



HAL
open science

Caractérisation et dynamique de la charge de fond à l'embouchure du Grand Rhône

François Sabatier, Benjamin Kulling

► **To cite this version:**

François Sabatier, Benjamin Kulling. Caractérisation et dynamique de la charge de fond à l'embouchure du Grand Rhône. [Rapport de recherche] Cerege. 2015. hal-03750058

HAL Id: hal-03750058

<https://hal.science/hal-03750058>

Submitted on 11 Aug 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

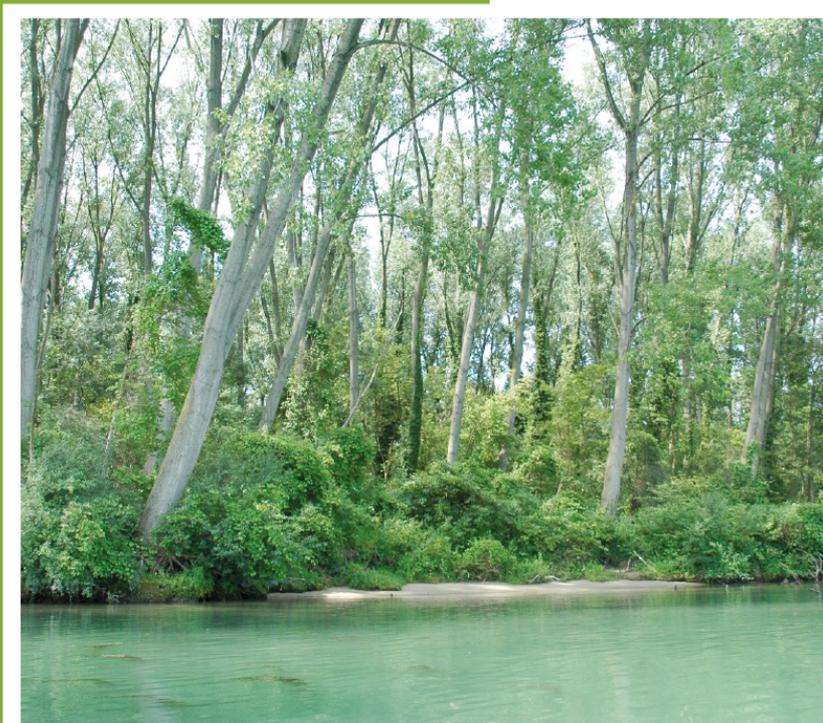
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Caractérisation et dynamique de la charge de fond à l'embouchure du Grand Rhône.



Action 3

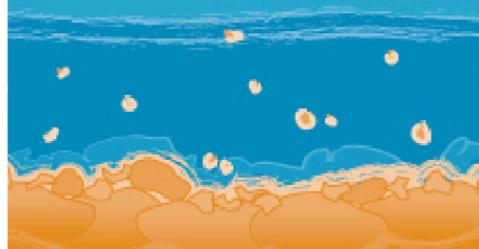
Version Finale Février 2015



2
0
1
3

S
E
M
E
S
T
R
E

8



Caractérisation et dynamique de la charge de fond à l'embouchure du Grand Rhône

Personnes impliquées	Equipe de recherche
François Sabatier, Benjamin Kulling	Cerege Aix UMR7330
Équipe	SEMANTIC-TS

