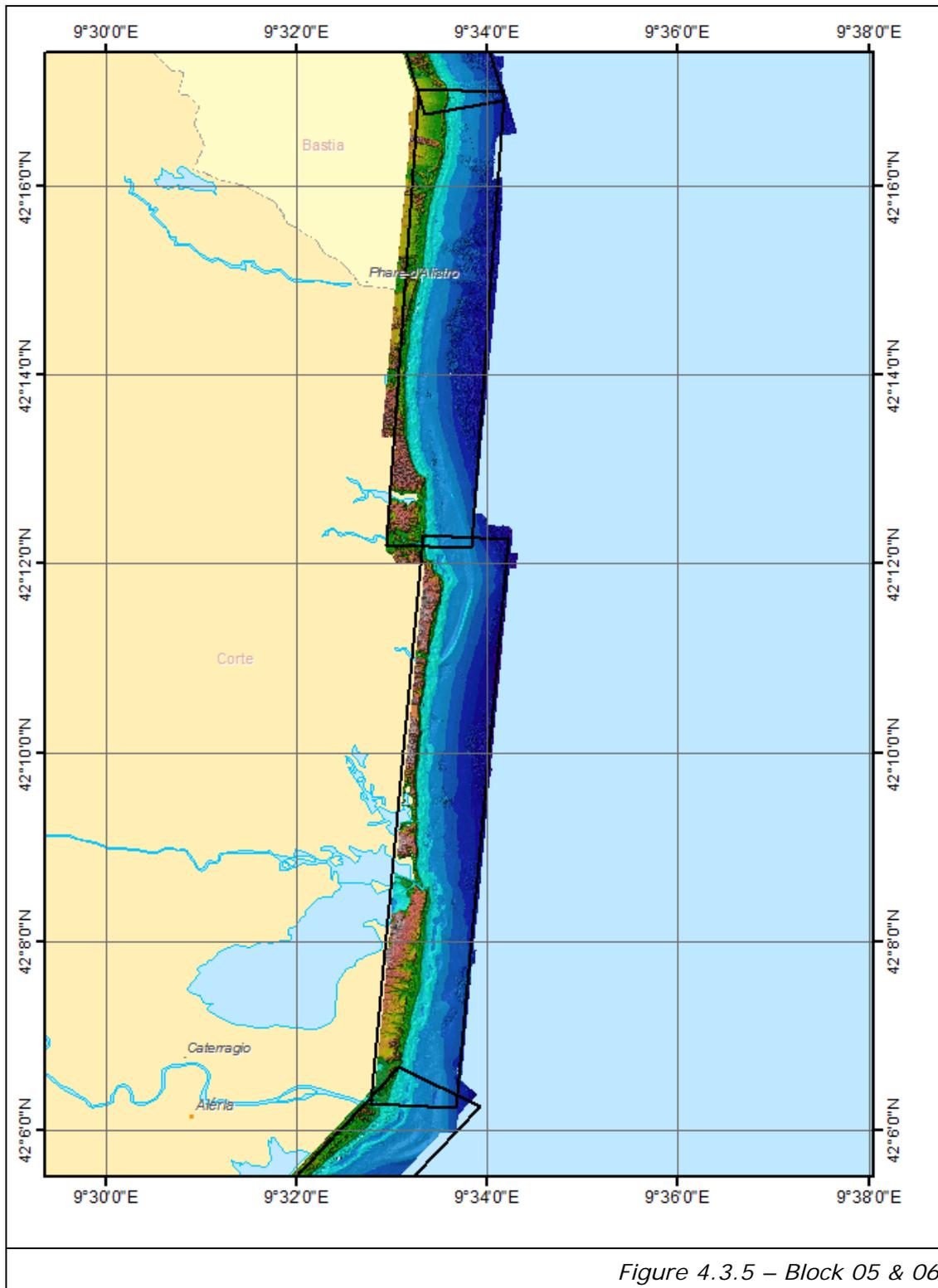
The data quality in Block 4 is similar to Block 3 with some inconsistent shifts that were most likely due to the manufacturers calibration. A constant shift was not applied to any lines in this block due to this.

Once again the seafloor consisted of rocky patches which are clearly visible in the imagery.

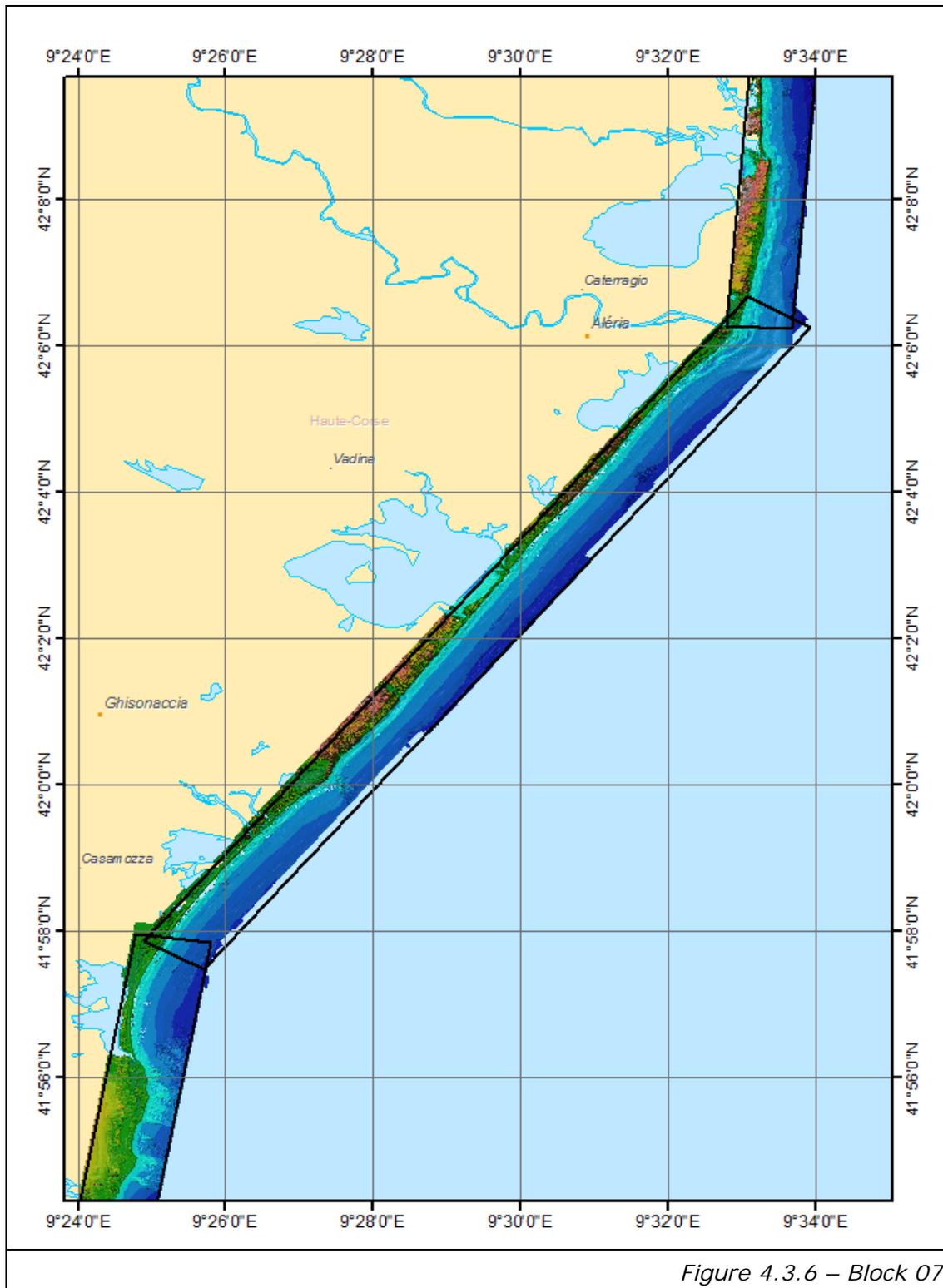
The remaining blocks all showed the same general trends. None of the lines in the remaining blocks were shifted as a constant shift was not the cause of the problems.



