



Utilisation du lidar bathymétrique dans le golfe du Lion

**Cyril VANROYE¹, Catherine GARCIA¹,
Laurent MARION¹, Yves PASTOL²**

1. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement du Languedoc-Roussillon, Service Risques Naturels et Technologiques, Unité Dynamique Sédimentaire et Aléas Côtiers, 520 allée Henri II de Montmorency, 34064 Montpellier, CS 69007, Cedex 02, France.
*cyril.vanroye@developpement-durable.gouv.fr ;
catherine.garcia@developpement-durable.gouv.fr ;
laurent.marion@developpement-durable.gouv.fr*
2. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, Etablissement Principal, 13 rue du Chatellier, BP 30316, 29603 Brest Cedex, France.
yves.pastol@shom.fr

Résumé :

La connaissance de la morphologie du littoral et de son évolution est à la base de la gestion des risques littoraux que sont l'érosion et la submersion marine.

Le littoral du Languedoc-Roussillon est soumis à une importante dynamique sédimentaire et fait l'objet d'actions de suivis réguliers. Ainsi, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et Logement du Languedoc-Roussillon a réalisé une campagne d'acquisition de données en utilisant le LIDAR bathymétrique sur toute la côte sableuse du Golfe du Lion. La superficie couverte représente 300 km² et a permis d'atteindre l'isobathe -20 m. La résolution du levé est de 5 m par 5 m. Le système employé repose sur le capteur LADS Mk II développé en Australie et mis en oeuvre par la société FUGRO LADS. L'acquisition de données aura nécessité 44,6 heures de vol. L'opération illustre les rendements obtenus grâce à cette technologie ainsi que les coûts unitaires d'intervention. La visualisation des résultats obtenus à l'échelle des 190 km de la côte sableuse du Golfe du Lion permettent :

- d'avoir accès aux formes présentes sur le littoral, de rendre compte de la diversité des situations et de permettre une relecture de la géomorphologie du littoral ;
- de visualiser les perturbations associées aux interventions humaines (ouvrages de protection, ouvrages portuaires, ...) et d'établir un diagnostic sectoriel de l'érosion.

Cette opération ouvre aussi des perspectives uniques dans le domaine de la modélisation et plus globalement de la recherche côtière.

Mots-clés :

LIDAR bathymétrique – Hydrographie – Risques côtiers

1. Introduction – le suivi du littoral en Languedoc-Roussillon

La façade littorale du Languedoc-Roussillon, d'un linéaire d'environ 220 km, concerne 30 communes sur quatre départements. Elle présente deux caractéristiques majeures et uniques sur le territoire métropolitain : la côte est très majoritairement sableuse avec près de 190 km de plages et est constituée de terrains de très faible altimétrie, ponctués de complexes lagunaires salés très étendus. L'occupation humaine y est récente et s'est développée dans le cadre d'une vaste opération d'aménagement dans les années 60 (RACINE, 1980). La dynamique sédimentaire y est très forte et les phénomènes d'érosion très accrus. Aussi, le suivi de l'évolution du littoral a très tôt constitué un sujet de préoccupation pour les gestionnaires du littoral.

Pendant près de vingt ans, le Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon (S.M.N.L.R.) a réalisé un suivi régulier du littoral.

Ce suivi consistait en la réalisation de profils topographiques et bathymétriques le long du littoral. Près de 200 profils ont ainsi été réalisés. Ils ont fait l'objet au début des années 2000 d'une numérisation qui assure aujourd'hui la pérennité de ces données et constituent des informations uniques sur l'évolution du littoral (PONS & SABATIER, 2003). Ces levés sont en outre associés à des levés bathymétriques réalisés sur certains secteurs en fonction des besoins et complétés par le suivi du trait de côte au moyen de G.P.S. différentiel.

Ces profils ont été utilisés dans la plupart des études générales de protection réalisées et dans les études scientifiques menées ces dernières années. Cependant, l'évaluation de cette méthodologie de suivi a mis en évidence certains écueils notamment : des décalages temporels importants entre interventions topographiques et bathymétriques (ou l'absence totale de l'un ou de l'autre dans certains cas), des variations dans la localisation des profils et l'aspect partiel et très ponctuel de ces suivis.

Aussi, compte tenu des enjeux régionaux associés à l'évolution du littoral, il s'est avéré nécessaire de rechercher une solution technique permettant de remédier à ces inconvénients. Le recours à la technologie LIDAR a été expérimenté par la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement du Languedoc-Roussillon (DREAL LR) en partenariat avec l'Entente Interdépartementale pour la Démoustication Méditerranée (EID Méditerranée) et le Conseil Général de l'Hérault dans le cadre du projet BEACHMED-e (EID MEDITERRANEE, 2008). Les résultats concluants obtenus ont permis de réaliser un levé régional en 2009, objet de la présente communication.

