
Campagne de mesures pour l'étude de l'hydrodynamique côtière au voisinage de Port-La Nouvelle.

Waeles B.¹, Ouriqua J.², Le Dissez A.³, Walther R.³, Claverie G.², Schvartz T.², Palud C.², Davignon J.², Sourisseau H.²

¹ *Consultant en Génie Côtier, 6 rue V. Heriot ZA Les Minimés 17000 La Rochelle, benoit.waeles@gmail.com*

² *CREOCEAN, Zone Technocean Rue Charles Tellier 17000 La Rochelle*

³ *ARTELLIA, 6 rue de Lorraine 38130 Echirrolles*

RÉSUMÉ. Dans le cadre du projet d'extension du port de Port-la-Nouvelle, une campagne de mesures hydrodynamiques d'envergure a été réalisée afin de mieux appréhender les impacts hydro-sédimentaires des ouvrages projetés. Un ensemble de 6 courantomètres Doppler (ADCP) a été déployé pendant une durée de 6 mois afin de caractériser les schémas de circulation des masses d'eau sur un secteur élargi : en mer, depuis le large (profondeurs de 40 m), où la circulation générale du Golfe du Lion domine, jusqu'aux petits fonds (<5 m) où les vagues incidentes peuvent générer une dérive littorale marquée. Les échanges entre la mer et la lagune de Bages-Sigean ont aussi été quantifiés : un des ADCP a été placé dans le grau de la Vieille Nouvelle, au sein duquel le port actuel se situe, et des capteurs de pression ont permis de mesurer les pentes de niveau d'eau entre la lagune et la mer. Des conditions océano-météorologiques variées ont été enregistrées, aussi bien pour des régimes de Tramontane que pour des régimes d'Est. Une tempête exceptionnelle, associée à de forts vents d'Est et des vagues dont les hauteurs correspondent à une tempête de période de retour décennale, a pu être mesurée. L'ensemble des mesures a permis de caler et valider une modélisation hydrodynamique vagues/courants du site.

ABSTRACT. In the context of the extension project of the Port-La-Nouvelle harbour a major campaign of hydrodynamic measurements has been conducted to better understand the hydro-sedimentary impacts of the future structures. Six acoustic Doppler current profilers were deployed during six months to measure waves and currents and characterize the circulation patterns of the water masses of the area: from the offshore (depth of 40m) where the general circulation of the Gulf of Lion predominates until the shallow depths (<5meters) where the incoming waves may generate a significant longshore drift. The water exchanges between the sea and the Bages-Sigean inlet have been measured with the current profiler located in the Vieille Nouvelle grau, where the current harbour is settled, and with pressure sensors to measure the water levels slopes between the inlet and the sea. Various metocean conditions have been recorded: both Tramontane and eastern winds. An exceptional storm was measured characterized by strong eastern winds and waves heights with a ten-year return period. All these data were used to calibrate and validate a wave and current model of the area.

MOTS-CLÉS : Golfe du Lion, projet d'extension portuaire, hydrodynamique côtière, mesures, modélisation, tempête décennale.
KEY WORDS: Gulf of Lion, harbour extension project, coastal hydrodynamics, measurements, numerical modelling, decennial storm.

1. Introduction

Situé dans la partie ouest du Golfe du Lion, sur un littoral sableux à l'Est de Cap Leucate, Port-la-Nouvelle est aujourd'hui le 3e port français de la côte méditerranéenne. Pour répondre aux attentes de futurs opérateurs et moderniser les infrastructures actuelles, la Région Languedoc-Roussillon, propriétaire du port, étudie le projet de son agrandissement. Le projet d'extension du port de Port-La Nouvelle prévoit la création d'un nouvel avant-port au Nord de la passe d'entrée actuelle, impliquant l'aménagement de digues s'avancant de près de 1000 m dans le domaine maritime par rapport aux digues actuelles.

Dans le cadre des études d'impact hydro-sédimentaire du projet, une modélisation numérique des configurations portuaires actuelle et future a été confiée à ARTELIA, couplée à une campagne de mesures d'envergure menée par CREOCEAN. Après une présentation des objectifs des mesures des conditions hydrodynamiques (courants, niveaux et vagues) du site d'étude, le présent article décrit les principales caractéristiques de la campagne de mesures. Les données sont analysées de manière statistique sur la totalité de la durée de la campagne (6 mois), ce qui fournit un premier aperçu des principaux schémas de circulation des masses d'eau et des conditions de vagues incidentes. Une analyse plus détaillée concerne l'évènement du 05/06 mars 2013 : il s'agit d'une tempête exceptionnelle qui a levé des vagues de période de retour décennale et induit de très forts courants le long du littoral.