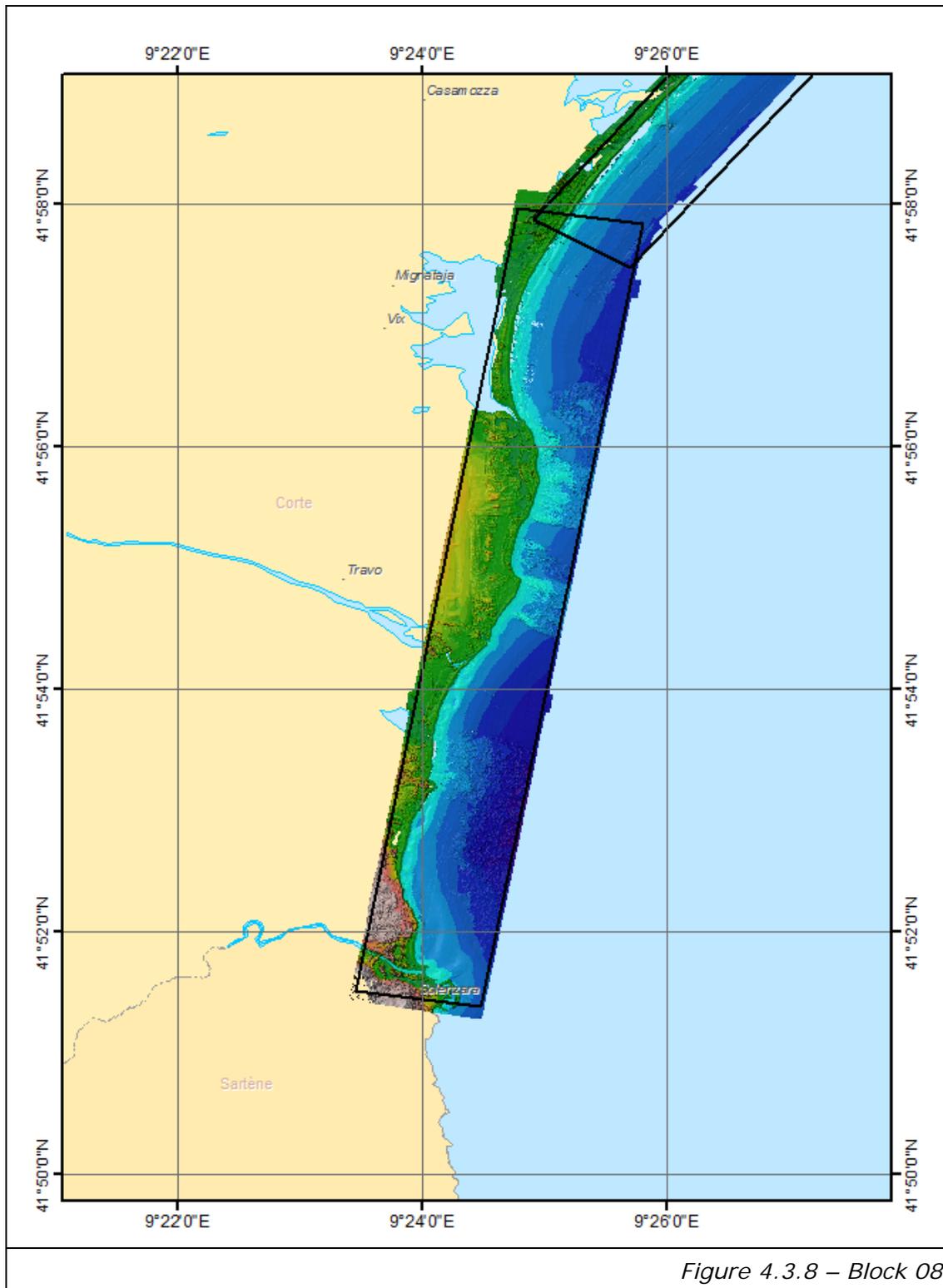
4.3.4 Blocks 05 & 06



4.3.5 Block 07



4.3.6 Block 08



4.4 Imagery Processing

The imagery for each flightline was first extracted from the CSS raw data directory into a processing directory so that all imagery was stored within one main directory. During the extraction of each image the position and attitude data was also extracted from the POS A/V sbet files. This was done using an in-house software utility created by GDS.

The images from the calibration flight (flightlines run in opposite directions) were used to calculate the boresight angles for this project. These values along with the cameras internal orientation parameters were used to ortho rectify each image. The ortho rectification was done using Inpho Application Master software suite. The ortho rectified images were then used to create the mosaics using Inpho Ortho Vista software package. The mosaics were generated such that no tile was greater than 5km.

NOTE: Hyperspectral imagery was also captured during the survey but has not been processed.

4.5 Production of final project deliverables

After final QC and QA of the classified laser was complete, the final deliverables were then created for the project. The deliverables as stated in the project Quality Plan and which were confirmed prior to creation can be seen in Table 4.5.1 below.

Item	Description	Tile Size	Format
1	Point Cloud data	2km tiles & topo and bathy separated by flightline	ASCII ¹ xyz (Lambert 93 and IV)
2	DTM (Interpolated)	Bathy: 5 x 5m ASCII grid (Lambert 93 and IV) Topo: 2 x 2m ASCII grid (Lambert 93 and IV)	ASCII grid
3	DTM (Interpolated)	Bathy / topo: 5 x 5m re-sampled to 10 x 10m, 25 x 25m (Lambert 93 and IV)	.GEOTIFF
4	Orthos	5km	.ECW
5	Raw LiDAR data ²	Native -(WGS84)	Native
6	Survey metadata ³	N/A	.xml
7	Report of survey ⁴	N/A	.PDF

Table 4.5.1 project deliverables

¹ASCII x,y,z comma separated format as "Lat,Long,elevation" format. (2km tile contains approx 700,000 points).

²Native uncleaned raw data from the aircraft (not including output folder) provided to the client in WGS84.

³ survey metadata in a suitable format (.xml). No formal contents for the meta data was supplied by the client.

5.0 Quality Control

Quality Control occurs on a continuing basis during all processes of a project, from planning to acquisition and processing to final delivery. The quality criteria for each stage in the processing are fixed in advance. If the quality criteria are not met at any stage, data processing is stopped and the dataset is reworked before continuing. The following sections detail the quality control checks completed on the data prior to delivery.

- Flight line trajectories
- Data calibration
- Coverage
- Point density
- Data classification
- Cross line analysis
- Comparison with previous data captured in 2008.

5.1 Flight Line Trajectories

The GPS and IMU data captured in the aircraft was processed with the GPS base station data before using POSPac software. The result is a set of accurate flight line trajectories describing the position of the aircraft with a positional fix every 1/200th of a second.

Each GPS solution was then reviewed to ensure that the following criteria were met.

Number of Satellites	Minimum 5
PDOP	Between 0 and 4
Maximum Base Line Length	40 km
GPS Solution	Fixed or Stable Float

Table 5.0.1 GPS quality criteria

5.2 Data Calibration

The data calibration was initially completed by the field based staff. This was checked using the Hawk Eye Calibration Tool supplied by the system manufacturer AHAB. The data calibration values were later checked by the office based staff

before continuing the data processing. The calibration of the data focused around the following parameters:

There are three main angular corrections related to IMU system:

- Roll
- Heading
- Pitch

The Hawk Eye II system angular corrections are:

- Topo boresight phi
- Topo boresight theta
- Hydro boresight phi
- Hydro boresight theta
- Scanner angle x
- Scanner angle y
- Cage angle

These angles are adjusted whilst incorporating ground and sea control data into the calibration tool to validate the accuracy of the newly calibrated data.

5.3 Coverage

Initial processing of the data was carried out in the field to ensure that there was laser data captured for the entire area of interest. This processing was carried out in Fledermaus. The coverage plot showing the new data captured can be seen in Figure 5.3.1. Coverage plots were then supplied to the client.