2. La campagne 2009

2.1 Organisation de l'opération

La maîtrise d'ouvrage du levé régional 2009 a été réalisée par la DREAL LR avec l'assistance technique et l'expertise, dans le domaine de l'hydrographie, du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Après consultation le groupement d'entreprises EUROSENSE/FUGRO LADS Corporation a été retenu. Le système employé pour la réalisation du levé bathymétrique est le LADS Mk II installé dans un avion Dash 8-202. A la surface de l'eau, l'empreinte du laser a une surface de 2,5 m².

2.2 Consistance du levé

Le levé a porté sur la côte sableuse comprise entre la plage du Racou à Argelès-sur-Mer et le débouché du Petit-Rhône (figure 1). En mer, la profondeur -20 m a été atteinte dans la majorité des cas. A terre, le levé a couvert l'arrière du cordon dunaire. Au total, la superficie couverte est de 300 km². La collecte des données a commencé le lundi 24 août 2009 et s'est terminée le lundi 7 septembre 2009. La durée des vols planifiée était de 7 heures. Un total de 9 vols pour une durée globale de travail aérien de 44,6 heures a été nécessaire. Les hauteurs de travail sont comprises entre 1200 et 2200 pieds. La vitesse utilisée est 175 noeuds. La fréquence du laser est de 900 hertz pour une résolution du levé de 5m x 5m et une largeur de fauchée de 240 m. Pour ce levé, l'espace entre les lignes de vol a été de 220 m permettant ainsi un recouvrement de 20 m entre lignes. Des lignes de vol transversales ont été réalisées tous les 5000 m. Le nombre de points finaux est de 25 millions.

2.3 Contrôle de la qualité

Trois zones de contrôle, dont la bathymétrie est connue ont fait l'objet d'un survol systématique à chaque vol (au début et à la fin du vol). La prévalidation des mesures a été réalisée sur site avec une équipe de FUGRO LADS Corp., complétée par un traitement postérieur à Adélaïde Aust'alie). L'intégralité des données a été contrôlée par le SHOM.

Deux stations GPS locales ont été installées dans le cadre du chantier. Les données de positionnement dynamique sont enregistrées en même temps dans l'avion et sur ces stations de référence. Les positions temps réel de l'avion et celles issues du post-traitement KDGPS sont comparées afin de vérifier le positionnement et appliquées à chaque points de mesure. Ces deux stations étaient suffisantes pour positionner l'avion et permettaient de s'affranchir d'une éventuelle défaillance externe.

La marée a fait l'objet d'un suivi spécifique au moyen de l'installation de deux observatoires temporaires (Port-la-Nouvelle et Port-Camargue) et de la fourniture des données de marée du SHOM (Port-Vendres, Sète et Saintes-Maries de la Mer). Des

Thème 3 – Instrumentation, mesures, imagerie et télédétection

images géoréférencées ont été prises chaque seconde. Préalablement au vol, une campagne de mesures de turbidité au disque de Secchi a été réalisée pour vérifier la faisabilité de l'utilisation du laser. On sait que cette technique est essentiellement limitée par ce paramètre et que l'on atteint au maximum trois fois la distance de Secchi. Ces investigations ont permis de déterminer les conditions d'intervention les plus pénalisantes et de mettre en évidence une zone de turbidité importante dans le Golfe d'Aigues-Mortes. A noter, que ces mesures ne sont pas utilisées dans le post-traitement des données.

3. L'évaluation des résultats

La précision du capteur LADS Mk II (FUGRO, 2010) est :

- en XY : 2,7 m à 95% ou 1,1 m à 68% hors l'impact de la surface de la mer
- en Z : 0,25 m à 95% ou 0,13 m à 68% hors prise en compte de la marée et de l'impact de la turbidité.