1 - Introduction et problématique

Sur la zone littorale du delta du Rhône (fig. 1), de nombreux travaux ont investi la quantification du prisme littoral à moyen-long terme en intégrant les apports sédimentaires du fleuve. Par exemple, Suanez et al., 1998, Sabatier et al., 2006 ; 2009, comparent des bathymétries anciennes (de 1841 à 1988) afin d'établir le bilan sédimentaire de l'avant côte du delta du Rhône. Si tous les auteurs concluent à un déficit sédimentaire global depuis la moitié du XXème siècle environ ils montrent aussi que la zone de l'embouchure (limitée au lobe sous-marin jusqu'à 20m de profondeur) est toujours excédentaire. Néanmoins les accumulations à l'embouchure du Rhône diminuent depuis la moitié du XIXème siècle d'un facteur 4 environ (Sabatier et al., 2006) . A l'échelle événementielle, il n'existe que les travaux de Maillet et al., (2006) qui comparent des bathymétries à l'embouchure du Rhône avant et après la crue centennale de 2003. Les auteurs montrent : (1) une dichotomie entre les 2 rives et plages limitrophes (érosion à l'Est et gains à l'Ouest), (2) une avancée de la barre d'embouchure de 200 à 300 m vers le large, comme poussée par le courant fluvial et (3) des processus d'avalanches sur le front du lobe qui débutent au sommet (-8m) et s'étendent jusqu'à sa base (-50 à 60m). En terme de volumes sédimentaires, la crue de 2003 aurait permis un bilan net de 7,8Mm³ (ou 4Mt) au niveau du lobe (jusqu'à 20m de fond). A titre de comparaison, cette valeur est largement supérieure aux dépôts moyen entre 1995 et 2003 estimés à 0,47Mm³/an ainsi qu'à ceux estimés à long terme, soit 3,47Mm³/an entre 1895 et 1988. Autrement dit, des apports massifs semblent encore possibles à l'échelle événementielle mais ils sont lissés à moyen-long terme dans une dynamique générale de réduction. **Une analyse saisonnière annuelle est donc nécessaire afin de compléter les connaissances actuelles. Cette analyse est couplée à une caractérisation morphologique à haute résolution (maillage 1m) de l'embouchure.**