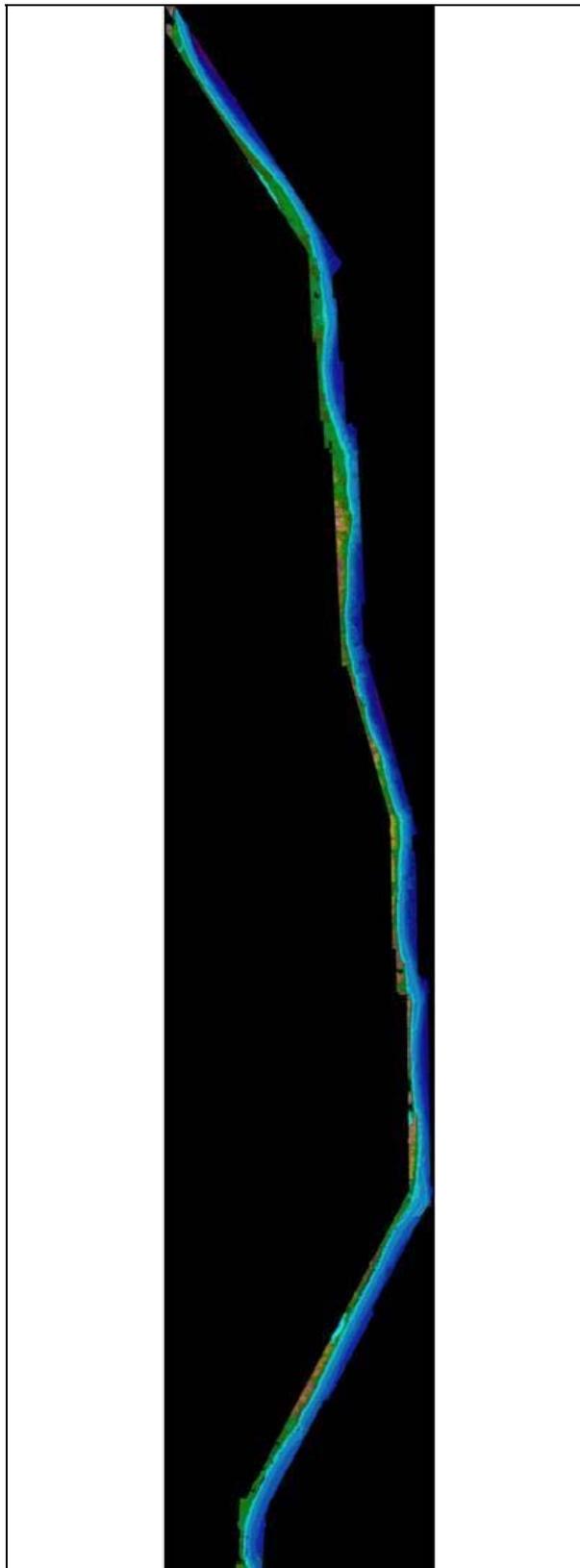


Figure 5.3.1 Coverage plot (10m grid)

5.4 Point density

The requirement for the bathymetric point density was greater than 1 point in a 5m x 5m grid. The requirement for the topographic point density was greater than 1 point in a 1m x 1m grid. Figure 5.4.1 below shows the point densities for the bathymetric and topographic data. In this figure darker colours indicate a higher point density. The average bathymetric point density for this project is 8 points/5mx5m grid. The average topographic point density for this project is 6.5 points/1mx1m grid.

An overview of the data density grid can be seen in Figure 5.4.1 below



Figure 5.4.1 Data point densities

5.5 Data Classification

The first stage in the data classification was to identify the features and known errors in the data that require manual editing.

The following items were identified as requiring attention:

- Identification of noise (Topo and Bathy data)
- Detection and correction of flightline errors
- Correct classification of topo points in the water
- Correct classification of bathy points on land
- Correct classification of points within the surf zone.
- Correct classification of coral and rocky areas (Inc seaweed)

The aerial imagery was used extensively to aid in the data classification.

Once the classification was complete it was checked by a quality control member of staff. Data samples were then taken across the project to make sure the quality level and acceptance criteria were maintained throughout. Where errors and omissions were identified the sheet was returned to the operator for rework.

In addition a sample of the data was checked as part of our quality assurance procedures. Again any errors or omissions were notified to the original member of staff for correction.

5.6 Data cross line analysis

On completion of the cleaning of the data, statistical analysis was carried out on the data to check the accuracy of the completed data. The analysis was done using Fledermaus using the Crosscheck module. The results of the Cross check Analysis can be seen in Appendix C.

5.7 Comparison with previous data captured in 2006 using Hawk Eye

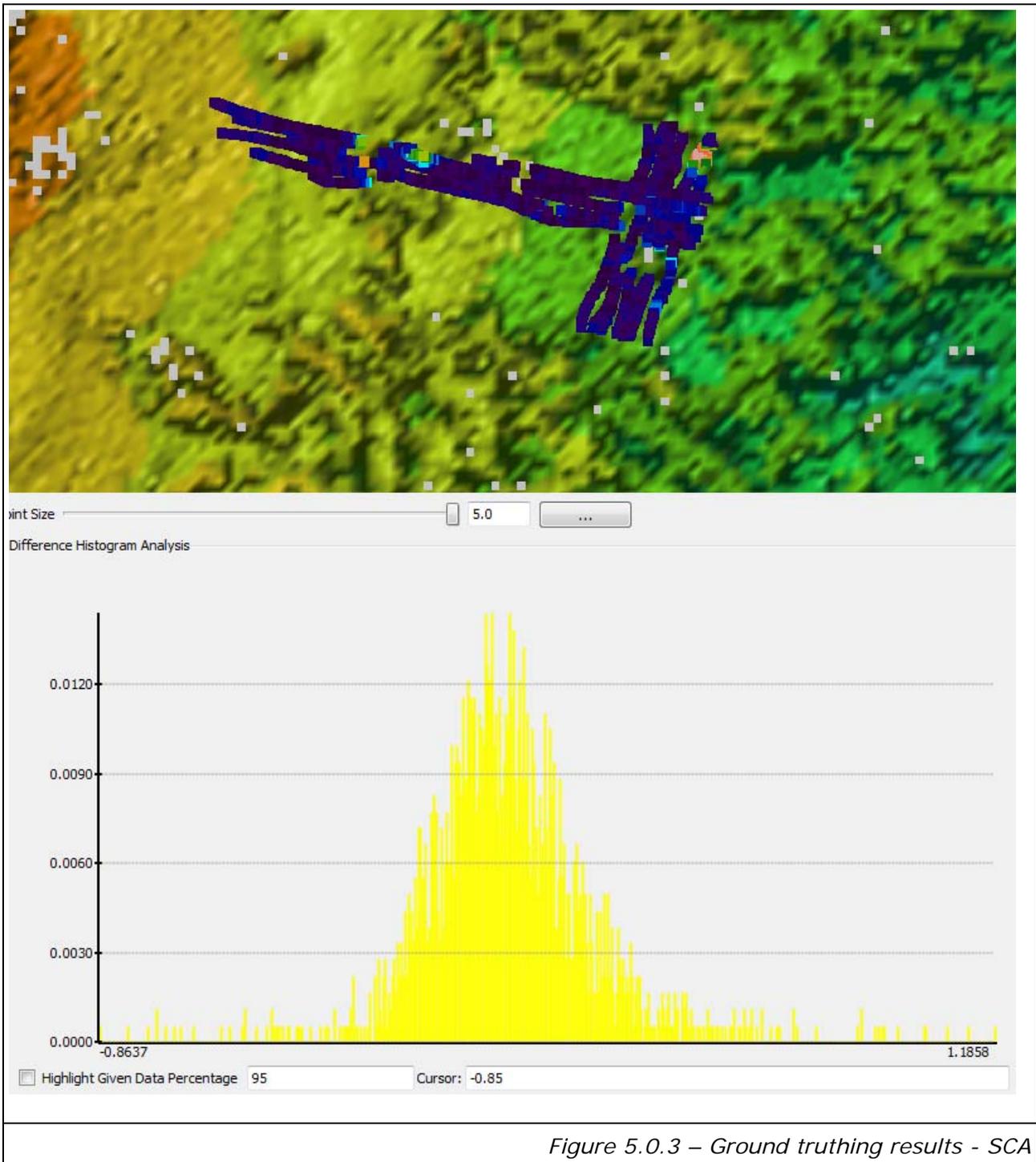
Prior to the start of the capture phase the client provided Blom Aerofilms with a sample dataset that consisted of a small trial area flown in the north of the island, in Block 1. While this data was not used for statistical analysis between points, it did provide useful information regarding coverage and completeness. The general correlation between the two datasets was quite good.