2. Objectifs et principes de la campagne de mesures

L'avancée des futures digues est prévue par des fonds de près de 15 mètres, soit au-delà des profondeurs de contribution significative des vagues à la courantométrie. D'autre part, la configuration de la côte est telle que la circulation des masses d'eau induite par l'action du vent dans le Golfe du Lion est en mesure de contribuer aux courants dans les petits fonds. Ces spécificités relatives aux conditions de site et à l'ampleur du projet requièrent une appréhension globale des phénomènes pour une juste caractérisation des conditions hydrodynamiques et hydro-sédimentaires de l'état initial du site et la quantification des modifications induites par les futurs aménagements.

La campagne de mesure des conditions hydrodynamiques (courants, agitation et niveaux) a donc été réalisée à une échelle spatiale adaptée, préalablement à la mise en place d'une modélisation couplée vagues/courants (Le Dissez et al., 2015) de type processus capable de reproduire les principaux phénomènes observés.

Afin d'apprécier les contributions respectives des vagues et des circulations méso-échelles à la dynamique locale autour du projet, 5 ADCP (RDI) ont été déployés dans le domaine maritime durant six mois - de fin février 2013 à début septembre 2013. Ces six mois de mesures ont permis d'enregistrer une large variété d'événements météo-océanographiques et de caractériser l'ensemble des forçages hydrodynamiques sur la zone d'étude. Les principaux paramètres mesurés étaient les variations de l'élévation de la surface libre, la vitesse et la direction des courants à différentes profondeurs de la colonne d'eau et les mesures des spectres de vagues directionnels. Un ADCP a également été mis en place dans le grau de la Vielle-Nouvelle, ainsi que des capteurs de pression dans l'avant-port et la lagune de Bages-Sigean, pour caractériser les échanges entre la lagune et la mer.

3. Description de la campagne de mesures

3.1. Localisation des instruments de mesure

Les 5 ADCP, posés au fond, ont été répartis de la manière suivante :

- 1 au large, par des fonds de -40m,
- 2 à des profondeurs intermédiaires (-15m), de part et d'autre du port
- 2 dans les petits fonds (-5m), au droit des précédents
- 1 dans le canal du grau de Port-la-Nouvelle.

Aux instruments déployés s'ajoutent les instruments déjà en place comme la bouée flottante instrumentée mise en place par TOTAL, et la bouée de mesure de houle mise en place par le CETMEF. La bouée TOTAL se situe par 25m de fond à proximité immédiate de la zone de projet et mesure les conditions de courants et de vagues ainsi que les paramètres météorologiques (vent, pluie, pression, et température). La bouée CANDHIS (Leucate) a été mise en place en décembre 2006 par le CETMEF dans le cadre du projet CANDHIS au droit du cap Leucate par 40m de fond et a mesuré pendant l'ensemble de la durée de la campagne.