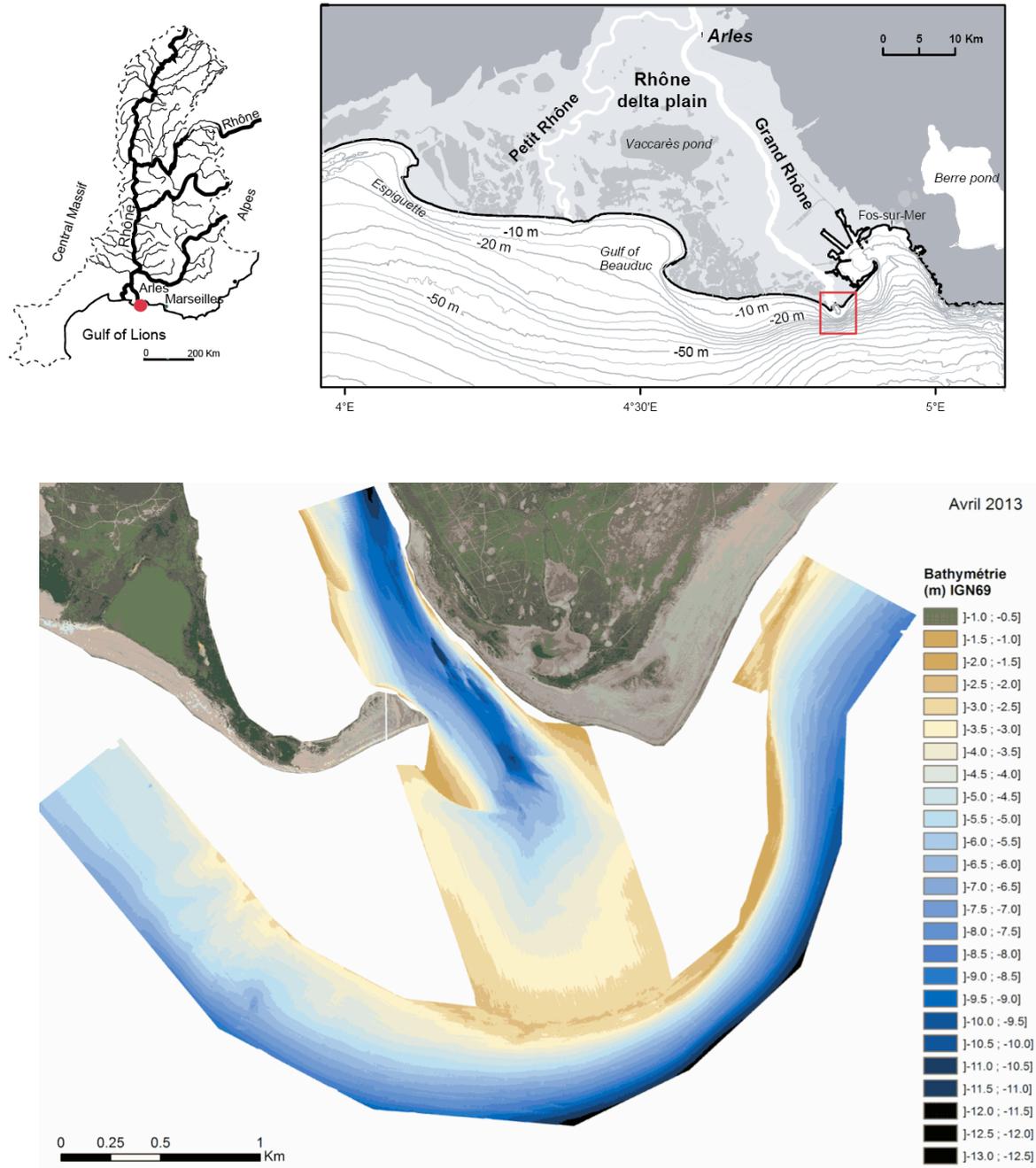


Figure 1. Localisation et morphologie de l'embouchure (campagne de mars 2012)

2 - Méthodologie

2.1 Relevés de terrain

Des campagnes de relevés multifaisceaux et de sonar ont été confiées à la société SEMANTIC dont la méthodologie est présentée ici.

Les appareillages suivants ont été mis en oeuvre :

- Sondeur multifaisceaux et sonar latéral interféromètre GEOSWATH Nouvelle génération (NG), fixé sous la coque du navire (250 kHz) : cet appareillage remplit

simultanément les fonctions de sonar latéral fournissant l'imagerie acoustique et de bathymétrie multi-faisceaux fournissant la bathymétrie fine.

· Profileurs de célérité. A cause de la configuration de l'embouchure du Rhône (eau douce/eau salée, variation de température importante), le profil de célérité est extrêmement marqué et variable. En conséquence, alors qu'habituellement (mesure classique en mer l'été) un célérimètre de coque et quelques mesures ponctuelles du profil vertical de célérité régulières suffisent, dans le cadre de l'embouchure du Rhône, non seulement il faut réaliser de nombreuses mesures mais il faut en déduire, puis gérer un modèle 3D de bathycélérimétrie. Compte tenu des besoins de précision liés aux objectifs de cette étude (par exemple : analyse des rides de sable dans la partie Nord de l'embouchure), SEMANTIC-TS a réalisé un nombre important de profils de célérité (fig. 2). Pour chaque campagne, environ 400 à 200 mesures du profil de célérité ont été enregistrées à l'aide du profileur (fig. 2). Ensuite ces informations sont utilisées pour le dépouillement des données de bathymétrie à l'aide de la routine de gestion du modèle 3D de bathycélérimétrie développée par SEMANTIC-TS.