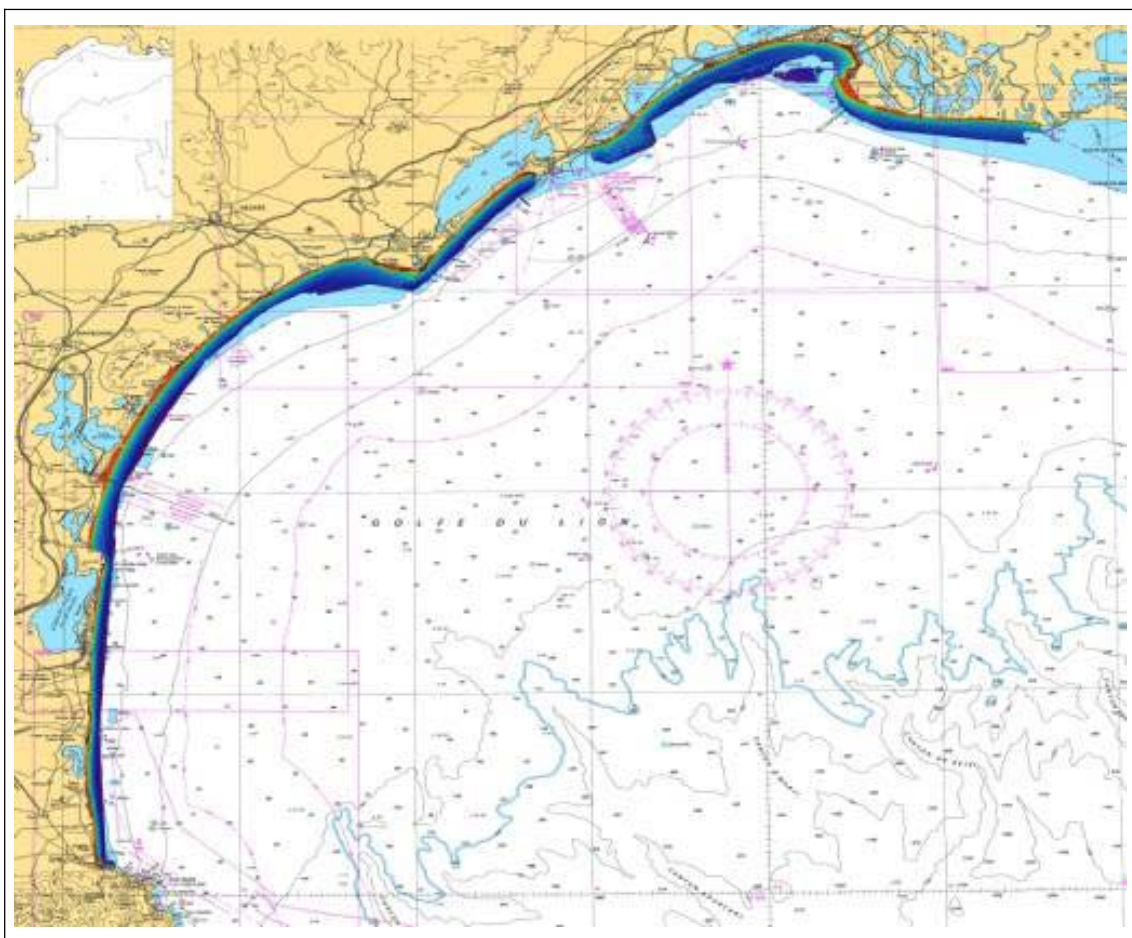


Figure 1. Le levé régional 2009.

3.1 Contrôles réalisés par le prestataire

Après traitement des données et correction de la marée, le prestataire a comparé les résultats obtenus dans les zones de contrôles et dans les zones de recouvrement des lignes. Il s'agit du premier moyen de contrôle et d'évaluation qui permet de s'assurer que le système d'acquisition a correctement fonctionné et que la correction de marée a été correctement appliquée. Les comparaisons permettent aussi d'évaluer la précision du levé. Dans les zones de contrôles, 12 comparaisons (correspondant aux 9 vols réalisés) ont pu être effectuées sur un total de 28453 points de sondage. La moyenne des différences entre les profondeurs moyennes obtenues est de 0,01 m avec un écart-type de 0,09 m. Le traitement des croisements entre lignes a porté sur l'analyse de 835831 points de sondage. A l'intersection des lignes considérées, la moyenne des différences de profondeur moyenne est de -0,01 m avec un écart-type de 0,08 m. Ces résultats confirment le fonctionnement du système ainsi que la qualité de la prise en compte de la marée.

3.2 Comparaisons avec des levés réalisés par techniques classiques

Sur une plage sableuse de ce même littoral, un levé topographique et bathymétrique par technique classique était aussi en cours de réalisation en septembre 2009. Les profils topographiques perpendiculaires au trait de côte (au nombre de 126) sont espacés de 20 m et ont tous été effectués entre le 11 et le 28 septembre 2009. Ils sont réalisés par DGPS avec une station fixe. L'acquisition se fait point par point avec un déclenchement tous les 3 m. Les profils bathymétriques (au nombre de 85 dont 42 possèdent une jonction avec les profils topographiques) sont espacés de 30m et ont été réalisés entre le 18 et le 25 septembre 2009. Ils sont réalisés par bateau équipé d'un DGPS associé à un sondeur. Une correction aux mesures bathymétriques est apportée pour tenir compte de la température et de la salinité de l'eau (utilisation de la formule de Mackenzie).