5.8 Ground truth checks

There are a total of 5 ground truth areas 3 of which are on land and 2 in water. The results from the 2 Sea Control Areas (SCA's), calculated from the 5m bathy grid, are shown below

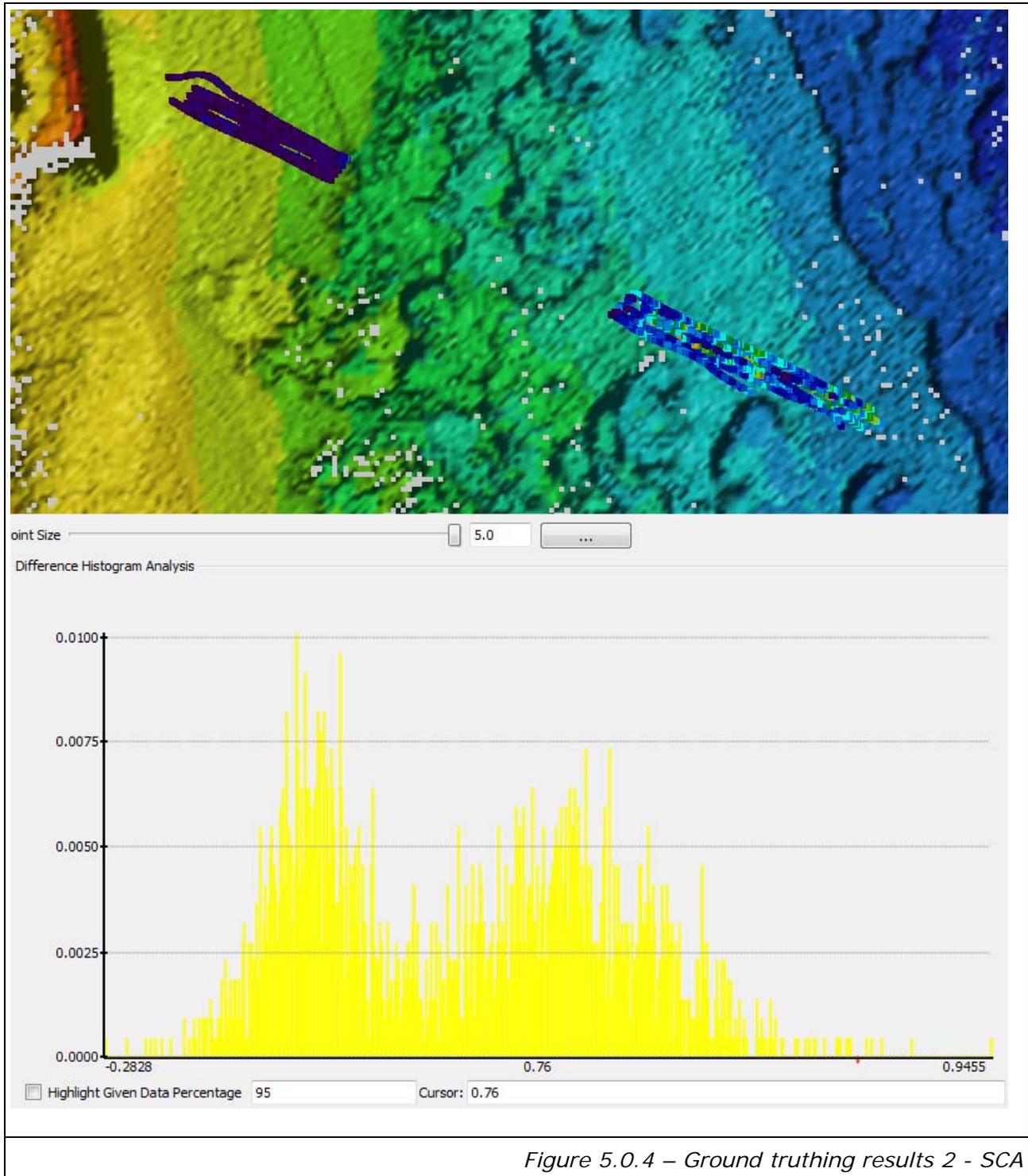
Area	# of Points	Mean	Standard Deviation
Talasani	1815	7.1 cm	20 cm
Taverna Port	2191	21.2 cm	21 cm
Total	4006	14.8 cm	21 cm
<i>Table 5.0.2 – GCA results</i>			

When looking at the histogram of the Talasani site (below) we see a more normal distribution of data. There are a few points that approach +/- 1m which is likely due to the terrain in the area, but in general they tie in quite well with the single beam data.



On the other hand the data from Taverna Port show a histogram with 2 peaks to the distribution. As seen in the image below the data in the rocky / vegetation area was removed resulting in 2 distinct areas of single beam data. The area in very flat shallow seabed shows a peak of less than 5cm as expected. The data in the deeper

area however is more in the 30cm range and is likely due to the rocky nature of the seabed in this area.



The 3 Ground Control Areas (GCA's) were then analyzed with the 2m gridded Topo data and the results are shown below.

Area	# of Points	Mean	Standard Deviation
Plage Pineto	69	10.6 cm	7 cm
Ghisonaccia	92	13.8 cm	18 cm
Taverna Port	80	3.6 cm	6 cm
<i>Table 5.0.3 – SCA results</i>			

APPENDIX A

Flight sortie reports

AIR SURVEY FLIGHT REPORT (HAWKEYE)

Blom Aerofilms Management System Form QCP 05/201H November 2009



General area information

Project Name:	Corsica		
Project No:	HK/008/09	Area flown	

System and operator information

Date:	28/03/2010	ID	A	Disk/pc-card no:	
Operator	PK	Pilot:	Pietro & Tommaso		14/2
System:		Aircraft:	I-MAFE		

Time information

Engine start:	07:07	Survey stop:	11:24	04:29	Total engine run
GPS start time:	07:12	Landing time:	11:26	04:03	Total flight
Takeoff time:	07:23	GPS off time:	11:35	03:54	Total survey
Survey Start:	07:30	Engine stop:	11:36	00:09	Total transit

Environmental information

Temperature:		Wind speed and dir:	
Sea state:	1-2	Clouds (octas):	
Tide Times:	LW:	HW:	Secchi:

Notes, system settings

Shallow	K-value:	0.19	Gain:	-2.00	RIC:	-80.00
Deep	K-value:	0.19	Gain:	-2.30	Other:	

System notes and observations

Lines 17, 18, 19, 20, 21, 22 and 58 are in calibration area as well. Lines 2, 3, 4, 5 stop early due to terrain, pilots and operator could not find alternative way to cover northwesternmost parts of survey area.

Flight line details

FL	Direction	Start Time	Stop Time	Remarks
				Corsica calibration
67	211	07:30:40	07:31:18	400m
67	32	07:34:48	07:35:24	400m
60	212	07:38:23	07:38:58	400m
65	33	07:41:49	07:42:18	400m
55	304	07:45:08	07:45:11	Dont use
55	302	07:45:15	07:45:54	400m
55	123	07:48:29	07:49:16	400m
64	302	07:52:10	07:52:52	400m
69	212	07:56:08	07:56:49	500m
68	302	07:59:40	08:00:25	500m
				North blocks
17	348	08:05:39	08:08:35	
18	168	08:11:26	08:14:52	
19	347	08:17:59	08:20:50	
20	168	08:23:42	08:23:46	Dont use
20	168	08:23:52	08:26:49	
21	350	08:29:51	08:29:55	
21	348	08:29:59	08:32:46	
58	258	08:35:50	08:36:43	Crossline
22	168	08:39:47	08:42:52	
6	2	08:48:30	08:50:43	
56	274	08:53:20	08:54:13	Crossline
7	182	08:57:05	09:00:48	
8	2	09:03:49	09:07:08	
9	0	09:10:38	09:10:41	Dont use
9	182	09:10:46	09:15:01	
10	2	09:18:01	09:22:59	
11	182	09:28:13	09:34:41	
12	2	09:37:30	09:43:12	
13	182	09:46:15	09:49:20	
14	2	09:52:03	09:54:43	
15	182	09:57:46	10:00:25	
16	2	10:03:22	10:04:40	
48	274	10:08:42	10:09:25	Crossline
0	329	10:12:11	10:16:36	
1	142	10:18:25	10:18:58	Dont use
1	330	10:25:04	10:29:41	
2	329	10:36:32	10:40:41	
3	330	10:47:26	10:51:28	
4	329	10:59:16	11:03:25	
5	330	11:10:16	11:14:25	
55	242	11:23:03	11:23:49	Crossline