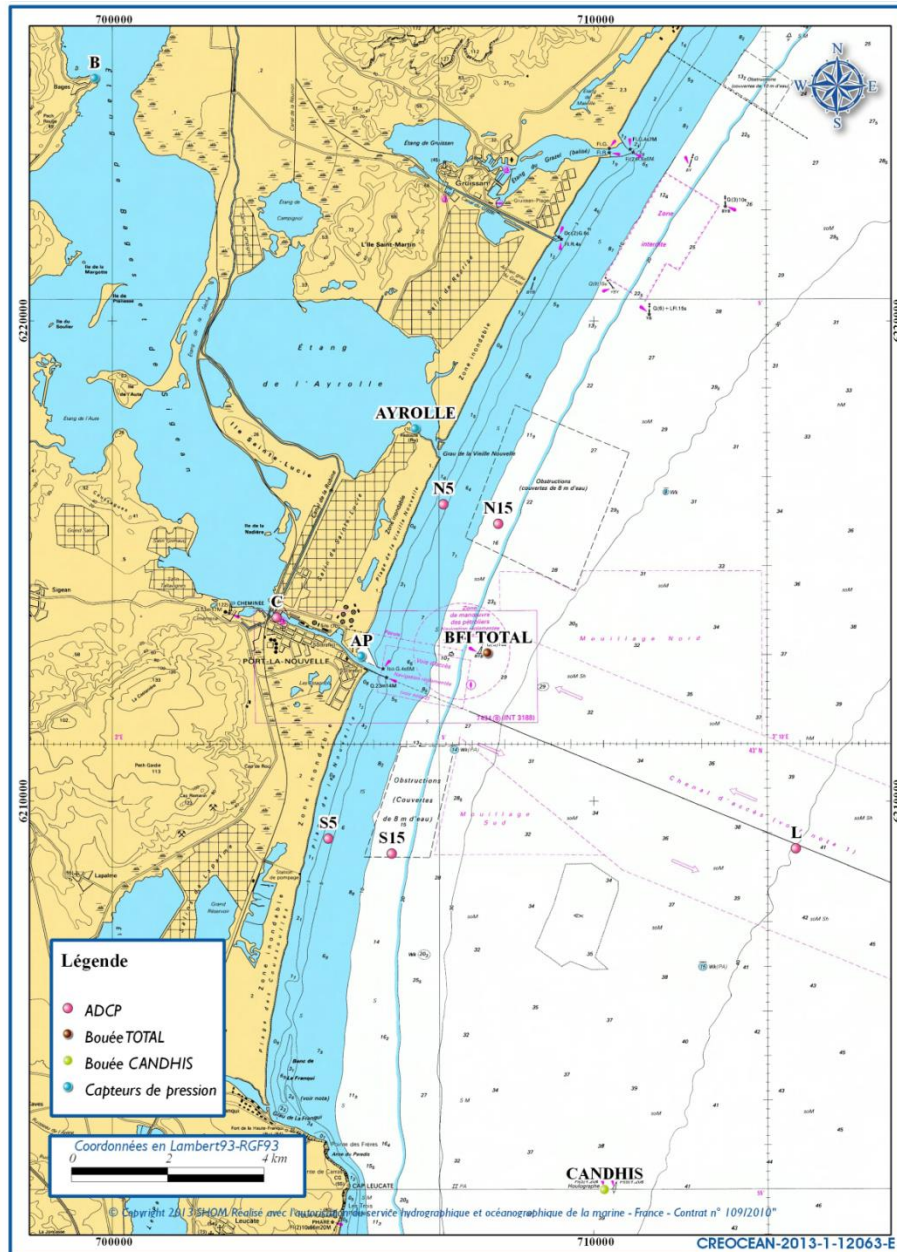


Figure 1. Zone d'étude et localisation des instruments de mesures

3.2. Mesures de niveaux

Pour les mesures de niveaux d'eau, trois capteurs de pression SP2T de marque NKE ont été utilisés (www.nke-instrumentation.fr). Leur précision est de 3 cm et leur résolution de 0.3 cm pour une profondeur maximale d'utilisation de 30m. Ils ont été placés au Nord de la lagune de Bages-Sigean, dans l'étang de l'Ayrolle et dans l'avant-port afin de caractériser les échanges entre la mer et les lagunes (cf. Figure 1). Les capteurs ont été fixés à une vis à sable dont la longueur est suffisante pour s'affranchir des mouvements du fond. Les capteurs de Bages-Sigean et de l'avant-port ont été placés le 19 février 2013 tandis que le capteur de l'Ayrolle a été placé un peu plus tard durant la campagne (le 04/04/2013). Lors de leurs mises en place, un système DGPS a été utilisé pour le référencement vertical des niveaux mesurés. Les données de niveau sont déduites de la mesure de pression après soustraction de la contribution de la pression atmosphérique (données issues du modèle haute résolution Arôme de Meteo-France).

3.3. Mesures de courants et de vagues

Les mesures de courant et de houle ont été réalisées à l'aide d'instruments de type ADCP RDI Workhorse Sentinel 600kHz ou 1200kHz positionnés au fond. Les 1200kHz ont été utilisés pour les petits fonds inférieurs à 10m et le 600kHz pour les fonds supérieurs à 10m.

