



## Mesure 2.1 Optimal

**Un suivi innovant du Golfe d'Aigues-Mortes par la  
technologie LIDAR : résultats et perspectives**

**PHASE C - Février 2008**

## SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>2</b>
<b>I. CAMPAGNE DE VOL LIDAR 2007 .....</b>	<b>2</b>
a. Mise en place de la mission .....	3
b. Présentation du vol.....	4
<b>II. DONNEES LIDAR BATHYMETRIQUE .....</b>	<b>4</b>
a. Données brutes .....	4
b. Données filtrées.....	6
<b>III. ETUDE DES DONNEES LIDAR : CONTROLES.....</b>	<b>8</b>
a. Méthode d'interpolation .....	8
b. Comparaison aux mesures échosondeur de l'EID Méditerranée.....	9
c. Comparaison aux mesures topographiques de l'EID Méditerranée.....	12
<b>IV. ETUDE DES DONNEES LIDAR : ANALYSE.....</b>	<b>21</b>
a. Modèles Numériques de Terrain et d'Élévation .....	21
b. Drapage avec les données LiDAR 2007 .....	26
c. Comparaison aux données SHOM 1982.....	27
<b>V. BILAN DE LA CAMPAGNE LIDAR ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>29</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>31</b>
<b>ANNEXE A.....</b>	<b>32</b>
<b>ANNEXE B.....</b>	<b>36</b>
<b>ANNEXE C.....</b>	<b>38</b>

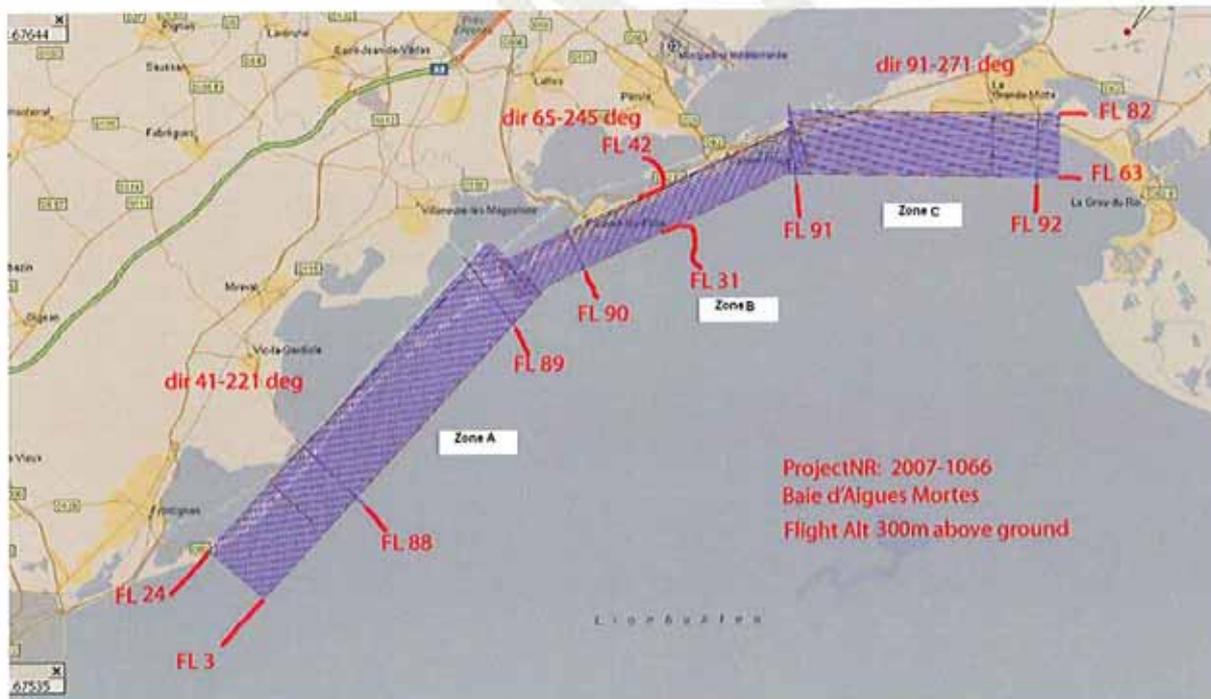
## Introduction

Dans le cadre du programme de recherche OCR Interreg III C Beachmed-e, centré sur l'utilisation de nouvelles technologies pour réaliser un suivi précis et régulier du trait de côte, une campagne de levés topo-bathymétriques avec la technologie LiDAR Bathymétrique a été menée sur le littoral de la baie d'Aigues Mortes (Hérault, France).

Le Conseil Général de l'Hérault et la Direction Régionale de l'Équipement Languedoc Roussillon se sont engagés comme partenaires financeurs dans cet ambitieux projet, et ce rapport se situe à la fin du programme, ce qui en termes de délais administratifs coïncide avec la phase C.

### I. Campagne de vol LiDAR 2007

C'est un secteur d'une superficie de 47 km<sup>2</sup> qui a été levé au mois d'Avril 2007, sur une portion littoral s'étirant de la commune de Frontignan à l'ouest jusqu'à la commune de la Grande Motte à l'est. Le système LiDAR bathymétrique "Hawk Eye II" de la société Suédoise "Blom Environment & Coastal Surveys AB" (anciennement Admiralty Coastal Surveys AB) a été utilisé pour mener à bien cette opération : la zone levée est représentée par les hachures bleues sur la figure 1 ci-dessous. L'acquisition de la donnée LiDAR ne pouvant se faire qu'en ligne droite à altitude constante, un découpage du plan de vol en 3 parties a été effectué en raison de cette ample échancrure convexe que constitue la Baie d'Aigues Mortes. A travers ce premier chapitre, nous présentons les différentes étapes effectuées par le prestataire de service LiDAR et l'EID Méditerranée avant et pendant la mission.



**Figure 1 :** Représentation du découpage en 3 zones (A, B et C) des lignes de vols du LiDAR bathymétrique sur le littoral de la Baie d'Aigues Mortes

## a. Mise en place de la mission

L'EID Méditerranée a mis en place avant et pendant la mission LiDAR 2007 :

- des moyens pour fournir les informations sur les stations DGPS disponibles pour le vol (se référer à BeachMed-e Mesure 2.1, Rapport Phase B),
- des prises de contacts régulières (e-mails, téléphoniques, de visu) avec les personnels du prestataire de service LiDAR (Mr Carl-Johan Stigermark, Marketing Manager; Mr Mikael Gustafsson, Survey Manager; Mr Rolf Engström, Engineering),
- des moyens pour obtenir les autorisations de vols nécessaires pour qu'un avion étranger, immatriculé en Suède, puisse venir travailler sur le territoire nationale (demandes effectuées auprès de la Préfecture de l'Hérault et de la DGAC<sup>1</sup>, voir Annexe A),
- des mesures topographiques sur des points de contrôle fixes et pérennes : perré de plage, mobilier urbain type angle de banc ou bornes incendies, partie sommitale de certains toits terrasse d'immeuble. Ces mesures ont été réalisées en Février-Mars 2007,
- des mesures topographiques réalisées les 23,24 et 25 Avril 2007 sur 3 plages héraultaises (Villeneuve-lès-Maguelone, Le Petit et le Grand Travers à Mauguio-Carnon) en utilisant une station DGPS (Differential Global Positioning System) L1/L2 temps réel 6502 SK avec des cannes topographiques GPS,
- des mesures bathymétriques sur 2 zones maritimes (étage infra-littorale de Villeneuve-lès-Maguelone et de Mauguio-Carnon) avec un échosondeur mono fréquence (200 KHz) OSSIAN E10 (23 et 24 Avril 2007).
- des mesures de la turbidité (se référer à BeachMed-e Mesure 2.1, Rapport Phase B), qui a également un impact sur les levés hydrographiques par LIDAR car elle restreint les profondeurs de sondage en atténuant l'intensité du signal laser propagé dans l'eau.

Pour le prestataire de service, le système LiDAR "Hawkeye II" a dû être mobilisé le 22 Avril 2007 à l'intérieur d'un avion bimoteur "Air Commander" (figure 2) à Jönköping en Suède. Après l'installation du système LiDAR, des contrôles statiques ont été conduits sur celui-ci avant d'entreprendre un contrôle aéroporté sur le lac Vattern en Suède. Ce lac, le second de Suède par sa superficie (120 km de long par 30 km de large) se situe au nord de Jönköping, il a une profondeur moyenne de 41 mètres avec un maximum à 128 mètres. A la suite de ce vol de calibration, les données ont été traitées pour s'assurer du bon fonctionnement du système. Après cette opération de calibration, l'avion s'est finalement envolé vers l'aéroport de Montpellier pour débiter sa mission.



Figure 2 : Avion "Air Commander" (à gauche) et système LiDAR Hawkeye II dans les locaux de ACSAB<sup>2</sup> (à droite)

Avant l'arrivée de celui-ci, une inspection du site de Villeneuve-lès-Maguelone où était positionnée la station GPS du prestataire, a été effectuée pour parer à d'éventuels problèmes le jour même de la mission. Ce site a été choisi pour être utilisé en tant que station de référence de secours, la station fixe étant fournie par IGN à l'université de Montpellier (se référer à BeachMed-e Mesure 2.1, Rapport Phase B, Annexe A).

<sup>1</sup> Direction Générale de l'Aviation Civile

<sup>2</sup> Admiralty Coastal Surveys AB

## b. Présentation du vol

La mission de vol LiDAR (voir Annexe B) a eu lieu du 24 au 26 Avril 2007. Les données ont été collectées durant 3 sorties, entre le 24 et le 25 Avril 2007, chacune ayant eu une durée moyenne de 3h30. Au total, 77 lignes de vols (68 lignes + 9 lignes croisées) ont été levées sur les 2 journées, soit 47 + 10 km<sup>2</sup> de surface couverte. Pour chacune de ces sorties, la station GPS de référence été installé pour collecter des données à une fréquence de 1 Hz (voir figure 3).

Les conditions météorologiques étaient idéales avec une température de l'eau variant de 17 à 18°C, une température de l'air entre 21 et 23°C et une vitesse de vent de 10 Km/h. De plus, les mesures de turbidité ont montré que la qualité de l'eau n'a pas eu d'influences sur la mesure LiDAR, avec une visibilité moyenne supérieure à 4 m.



Figure 3 : Station GPS installé par le prestataire LiDAR

## II. Données LiDAR bathymétrique

Dans ce chapitre se trouve une description sur le contenu et le traitement des données LiDAR bathymétriques. Les données brutes (plus de 80 millions de points et l'ensemble des photographies non géoréférencées, voir Annexe C) ont été fournies à l'EID Méditerranée à la fin de la mission, tandis que les données nettoyées (7 millions de points et les photographies géoréférencées, voir Annexe C) ont été récupérées directement en Suède chez le prestataire (à Jönköping) par l'EID Méditerranée lors d'un voyage d'étude les 21 et 22 juin 2007. Ce déplacement fût nécessaire pour comprendre toute la chaîne de traitements effectués sur la donnée.

### a. Données brutes

A la fin de la mission en France (le 25 avril 2007), le prestataire LiDAR a remis à l'EID Méditerranée un disque dur externe de 320 Go contenant toutes les données brutes et les images acquises pendant toute la durée du vol (soit une image par seconde). Ces données brutes ont un format bien spécifique (.mnd) qui est totalement inexploitable par le client. En effet, ce format n'est lisible que par le logiciel *Coastal Survey Studio* propriété de l'Admiralty Coastal Surveys AB.

Ces données brutes contiennent le signal retour du laser (train d'ondes), les données GPS prises pendant le vol dans le système de coordonnées WGS 84, les données de calibrations et les paramètres du milieu environnant (eau, luminosité...). Un "mélange" de ces différentes informations effectué avec le logiciel *Coastal Survey Studio*, permet de déterminer des fichiers de points X, Y, Z au format ascii, dans le système de coordonnées WGS84.

Un mois après la fin de la mission, le prestataire a remis à l'EID Méditerranée deux DVD-ROM où se trouvaient les données brutes après leur traitement avec le logiciel *Coastal Survey Studio*.

Le contenu de ces disques était :

- les lignes de vols au format LAS (format d'échange de données LiDAR)
- les lignes de vols au format ASCII dans le système de coordonnées Lambert III Sud

Notons que le format LAS est le format d'échange de données LiDAR, et qu'il ne peut être lisible que par des logiciels bien spécifiques et assez coûteux. Cependant il existe des freewares comme le logiciel *PointVue LE*, qui peuvent lire ce type de format mais sans permettre de fonctions supplémentaires.

Les fichiers fournis ici au format LAS par Admiralty Coastal Surveys AB sont de deux sortes :

- Fichiers avec des données topographiques (TD)
- Fichiers avec des données bathymétriques (HD)

Cette différenciation de types de fichiers est due à la présence de deux lasers sur le système LiDAR Bathymétrique Hawk Eye II. En effet, ce système est composé d'un laser Infrarouge (1064 nm) pour les levés topographiques, et d'un laser Infrarouge (1064 nm) qui est réfracté par un prisme pour émettre dans l'Infrarouge et le vert (532 nm) pour les levés bathymétriques (l'émission de l'Infrarouge permet la détection de la position de la surface de l'eau et celle du vert permet la détection de la surface, de la colonne et du fond de l'eau).

Ainsi, il est possible d'observer séparément les levés topographiques et bathymétriques.

Le prestataire a également fourni les données brutes pour chaque ligne de vol dans le système de coordonnées Lambert III Sud au format ASCII (fichiers de points X Y Z). Ces données proviennent de l'exportation des données brutes du logiciel *Coastal Survey Studio* au logiciel *Terrascan Microstation*. Pour un traitement optimal, les lignes de vols ont été découpées transversalement et aléatoirement en 23 zones. La représentation des lignes de vols ainsi que du découpage est illustré sur la figure 4.

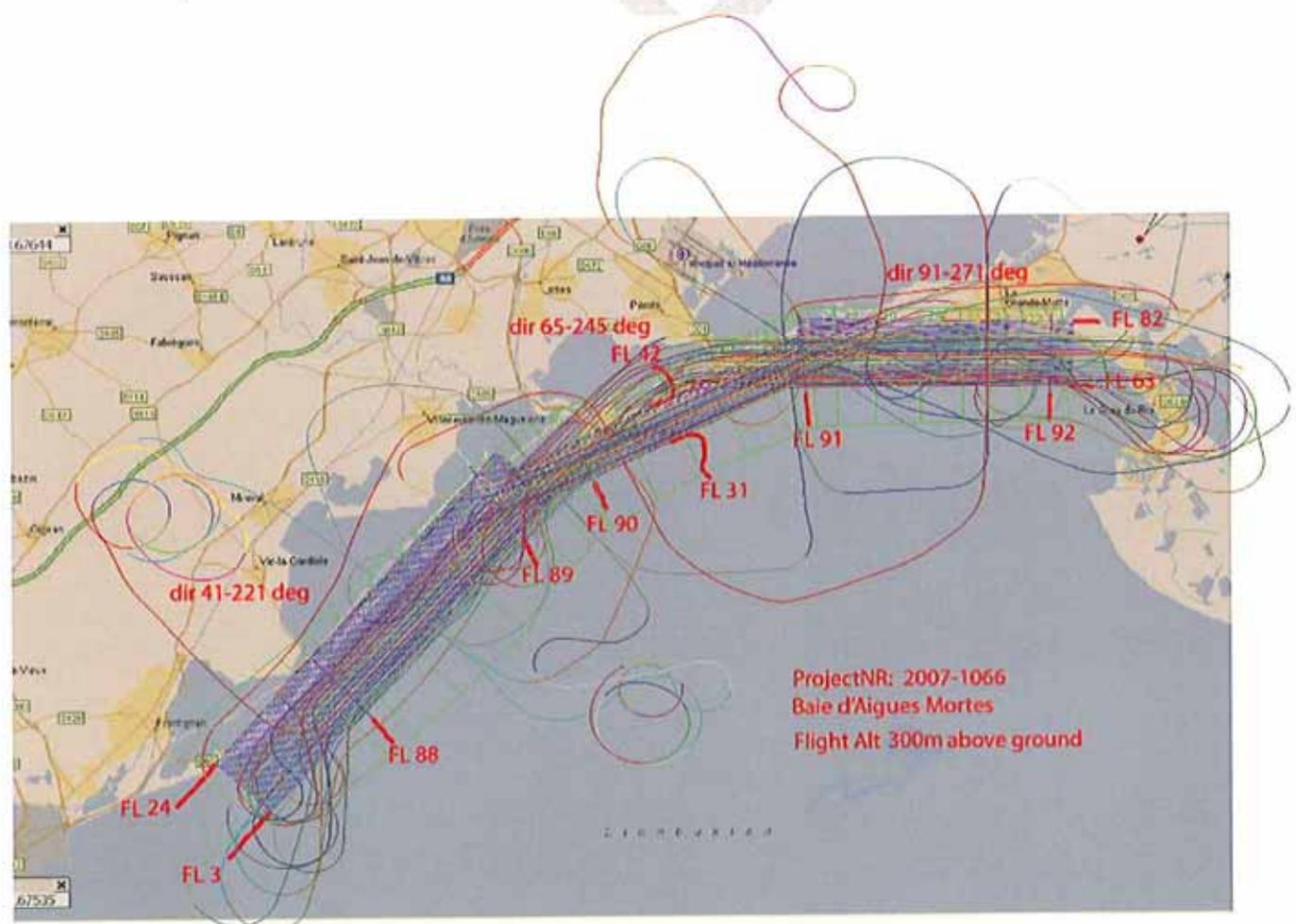


Figure 4 : Lignes de vols du LiDAR et découpage transversal en 23 zones (en vert)

## b. Données filtrées

La donnée brute est exportée au format ASCII et/ou LAS du logiciel *Coastal Survey Studio* au logiciel *Terrascan Microstation* pour la nettoyer. Après l'avoir filtrée, il ne restera que 30% de l'information de la donnée brute. La mise en oeuvre de la donnée nettoyée s'effectue en trois étapes:

- Transformation du système de coordonnées WGS84 en Lambert III Sud.
- Création du découpage aléatoire en 23 zones
- Filtrage par classification à l'aide d'un algorithme propre au logiciel, et par l'opérateur manuellement. Ici, deux classifications ont été établis : une sur le sol ("ground") et une sur la haute végétation ("high vegetation").