La comparaison a été effectuée suivant deux méthodes.

- 1) Sur la base des jeux de données LIDAR et techniques classiques, deux Modèles Numériques de Terrain (M.N.T.) ont été générés à l'aide du logiciel ENGAGE3D. La comparaison a été dressée sur la base de 10 transects. Les écarts d'altitude constatés sont compris entre -0,30 m et +0,60 m. La donnée bathymétrique LIDAR est systématiquement inférieure à celle du sondeur. La donnée topographique LIDAR est systématiquement supérieure à celle du DGPS. Les plus grands écarts sont concentrés dans la zone des petits fonds (entre -1 m et 0 m).
- 2) A l'aide du logiciel CrossCheck de la suite professionnelle Fledermaus (figure 2), une analyse statistique a été réalisée par comparaison du MNT obtenu avec les données LIDAR (grilles de 5 m x 5 m) avec le semis de points issu du levé par technique traditionnelle. La comparaison avec les données du DGPS (3064 points) donne une différence moyenne en altitude de 30 cm avec 95% de l'échantillon entre les valeurs -0,95 et -0,04. Pour les données issues du sondeur monofaisceau, la

différence moyenne (échantillon de 90500 points) est inférieure à 5 cm et 95% de l'échantillon est entre les valeurs -0,32 m et 0,52 m.

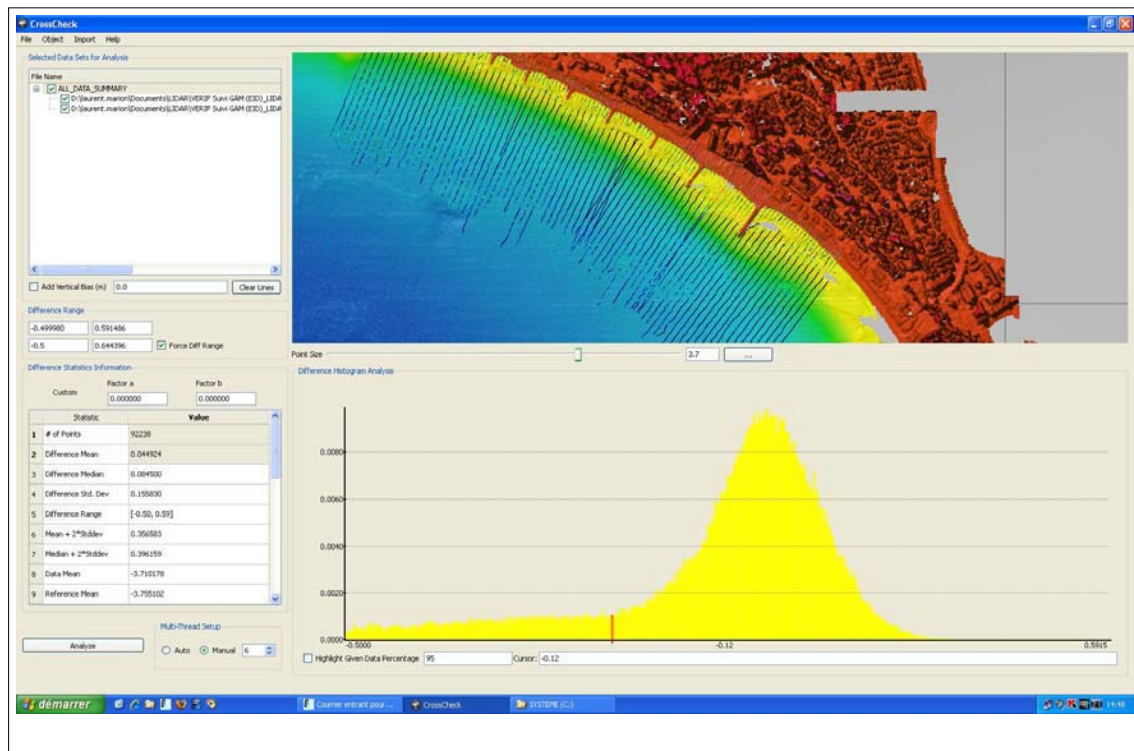


Figure 2. Comparaison des résultats à l'aide du logiciel Flerdermaus .