APPENDIX B

Daily Project Reports



DAILY PROGRESS REPORT

Sunday 28 March 2010

ALL TIMES ARE : UTC						Julian Day	087
1 PROJECT INFO							
Project Number:	HK/008/09			Project Name:	Eastern Plain of Corsica		
Project Location:	Eastern Corsica			Crew Location:	Bastia, Corsica		
Summary of Survey Activities:	Since the weather continued good today, we were able to complete the northern part of the project and also did a calibration.						
2 PLANE AND PERSONNEL							
Aircraft Type:	CASA 212	Aircraft Reg:	I-MAFE	Aircraft Captain:	Pietro Calvi di Coenzo		
Field Manager:	Hugh O'Donnell	Field Operator:	Petter Kullenberg	Field QC:	Rebecca Wilkinson		
3 OPERATIONAL INFO							
Planetary "K" Index:	Green						
Flight A:	Lines Flown:	0-22, 48, 55, 56, 58, 60, 64, 65 , 67-69.					
Flight Time	04:29	Survey Time:	03:54	Transit Time:	00:35	Laser Time:	01:33
Flight B:	Lines Flown:						
Flight Time						Km Flown:	
Flight C:	Lines Flown:						
Flight Time						Km Flown:	
4 SURVEY PROGRESS							
Today:		Transit Time:					
		Flight Time:	04:29	Transit Time:	00:35	Survey Time:	03:54
				Laser Time:	01:33	Km Flown:	293.3
TIME		Activity					Hours
From	To						
06:00	07:07	Flight crew travel to airport and prep aircraft.					01:07
07:07	11:36	Survey flight.					04:29
11:36	19:00	Download and backup data, Start data processing and planning for tomorrow.					07:24
		Operational planning and preparations, processing of flight data continues all day at team hotel.					
						TOTAL	13:00
To date:	Total Project Flight Time:	10.9	Total Km Flown:	641.9	Percentage Complete:	97%	
5 SAFETY INFORMATION							
Today:	Briefings.	1	HSE Meeting	1	Safety Induction		
To date:	Briefings.	4	HSE Meeting	1	Safety Induction	1	
6 ENVIRONMENTAL INFORMATION (fuel used)							
Today:	1,508	litres					
To date:	3,768	litres					
Problems / Delays:							
Actions Required:							
Future Plans:	When Rebecca has looked at all the data, we may have some reflights to do on Monday.						
Weather Forecast:	Good weather today, forecast good for Monday as well.						

Signed: Hugh O'Donnell

Signed:



DAILY PROGRESS REPORT

Saturday 27 March 2010

ALL TIMES ARE : UTC						Julian Day	086
1 PROJECT INFO							
Project Number:		HK/008/09		Project Name:		Eastern Plain of Corsica	
Project Location:		Eastern Corsica		Crew Location:		Bastia, Corsica	
Summary of		We tackled the southern area of the project today, as the military areas around Solenzara were inactive. Although the sky was fairly clear, it was very windy and turbulent at times. This may have affected some of the data.					
Survey Activities:		All the areas covered by the GHISON base station were completed, subject to processing.					
2 PLANE AND PERSONNEL							
Aircraft Type:		CASA 212		Aircraft Reg:		I-MAFE	
Aircraft Captain:		Pietro Calvi di Coenzo		Field Manager:		Hugh O'Donnell	
Field Operator:		Petter Kullenberg		Field QC:		Rebecca Wilkinson	
3 OPERATIONAL INFO							
Planetary "K" Index:		Green					
Flight A:		Lines Flown: 23-46, 52,54,60,61,63-65.					
Flight Time 04:57		Survey Time: 03:51		Transit Time: 01:06		Laser Time: 01:42	
Km Flown:		348.6					
Flight B:		Lines Flown:					
Flight Time							
Km Flown:							
Flight C:		Lines Flown:					
Flight Time							
Km Flown:							
4 SURVEY PROGRESS							
Today:		Transit Time:					
		Flight Time: 04:57		Transit Time: 01:06		Survey Time: 03:51	
				Laser Time: 01:42		Km Flown: 348.6	
TIME		Activity					Hours
From	To						
07:00	08:09	Flight crew travel to airport and prep aircraft.					01:09
08:09	13:06	Survey flight.					04:57
13:06	20:00	Download and backup data, Start data processing and planning for tomorrow.					06:54
		Operational planning and preparations, processing of flight data continues all day at team hotel.					
						TOTAL	13:00
To date:		Total Project Flight Time:		6.5		Total Km Flown: 348.6	
		Percentage Complete:		53%			
5 SAFETY INFORMATION							
Today:		Briefings: 1		HSE Meeting: 1		Safety Induction: 1	
To date:		Briefings: 3		HSE Meeting: 1		Safety Induction: 1	
6 ENVIRONMENTAL INFORMATION (fuel used)							
Today:		1,704 litres					
To date:		2,260 litres					
Problems / Delays:							
Actions Required:							
Future Plans:		We will work in the northern area tomorrow, while Rebecca looks at today's data.					
Weather Forecast:		Strong winds overnight, good conditions tomorrow.					

Signed: Hugh O'Donnell

Signed:



DAILY PROGRESS REPORT

Friday 26 March 2010

ALL TIMES ARE : UTC						Julian Day	085
1 PROJECT INFO							
Project Number:	HK/008/09			Project Name:	Eastern Plain of Corsica		
Project Location:	Eastern Corsica			Crew Location:	Bastia, Corsica		
Summary of	Today the cloud along the East coast of Corsica was too low for survey flights.						
Survey Activities:							
2 PLANE AND PERSONNEL							
Aircraft Type:	CASA 212	Aircraft Reg:	I-MAFE	Aircraft Captain:	Pietro Calvi di Coenzo		
Field Manager:	Hugh O'Donnell	Field Operator:	Petter Kullenberg	Field QC:	Rebecca Wilkinson		
3 OPERATIONAL INFO							
Planetary "K" Index:	Green						
Flight A:	Lines Flown:						
Flight Time						Km Flown:	
Flight B:	Lines Flown:						
Flight Time						Km Flown:	
Flight C:	Lines Flown:						
Flight Time						Km Flown:	
4 SURVEY PROGRESS							
Today:		Transit Time:				Km Flown:	
TIME		Activity					Hours
From	To						
09:00	17:00	Flight crew stand by and wait for weather to improve.					08:00
		Operational planning and preparations, processing of test data continues all day at team hotel.					
						TOTAL	08:00
To date:	Total Project Flight Time:	1.5	Total Km Flown:		Percentage Complete:		
5 SAFETY INFORMATION							
Today:	Briefings.	1	HSE Meeting	1	Safety Induction		
To date:	Briefings.	2	HSE Meeting	1	Safety Induction	1	
6 ENVIRONMENTAL INFORMATION (fuel used)							
Today:		litres					
To date:	556	litres					
Problems / Delays:							
Actions Required:							
Future Plans:	Tomorrow we will work in the South, since the military area is closed. Then we will move North to complete.						
Weather Forecast:	Cloud is expected to be higher tomorrow, winds may be strong in the afternoon though.						

Signed: Hugh O'Donnell

Signed:



DAILY PROGRESS REPORT

Thursday 25 March 2010

ALL TIMES ARE : UTC		Julian Day	084
1 PROJECT INFO			
Project Number:	HK/008/09	Project Name:	Eastern Plain of Corsica
Project Location:	Eastern Corsica	Crew Location:	Bastia, Corsica
Summary of Survey Activities:	Today the team mobilised from Parma to Bastia, Corsica. Hugh / Rebecca by road / ferry, the others in the aircraft. On arrival in Bastia, we had a successful meeting with Air Traffic Control at Bastia Airport to discuss the project. They were very helpful and it was clear that, by working together, all would go smoothly.		
2 PLANE AND PERSONNEL			
Aircraft Type:	CASA 212	Aircraft Reg:	I-MAFE
Aircraft Captain:	Pietro Calvi di Coenzo		
Field Manager:	Hugh O'Donnell	Field Operator:	Petter Kullenberg
Field QC:	Rebecca Wilkinson		
3 OPERATIONAL INFO			
Planetary "K" Index:	Green		
Flight A:	Lines Flown:		
Flight Time			Km Flown:
Flight B:	Lines Flown:		
Flight Time			Km Flown:
Flight C:	Lines Flown:		
Flight Time			Km Flown:
4 SURVEY PROGRESS			
Today:	Transit Time:	01:30	
	Flight Time: 01:30	Transit Time: 01:30	Km Flown:
TIME		Activity	Hours
From	To		
08:00	10:30	Briefing and preparations for transit flight from Parma.	02:30
10:30	12:00	Transit flight Parma (LIMP) - Bastia (LFKB)	01:30
12:00	18:00	Cre briefing and meetings with Bastia ATC. Flight planning and equipment checks.	06:00
		TOTAL	10:00
To date:	Total Project Flight Time:	1.5	Total Km Flown: Percentage Complete:
5 SAFETY INFORMATION			
Today:	Briefings.	1	HSE Meeting Safety Induction
To date:	Briefings.	1	HSE Meeting Safety Induction 1
6 ENVIRONMENTAL INFORMATION (fuel used)			
Today:	556	litres	
To date:	556	litres	
Problems / Delays:			
Actions Required:			
Future Plans:	Start with North part of project area. Blocks 1 - 4/5 tomorrow, then do the South part at the weekend, when Solenzara military airport and airspace is closed.		
Weather Forecast:	Looking good for the next few days.		