Comme établi dans le cahier des charges, le prestataire a fourni les données filtrées suivantes :

- Les points X, Y, Z filtrés au format ascii dans le système de coordonnées Lambert III Sud ainsi que les points classifiés ("ground" et "high vegetation").
- Les grilles de points réguliers 2mx2m, 5mx5m et 10mx10m pour les MNT, MNE et MNS au format ascii ainsi que les formats GeoTIFF de ces grilles pour les grandes zones (A, B et C). Ces grilles sont obtenues par une interpolation sur les données nettoyées et plus précisément par la Triangulation de Delaunay.
- Des orthophotos de résolution 1m et 25 cm

Une première étape pour l'étude des données filtrées a consisté à :

- Organiser les données
- Visualiser et Interpoler avec la méthode de Triangulation de Delaunay les données de semis de points X, Y, Z (avec les logiciels *Surfer* et *MapInfo*)
- Visualiser les grids ascii de MNT, MNE et MNS avec le logiciel *MapInfo*
- Vérifier la qualité des orthophotos: pour juger de celle-ci : l'EID Méditerranée a comparé les orthophotos de résolution 25 cm (1pixel = 25 cm) avec les orthophotos de Gaia Mapping 2005 fournies par le département de l'Hérault, et de résolution équivalente.

L'observation générale (figures 5 et 6) et des comparaisons effectuées aux abords de routes, de toits de maisons, d'emplacement d'arbres, etc, conduit à une validation de la qualité des orthophotos fournis par le prestataire LiDAR. En effet il n'existe pas de décalage entre les objets à la jonction des deux jeux d'orthophotos.

Les deux orthophotos sont en couleur naturelle, elle présente les mêmes qualités esthétiques : il est facile dans les deux cas de faire la différence entre les strates de végétation (arbustive, herbacée), d'analyser la morphologie de la végétation (arbre isolé, alignement, bosquet) et de préciser la fonction des espaces verts (publics ou privés) selon leurs environnements directs. (Anne Puissant et Christiane Weber, 2003)

En terme de contraste (important quand il s'agit de déterminer le positionnement du trait de côte et donc l'évaluation de l'érosion ou de l'accrétion), l'orthophoto LiDAR est de meilleure qualité.

Notons également que comme l'A.C.S.A.B. nous a fourni le même jeu d'orthophotos à une résolution de 1 mètre, cela permet une bonne compression des images et la possibilité de travailler sur l'ensemble de la zone avec des temps d'affichage écran rapides.



**Figure 5 :** Comparaison d'orthophotos (commune du Grau du Roi, immédiatement à l'est de l'embouchure du Vidourle) produites par le prestataire LiDAR (à gauche) et Gaia Mapping 2005 (à droite)



**Figure 6 :** Comparaison d'orthophotos produites par le prestataire LiDAR (en haut) et Gaia Mapping 2005 (en bas) sur la commune de Frontignan-plage.

### III. Etude des données LiDAR : Contrôles

Les mesures topographiques et bathymétriques classiques, effectuées par l'EID Méditerranée en Avril 2007, ont permises d'établir un contrôle sur la fiabilité de la donnée LiDAR et d'en tirer des informations importantes. Les données des 23 zones levées par le LiDAR ont été comparées aux données issues des mesures échosondeurs (précision verticale 5 cm) et topographies classiques, des zones de Villeneuve-lès-Maguelone et Mauguio-Carnon.

La méthode générale de comparaison de ces deux techniques est une méthode géostatistique, plus précisément une interpolation par triangulation, permettant de représenter des modèles numériques de terrain (représentation du terrain naturel sans le sursol).

#### a. Méthode d'interpolation

La triangulation de Delaunay (figure 7) d'un ensemble de n points est l'unique triangulation telle qu'un cercle passant par les trois points d'un triangle ne contienne aucun autre point. Cette notion peut être généralisée à n'importe quelle dimension : en 3D, par exemple, on utilisera des tétraèdres et des sphères.

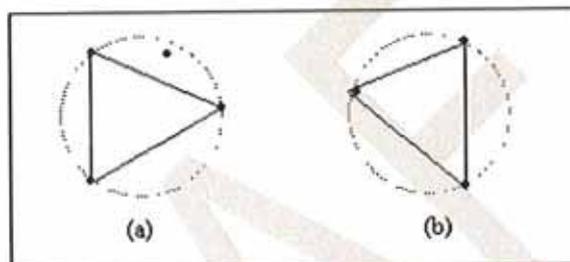


Figure 7 : (a) Triangle non-Delaunay – (b) Triangle Delaunay

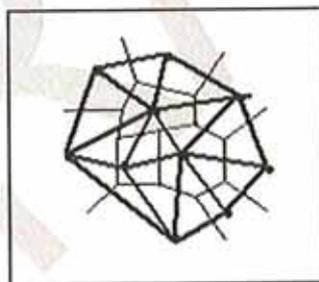


Figure 7' : Illustration de la Triangulation de Delaunay

L'interpolation par la triangulation de Delaunay est appliquée pour construire des "grids" avec des données qui ne nécessitent pas de moyennes locales, d'où sa sélection pour la création des MNT. De plus, le TIN (Triangle Irregular Network) est naturellement adapté à une restitution fidèle si les pentes sont faibles. Cette triangulation est produite par un procédé qui connecte tous les points originaux par un réseau de triangles réguliers, aussi équilatéraux que possible. C'est la règle de Delaunay qui fixe que chaque triangle formé définit un cercle circonscrit qui ne contient aucun autre sommet de triangle.

Cette méthode d'interpolation a été choisie par le prestataire pour fournir les grilles de points réguliers des MNT, MNE et MNS, ainsi que par l'EID Méditerranée pour étudier la donnée filtrée (établir des MNT sur des zones précises à comparer avec la donnée levée par les méthodes classiques).

Nous avons vérifié, au préalable, s'il existait des effets de bords avec l'interpolation par Triangulation. Pour cela, nous avons observé lorsqu'on interpole deux zones adjacentes, puisque l'on cherche à les regrouper, si au niveau des frontières (des bords entre les deux) nous avons apparition de biais ou de valeurs aberrantes. Nous avons ainsi établi des profils dans la zone de frontière, et il apparaît qu'il n'existe pas d'effets de bords particuliers dans cette région.

## b. Comparaison aux mesures échosondeur de l'EID Méditerranée

Les zones levées par les deux techniques de levés bathymétriques, se trouvent respectivement sur les zones de Villeneuve-lès-Maguelone et de Mauguio-Carnon (figure 8). Les données sont composées d'environ 30 000 points pour chacune des techniques et les coordonnées en Lambert III Sud des deux zones étudiées sont répertoriées dans le tableau 1.



Figure 8 : Zone de Maguelone (à gauche) et zone de Mauguio - Carnon (à droite)

	Zone de Maguelone		Zone de Mauguio - Carnon
X1, Y1	723 780 m, 134 000 m	X1, Y1	735 010 m, 140 300 m
X2, Y2	723 920 m, 134 100 m	X2, Y2	735 114 m, 140350 m
X3, Y3	724 740 m, 132 940 m	X3, Y3	735 450 m, 139 750 m
X4, Y4	724 590 m, 132 890 m	X4, Y4	735 320 m, 139 660 m

Tableau 1 : Coordonnées en Lambert III Sud de la zone de Maguelone et de Mauguio - Carnon levée par échosondeur

Pour établir une comparaison de mesure de bathymétrie classique avec la mesure LiDAR, il faut établir des Modèles Numériques de Terrain. Pour cela, les données doivent être interpolés et c'est avec le logiciel MapInfo avec la méthode de la Triangulation de Delaunay, que nous avons établi les MNT LiDAR et les MNT Echosondeur des 2 zones.

Au préalable, les mesures échosondeurs doivent subir une correction sur la valeur de la profondeur en fonction de la température de l'eau. En effet, La vitesse de la propagation du signal de l'échosondeur est directement liée à la température de l'eau selon la formule qui calcule l'écart relatif entre deux profils pris à des températures différentes T1 et T2 vers 10 mètres de fond :

$$\text{Ecart en m} = (1/vT1 - 1/vT2) * 10 * vT2$$

Les vitesses du son dans l'eau en fonction de la température (vT1 et vT2) sont calculées à partir du graphique ci-dessous (figure 9).

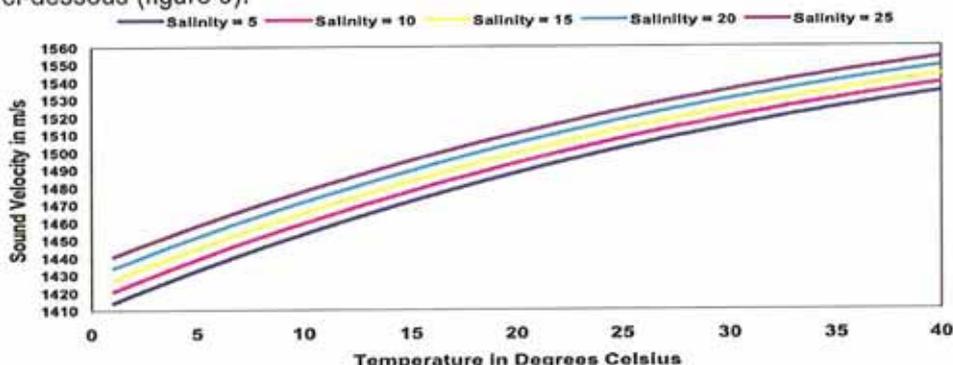


Figure 9 : Représentation de la vitesse du son dans l'eau en m/s en fonction de la température en °C

Lors de la comparaison de profils acquis à des températures différentes on trouve bien entre eux un écart correspondant à la différence donnée par la théorie. Cet écart augmente avec la profondeur, et on peut donc en conclure que comme les profils varient lentement au delà de la barre externe le signal prédominant sur les profils dans les environs de la profondeur de fermeture est celui de l'erreur du capteur due aux variations de la température de l'eau. La correction de la température est alors appliqué sur les valeurs de la profondeur, et le MNT est généré à partir de ces données corrigées.

En établissant les MNT avec le logiciel MapInfo et en les représentant en 3D (figures 10 et 11), on observe que le MNT LiDAR permet de caractériser avec une grande précision la forme des barres littorales, et l'irrégularité des fonds. En effet, sur les MNT de mesures échosondeurs les structures peuvent apparaître plus lisses, voire inexistantes. On confirme ainsi la précision du LiDAR sur la restitution du relief, ce qui est très utile pour étudier le suivi morphologique du littoral.

Par contre, on notera que la technologie LiDAR ne pourra pas détecter les "Ripple-Marks", qui sont des ondulations se créant à la surface du sable sous l'effet de l'oscillation liée au passage des vagues. En effet, leur longueur d'onde étant centimétrique ou parfois décimétrique, et la fréquence de sondage bathymétrique étant de l'ordre de 4 kHz, il n'est pas possible de les identifier.

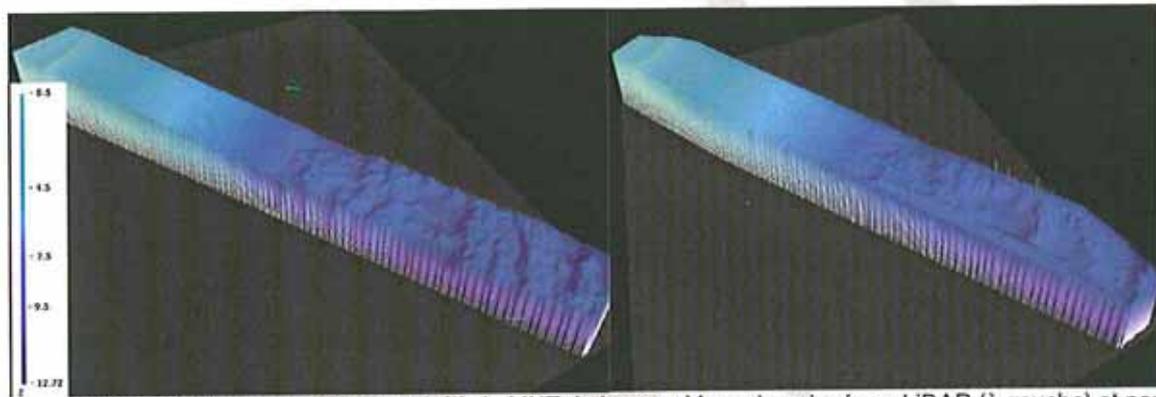


Figure 10 : Vue 3D (logiciel *MapInfo*) du MNT de la zone Maguelone levé par LiDAR (à gauche) et par échosondeur (à droite).

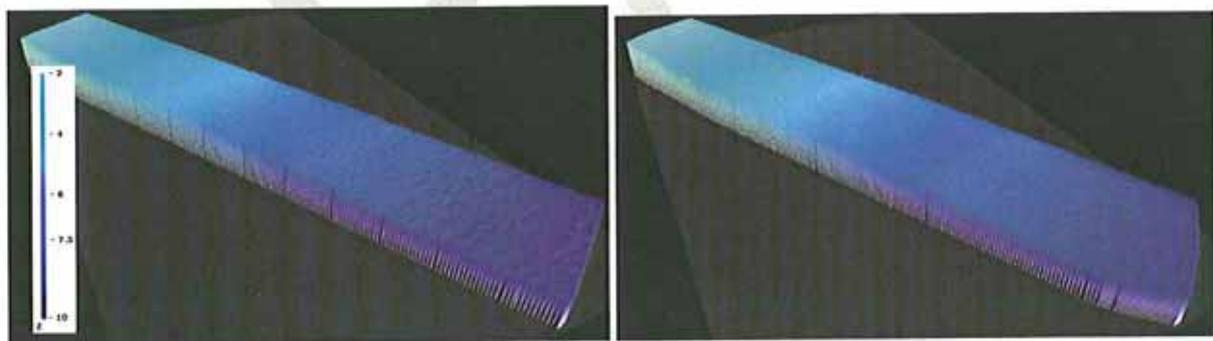


Figure 11 : Vue 3D (logiciel *MapInfo*) du MNT de la zone Mauguio-Carron levé par LiDAR (à gauche) et par échosondeur (à droite).

A partir de ces MNT, des profils bathymétriques ont été établis (figures 12 et 13) pour permettre d'effectuer une comparaison plus précise des mesures LiDAR et échosondeur.