3.3 Discussion des résultats

Les levés n'ayant pas été réalisés exactement au même moment l'interprétation des différences dans la zone levée au DGPS n'est pas aisée mais confirment les performances du capteur LADS qui sont meilleures en bathymétrie qu'en topographie lorsque l'acquisition est réalisée en mode bathymétrique.

En outre, la différence moyenne en altitude est conforme à celle obtenue avec d'autres capteurs laser (GUENTHER *et al.*, 2000) et conformes aux spécifications de l'Office Hydrographique International : précisions en altitude de 25 cm.

On peut noter de fortes variations dans l'évaluation des résultats en fonction des capteurs utilisés (SHOALS, Hawk Eye, LADS), des contextes d'intervention et des méthodologies d'évaluation. A titre d'illustration, l'utilisation du Lidar en Corse a permis d'obtenir à partir de 1200 points de comparaison un écart moyen inférieur à 5 cm pour 70% des points (BALOUIN & HEURTEFEUX, 2007). Récemment, le levé réalisé dans le cadre de BEACHMED-e avec le capteur mixte Hawk Eye II (EID MEDITERRANEE, 2008) a mis en évidence une augmentation des écarts au-delà de l'isobathe 4,5 m qui n'est pas corroborée sur le présent levé.

Le développement d'un protocole d'évaluation standardisé pourrait permettre de rendre comparables les différentes opérations de levé par lidar bathymétrique.

4. Conclusions et perspectives

Le recours à la technologie du LIDAR bathymétrique constitue une avancée significative. Les éléments qui précèdent attestent de la robustesse et de la précision du dispositif.

En termes de coûts d'intervention, le financement total, intégralement pris en charge par la DREAL LR est de 765000 €. Le rapport au km² de cette campagne se situe aux alentours de 2500 €/km². Ces coûts sont à comparer avec les prix récemment obtenus dans le cadre d'un appel d'offres pour l'acquisition de données au moyen de techniques classiques : pour une surface à couvrir de 20 km², la moyenne des 9 prix les plus bas se situe à 2200 €/km² et dans une fourchette de prix de 1500 €/km² à 2600 €/km². Il convient aussi de mettre en regard les vitesses d'acquisition, l'acquisition des données sur les 303 km² auront nécessité 44,6 heures de vol. Les rendements obtenus sont tout à fait adaptés au suivi régulier du littoral à l'échelle régionale.

Les applications sont multiples et répondent aux besoins de connaissance notamment en ingénierie côtière et en géomorphologie littorale (ROBIN *et al.*, 2010) mais aussi à ceux des gestionnaires et aménageurs au travers de la constitution d'un référentiel continu terre-mer dans le cadre du projet LITTO3D® porté par l'IGN et le SHOM auquel contribuera ce levé régional.

5. Références bibliographiques

- BALOUIN Y., HEURTEFEUX H. (2007). *Utilisation de la technologie du Lidar bathymétrique pour le suivi du littoral : retours d'expériences sur le littoral Méditerranéen*. Revue française de photogrammétrie et de télédétection.
- EID MEDITERRANEE (2008). *Un suivi innovant du Golfe d'Aigues-Mortes par la technologie LIDAR*. Rapports BEACHMED-e/OPTIMAL, Disponible en ligne sur :
URL <http://www.beachmed.it/>
- FUGRO - Fugro Lads Corporation- (2010). *Report of Survey*.
- GUENTHER G.C., CUNNINGHAM A.G., LAROCQUE P.E., REID D.J. (2000). *Meeting the accuracy challenge in airborne Lidar bathymetry*. Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop Lidar, Dresden. June 16 – 17, 27 p.
- PONS F., SABATIER F. (2003). *Analyse et interprétation des profils bathymétriques du SMNLR*. CETE Méditerranée et CEREGE pour le Service Maritime et Navigation du Languedoc Roussillon.
- RACINE P. (1980). *Mission impossible? L'aménagement touristique du littoral du Languedoc-Roussillon*. Editions Midi Libre, Montpellier.

Thème 3 – Instrumentation, mesures, imagerie et télédétection

ROBIN N., CERTAIN R., VANROYE C., BARUSSEAU J.-P., BOUCHETTE F. (2010). *Typologie des barres d'avant-côte du Golfe du Lion et impacts des ouvrages côtiers : apport de la technologie LIDAR*. XI^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Les Sables d'Olonne, pp 549-556. doi:10.5150/jngcgc.2010.064-R