Signed: Hugh O'Donnell

Signed:



DAILY PROGRESS REPORT

Monday 29 March 2010

ALL TIMES ARE : UTC						Julian Day	088																																											
1 PROJECT INFO																																																		
Project Number:	HK/008/09			Project Name:	Eastern Plain of Corsica																																													
Project Location:	Eastern Corsica			Crew Location:	Bastia, Corsica																																													
Summary of Survey Activities:	Today, we re flew lines in North and South areas. This was for a variety of reasons, one line from Saturday did not process, there were also areas of poor data caused by shallow water or surf. We also wanted to look again at areas that we believed to contain weed.																																																	
2 PLANE AND PERSONNEL																																																		
Aircraft Type:	CASA 212	Aircraft Reg:	I-MAFE	Aircraft Captain:	Pietro Calvi di Coenzo																																													
Field Manager:	Hugh O'Donnell	Field Operator:	Petter Kullenberg	Field QC:	Rebecca Wilkinson																																													
3 OPERATIONAL INFO																																																		
Planetary "K" Index:	Green																																																	
Flight A:	Lines Flown: 2-4, 9, 10, 12, 13, 17, 23, 24, 26, 27, 29, 30, 34-37, 40-43, 67-70, 73.																																																	
Flight Time	04:13	Survey Time:	03:21	Transit Time:	00:52	Laser Time:	01:30	Km Flown:	17																																									
Flight B:	Lines Flown:																																																	
Flight Time								Km Flown:																																										
Flight C:	Lines Flown:																																																	
Flight Time								Km Flown:																																										
4 SURVEY PROGRESS																																																		
Today:		Transit Time:																																																
		Flight Time:	04:13	Transit Time:	00:52	Survey Time:	03:21	Laser Time:	01:30	Km Flown:	17																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TIME</th> <th>Activity</th> <th>Hours</th> </tr> <tr> <th>From</th> <th>To</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>07:30</td> <td>08:30</td> <td>Flight crew travel to airport and prep aircraft.</td> <td>01:00</td> </tr> <tr> <td>08:30</td> <td>12:43</td> <td>Survey flight.</td> <td>04:13</td> </tr> <tr> <td>12:43</td> <td>19:00</td> <td>Download and backup data, Start data processing.</td> <td>06:17</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Operational planning and preparations, processing of flight data continues all day at team hotel.</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td>TOTAL</td> <td>11:30</td> </tr> </tbody> </table>										TIME		Activity	Hours	From	To			07:30	08:30	Flight crew travel to airport and prep aircraft.	01:00	08:30	12:43	Survey flight.	04:13	12:43	19:00	Download and backup data, Start data processing.	06:17															Operational planning and preparations, processing of flight data continues all day at team hotel.					TOTAL	11:30
TIME		Activity	Hours																																															
From	To																																																	
07:30	08:30	Flight crew travel to airport and prep aircraft.	01:00																																															
08:30	12:43	Survey flight.	04:13																																															
12:43	19:00	Download and backup data, Start data processing.	06:17																																															
		Operational planning and preparations, processing of flight data continues all day at team hotel.																																																
			TOTAL	11:30																																														
To date:	Total Project Flight Time:	15.1	Total Km Flown:	658.9	Percentage Complete:	100%																																												
5 SAFETY INFORMATION																																																		
Today:	Briefings.	1	HSE Meeting	1	Safety Induction																																													
To date:	Briefings.	5	HSE Meeting	1	Safety Induction	1																																												
6 ENVIRONMENTAL INFORMATION (fuel used)																																																		
Today:	1,332	litres																																																
To date:	5,100	litres																																																
Problems / Delays:																																																		
Actions Required:																																																		
Future Plans:	Having now flown the whole project area, some of it twice, we will continue to perform initial data processing to ensure coverage and data quality before departing.																																																	
Weather Forecast:	There was some low cloud today, it did not affect flying unduly.																																																	

Signed: Hugh O'Donnell

Signed:

APPENDIX C

Cross Line Analysis

Quality Assessment Of Overlapping Flightlines

Project Name: Corsica
Target Name: Oriental Plain of Corsica
Data: Bathymetric
Data Type: After Matching
Date: 16-Jul-10