De manière générale on peut établir que :

- Entre 0 et 4,5 m : écart entre les deux mesures de l'ordre de 2 à 10 cm
- Au-delà de 4,5 m : écart entre les deux mesures de l'ordre de 10 à 60 cm.

Pour des profondeurs inférieures à 4,5 m, l'écart établit entre les deux techniques démontre que l'imprécision verticale du LiDAR en zone peu déclive et peu profonde est meilleure que 15 cm.

Par contre, au-delà de 4,5 m, une divergence apparaît nettement entre les deux mesures, et elle s'accroît avec la profondeur, en partie à cause de la turbidité, et dans une zone au sol rocheux et plus structurée.

Sur les profils de la zone de Villeneuve-lès-Maguelone, où entre -8 et -11 m de profondeur un récif rocheux existe, l'imprécision de la mesure LiDAR est accentuée. En effet, la rugosité du fond va modifier la réflectance et par conséquent, l'amplitude du signal retour. Il a été montré [Lesaigoux A., 2006] que la rugosité du fond entraîne une diminution de la valeur de la réflectance par conséquent de l'amplitude, comme nous pouvons l'observer sur la figure 12.

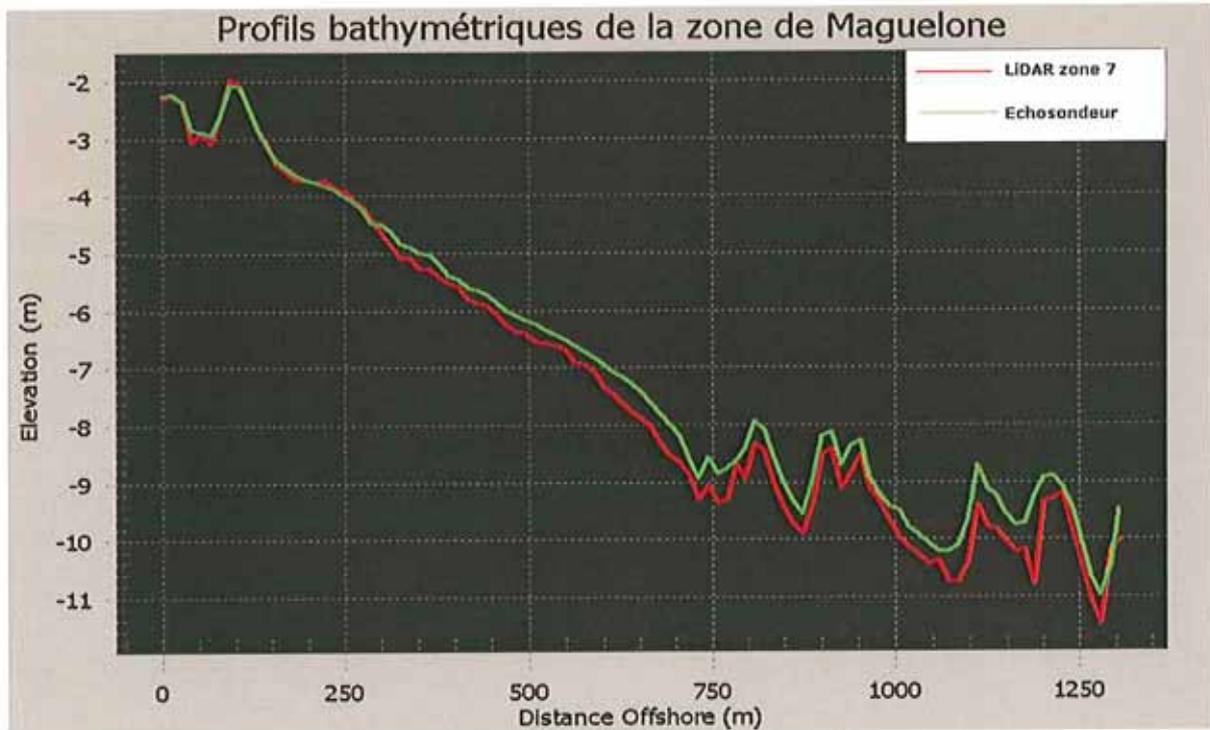


Figure 12 : Profil bathymétrique de la zone Maguelone levé par LiDAR (en rouge) et par échosondeur (en vert)

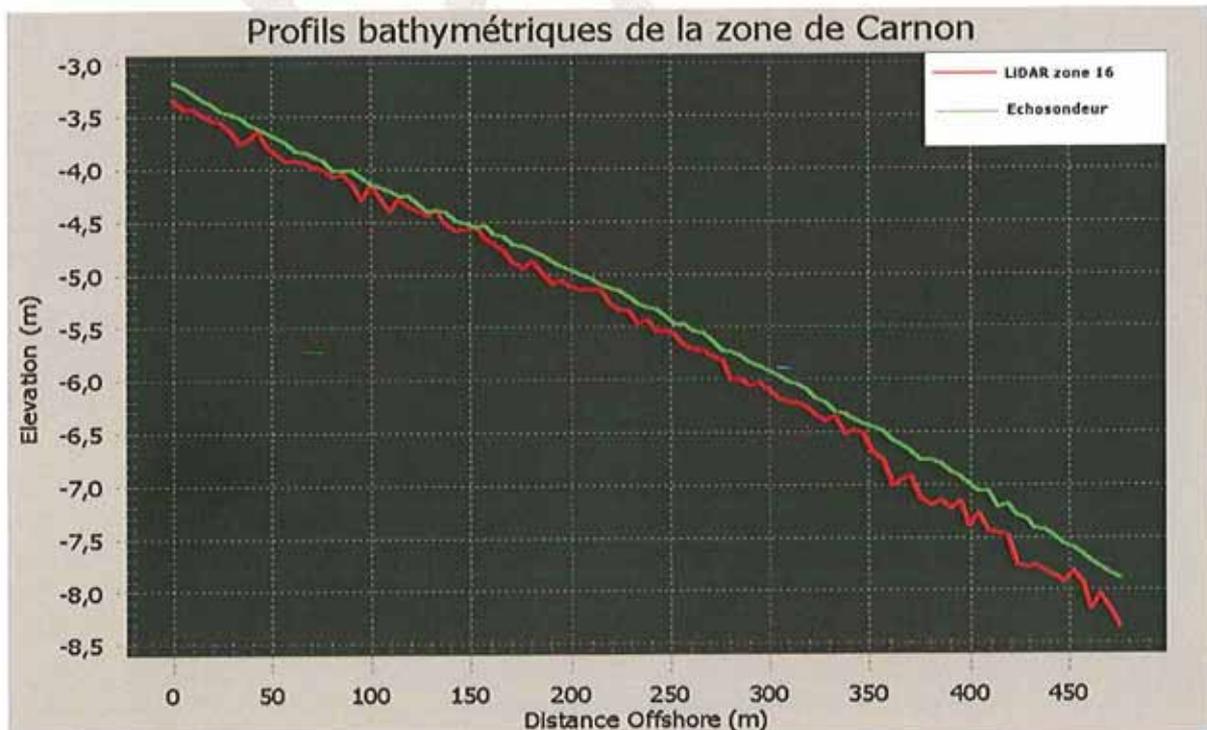


Figure 13 : Profil bathymétrique de la zone Carnon levé par LiDAR (en rouge) et par échosondeur (en vert)

### c. Comparaison aux mesures topographiques de l'EID Méditerranée

A présent, effectuons une comparaison entre le levé LiDAR 2007 et les levés topographiques classiques effectués par l'EID Méditerranée avec une canne GPS, en Avril 2007. Les secteurs levés se situent sur 2 plages du littoral : Villeneuve-lès-Maguelone et Le Petit Travers à Carnon.

#### Zone de Villeneuve-lès-Maguelone :

Une représentation de la zone de Villeneuve-lès-Maguelone étudiée par topographie classique et LiDAR, est située sur la figure 14. Entre 4000 et 5000 points ont été levés sur cette zone par les deux techniques de topographies, dont les coordonnées se trouvent dans le tableau 3.



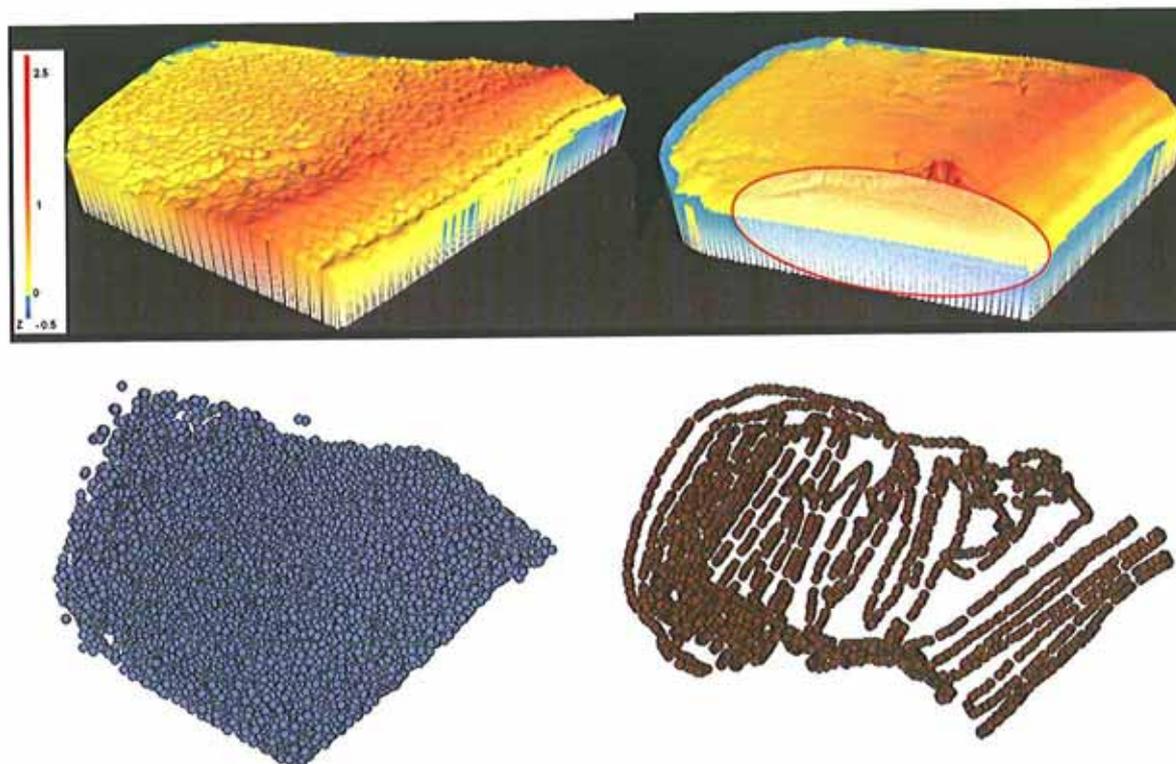
Figure 14 : Illustration de la zone de Villeneuve-lès-Maguelone pour le levé topographique

X1	723 573 m	Y1	134 124 m
X2	723 616 m	Y2	134 254 m
X3	723 886 m	Y3	134 146 m
X4	723 723 m	Y4	134 011 m

Tableau 3 : Coordonnées en Lambert III Sud de la zone Maguelone du levé topographique

Comme dans le cas bathymétrique, des MNT ont été créés avec le logiciel *MapInfo* et la méthode d'interpolation par Triangulation de Delaunay. Avec une représentation en 3D de ces MNT (figure 15), on peut observer que le relief dunaire, visible sur les orthophotos de la figure 14, est bien restitué sur le MNT LiDAR (figure 15, à gauche) alors qu'il semble "lisse" sur le MNT topographie classique (figure 15, à droite). Par exemple, la berme apparaît correctement sur le MNT LiDAR alors qu'elle semble inexistante avec les levés cannes GPS.

Notons également, qu'un énorme artefact apparaît sur le MNT topographie classique (figure 14, à droite, zone rouge), lié à l'interpolation sur les données. En effet, les levés par cannes GPS n'ont pas couvert la zone identifiée par le cercle rouge, et par conséquent l'interpolation est faussée dans cette zone. Ainsi, il faudra tenir compte de cet artefact pour l'analyse.



**Figure 15 :** Vue 3D du MNT (haut) et répartition des données (bas) (logiciel *MapInfo*) de la zone Maguelone levé par LiDAR (à gauche) et par topographie classique (à droite); zone rouge : artefact de l'interpolation.

Avec des données équivalentes en terme de quantité de points (approximativement 4000 points pour les deux techniques de levés) mais différenciables par leur répartition (figure 15, bas), le MNT issue de la technologie LiDAR est celui qui représente mieux la structure du terrain (figures 15, haut). En effet, les données LiDAR constituent une distribution régulière de points, tandis que les données de topographies classiques constituent une distribution aléatoire de points. On observe (figure 15, bas à droite) que le levé par canne GPS est constitué de zones de données denses mais également de secteurs sans aucune données.

Lors de l'interpolation par triangulation, la distribution aléatoire va créer des artefacts sur le MNT et la précision sur l'interpolation est diminuée en l'absence de données. Ce résultat se traduit par un aspect lissé sur le MNT topographie classique qui n'existe pas sur le MNT LiDAR.

Sur les profils tirés des MNT (figure 16) sur une distance offshore de 200 m, le lissage des données topographie classique est bien représenté (figure 16, courbe verte), ainsi que la restitution des variations du terrain (dunes) par le LiDAR (figure 16, courbe rouge).

D'une manière générale, en comparant ces deux profils, on peut confirmer la précision de restitution du relief par la technique LiDAR, mais avec une incertitude sur la mesure verticale de l'ordre de 15 cm (25 cm dans la littérature).

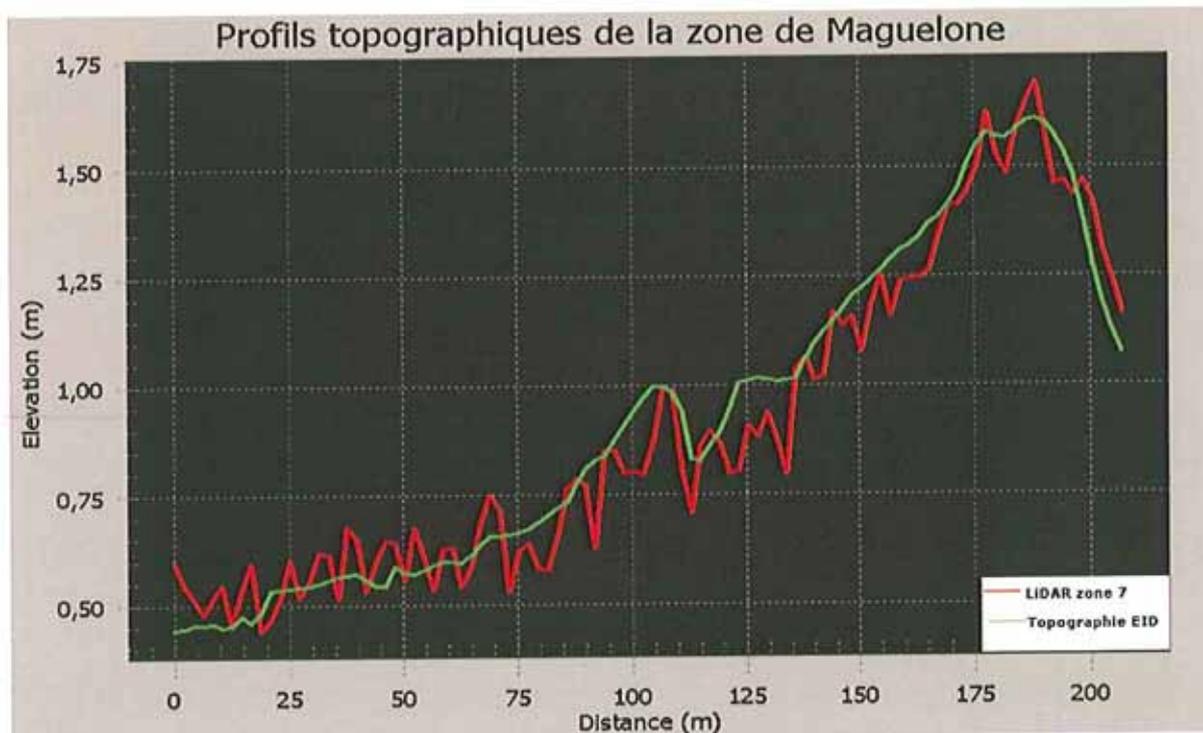


Figure 16: Profil de la zone Maguelone levé par LIDAR (en rouge) et par topographie classique (en vert)

### Zone du Petit Travers à Carnon :

Une représentation du levé topographique classique de l'EID Méditerranée sur la zone du Petit Travers, dont les coordonnées se trouvent dans le tableau 4, se situe sur la figure 17 ci-dessous. Au total, 4000 points ont été acquis par canne GPS et LiDAR sur cette zone.