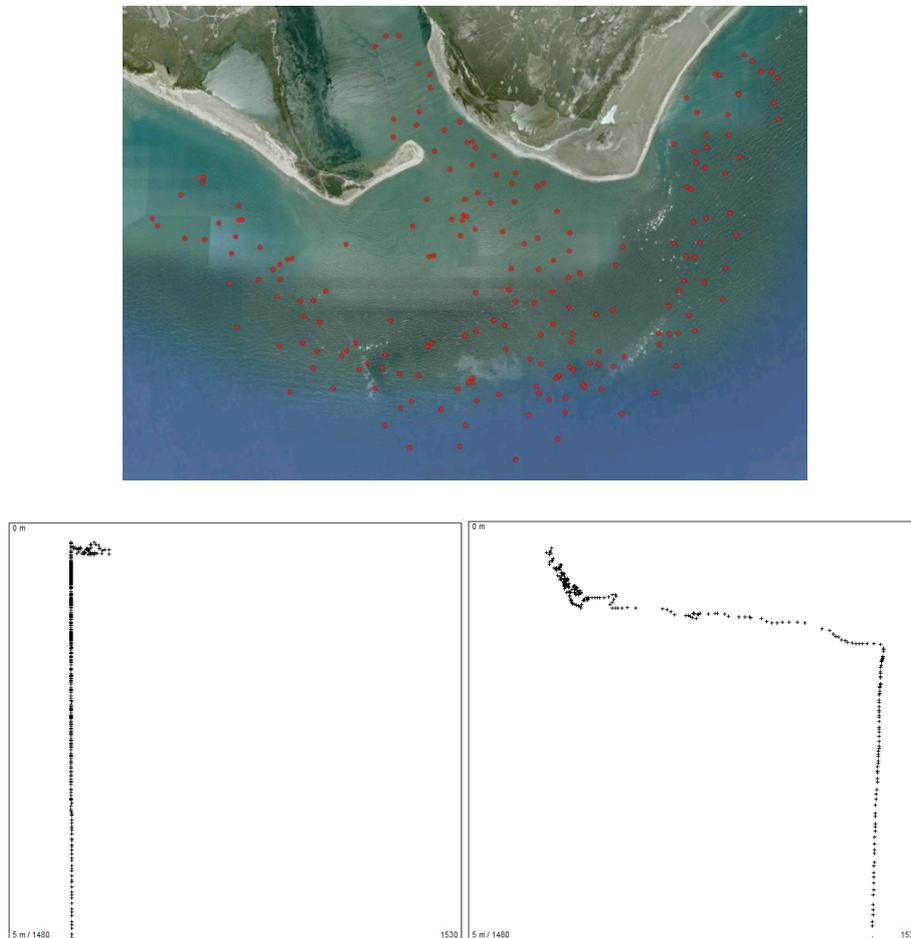


Figure 2. Mesures de bathycélérité. En haut : exemple de localisation des mesures durant la campagne de juillet 2012. En bas, exemples de profils de bathycélérité : à gauche, dans le chenal du Rhône ; à droite, en mer sur le front du lobe vers -8m.

La zone couverte avait pour objectif une résolution totale de l'embouchure mais les contraintes de navigations et la très faible profondeur d'eau de la barre d'embouchure n'ont pas autorisé une couverture exhaustive des fonds (fig. 3) sur la barre d'embouchure et les bancs associés. Néanmoins, la couverture bathymétrique est inédite dans la partie centrale de l'embouchure et le fin du chenal du Rhône.

4 campagnes (mars, juillet, octobre 2012 et février 2013) ont été réalisées afin de couvrir une année et d'identifier le comportement sédimentaire de l'embouchure à l'échelle saisonnière. Vers le large les mesures atteignent environ - 8/10m NGF.

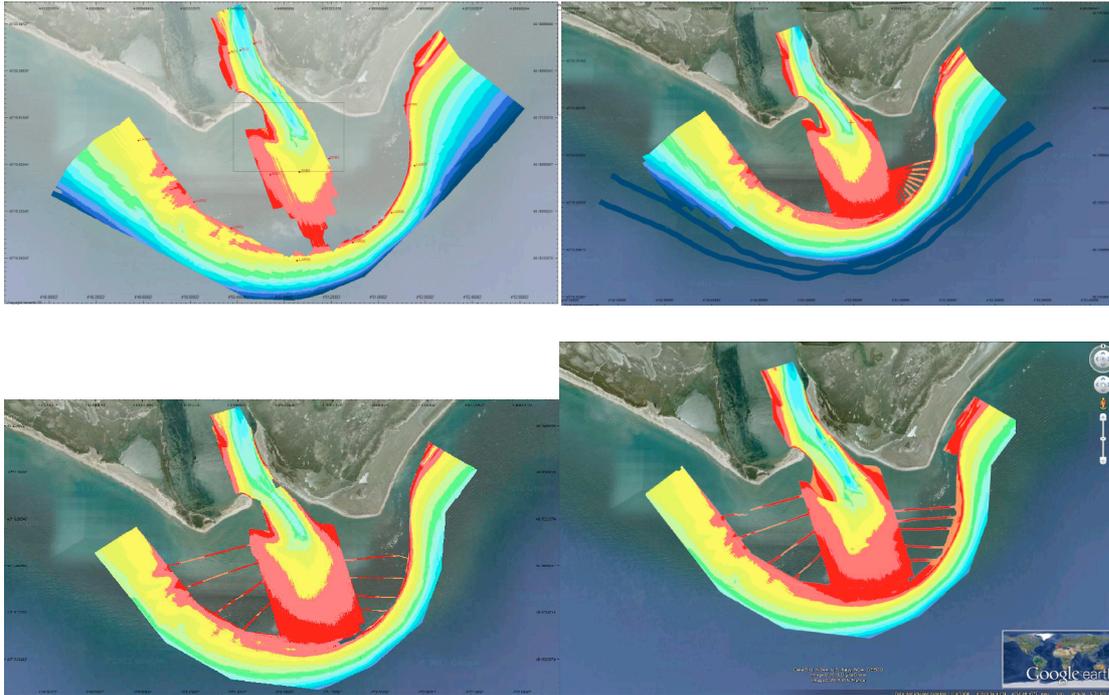


Figure 3. Cartographie des campagnes de mesures les 1^{er} au 2 mars puis du 13 au 14 mars 2012 ; 4 au 6 juillet 2012 ; 1^{er} au 4 octobre 2012 ; 19 au 21 février 2013