FLIGHT LINES	MEAN	STDEV	MIN	MAX	Q1	Q5	Raster cell count	Raster cells within 0.4	%	AbsMEAN
10 9.tif	-0.15	0.31	-1.61	1.98	0.76	10944	8838	81	0.2	
14 13.tif	0.00	0.25	-2.84	2.15	0.50	46710	43450	93	0.2	
17 16.tif	0.05	0.18	-0.71	0.94	0.40	1627	1595	98	0.1	
17 79.tif	0.08	0.20	-1.20	1.07	0.49	5054	4804	95	0.2	
18 17.tif	-0.02	0.23	-1.92	2.45	0.48	5202	4910	94	0.2	
18 80.tif	0.00	0.22	-0.99	2.84	0.45	5079	4816	95	0.1	
19 18.tif	-0.02	0.27	-1.27	1.32	0.57	3962	3532	89	0.2	
19 81.tif	0.02	0.35	-2.06	2.00	0.71	7331	5930	81	0.3	
1 18.tif	-0.07	0.30	-0.98	0.90	0.67	935	762	81	0.2	
1 19.tif	0.01	0.48	-1.90	2.58	0.97	2998	2086	70	0.3	
1 81.tif	-0.04	0.34	-2.65	2.30	0.73	9494	7832	82	0.3	
1 82.tif	-0.18	0.34	-1.57	1.83	0.85	3548	2572	72	0.3	
20 19.tif	-0.09	0.32	-1.03	1.33	0.73	536	453	85	0.2	
20 23.tif	-0.11	0.22	-1.32	1.01	0.56	8833	7768	88	0.2	
20 82.tif	0.13	0.32	-1.93	2.24	0.77	17681	13964	79	0.3	
21 20.tif	0.12	0.28	-4.96	1.44	0.69	19899	16346	82	0.2	
22 21.tif	-0.19	0.33	-1.30	0.71	0.85	222	165	74	0.3	
23 19.tif	0.09	0.30	-2.23	2.11	0.68	3584	3156	88	0.2	
23 82.tif	0.06	0.30	-0.92	3.15	0.67	5229	4759	91	0.2	
25 30.tif	0.05	0.35	-2.62	3.59	0.75	54800	45547	83	0.2	
25 93.tif	0.08	0.33	-2.64	3.81	0.75	51458	44482	86	0.2	
26 25.tif	0.01	0.27	-3.82	2.84	0.55	36529	33815	93	0.2	
28 14.tif	0.02	0.18	-1.51	1.12	0.38	41993	41020	98	0.1	
29 28.tif	0.06	0.18	-1.93	2.76	0.42	51996	50083	96	0.1	
30 29.tif	0.00	0.33	-4.05	3.53	0.66	52344	45939	88	0.2	
30 92.tif	-0.02	0.30	-3.19	3.03	0.62	52776	47265	90	0.2	
31 26.tif	0.04	0.17	-2.08	1.54	0.39	27103	26059	96	0.1	
31 95.tif	0.04	0.20	-2.69	1.54	0.43	29639	28183	95	0.1	
32 31.tif	-0.02	0.17	-1.12	1.18	0.36	20979	20300	97	0.1	
32 72.tif	0.06	0.22	-1.33	1.27	0.50	21162	19568	93	0.2	
33 32.tif	0.10	0.28	-0.82	1.23	0.66	577	495	86	0.2	
35 48.tif	0.03	0.34	-3.71	3.34	0.71	33146	28658	86	0.2	
36 46.tif	-0.01	0.34	-3.21	2.70	0.68	38928	33535	86	0.2	
38 36.tif	0.05	0.38	-2.43	4.03	0.78	39830	31860	82	0.2	
39 35.tif	0.01	0.32	-2.73	3.15	0.65	37351	32559	87	0.2	
41 39.tif	0.03	0.24	-2.71	2.72	0.50	29375	27352	93	0.2	
43 41.tif	0.00	0.28	-2.00	2.88	0.55	9016	8129	90	0.2	
46 44.tif	0.01	0.42	-2.79	3.06	0.85	33518	26514	79	0.3	
48 47.tif	-0.02	0.36	-2.34	2.99	0.74	37571	31030	83	0.2	
48 75.tif	0.01	0.45	-2.37	3.64	0.90	36197	28128	78	0.3	
4 3.tif	0.04	0.19	-0.71	0.63	0.42	6552	6336	97	0.2	
50 60.tif	0.07	0.24	-2.64	3.39	0.54	63027	58026	92	0.2	
51 50.tif	0.02	0.24	-1.43	2.97	0.50	60991	57084	94	0.2	
52 51.tif	0.09	0.25	-1.78	1.91	0.58	43293	39221	91	0.2	
52 69.tif	0.04	0.25	-1.91	1.91	0.54	41955	38868	93	0.2	
53 52.tif	0.08	0.23	-1.41	1.88	0.53	30701	27710	90	0.2	
53 70.tif	0.09	0.26	-0.94	1.84	0.62	30273	26364	87	0.2	
54 53.tif	0.16	0.26	-1.07	1.84	0.69	16736	13561	81	0.2	
54 71.tif	0.16	0.27	-1.31	1.66	0.71	16963	14294	84	0.2	
56 61.tif	0.05	0.22	-1.50	2.12	0.49	18979	17787	94	0.2	
56 68.tif	-0.04	0.25	-1.69	1.90	0.53	20575	18878	92	0.2	
57 56.tif	0.00	0.23	-0.77	1.11	0.45	4077	3759	92	0.2	
58 57.tif	0.11	0.37	-2.21	1.44	0.85	589	428	73	0.3	
5 4.tif	0.03	0.21	-2.52	2.28	0.44	15535	14964	96	0.1	
5 85.tif	0.03	0.19	-2.33	2.01	0.41	17451	16906	97	0.1	
61 64.tif	-0.02	0.18	-1.03	1.23	0.37	32291	31201	97	0.1	
61 65.tif	0.01	0.16	-0.88	1.20	0.33	28297	27640	98	0.1	
62 63.tif	0.00	0.22	-2.54	2.79	0.45	41173	38704	94	0.1	
62 77.tif	-0.01	0.27	-2.62	2.85	0.55	40178	36972	92	0.2	
63 38.tif	0.00	0.31	-3.94	2.82	0.63	32073	28775	90	0.2	
63 78.tif	-0.03	0.37	-3.16	3.72	0.77	31891	26983	85	0.2	
64 62.tif	0.03	0.20	-1.37	1.98	0.42	31686	30395	96	0.1	
65 62.tif	0.02	0.19	-1.85	1.89	0.40	32050	30911	96	0.1	
68 64.tif	-0.03	0.17	-1.30	1.15	0.37	28981	28152	97	0.1	
68 65.tif	0.02	0.15	-0.82	1.38	0.31	26975	26440	98	0.1	
69 50.tif	0.04	0.21	-1.91	2.96	0.46	60557	57042	94	0.1	
6 5.tif	0.08	0.23	-1.97	1.74	0.54	17364	15677	90	0.2	
6 86.tif	0.11	0.17	-1.46	1.96	0.44	15978	15397	96	0.2	
70 51.tif	0.04	0.19	-1.70	1.70	0.42	41854	39713	95	0.1	
70 69.tif	0.01	0.21	-1.20	2.25	0.42	43451	40896	94	0.1	
71 52.tif	0.02	0.23	-1.58	1.98	0.48	33047	30476	92	0.2	
71 70.tif	0.04	0.20	-0.89	1.87	0.43	31773	30017	94	0.1	
72 26.tif	0.03	0.18	-1.42	2.37	0.38	30300	29526	97	0.1	
72 95.tif	0.03	0.18	-1.39	1.51	0.38	31319	30212	96	0.1	
77 38.tif	0.05	0.37	-4.09	2.85	0.79	32800	27848	85	0.2	
77 78.tif	0.01	0.33	-3.76	3.02	0.67	33020	29190	88	0.2	
78 36.tif	0.063	0.437	-3.90	4.39	0.94	39966.00	30215.00	76	0.297	
80 16.tif	0.061	0.123	-0.67	1.03	0.31	1737.00	1718.00	99	0.095	
80 79.tif	0.027	0.28	-2.78	3.08	0.59	39076.00	35431.00	91	0.169	
81 17.tif	-0.033	0.209	-2.29	2.01	0.45	5256.00	4982.00	95	0.14	
81 80.tif	0.025	0.306	-3.52	3.46	0.64	42971.00	38112.00	89	0.176	
82 18.tif	-0.033	0.267	-1.46	1.57	0.57	4775.00	4334.00	91	0.207	
82 81.tif	0.045	0.238	-2.13	2.83	0.52	32353.00	30159.00	93	0.163	
85 3.tif	0.022	0.173	-1.27	1.24	0.37	31592.00	30872.00	98	0.131	
86 4.tif	0.062	0.222	-2.31	2.15	0.51	22500.00	21020.00	93	0.162	
86 85.tif	0.084	0.198	-3.26	2.83	0.48	79435.00	74132.00	93	0.151	
87 5.tif	0.006	0.219	-2.12	1.85	0.44	18444.00	17748.00	96	0.138	
87 86.tif	0.011	0.119	-1.89	1.50	0.25	68930.00	68553.00	99	0.087	
88 6.tif	0.028	0.173	-0.50	0.70	0.37	17533.00	17219.00	98	0.139	
88 87.tif	0.039	0.19	-1.76	1.75	0.42	75386.00	72402.00	96	0.145	
90 91.tif	0.031	0.208	-2.34	2.60	0.45	43132.00	41229.00	96	0.133	
92 28.tif	0.05	0.259	-2.41	2.28	0.57	53164.00	47983.00	90	0.196	
93 29.tif	0.011	0.336	-2.82	3.34	0.68	57006.00	49515.00	87	0.215	
93 92.tif	0.006	0.301	-3.10	3.65	0.61	55681.00	50257.00	90	0.17	
95 25.tif	-0.06	0.275	-3.26	2.19	0.61	31633.00	28699.00	91	0.201	
9 88.tif	0.023	0.236	-1.67	1.49	0.50	50960.00	46588.00	91	0.165	
crossline										
	24	-0.072	0.16002		0.39					
Average		0.02	0.26							

Quality Assessment Of Overlapping Flightlines

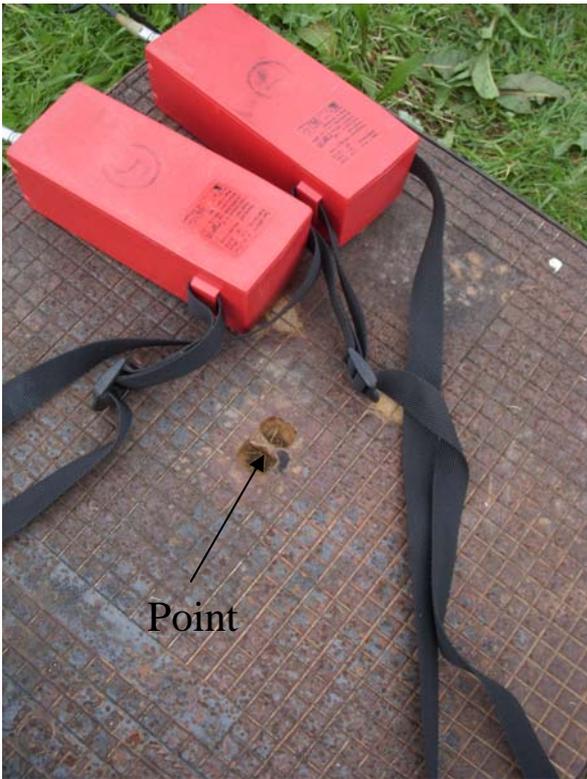
Project Name: Oriental Plain of Corsica
Target Name: Corsica
Data: Topographic
Data Type: After Matching
Date: 16-Jul-10