Figure 17 : Illustration de la zone du Petit Travers de Carnon

X1	735 976 m	Y1	140 873 m
X2	736 115 m	Y2	140 911 m
X3	736 192 m	Y3	140 763 m
X4	736 036 m	Y4	140 718 m

Tableau 4 : Coordonnées en Lambert III Sud de la zone du Petit Travers du levé topographique

En représentation 3D (figure 18, haut), la présence du cordon dunaire, de la berme et de la route, est mise en évidence sur le MNT LiDAR (figure 18, à gauche) tandis qu'elle ne l'est pas ou peu sur le MNT topographie classique (figure 18, à droite). Comme dans le cas précédent, un artefact lié à l'interpolation par triangulation apparaît également sur le MNT topographie classique (figure 18, à droite, zone rouge) dû à la répartition des données (figure 18, bas).

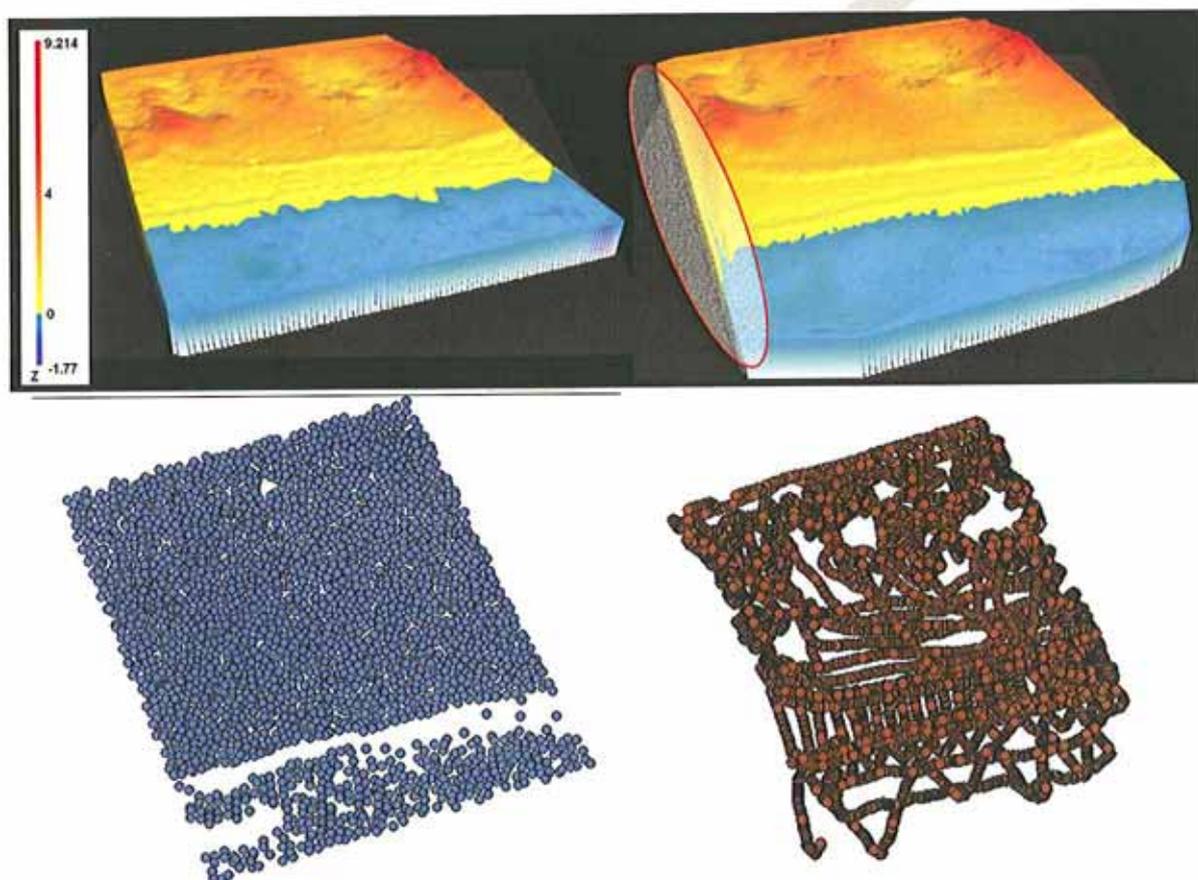


Figure 18 : Vue 3D du MNT (haut) et répartition des données (bas) (logiciel *MapInfo*) de la zone du Petit Travers, levé par LiDAR (à gauche) et par topographie classique (à droite); zone rouge : artefact de l'interpolation.

Par comparaison avec la plage de Villeneuve-lès-Maguelone, ce relief présente beaucoup plus de végétations sur les dunes.

On crée des profils tirés des MNT (figure 19) sur une distance offshore de 70 m, sur une zone densifiée du levé par canne GPS et couverte de végétations. Ainsi, on en déduit que l'écart de mesure entre les deux techniques peut varier cette fois de quelques centimètres à 50 cm verticalement.

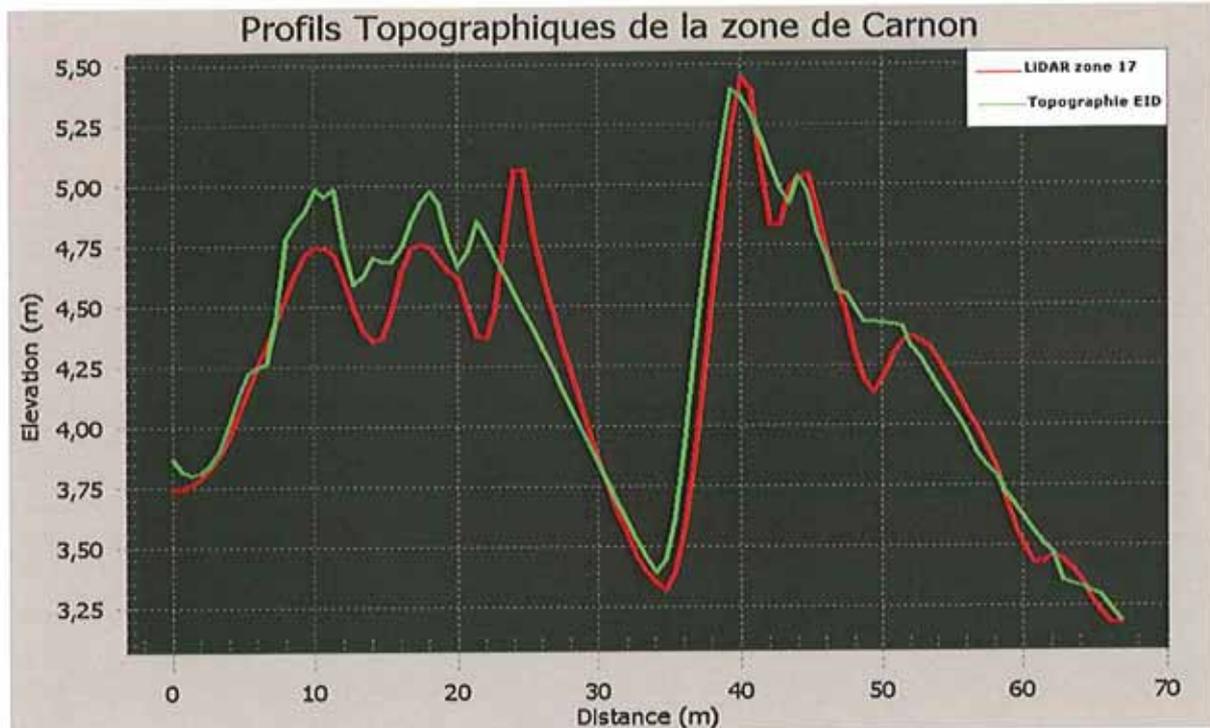


Figure 19 : Profil de la zone du Petit Travers levé par LIDAR (en rouge) et par topographie classique (en vert)

### Etude à l'interface terre mer :

Il est également intéressant d'étudier l'incertitude de la mesure LiDAR à l'interface Terre-Mer pour le suivi du trait de côte du littoral.

Pour cela, des MNT LiDAR et Topographie classique de la zone de Maguelone à l'interface terre-mer ont été créés (figure 20) à partir d'une zone sélectionnée au hasard.

Cette zone est constituée respectivement de 156 points ( $z_{min}=-0,276$  m ;  $z_{max}=0,635$  m) et de 128 points ( $z_{min}=-0,38$  m ;  $z_{max}=0,76$  m) levé par topographie classique et par la technique LiDAR.

La répartition spatiale des données, est ici relativement équivalente (figure 21) pour les deux techniques de levés. En effet, la donnée provenant du LiDAR est constituée de "trou" (gap) à l'interface terre-mer, lié à l'imprécision du laser sur cette zone.

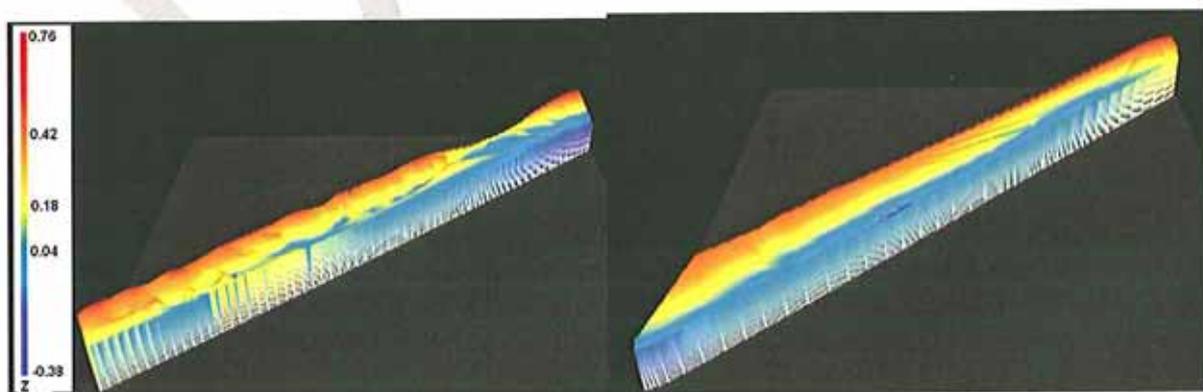


Figure 20 : Vue 3D du MNT (logiciel MapInfo) de la zone Maguelone à l'interface Terre-Mer, levé par LIDAR (à gauche) et par topographie classique (à droite)

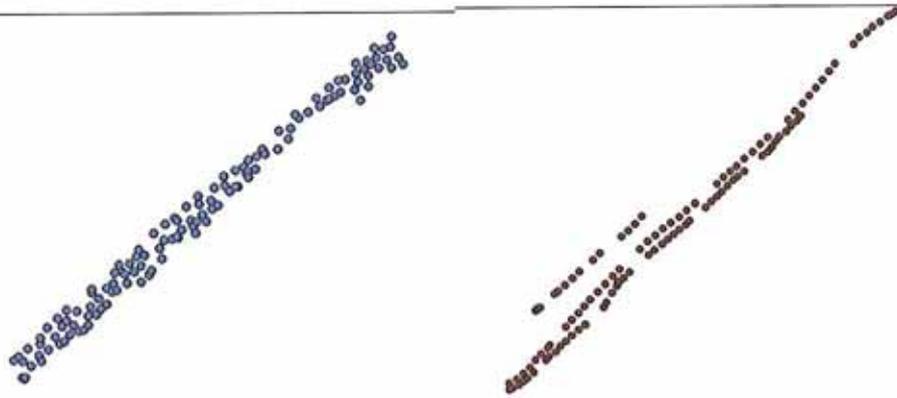


Figure 21 : Répartition des données (logiciel *MapInfo*) de la zone Maguelone à l'interface Terre-Mer, levé par LiDAR (à gauche) et par topographie classique (à droite)

A partir des profils extraits de ces MNT (figure 22), on peut étudier la localisation du trait de côte par les deux techniques. Il apparaît visuellement que la mesure topographie classique (figure 22, courbe verte) est plus précise sur ce secteur que la mesure LiDAR (figure 22, courbe rouge).

L'erreur sur la mesure est de 40 cm en moyenne en planimétrie et 20 cm en vertical avec la technique LiDAR bathymétrique, ce qui est une imprécision non négligeable pour une zone de frontière (interface terre-mer) qui peut évoluer en termes de centimètres.

Par conséquent, la technique LiDAR Bathymétrique ne semble pas pour l'instant adapté au suivi précis du trait de côte.

]]]]

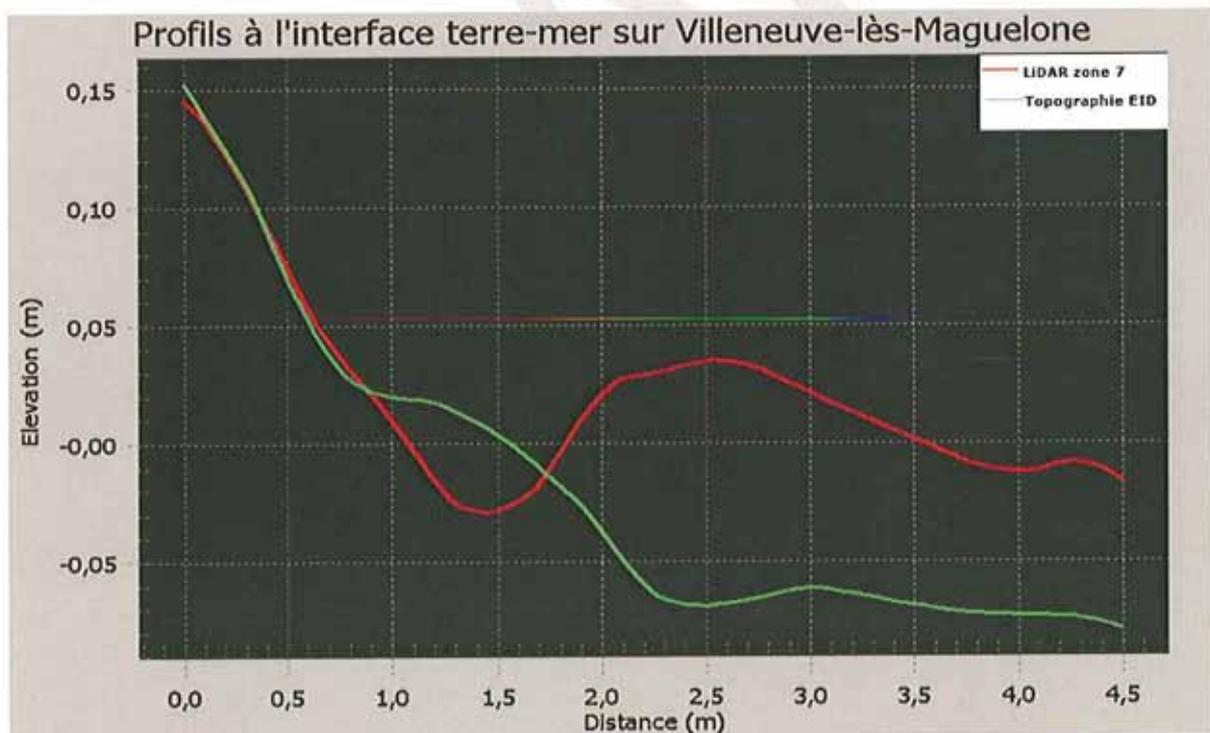


Figure 21 : Profils à l'interface terre-mer, LiDAR (en rouge) et topographie classique (en vert)