2.2 Traitement des données

Les semis de points sont analysés après la construction de MNT dont le maillage a subi de nombreux tests. Pour des raisons d'effets de bords des mesures au sondeur multifaisceaux, nous avons finalement opté pour une extrapolation triangulaire avec un maillage à 50 pour la construction des MNT destinées à être utilisées de manière qualitative et à 150 m pour la comparaison des MNT destinées aux estimations de volumes.

3- Les forçages durant l'étude

Les débits du Rhône sont fournis par la CNR après une collecte de Laurie Boudet (doctorante au Cerege). A ce stade ils correspondent à des estimations à Arles sur la base de la station de Beaucaire car les mesures réelles n'étaient pas disponibles. A proximité de l'embouchure, les travaux antérieurs sur le déplacement des figures

sédimentaires du chenal du Rhône proposent une valeur seuil de mise en mouvement proche de 2500 m³/s (Vassas et al., 2007). Nous utilisons donc ce seuil (débit moyen journalier à Arles) pour définir une crue susceptible de déplacer la charge de fond.

Les houles sont issues de la bouée MesuRho dont la maintenance est assurée par Ifremer. Cette bouée se localise à la sortie du Rhône, vers -20m de fond, sur la station dite de Roustan. Malheureusement de nombreuses lacunes sont présentes durant notre étude, elles ont été visuellement complétées par des données de vent (Windguru) afin que qualifier la présence ou non de tempêtes. La valeur de 2,5m est considérée pour définir une tempête mais compte tenu des lacunes chronologiques, ces dernières sont évaluées qualitativement.

Pendant la durée d'étude, les relevés de terrain encadrent 3 périodes aux caractéristiques suivantes :

- (1) entre mars et juillet 2012 les crues sont faibles (1 évènement) et les tempêtes de moyennes intensités et rares (1 tempête annuelle),