L'ADCP C a été placé dans le canal afin de mesurer les échanges entre la mer et la lagune, les ADCP N5 et S5 placés par 4/5m de fond ont permis de mesurer les courants de dérive littorale de part et d'autre de la zone de projet. Les ADCP N15 et S15 placés par 15m de fond ont permis quant à eux de mesurer le rôle des courants généraux et des vents locaux vis-à-vis de la circulation des masses d'eau à proximité de la zone de projet. L'ADCP L, placé par 40m de fond, a servi de référence pour les courants généraux. Il est situé loin du trait de côte pour s'affranchir d'éventuelles recirculations locales, les mesures réalisées permettent donc de s'affranchir de la contribution des vagues et constituent une donnée de référence pour caractériser la circulation méso-échelle générale.

Les ADCP situés en mer doivent être fixés solidement au fond afin de ne pas être endommagés ou emportés par les conditions hydrodynamiques ou les chaluts. Dans cette optique, des systèmes de fixation de type bloc béton ont été conçus spécifiquement pour cette campagne de mesure. L'ADCP du Canal est quant à lui fixé sur un support tripode métallique plus classique (cf. photos suivantes).

Le détail des spécifications techniques et de la paramétrisation des ADCP sont fournis dans le rapport de mission CREOCEAN [CRE 14].



Figure 2. Supports des ADCPs (à gauche : tripode, à droite : blocs béton CREOCEAN)

Le traitement des données relatives aux vagues a été réalisé à l'aide des logiciels RDI. Le choix de la méthode de traitement dépend des caractéristiques du site et dans le cas des données acquises à Port-La-Nouvelle, la méthode de traitement appliquée est basée sur les mesures de vitesses orbitales. Pour les données de courants comme pour les données de vagues, les différents paramètres de contrôle-qualité sont très satisfaisants sur l'ensemble de la durée de la campagne.

4. Analyse des conditions hydrodynamiques mesurées

4.1. Statistiques sur les six mois de mesure

4.1.1. Données de vagues

Les données de houles récoltées pendant ces six mois de mesures montrent des houles majoritairement de direction Est/Sud-Est qui sont réfractées par les fonds à mesure que l'on se rapproche de la côte. Des hauteurs significatives d'environ 7m sont atteintes au large (ADCP L) lors de la tempête exceptionnelle du 05/06 mars 2013 mais les hauteurs significatives (H_s) restent généralement inférieures à 3 m lors du reste de la campagne de mesure (soit 99% des valeurs mesurées). Lors des vents de Tramontane, les valeurs de H_s mesurées en L sont supérieures à celles mesurées aux autres ADCP, ce qui est dû à un fetch plus important depuis la côte. Les ADCPS N15 et S15 présentent une agitation intermédiaire entre l'ADCP L et les ADCP N5 et S5 lors des événements énergétiques, pour lesquels les processus de déferlement et de réfraction sont effectifs au-delà des petits fonds. Les hauteurs significatives supérieures à 1m mesurées par l'ADCP L pendant 6 mois ont été comparées aux mesures de la bouée CANDHIS sur 8 ans (cf. figure 4). Les houles plus faibles (<1m), qui peuvent être générées depuis la côte en condition de Tramontane, n'ont pas été comparées car elles sont susceptibles d'avoir été filtrées lors du post-traitement (période de pic minimale de 2.5s pour l'ADCP L, les ADCP ne permettant pas de mesurer les très courtes périodes dès que les fonds deviennent importants, contre 1s pour la bouée CANDHIS) ou d'avoir potentiellement été masquées par des reliquats de houles de Sud-Est plus énergétiques. Si dans l'ensemble, les valeurs de l'ADCP L sont cohérentes avec les statistiques de la bouée, les six mois de mesures sont toutefois sensiblement plus énergétiques que la moyenne de la bouée Leucate avec environ 15% des hauteurs significatives entre 1 et 1.5m contre 10% pour la bouée Leucate. On constate

également des hauteurs significatives plus importantes dans les classes 5 – 7m dues à la tempête du 05/06 mars 2013. La bouée CANDHIS a mesuré 6m de hauteur significative pour cette même tempête.

Les roses de houles et les séries temporelles des paramètres spectraux sont fournis ci-après pour l'ensemble de la durée de la campagne.