## Modèles d'inondations :

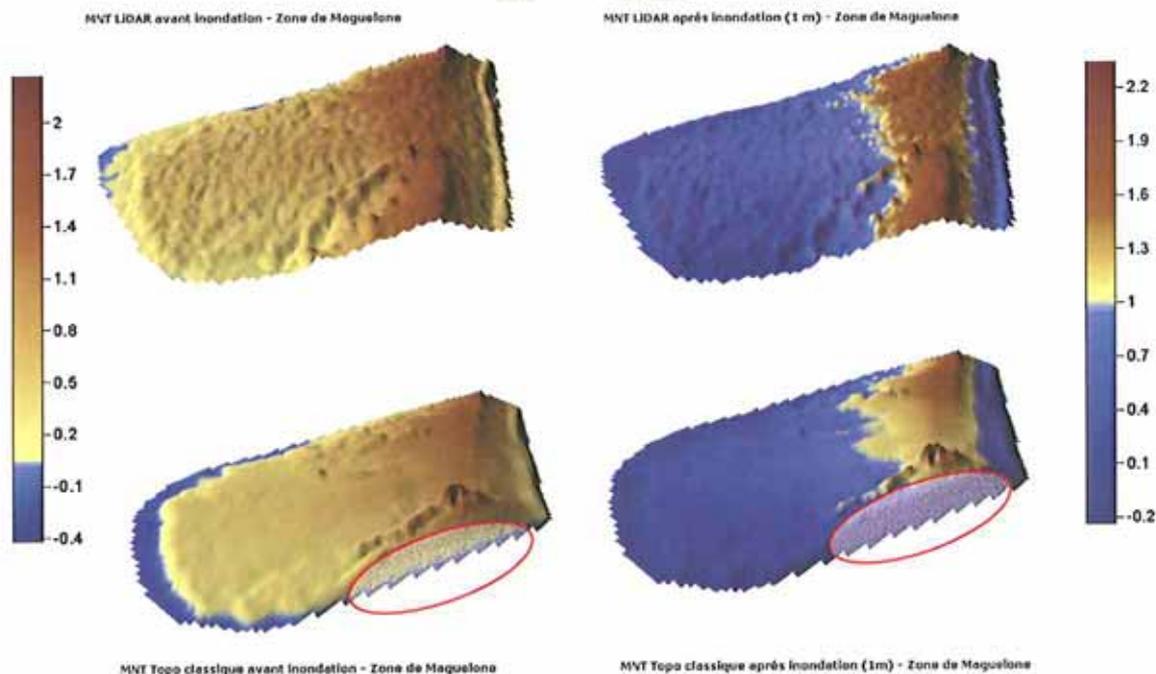
La comparaison des deux techniques peut aussi s'effectuer sur la capacité à contribuer aux aménagements nécessaires du littoral dans le cas de catastrophes naturelles. Par exemple, pour le cas des inondations et par conséquent d'un PPRI (Plan de Prévention des Risques Inondations), qui est un outil de l'Etat destiné à préserver des vies humaines et à réduire les coûts des dommages causés par une inondation, il peut être intéressant de connaître la technique qui peut fournir le maximum d'informations sur la zone à étudier.

En créant des MNT avec le logiciel *Surfer 8*, et en modélisant une inondation due à une crue des eaux sur ces MNT, on peut observer l'évolution de l'immersion du relief dunaire en fonction de la technique de levé topographique utilisée.

Appliquons tout d'abord ce modèle à la zone de Villeneuve-lès-Maguelone, qui est un secteur encerclé par l'étang de Pierre Blanche et la Mer Méditerranée. Par conséquent, une double source d'inondation est possible sur cette zone et il est intéressant d'y appliquer le modèle. On choisit de simuler une montée des eaux de l'ordre de 1m (figure 23).

La simulation montre ainsi qu'il est plus aisé de déterminer, avec précision, la frontière entre la partie immergée et émergée sur le MNT LiDAR. En effet, celui-ci décrit le relief avec beaucoup plus de détails (figure 23, haut) que le MNT topographie classique (figure 23, bas) pour un nombre de points levés équivalents mais répartis différemment (figure 15, bas). Le relief dunaire apparaît moins élevé et moins structuré sur le MNT topographie classique, faisant perdre ainsi de la précision sur les informations morphologiques.

A noter également, que l'artefact (figure 23, zone rouge) présent sur le MNT topographie classique n'a aucune influence sur le résultat énoncé.



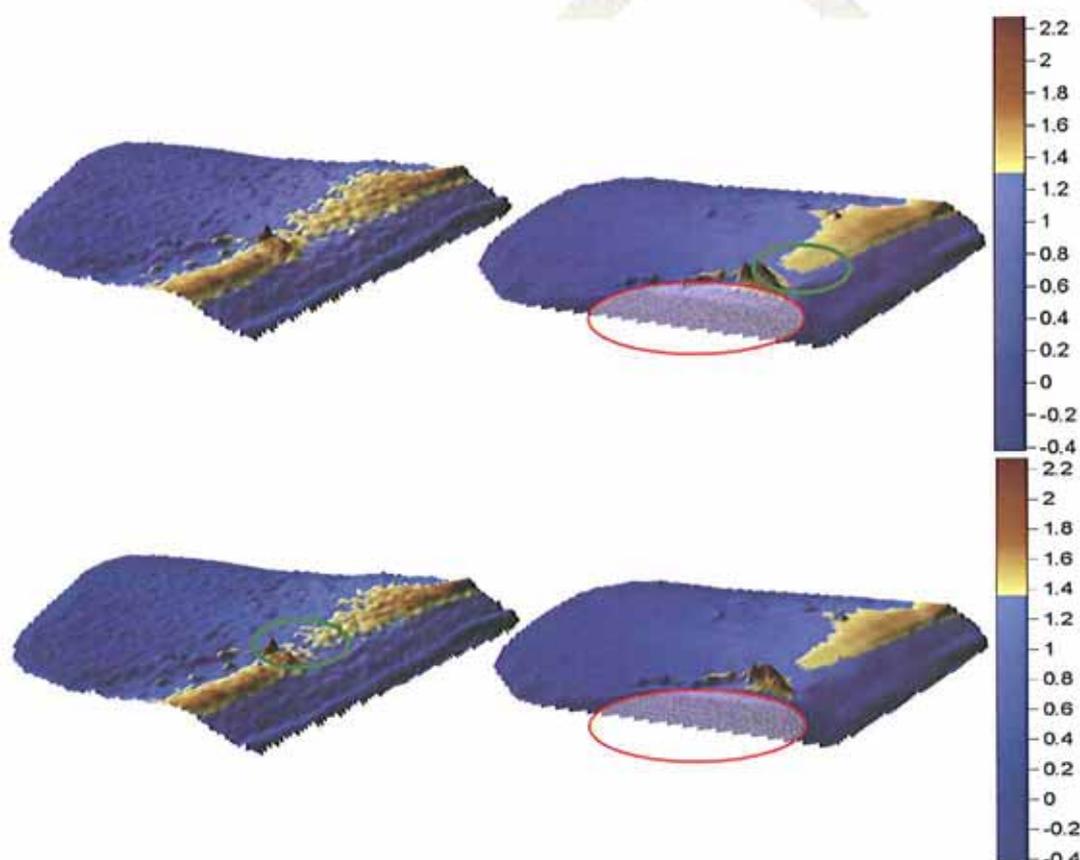
**Figure 23 :** Modèle d'inondation de 1 m (*logiciel Surfer 8*) - MNT de la zone de Villeneuve-lès-Maguelone avant inondation (à gauche) et après inondation (à droite) levé par LiDAR (en haut) et par topographie classique (en bas); zone rouge : artefact de l'interpolation.

Pour confirmer la précision de la technique LiDAR, on cherche ensuite à déterminer un modèle d'inondation limite, c'est-à-dire un modèle qui simule l'élévation du niveau de l'eau à laquelle une situation limite se crée.

Une situation limite peut être représentée par :

- la création d'un passage entre les deux versants d'un cordon dunaire (figure 24), ce qui impliquerait une détérioration de celui-ci.
- Le débordement sur une route (figure 25) ou sur d'autres aménagements du territoire, ce qui conduirait à de graves conséquences économiques.

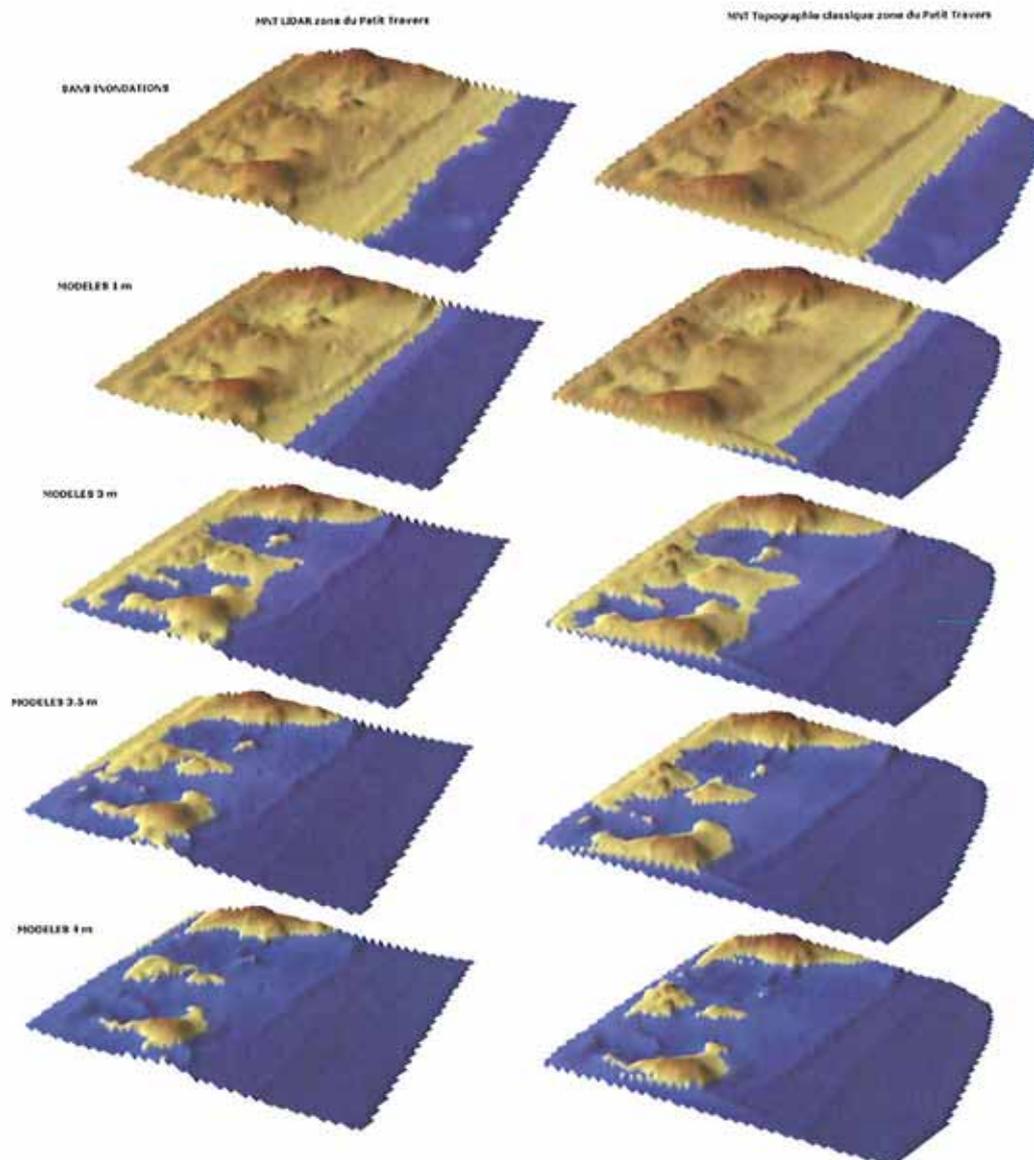
En appliquant le modèle limite sur la plage de Villeneuve-lès-Maguelone (figure 24, il en résulte deux simulations différentes pour les deux techniques de levés. En effet, avec la mesure topographie classique, l'élévation limite se situe à approximativement 1.30 m, tandis qu'elle est de l'ordre de 1.35 m pour la mesure LiDAR. Cet écart qui semble peu significatif, peut être important lors de la mise en place de moyens de protection du littoral, pour établir avec précision l'emplacement adéquat des aménagements. En effet, un écart vertical de l'ordre du centimètre peut représenter un écart beaucoup plus important en planimétrie.



**Figure 24:** Modèle d'inondation de 1.30 m (en haut) et 1.35 m (en bas) (*logiciel Surfer 8*) - MNT de la zone de Villeneuve-lès-Maguelone levé par LiDAR (à gauche) et par topographie classique (à droite); zone rouge : artefact de l'interpolation; zone verte : passage de l'eau.

A présent, présentons les résultats de simulations effectuées sur la zone du Petit travers à Carnon (figure 25). Ce secteur est particulièrement intéressant puisqu'il existe une route en bordure du relief dunaire. Sur le MNT LiDAR, on relève qu'à partir d'une élévation des eaux de l'ordre de 3 m, la route commence à être atteinte par les eaux, et à partir de 3.5 m, une inondation est visible. Par contre, cette information est faussée sur le MNT topographie classique à cause de l'artefact lié au manque de données : il semble que l'eau n'atteint pas la route avec un modèle d'inondation de 3 m.

Ces résultats de simulations de modèles d'inondations, permettent donc de confirmer que la technique LiDAR est plus précise et plus riche en informations. En comparaison aux données de mesures classiques, les données LiDAR seront par conséquent mieux adaptées pour le développement de modèles, permettant de déterminer des aménagements à mettre en place pour parer aux catastrophes naturelles.



**Figure 25 :** Modèle d'inondation de 1 m à 4 m (*logiciel Surfer 8*) - MNT de la zone du Petit Travers à Carnon levé par LiDAR (à gauche) et par topographie classique (à droite)

## IV. Etude des données LiDAR : Analyse

On rappelle que le prestataire LiDAR a fourni les données suivantes :

- Fichiers de semis de points X, Y, Z au format Ascii et en coordonnées Lambert III Sud
- Fichiers de grilles (tailles 2mx2m, 5mx5m et 10mx10m) de points X, Y, Z au format Ascii et en coordonnées Lambert III Sud représentant les différents modèles numériques
- Fichiers au format GeoTIFF de modèles numériques
- Ortho photos de résolutions 1 m et 25 cm

### a. Modèles Numériques de Terrain et d'Elévation

La définition d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) ainsi que celle d'un Modèle Numérique d'Elévation (MNE) est ici la suivante : Ensemble discret de valeurs numériques qui modélise respectivement le relief pour l'un et la surface du terrain naturel et le sursol pour l'autre, d'une zone géographique et permet de le représenter. Par conséquent, le semis de points MNT comprend uniquement les éléments modelant le terrain naturel et le semis de points MNE comprend tous les éléments du terrain.

Le prestataire a fourni au total 207 modèles numériques au format grilles de points réguliers (69 MNT, 69 MNE et 69 MNS), et 15 modèles numériques au format GeoTIFF. Le format de grilles est obtenu par Interpolation avec la méthode de la Triangulation de Delaunay, et ces grilles sont exploitables avec le logiciel *MapInfo* avec lequel nous pouvons les visualiser.

Prenons un exemple de visualisations de grilles MNE et MNT sur la zone n°3, qui correspond au lido de Frontignan-Plage (figure 26).