FLIGHT LINES	MEAN	STDEV	MIN	MAX	95%	Qi	Raster cell count	Raster cells within 0.4	%	AbsMEAN
10_9.tif	0.02	0.30	-4.66	3.13	0.62	35331	31767	90		0.2
18_17.tif	0.04	0.31	-1.21	1.79	0.65	1195	1046	88		0.2
18_80.tif	0.02	0.35	-1.32	1.93	0.71	1183	1020	86		0.2
19_18.tif	0.05	0.23	-3.80	1.88	0.51	2093	1984	95		0.2
19_81.tif	0.08	0.22	-1.16	1.47	0.52	2482	2264	91		0.2
1_18.tif	-0.11	0.33	-1.50	0.84	0.77	728	567	78		0.3
1_19.tif	-0.08	0.32	-3.00	2.70	0.72	9578	8074	84		0.2
1_81.tif	-0.11	0.32	-1.45	1.15	0.75	2166	1730	80		0.3
1_82.tif	-0.06	0.33	-2.76	2.86	0.73	9990	8440	84		0.2
20_19.tif	0.03	0.52	-3.09	2.94	1.06	1714	1306	76		0.4
20_23.tif	0.01	0.51	-7.49	5.51	1.02	4661	3995	86		0.3
20_82.tif	-0.01	0.31	-1.87	2.43	0.64	3613	3197	88		0.2
21_20.tif	0.03	0.35	-3.64	10.93	0.72	25430	23416	92		0.2
22_21.tif	0.02	0.38	-5.04	5.23	0.78	14158	12580	89		0.2
23_19.tif	0.36	0.92	-3.38	9.09	2.20	950	684	72		0.5
23_82.tif	0.27	0.72	-3.81	3.57	1.71	1026	745	73		0.4
25_30.tif	0.08	0.52	-4.39	7.04	1.12	15857	13496	85		0.2
25_93.tif	0.17	0.64	-2.50	5.08	1.44	1280	1050	82		0.3
26_25.tif	-0.21	0.50	-2.98	1.69	1.22	172	136	79		0.3
30_29.tif	0.13	0.50	-3.62	3.97	1.12	4845	3955	82		0.3
31_26.tif	0.01	0.63	-3.16	5.38	1.26	2900	2227	77		0.3
31_95.tif	0.24	0.35	-1.16	1.44	0.93	174	130	75		0.3
32_31.tif	0.05	0.51	-5.42	5.84	1.07	9524	7970	84		0.3
33_32.tif	0.04	0.30	-2.86	4.63	0.64	17726	16168	91		0.2
38_36.tif	0.11	0.26	-2.12	1.57	0.62	3107	2770	89		0.2
41_39.tif	0.14	0.85	-3.87	4.22	1.85	1142	851	75		0.4
43_41.tif	0.04	0.28	-3.47	4.29	0.61	23441	21484	92		0.2
50_60.tif	0.25	1.31	-5.52	12.54	2.87	1838	1494	81		0.5
51_50.tif	0.73	0.45	0.06	1.81	1.62	33	7	21		0.7
52_51.tif	0.02	0.19	-1.73	2.33	0.40	12277	11749	96		0.1
52_69.tif	0.06	0.21	-0.95	1.65	0.47	9206	8618	94		0.1
53_52.tif	-0.01	0.19	-1.72	4.85	0.40	21423	20635	96		0.1
53_70.tif	0.06	0.20	-1.26	2.25	0.46	17676	16798	95		0.1
54_53.tif	0.01	0.20	-2.91	3.54	0.42	35578	34112	96		0.1
56_61.tif	0.03	0.15	-1.37	1.17	0.32	6744	6559	97		0.1
57_56.tif	0.00	0.17	-1.84	1.71	0.33	19919	19333	97		0.1
58_57.tif	0.00	0.19	-1.92	2.35	0.38	9128	8809	97		0.1
61_64.tif	-0.01	0.13	-0.60	0.67	0.26	3429	3406	99		0.1
61_65.tif	-0.01	0.07	-0.26	0.12	0.16	219	219	100		0.1
62_63.tif	0.02	0.15	-2.13	1.61	0.33	21276	20682	97		0.1
62_77.tif	0.06	0.16	-1.96	1.67	0.37	21205	20583	97		0.1
63_38.tif	0.03	0.13	-2.07	1.00	0.28	9604	9444	98		0.1
63_78.tif	0.04	0.16	-1.65	1.85	0.35	10335	10026	97		0.1
64_62.tif	0.05	0.21	-3.95	4.31	0.46	23297	22286	96		0.1
65_62.tif	-0.06	0.19	-1.38	0.47	0.44	2053	1977	96		0.1
69_50.tif	0.24	0.47	-0.44	1.61	1.19	158	108	68		0.4
70_51.tif	0.02	0.20	-1.68	2.75	0.42	12814	12132	95		0.1
70_69.tif	0.04	0.22	-1.09	1.71	0.49	9857	9097	92		0.1
77_38.tif	0.01	0.16	-1.97	1.60	0.33	12187	11860	97		0.1
77_78.tif	0.02	0.15	-1.46	1.57	0.33	11866	11569	97		0.1
78_36.tif	0.06	0.25	-1.98	1.76	0.56	3504	3201	91		0.2
81_17.tif	0.08	0.26	-0.78	1.86	0.59	1046	955	91		0.2
81_80.tif	0.06	0.30	-1.32	1.99	0.66	1118	1015	91		0.2
82_18.tif	0.09	0.28	-2.15	2.71	0.65	1811	1675	92		0.2
82_81.tif	0.06	0.27	-1.59	3.59	0.61	2997	2743	92		0.2
9_88.tif	0.02	0.25	-1.87	2.28	0.53	11237	10299	92		0.1
Crossline	83	-0.0016	0.15		0.30					
Average		0.06	0.34							

APPENDIX D

Station description sheets

Station Description					
Project: Eastern Corsica				Project No: HK00809	
Surveyor: James Pike			Assistant: Hugh O'Donnell		Date:
MADR		Order of Station:		Type of Marker: N/A	
ETRS89 Cartesian			ETRS89 Geodetic		
X	(m)	4642300.0896	Latitude	N	42 32 36.250795
Y	(m)	774379.1911	Longitude	E	9 28 13.000063
Z	(m)	4290310.3403	Ellip Ht (m)	GRS80	62.3672
Sketch Plan					
Station is the centre point of a drain cover on a grass area to the east of La Madrague Hotel near Bastia Poretta airport Corsica.					
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>a= b=</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>c= d=</p> </div> </div>					

Location Plan



See over leaf for photos.

Station Description					
Project: Eastern Corsica				Project No:HK00809	
Surveyor: James Pike			Assistant: Hugh O'Donnell		Date: 11.03.10
PGM No: GHIS		Order of Station:		Type of Marker: n/a	
ETRS89 Cartesian			ETRS89 Geodetic		
X	(m)	4682775.8962	Latitude	N	42 0 23.233010
Y	(m)	775545.3988	Longitude	E	9 24 13.585150
Z	(m)	4246175.9223	Ellip Ht (m)	GRS80	58.8881

Sketch Plan

The station is on the rear roof terrace of Fiumurbacci Boulangerie on the N198 South of Ghisonaccia. On the roof terrace the point is in the south east corner of the roof terrace marked by the intersection of 4 floor tiles (see pictures).



a=

b=

c=

d=

Location Plan



See over leaf for photos.

Station Description					
Project: Eastern Corsica				Project No:HK00809	
Surveyor: James Pike			Assistant: Hugh O'Donnel		Date:09.03.10
TAVR		Order of Station:		Type of Marker: Paint	
ETRS89 Cartesian			ETRS89 Geodetic		
X	(m)	4656378.234	Latitude	N	42 20 25.03697
Y	(m)	782479.8113	Longitude	E	9 32 20.86113
Z	(m)	4273656.6579	Ellip Ht (m)	GRS80	57.4269
Sketch Plan					
Station is on the roof of the Harbour Masters Builder in the port of Taverna Eastern Corsica. The station marker is the corner of a paving slab marked with yellow paint.					
					
a=			b=		
c=			d=		

Location Plan



See over leaf for photos.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional de Corse
Imm. Agostini
Z.I. de Furiani
20600 – Bastia - France
Tél. : 04 95 58 04 33