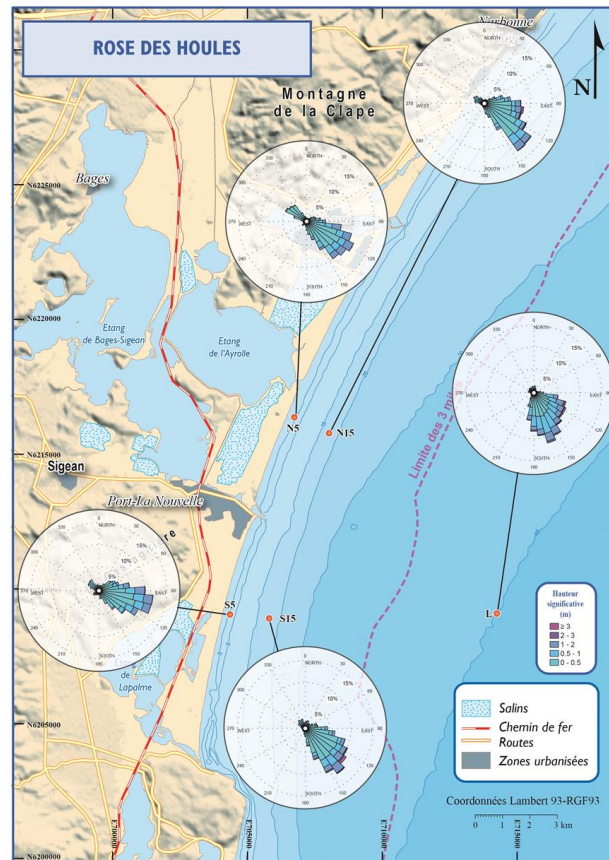


Figure 3. Rose des houles pendant les six mois de campagne

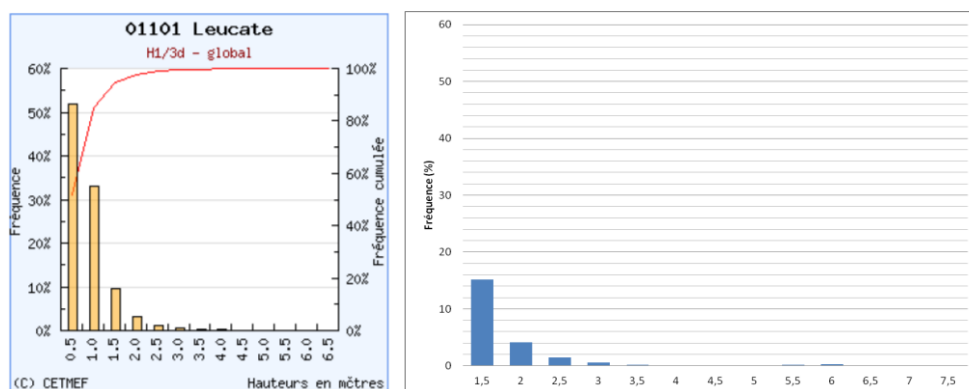


Figure 4. Histogrammes des hauteurs significatives (m) pour la bouée LEUCATE (8 ans de mesure) du CETMEF (à gauche) et l'ADCP L (6 mois de mesure) (à droite).

4.1.2. Données de courants

Au large (ADCP L), les courants ont tendance à longer la côte avec une orientation préférentielle vers le Nord-Est. Pour les profondeurs intermédiaires (S15/N15) ainsi qu'en N5 les courants moyens se distribuent entre les directions Nord-Est et Sud-Ouest. En S5, les courants sont bien marqués vers le Sud/Sud-Est.

Les directions et les vitesses des courants sont influencées par l'ensemble des processus forçants (vent, houle courants généraux). La structure 3D des courants est largement liée au forçage de vent qui agit préférentiellement sur les eaux de surface. Pour les différents points de mesure des ADCP, on peut noter que les courants de surface tendent à être statistiquement plus orientés vers le Sud et vers le large que les courants de fond, en réponse au régime de vent principal (Tramontane).

Les courants dans le canal présentent une alternance de direction Nord-Ouest/Sud-Est. Les courants sont donc sortants ou entrants en fonction des différences de niveaux entre la mer et la lagune. L'article de Le Dissez et al. (2015), qui s'appuie également sur les résultats d'une modélisation courantologique tridimensionnelle, analyse les phénomènes à l'origine des échanges entre la mer et la lagune de Bages-Sigean.

Les roses ci-après synthétisent les conditions de courant sur l'ensemble de la campagne.