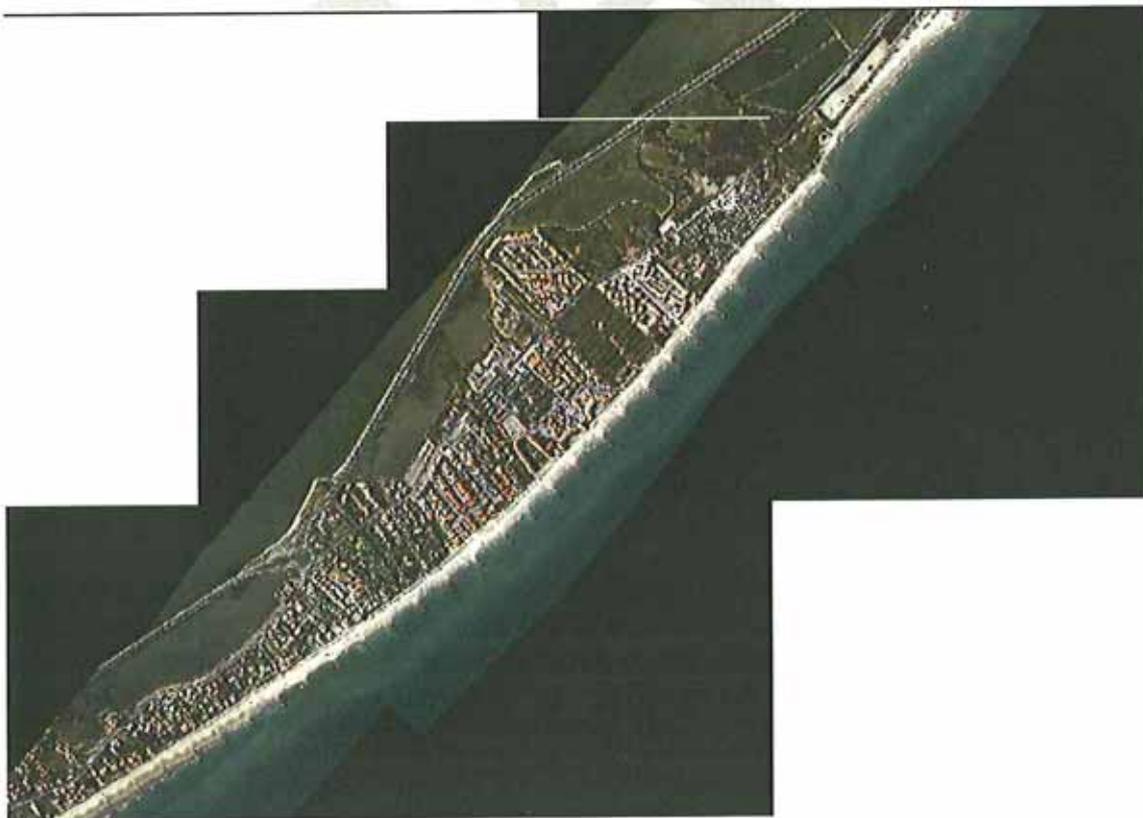


Figure 26 : Orthophoto de la zone n°3 (Frontignan-plage) levée par le LiDAR

Ce secteur de Frontignan-plage est particulièrement intéressant par la diversité de paysage qu'il présente. En effet :

- Le relief sous-marin est composé de hauts fonds rocheux (figure 27) qui se situe entre -6 et -10 m de profondeur.
- Des épis sont disposés tout le long de la côte.
- Des habitations (maisons, immeubles), de la végétation dunaire (basse et haute), une station de lagunage et des axes routiers, cohabitent sur cette zone en bord de mer.
- Une partie de l'Etang d'Ingril borde la station balnéaire.



Figure 27 : Photographie sous-marines du relief rocheux, Eric Dutrieux

Les MNT et MNE au format de grilles 2m, 5m et 10 m de cette zone, sont représentés sur les figures 28 à 30 avec une échelle de couleur pour l'élévation que nous avons déterminée. Notons que pour visualiser avec détails la structure sous-marine, il faut normaliser à 1 la valeur de l'élévation z. Mais, cette normalisation entraîne une exagération sur l'élévation du relief terrestre dont il faut tenir compte pour l'analyse des MNE.

De façon générale, le récif rocheux, la barre externe et les épis sont très bien décrits sur les différents formats de grilles présentés (figures 28 à 30). Par conséquent, un MNT ou MNE de grilles 5mx5m et/ou 10mx10m suffit à donner une description simple et rapide du relief sous-marin.

Un MNE représente tous les éléments du terrain et permet ainsi de déterminer les hauteurs d'habitations, de bâtiments et de la végétation, informations non disponibles avec un MNT. Ces informations de hauteurs, sont d'autant plus précises que la grille du MNE est faible. En effet, par exemple on observe que les bâtiments et la végétation ne sont plus différenciables sur le MNE de grille 10 m (figure 30, haut), alors qu'ils le sont sur le MNE de grille 2 m (figure 28, haut). Ce modèle numérique peut donc être très utile pour des projets de rénovations ou d'aménagements sur le littoral.

Le MNT est utile pour les études géomorphologiques puisqu'il représente le terrain nu, et fourni ainsi directement l'information sur le sol. On peut par exemple observer sans difficultés les affouillements en tête des épis (musoir), la présence de la barre littorale, de la berme et de la dune bordière.

Les MNT et MNE fournis par le prestataire sont par conséquent de très bonne qualité et riches en informations géomorphologiques.

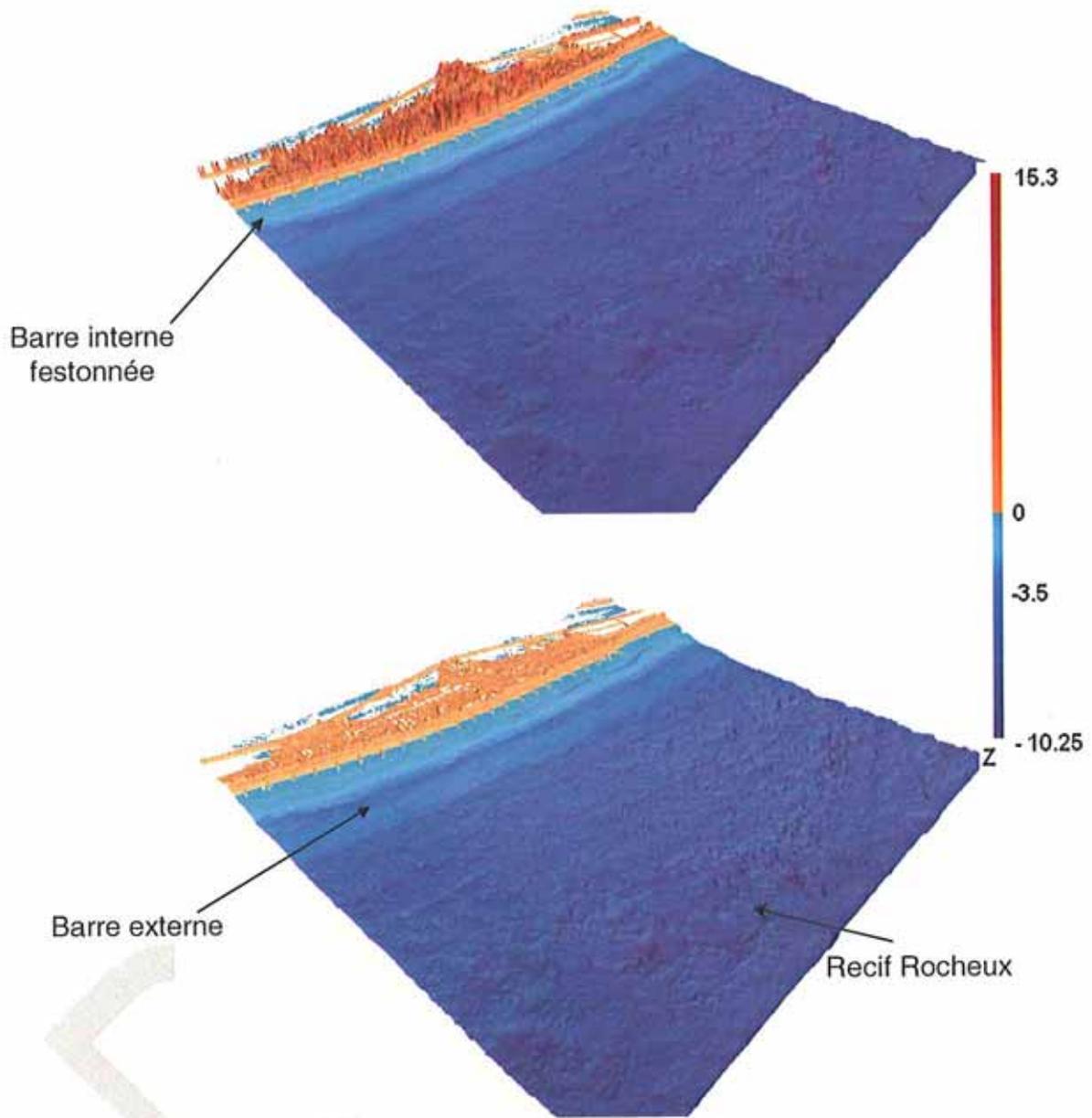


Figure 28 : Vue en 3D (logiciel *MapInfo*) du MNE (en haut) et MNT (en bas) de grilles 2mx2m de la zone n°3.  
Légende : Elévation en mètres

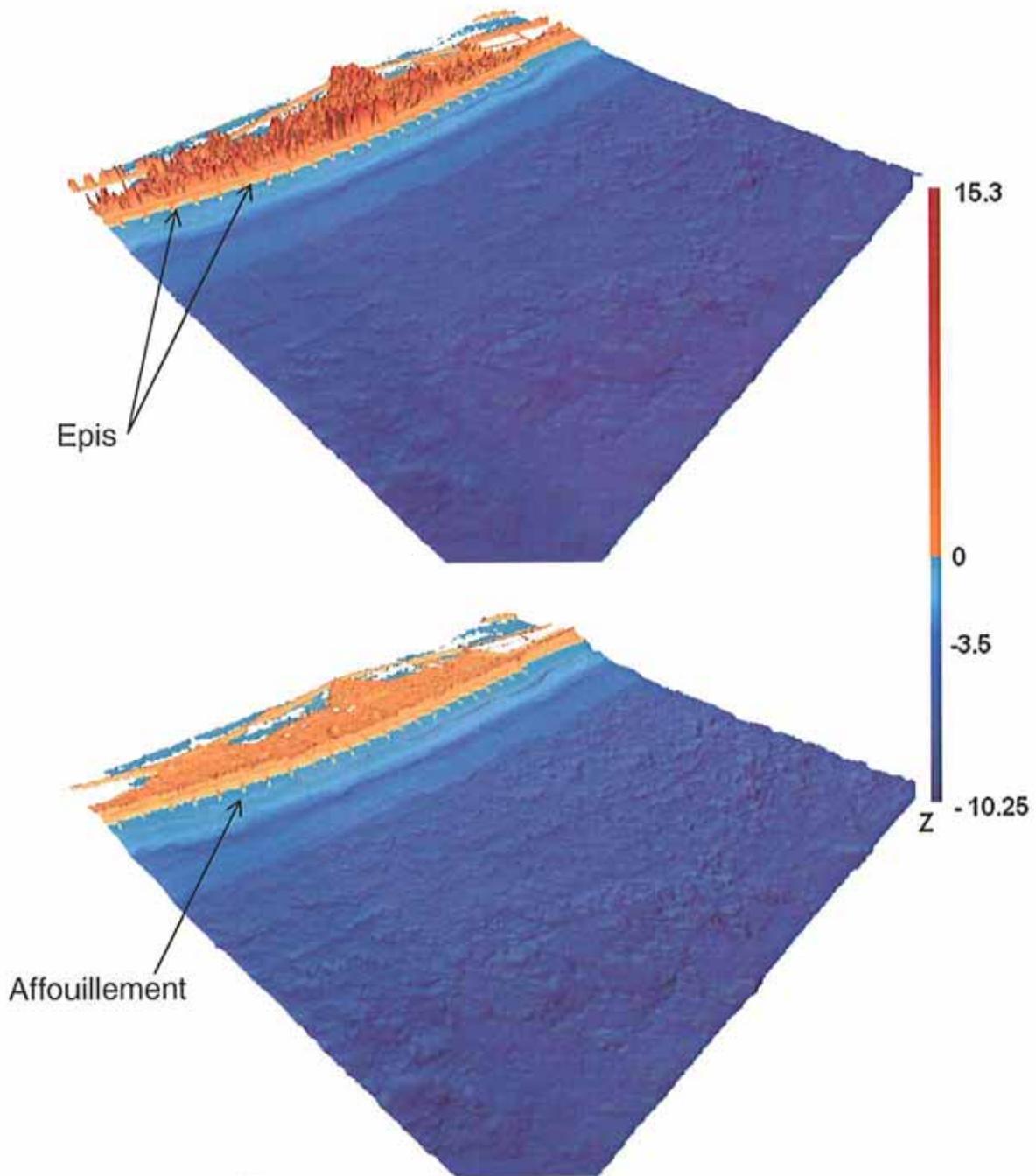


Figure 29 : Vue en 3D (logiciel *MapInfo*) du MNE (en haut) et MNT (en bas) de grilles 5mx5m de la zone n°3.  
Légende : Elévation en mètres

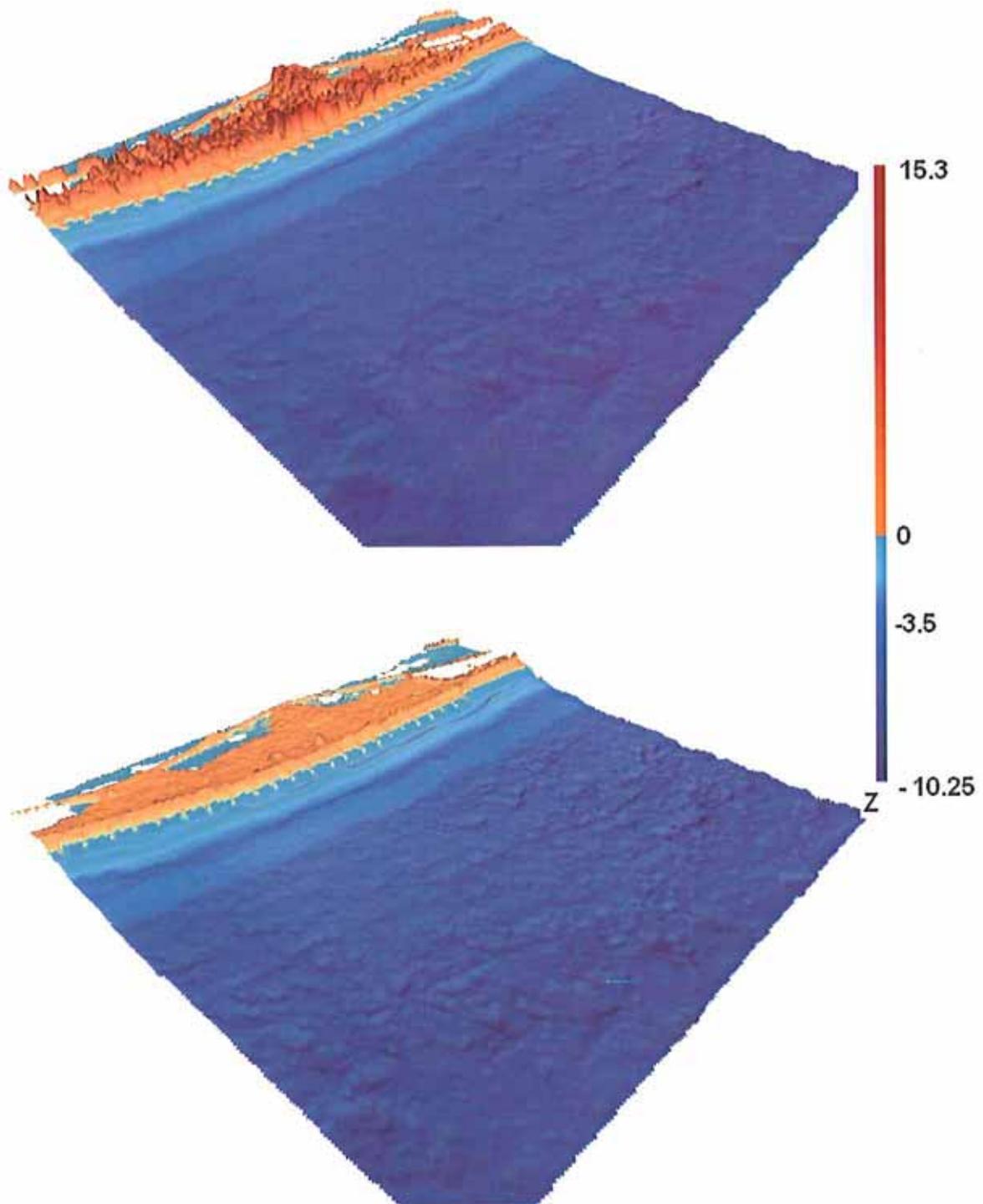


Figure 30 : Vue en 3D (logiciel *MapInfo*) du MNE (en haut) et MNT (en bas) de grilles 10mx10m de la zone n°3.  
Légende : Elévation en mètres

## b. Drapage avec les données LiDAR 2007

Le drapage consiste à l'association d'un MNT (ou MNE) avec une orthophoto. Outre le fait que ce soit un très bon support de communication grand public, et notamment dans les réunions d'informations, c'est aussi un véritable outil d'aide à la décision. En effet cette technique permet une meilleure lecture du paysage. Prenons comme exemple la question sur le choix de l'aménagement par rapport aux bassins piscicoles du CAT à Villeneuve les Maguelone (figures 31 et 32) : on observe la continuité naturelle de la dune bordière et donc la nécessité de reculer les bassins et de les réorganiser.