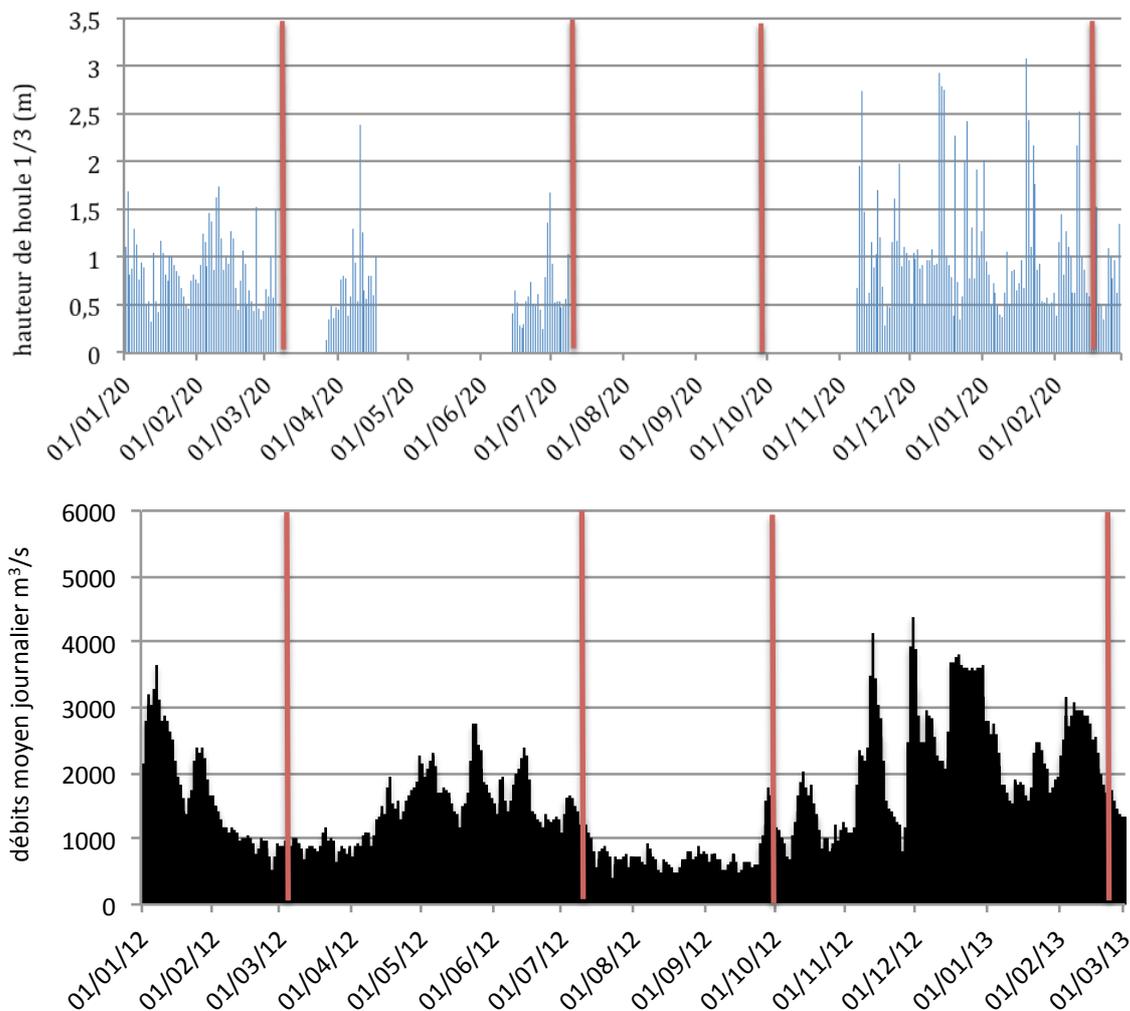


Figure 4. Les forçages durant l'étude. En haut : hauteur de houle mesurée à MesuRho (lacunes de données lorsque les diagrammes sont absents). En bas : débits du Rhône estimés à Arles. Les traits rouges positionnent les campagnes de mesures bathymétriques.

(2) entre juillet et octobre 2012 la période est normalement calme du point de vue des forçages fluvio-marins (débit < 1000 m³/s durant la période estivale et pas de tempêtes)

(3) entre octobre 2012 et février 2013, 4 crues annuelles se produisent, les débits restent élevés (proche 3500 m³/s) durant plusieurs semaines alors que 4 tempêtes de période de retour annuelle sont présentes.

En résumé, l'année de suivi est peu énergétique en comparaison avec les événements qui peuvent se produire dans cette zone. Elle enregistre un printemps moyen, un été calme et un automne-hiver modéré puisqu'il n'enregistre pas de crues et de tempêtes décennales ou exceptionnelles.

4- Bilan sédimentaire de l'embouchure

Entre mars 2012 et février 2013, l'embouchure du Rhône (jusqu'à -8 m environ) montre un bilan positif de 150.000 m³ (gain 570.000 et pertes 420.000 m³). Le printemps enregistre un gain net de 70.000 m³ (+308.000 et - 240.000 m³), la période estivale une perte globale de 67.000 m³ (+94.000 et - 161.000 m³) tandis que l'automne-hiver connaît un apport résultant de 149.000 m³ (+660.000 et -511.000 m³) (fig. 5).

Durant les faibles débits, nous n'observons pas de modifications importantes et le rôle de la houle reste difficile à observer sans doute en relations avec sa faible capacité de transport. Par contre la période des crues, qui connaît les apports les plus importants liés aux débits fluviaux plus élevés, contrôle le bilan sédimentaire annuel. Par comparaison avec la crue centennale de 2003, les crues moyennes de 2012-2013 induisent environ un bilan sédimentaire 25 fois moins élevé à l'embouchure (mais les impacts de la crue de 2003 sont estimés jusqu'à +20m environ). Néanmoins, la valeur de 150.000 m³ correspond globalement à la moitié de l'érosion annuelle des plages de Faraman ou à l'érosion moyenne de la flèche de la Gracieuse (Sabatier et al., 2009). En terme de bilans sédimentaires, les apports du Rhône à l'embouchure sont donc toujours conséquents, même durant des années de faibles débits comme celle concernée par cette étude. Dans le détail cependant, la partie terminale du fleuve, la zone centrale de l'embouchure et le front du lobe montrent des évolutions différentes décrites ci après.