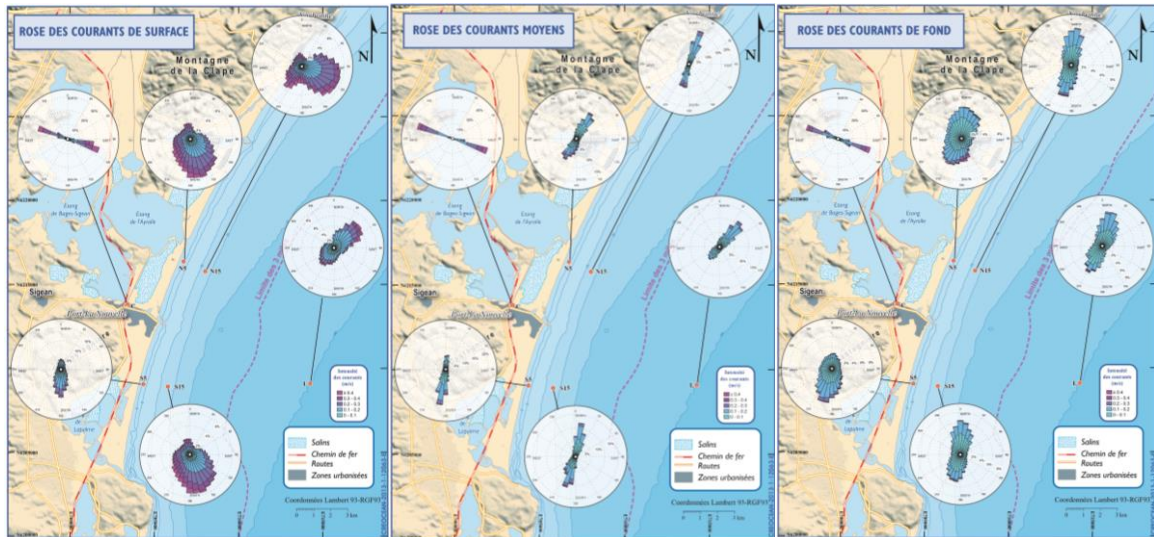


Figure 5. Roses des courants de surface, moyens et fond sur les 6 mois de mesure.

4.2. Événement particulier : la tempête décennale du 05/06 mars 2013

L'opportunité d'avoir pu acquérir des données lors de cet événement est une réelle plus-value pour le projet. D'une part pour l'évaluation des impacts hydro-sédimentaires, les bilans des flux sédimentaires étant fortement dépendants de ces événements exceptionnels, et d'autre part pour le dimensionnement des futurs ouvrages.

La tempête se caractérise par des forts vents d'Est/Sud-Est accompagnés de fortes pluies et d'une baisse importante de la pression atmosphérique. Les vents mesurés atteignent 18 m/s (vents moyens sur 10min à 10m). La direction plutôt Sud-Est du vent au début de la tempête tourne Est pendant son passage. La pression atmosphérique à 1020 le 03/03 diminue jusqu'à 995 hPa le 06 mars. Les vagues ont atteint des hauteurs significatives (H_s) d'environ 7 m au large et de 2 m dans les petits fonds (ADCPs S5 et N5) (Figure 6). La direction de pic est globalement Sud-Est pendant le pic de la tempête (Figure 8). Les périodes de pic (Figure 7) présentent une variabilité importante pendant la campagne, ce qui témoigne d'une contribution majeure du vent local et des secteurs proches.

En moyenne, les courants sont globalement orientés vers le Sud avec des intensités qui atteignent 0.7m/s dans des fonds intermédiaires (15 m) où se combinent les différents processus forçant (circulation générale, vent local et tensions de radiation des vagues). Une analyse détaillée des courants mesurés dans les petits fonds pendant la tempête indique que la dérive littorale peut être orientée tantôt vers le Nord tantôt vers le Sud en fonction des conditions de vague incidente. Cette alternance, qui est reproduite par le modèle [LED 15], est en grande partie liée à l'incidence des vagues qui oscille de part et d'autre de la normale à la côte. On peut noter par ailleurs que les courants mesurés peuvent être influencés localement par les morphologies de type barres festonnées et que la zone d'ombre en arrière du Cap Leucate, qui diminue l'énergie du secteur le plus Sud du spectre, peut avoir un effet sur les courants mesurés en S5. L'influence directe du vent et celle des courants généraux sur la courantologie des petits fonds ne sont pas non plus à exclure. Pour une analyse plus fine des processus, des tests de sensibilité aux conditions de forçage des courants littoraux pourraient être réalisés à l'aide du modèle mis en place [LED 15]. Quoi qu'il en soit les mesures et les résultats des simulations couplées vagues/courants

permettent de préciser les schématisations de la circulation littorale établies jusqu'à présent [DUR 99], [ALE 14], en soulignant sa complexité et des variabilités spatiale et temporelle marquées.