D'une façon générale, sur les orthophotos drapées, la discrimination des formes du relief terrestres (dunes) et sous marins (barres infra-littorales) est facilitée.



Figure 31 : Représentation n°1 du drapage de la zone de Maguelone (bassins piscicoles du CAT)



Figure 32 : Représentation n°2 du drapage de la zone de Maguelone (bassins piscicoles du CAT)

### c. Comparaison aux données SHOM 1982

En 1982, le SHOM<sup>3</sup> a effectué une campagne de levés topo-bathymétriques avec des méthodes de mesures classiques, sur une zone de 160 km<sup>2</sup> entre Frontignan et Palavas-les-Flots. Le système géodésique utilisé est du WGS84 avec comme référence verticale le zéro hydrographique (approximativement la plus basse mer astronomique). Les précisions horizontale et verticale du système utilisé, sont approximativement de 50 m à 95% et de 30 cm jusqu'à 30 m de profondeur. Au total, le SHOM a levé approximativement 15 000 points sur cette zone.

Nous nous sommes intéressé plus particulièrement à la zone du lido de Villeneuve-lès-Maguelone, où 5000 points ont été levés par le SHOM (figure 33), contre approximativement 3 000 000 points levés avec le LiDAR bathymétrique.

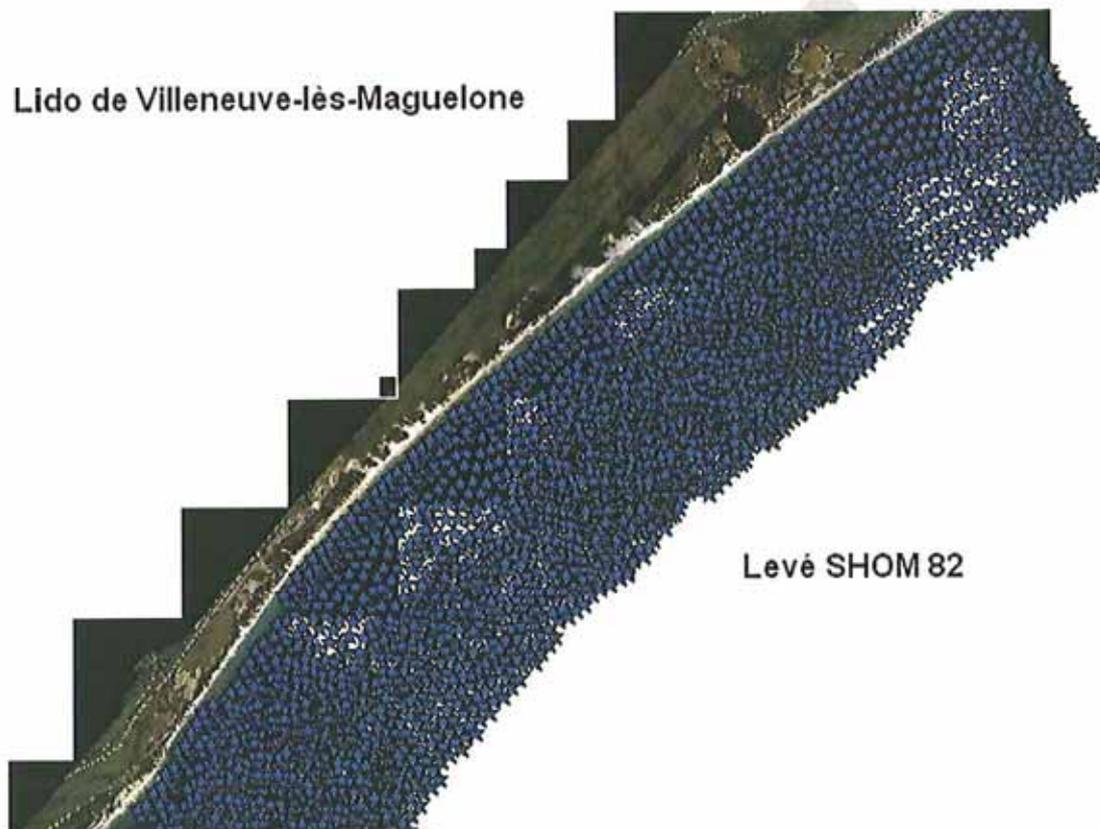


Figure 33 : Semis de points du levé SHOM sur le lido de Villeneuve-lès-Maguelone

Les MNT établis à partir de ces données (figure 34), confirment la précision apportée avec la technique LiDAR sur la reconstitution du relief. En effet, le relief sous-marin est ici correctement décrit sur le MNT LiDAR (figure 34, haut), où la barre littorale est bien mise en évidence et où la zone rocheuse est restituée avec plus de précision.

Sur le MNT du SHOM, la barre interne semble inexistante et la barre externe apparaît peu. De plus la superficie des fonds rocheux semble plus grande sur le MNT SHOM, effet dû à une extrapolation des valeurs des données lors de l'interpolation.

Le facteur principal qui influe sur ces différences est la densité de points levés. En effet, l'interpolation par triangulation pour établir le MNT LiDAR s'effectue à partir de 3 000 000 points, tandis que celle qui crée le MNT du SHOM s'effectue seulement à partir de 5 000 points sur la même surface.

<sup>3</sup> Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

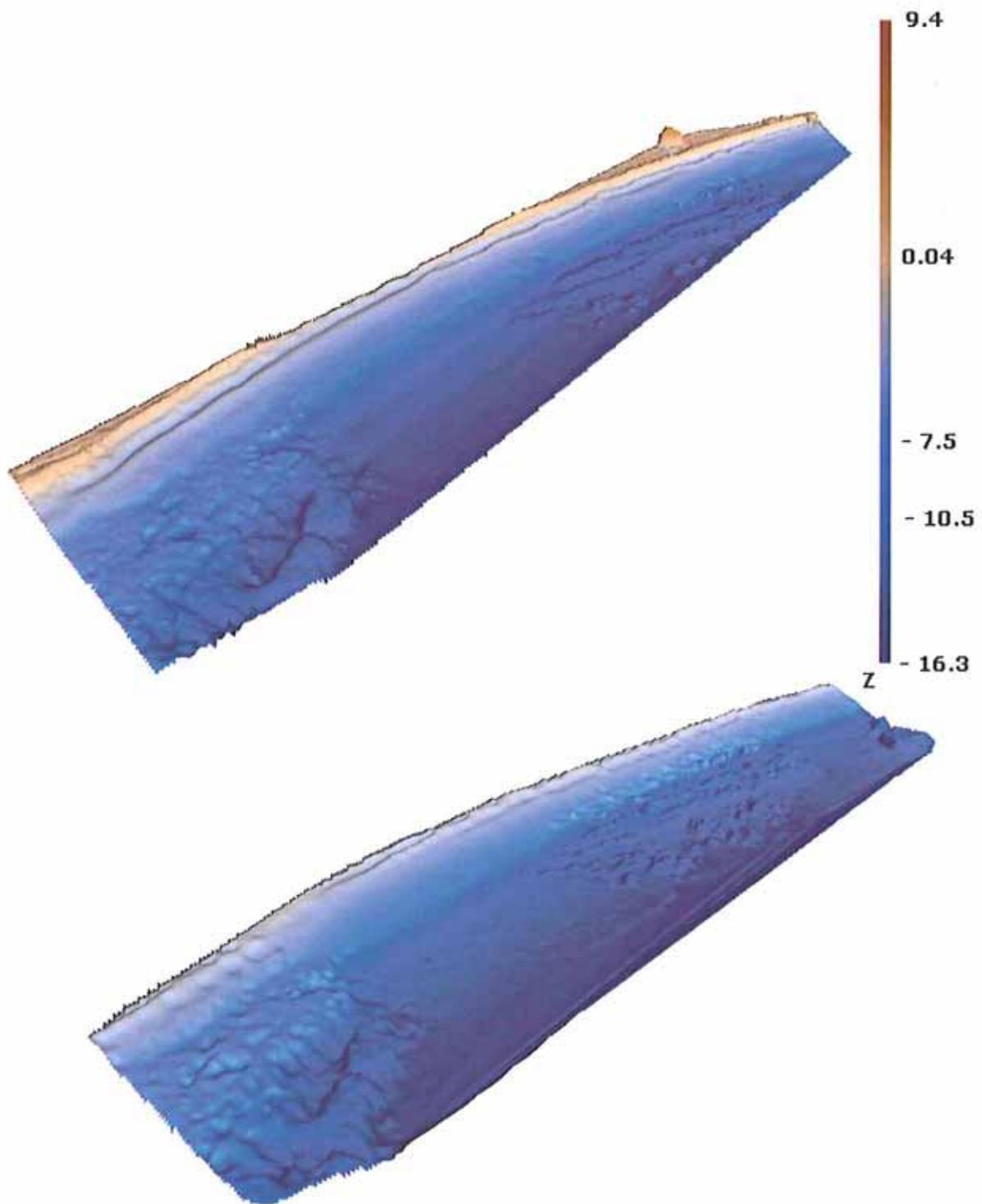


Figure 34 : MNT 3D (logiciel MapInfo) du levé LiDAR 2007 (en haut) et du levé SHOM 1982 (en bas)

## V. Bilan de la campagne LiDAR et perspectives

Le bilan récapitulatif que l'on peut effectuer à l'issue de la phase C du sous projet Optimal (mesure 2.1) du programme BeachMed-e, concernant la campagne de levé topo bathymétrique sur le littoral de la Baie d'Aigues Mortes avec la technique LiDAR bathymétrique conduite par l'EID Méditerranée, est le suivant :

- 47km<sup>2</sup> du littoral de la Baie d'Aigues Mortes couvert par le LiDAR Bathymétrique
- Temps d'acquisition = 8 h 30 min
- Cahier des charges validé
- Jeu de données très important :
  - Semis de points (X, Y, Z, coordonnées LIII Sud) : 7 722 404 points
  - Modèles Numériques de Terrain, d'Élévation et de Surface : 3 catégories

Pour chaque catégorie :

Grilles de 2mx2m, 5mx5m et 10mx10m pour 23 zones : 69 modèles

GeoTIFF pour les 3 secteurs : 15 modèles

Au total :

69 MNT + 69 MNE + 69 MNS = 207 Modèles Numériques au format grilles

5 MNT + 5 MNE + 5 MNS = 15 Modèles Numériques au format GeoTIFF

- Orthophotos : résolution de 25 cm et de 1m
- Validation de la qualité des données
- Meilleur rendement global que les techniques classiques 20 à 30 % moins coûteux
- Meilleure précision sur la donnée (densité, modèle numérique de terrain)
- Diverses utilisations des données LiDAR :
  - Drapage (figures 31 et 32)
  - Modèles d'inondations (figures 23 à 25)
  - Visualisations diverses avec le logiciel *Surfer* (image, relief, contours...)

Par exemple, si on visualise la zone levée par le LiDAR du port de Carnon avec une image en couleur noir et blanc (figure 35) et une image en relief (figure 36) à partir des semis de points nettoyés, différentes informations apparaissent suivant que l'on utilise l'une ou l'autre représentation. La différenciation de la topographie et de la bathymétrie se fait plus correctement sur l'image, tandis que les hauts fonds rocheux, les affouillements, les barres littorales sont mieux décrits sur l'image en relief.

En ce qui concerne la valorisation des données LiDAR plusieurs pistes sont envisagées. La première consiste en l'analyse des données topo-bathymétriques très précises (et fiables) dans le but de repérer les structures sédimentaires émergées et immergées. Le déploiement pluriannuel de la technologie LiDAR sur une même zone permettrait donc de comparer l'évolution de ces structures sédimentaires en fonction de la saison et des années. La deuxième est axée sur l'envahissement de la terre lors de la submersion marine (liée soit aux tempêtes soit au réchauffement climatique). L'analyse des cartes représentant la submersion statique permettrait en effet de fournir un premier bilan de l'impact (en fonction des saisons et des années) de la montée des eaux sur les enjeux économiques et environnementaux directement exposés à ce phénomène. La troisième est l'utilisation de modèles numériques générant les courants en fonction des conditions météorologiques, de la houle, de la submersion et bien évidemment de la bathymétrie. L'analyse des résultats de modélisation aboutirait ainsi à un bilan sur l'effet potentiel des courants sur le transport sédimentaire et la fragilisation des plages. La quatrième est de traiter les données LiDAR de manière à faire de la détermination de forme: par exemple déterminer la présence et la répartition d'un certain type de végétation dunaire ou d'une algue; reconnaître les habitats de certaines espèces ... etc. Enfin la dernière est de réaliser une comparaison entre les images issues de web cam, de satellites et les données LiDAR afin de déterminer quelle est la méthode la plus pertinente en matière de suivi du trait de côte, quelle est la plus facile à déployer en terme de coût et d'énergie.

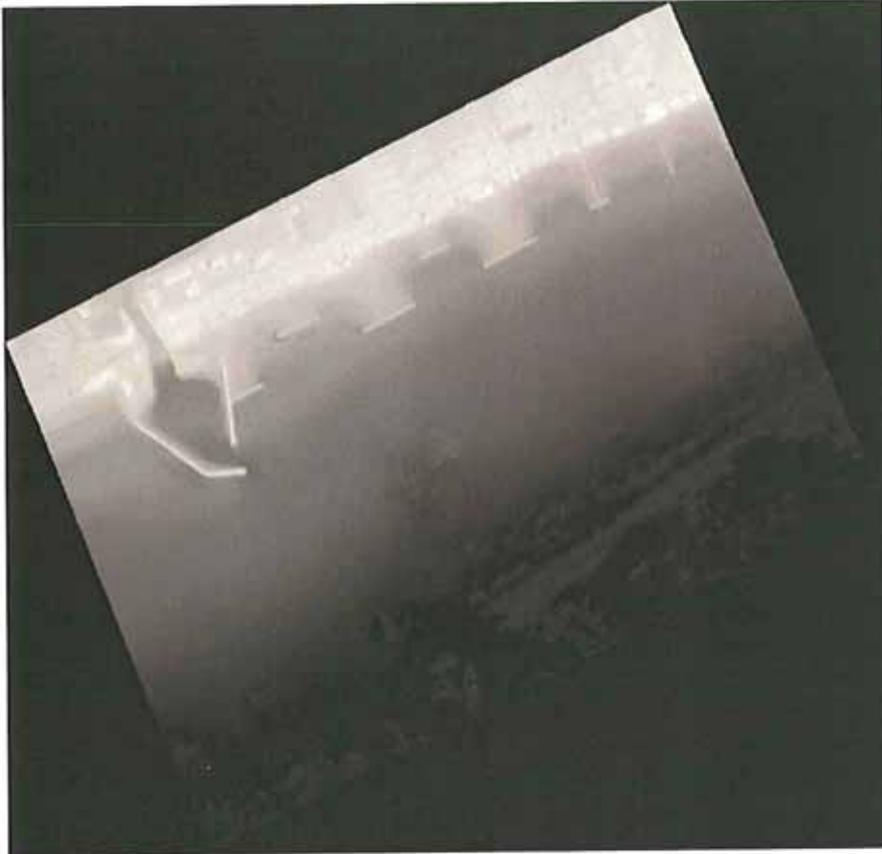


Figure 35 : Image en couleur noir et blanc du MNT de la zone de Carnon (*Image map, Surfer*)

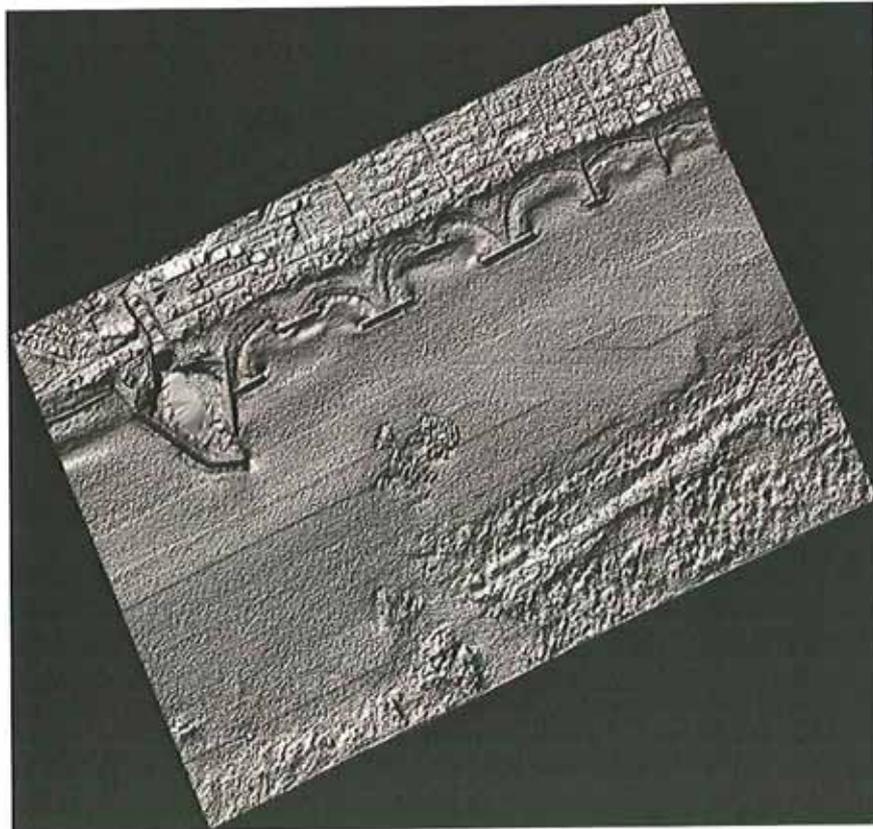


Figure 36 : Image en relief couleur noir et blanc du MNT de la zone de Carnon (*Shaded relief map, Surfer*)

## BIBLIOGRAPHIE

Atelier Représentation et Gestion de L'Information Spatialisée (REGLIS) LiDAR, Montpellier 2006.

Balouin Y., Heurtefeux H., "Utilisation de la technologie du LiDAR bathymétrique pour le suivi du littoral: retours d'expériences sur le littoral méditerranéen", REGLIS 2006 Workshop, Avril 2007.

Henrik K, "Hawk Eye II—a repeatability study of an airborne bathymetry LiDAR system", Airborne Hydrography AB.

Heurtefeux H., Bujan N., "Première approche sur l'utilisation de la technologie LiDAR topographique et bathymétrique", Rapport Phase A projet BeachMED, Septembre 2006.

Lesaignoux A, Bailly J.S., Allouis T., Feurer D., "Epaisseur d'eau minimale mesurable sur fronts d'ondes LiDAR simulés", REGLIS 2006 Workshop, Avril 2007.

Lesaignoux A, "Small water depth detection from green LiDAR simulated full waveforms: application to gravel-bed river bathymetry", PSIP'2007 Workshop Physics in Signal and Image Processing, Jan-Feb 2007.

Lesaignoux A., "Modélisation et simulations de trains d'ondes LiDAR "vert": application à la détection de faibles lames d'eau en rivière", Master's Thesis, UMII, 2006.

Populus J., Laurentin A., Rollet C., Vasquez M., Guillaumont B., Bonnot-Courtois C., "Surveying coastal zone topography with airborne remote sensing for benthos mapping", EARSel eProceedings 3, Janvier 2004.

Populus J., Barreau G., Fazilleau J., Kedreux M., L'Yavanc J., "Assessment of the LiDAR topographic technique over a coastal area", CoastGIS 2001.

Populus J., "Les modèles numériques de terrain en zone intertidale", REBENT, Décembre 2003.

Puissant A., Weber C., "Les images à très haute résolution, une source d'information géographique en milieu urbain ? Etat des lieux et perspectives", l'espace géographique, p.345-356, 2003.

Stephen E., "3-D GIS; Virtual London and beyond an exploration of the 3-D GIS experience involved in the creation of Virtual London", Cybergeo : revue européenne de géographie, n° 359, octobre 2006.

Swales A., Geostatistical estimation of short-term changes in beach morphology and sand budget, Journal of Coastal Research, Vol.18 (2):338-351, 2002.

## ANNEXE A

### Autorisations de vols



ANKUM  
2007-03-19  
BETALD

ministère  
des Transports  
de l'Équipement  
du Tourisme  
et de la Mer

WERMLANDSFLYG AB  
Bergebyvägen 49B

SE-685 93 TORSBY

SUEDE



direction générale  
de l'Aviation civile

direction  
l'Aviation civile  
Sud-Est

département Surveillance  
et Régulation Transport  
aérien, Aviation générale  
et Sécurité

division transport aérien  
et Aviation générale

Aix-en-Provence, le 16 MARS 2007

**objet :** utilisation d'aéronefs d'un pays étranger en travail aérien

**référence :** 05053 SACSE/STARTA

**affaire suivie par :** Jean-Michel PICHON

Madame, Monsieur,

Votre société WERMLANDSFLYG AB déclare utiliser un aéronef de type Twin Commander 690B immatriculé sur le registre norvégien sous les marques LN-FAH pour la période du 1<sup>er</sup> avril au 31 mai 2007 inclus pour effectuer les opérations suivantes :

- relevés laser.

J'atteste que votre dossier de déclaration est recevable pour opérer sur l'ensemble du territoire de la DAC Sud-est.

En cas de renouvellement de ces opérations au delà de la période ci-dessus, je vous demande de me fournir un bilan des opérations effectuées pendant l'année écoulée (modèle en annexe 2 ci-joint).

Ce courrier ne dispense pas de solliciter et d'obtenir auprès de l'autorité compétente, toute autorisation ou dérogation nécessaire et exigée par les règlements applicables pour l'activité effectuée (règles de survol, etc...).

De plus, vous devrez vous conformer aux conditions techniques et administratives indiquées dans l'annexe 1. En cas de non respect de celles-ci, des sanctions pénales peuvent être appliquées.

Je vous prie d'agréer, Madame, Monsieur, l'expression de ma considération distinguée.

**Dominique Bonnet**  
Chef du département Surveillance et Régulation  
Transport aérien, Aviation générale et Sécurité

1, rue Vincent Auriol  
13017 Aix-en-Provence cedex 1  
téléphone : 04 42 33 11 50  
télécopie : 04 42 33 79 58  
mél : jean-michel.pichon  
@aviation-civile.gouv.fr

P.-J. : annexes 1 et 2, courtesy translation,  
Copie : DEL LAR, DEL PRO, DEL COR, DEL CAZ.  
☎ : Wermlandsflyg 04-07.



PREFECTURE DE LA REGION  
LANGUEDOC-ROUSSILLON  
PREFECTURE DE L'HERAULT

DIRECTION DE LA REGLEMENTATION  
ET DES LIBERTES PUBLIQUES

Montpellier, le

Bureau de la réglementation générale  
et des élections

AR/AR

Le Préfet de la région Languedoc-Roussillon  
Préfet de l'Hérault

VU le code de l'aviation civile ;

VU l'arrêté interministériel du 10 octobre 1957 relatif aux survols des agglomérations et des rassemblements de personnes ou d'animaux ;

VU l'arrêté interministériel du 24 juillet 1991 relatif modifié aux conditions d'utilisation des aéronefs civils en aviation générale ;

VU l'instruction du 4 octobre 2006 relative aux conditions de délivrance des dérogations aux hauteurs minimales de vol pour des opérations de travail aérien effectuées sur le territoire français selon les règles de vol à vue par des opérateurs français ou étrangers ;

VU la demande présentée par la société "WERMLANDSFLYG AB3", dont le siège social est à Bergebyvagen 49B, SE-685 93 (Suède), en vue de procéder à des prises de vues aériennes par avion bi-moteur entre Frontignan et La Grande-Motte ; ensemble, le dossier constitué conformément aux dispositions de l'arrêté interministériel du 24 juillet 1991 modifié susvisé ;

VU les avis émis par le délégué régional à l'aviation civile en Languedoc-Roussillon et le directeur interrégional de la police aux frontières de la zone sud à Marseille ;

SUR la proposition du secrétaire général de la préfecture de l'Hérault ;

**- ARRETE -**

**Article 1er** : La société "WERMLANDSFLYG AB3", dont le siège social est à Bergebyvagen 49B, SE-685 93 (Suède), est autorisée à effectuer, entre le 19 avril et le 8 mai 2007, un survol à basse altitude par avion bi-moteur de Frontignan à La Grande-Motte, à l'altitude 1000 Ft (300 mètres).

**Article 2** : L'autorisation accordée à l'article premier est subordonnée au respect par l'exploitant et le personnel de conduite de l'aéronef des dispositions des arrêtés interministériels du 10 octobre 1957 et du 24 juillet 1991 modifié susvisés et des prescriptions édictées ci-après :

La société susvisée devra envoyer un e-mail de confirmation la veille du vol avant 16 heures locales au service de l'aviation civile. Le jour de l'opération, elle devra contacter par téléphone au n° 04.67.13.11.25 le chef de tour de l'aéroport de Montpellier-Méditerranée.

. En application des règles de l'air, le survol des zones urbaines, des agglomérations ou des rassemblements de personnes en plein air, doit être réalisé à une altitude telle que l'atterrissage, en dehors de ceux-ci soit toujours possible, même en cas d'arrêt du moyen de propulsion, sans danger pour les personnes ou les biens à la surface. A cet effet, le pilote devra tenir compte notamment de la longueur du survol ainsi que de la finesse de l'aéronef utilisé.

. Les vols doivent respecter le statut des espaces aériens traversés.

. Les vols en dérogation ne sont autorisés qu'au dessus des zones d'opération et leur proximité immédiate pour les manœuvres liées aux arrivées et aux sorties de zone. Ils doivent être exécutés de jour dans des conditions de visibilité et de distance par rapport aux nuages égales ou supérieures aux valeurs suivantes :

Visibilité en vol : 5 Km  
Distance par rapport aux nuages : 1 500 m horizontalement,  
300 m verticalement ;

Les services de la circulation aérienne de l'aéroport de Montpellier-Méditerranée (Chef de quart : 04.67.13.11.25), ainsi que ceux du directeur interrégional de la police aux frontières de la zone sud à Montpellier (tél.: 04.67.20.06.96, fax : 04.67.20.12.58) seront enfin avisés de chaque vol ou groupe de vols.

Les documents du pilote et de l'avion devront être conformes à la réglementation en vigueur et en cours de validité.

L'exploitant devra se conformer aux dispositions relatives à l'usage aérien des appareils photographiques, cinématographiques, de télévision et d'enregistrement de données de toute nature (Code de l'aviation civile, troisième partie, articles D 133-10 à D 133-14).

**Article 3** : En cas de non respect des prescriptions mentionnées à l'article 2, la présente autorisation de survol sera considérée comme caduque.

**Article 4 :** La société susvisée s'engage à répondre de tous dommages qui pourraient être causés tant aux personnes, qu'aux propriétés des tiers et aux récoltes avoisinantes, conformément au contrat d'assurance de responsabilité civile couvrant les risques de l'opération, annexé à la demande susvisée.

**Article 5 :** En aucun cas, la responsabilité de l'Etat ne pourra être engagée et aucun recours ne pourra être exercé contre lui ou mettre en cause sa responsabilité administrative.

**Article 6 :** En cas d'incident ou d'accident, les responsables aviseront dans les meilleurs délais, d'une part le délégué régional à l'aviation civile en Languedoc-Roussillon ou son représentant (tél.04.67.13.11.00) et d'autre part, le directeur interrégional de la police aux frontières de la zone sud à Marseille, (tél.04.91.39.98.00).

**Article 7 :** Le secrétaire général de la préfecture de l'Hérault, le délégué régional à l'aviation civile en Languedoc-Roussillon et le directeur interrégional de la police aux frontières de la zone sud à Marseille, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté.

Montpellier, le 19 AVR. 2007

Le Préfet,  
Pour le Préfet,  
Et par délégation,  
Le Directeur

Michel VACHEYROUX

## ANNEXE B

### Rapport de vol du système LiDAR Hawkeye II

#### Première sortie:

- Date : 24/04/2007
- Session A
- Heure de début - Heure de fin : 9h45-13h10
- Zones levées : Aires A et C
- Conditions de l'eau :
  - Température de l'eau : 18°C
  - Turbidité (se référer à BeachMed-e Mesure 2.1, Rapport Phase B)
  - Mer calme
- Conditions météo :
  - Température de l'air : 21-23°C
  - Vitesse du vent : 10 km/h
  - Direction du vent : Sud-Sud Est
- Caractéristiques de l'avion :
  - Vitesse d'acquisition : 150 knots - 280 km/h
  - Altitude : 300 m
  - Fauchée : 115 m
  - Angle de visée : 20°
  - Densité de sondage : approx. 2 m
  - Nombre de lignes de vol : 28
  - Nombre de lignes croisées : 4

#### Deuxième sortie:

- Date : 24/04/2007
- Session B
- Heure de début - Heure de fin : 15h00-18h30
- Zones levées : Aire B et un tiers des aires A et C
- Conditions de l'eau :
  - Température de l'eau : 17°C
  - Turbidité (se référer à BeachMed-e Mesure 2.1, Rapport Phase B)
  - Mer calme
- Conditions météo :
  - Température de l'air : 21-23°C
  - Vitesse du vent : 10 km/h
  - Direction du vent : Sud-Sud Est
  - légèrement couvert
- Caractéristiques de l'avion :
  - Vitesse d'acquisition : 150 knots - 280 km/h
  - Altitude: 300 m
  - Fauchée : 115 m
  - Angle de visée : 20°
  - Densité de sondage : Approx. 2 m
  - Nombre de lignes de vol : 36
  - Nombre de lignes croisées : 5

### Troisième sortie:

- Date : 25/04/07
- Session A
- Heure de début - Heure de fin : 17h30-18h00
- Zones levées : vol sur les zones non couvertes totalement
- Conditions de l'eau :
  - Température de l'eau : 17°C
  - Turbidité (se référer à BeachMed-e Mesure 2.1, Rapport Phase B)
  - Mer calme
  
- Conditions météo :
  - Température de l'air : 21-23°C
  - Vitesse du vent : 10 km/h
  - Direction du vent : Sud-Sud Est
  
- Caractéristiques de l'avion :
  - Vitesse d'acquisition : 150 knots - 280 km/h
  - Altitude: 300 m
  - Fauchée : 115 m
  - Angle de visée : 20°
  - Densité de sondage: Approx. 2 m
  - Nombre de lignes de vol : 4
  - Nombre de lignes croisées : 0

## ANNEXE C

Zone	Données filtrées			Données brutes		
	Nombre de points	Z minimal en m	Z maximal en m	Nombre de points	Z minimal en m	Z maximal en m
1	413 504	-20.76	-1.1	1 564 371	-20.98	1.4
2	405 227	-14.58	4.24	2 614 260	-14.68	13.14
3	654 652	-10.28	5.15	6 723 739	-15.05	194.07
4	433 638	-19.21	6.17	1 822 676	-14.65	11.32
5	563 690	-15.48	4.95	1 995 463	-15.58	9.07
6	540 749	-14.58	3.66	2 333 085	-14.87	7.02
7	375 094	-14.97	2.98	2 051 139	-14.99	6.9
8	360 436	-14.12	3.94	2 450 676	-14.59	8.35
9	383 658	-13.7	11.24	5 532 491	-14.78	32.3
10	172 363	-10.94	3.92	3 094 575	-14.95	7.52
11	292 155	-15.14	3.94	4 901 446	-14.97	24.04
12	299 571	-11.4	5.58	4 820 696	-14.77	47.43
13	306 147	-11.16	3.8	3 450 533	-14.87	20.56
14	282 061	-12.07	5.18	4 112 213	-14.99	36.23
15	164 463	-12.5	5.74	3 258 061	-14.64	28.27
16	225 612	-12.23	8.63	6 756 864	-14.61	19.82
17	234 054	-12.22	9.11	5 318 715	-14.55	17.16
18	369 946	-12.11	8.65	4 627 382	-12.89	121.97
19	356 877	-12.17	6.3	3 112 951	-12.27	271.65
20	330 815	-11.34	6.15	3 450 778	-12.87	39.97
21	189 373	-10.88	8	3 793 605	-12.55	42.09
22	198 122	-7.94	4.93	3 791 760	-14.38	23.62
23	170 197	-6.67	7.66	4 050 446	-13.5	51.76
<b>Total</b>	<b>7 722 404</b>	<b>-12.8891</b>	<b>5.6009</b>	<b>85 627 925</b>	<b>-14.651</b>	<b>45.0287</b>