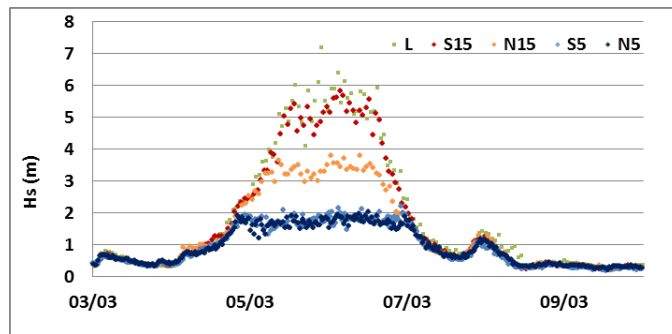


Figure 6. Hs atteints pendant la tempête du 05/06 mars 2013

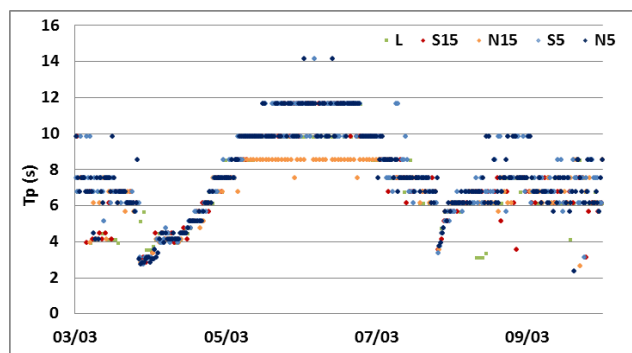


Figure 7. Périodes de pic durant la tempête du 05/06 mars 2013

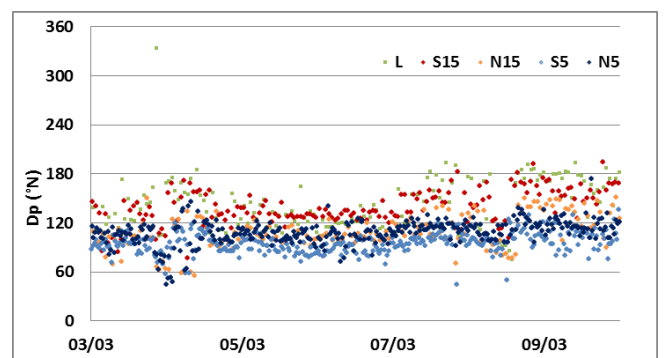


Figure 8. Direction de pic (°N) pendant la tempête du 05/06 mars 2013.

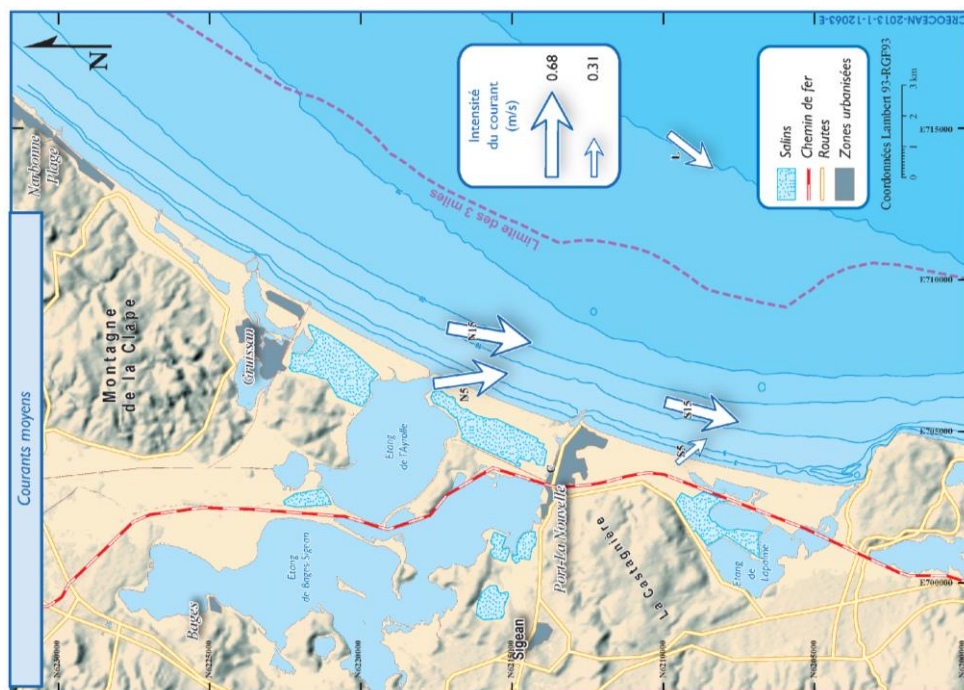


Figure 9. Courants mesurés (valeurs moyennes sur les 10h autour du pic de la tempête)

5. Modèle numérique

Les données hydrodynamiques ont, de plus, permis de calibrer et valider de manière exhaustive et précise, pour la variété des conditions observées aux 5 points de mesures, le modèle numérique mis en place (Le Dissez et al., 2015). Il s'agit d'une approche de type processus couplant un modèle de propagation de houle (TOMAWAC) à un modèle numérique tridimensionnel hydrodynamique (TELEMAC3D) qui permet de simuler explicitement les phénomènes observés sur la zone d'étude (marée, dérive littorale, contribution des circulations méso-échelles et du vent).

Une comparaison poussée des résultats du modèle avec les mesures a montré une capacité remarquable du système de modélisation mis en place à reproduire la complexité hydrodynamique côtière du site.

6. Conclusions et perspectives

Une campagne de mesures hydrodynamiques d'envergure a contribué à améliorer significativement la connaissance des phénomènes sur la zone d'étude. Un positionnement adapté d'un ensemble de 6 ADCP permet d'analyser les conditions de courant entre le large (fonds de 40 mètres) et la côte pour une gamme de conditions océano-météorologiques qui ont largement varié au cours des 6 mois de la campagne. Le jeu de données (vagues et courants), qui peut être qualifié d'exhaustif vis-à-vis des conditions hydrodynamiques qui sont rencontrées sur la zone, constitue une base solide pour le calage et la validation des modélisations hydrodynamiques (TOMAWAC, TELEMAC, [LED 15]) mises en place pour le projet d'extension portuaire. Les impacts hydrodynamiques et hydro-sédimentaires des aménagements (digues) portuaires projetées peuvent alors être évalués en cohérence avec le haut niveau d'exigence d'un tel projet.

D'un point de vue scientifique, l'analyse des circulations côtières reste à approfondir. Les zones d'influence respectives des différents forçages (circulation générale dans le Golfe du Lion, vent local et tensions de radiation des vagues) est à préciser. Le jeu de données disponibles et le système de modélisation mis en place sont bien adaptés pour bien décrire l'ensemble des processus en jeu.

7. Remerciements

Nous remercions la région Languedoc Roussillon, maître d'ouvrage du projet d'extension du port de Port-La Nouvelle, pour la définition claire du cahier des charges de la campagne de mesures et les moyens mis à disposition. Merci tout particulièrement à MM A. Brasseur et S. Canal, attachés à la sous-direction des Ports.

8. Bibliographie

- [ALE 14] Aleman N., 2014. Morphodynamique à l'échelle régionale d'une avant-côte microtidale à barres sédimentaires. Le cas du Languedoc-Roussillon à l'aide de la technologie LIDAR. Thèse de doctorat de l'Université de Perpignan Via Domitia.
- [CRE 14] CREOCEAN. Port-La Nouvelle – Mission de Maitrise d'œuvre pour l'agrandissement du port - Campagne de mesures hydrodynamiques, février 2014.
- [DUR 99] Durand P., 1999. L'évolution des plages de l'Ouest du Golfe du Lion au xx^{ème} siècle. Cinématique du trait de côte, dynamique sédimentaire, analyse prévisionnelle. Thèse de doctorat de l'Université Lumière Lyon 2.
- [LED 15] Le Dissez A., Walther R., Lagroy De Croutte E., Waeles B., Ouriqua J. Entre lagune et méditerranée : étude hydro-sédimentaire des échanges étang-mer et de la dynamique littorale de Port-La nouvelle, 2015 (soumis RUGC 2015).