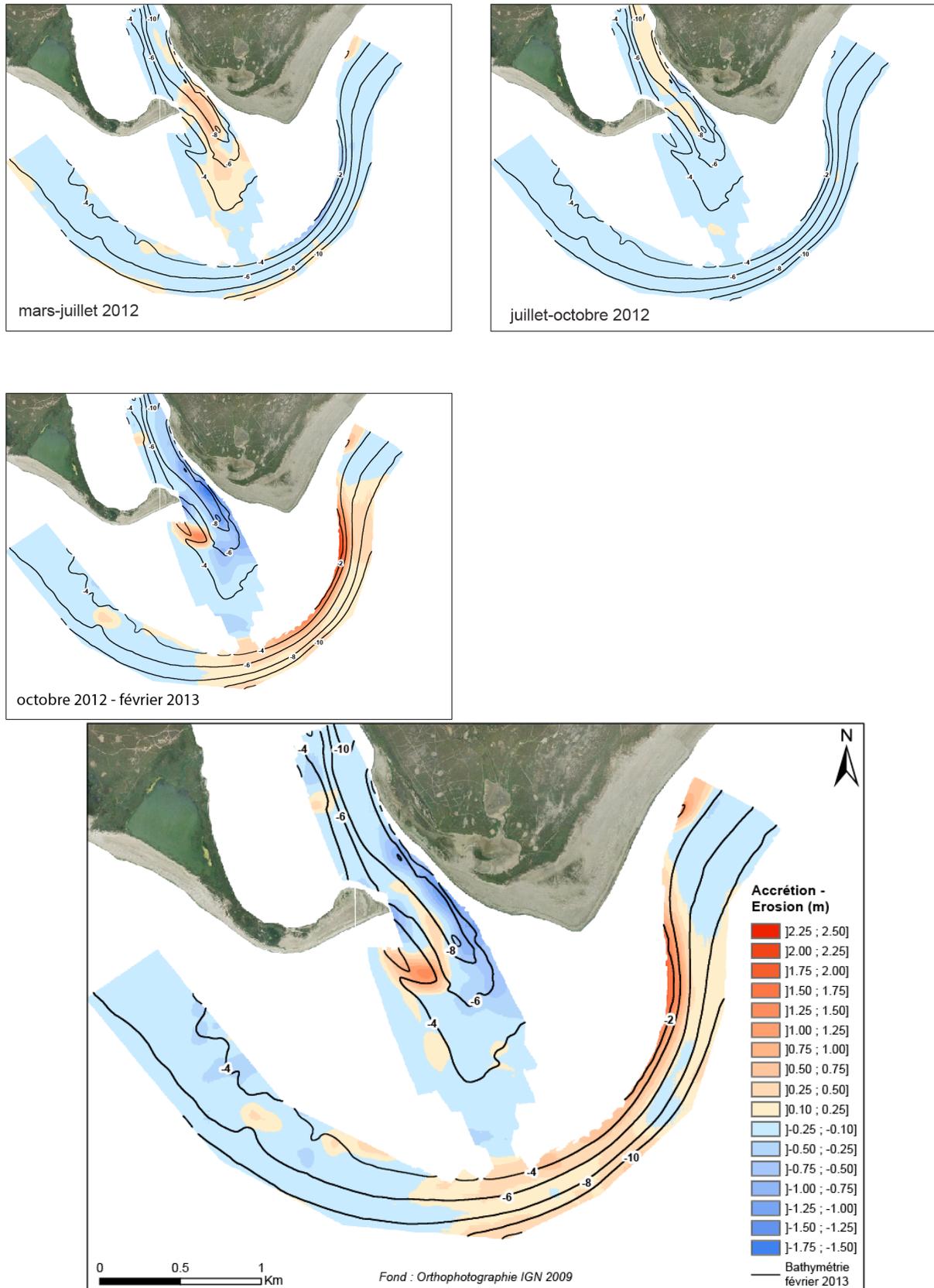


Figure 5. Comparaison bathymétrique de l'embouchure du Rhône, à l'échelle saisonnière et annuelle (mars 2012 et février 2013). Les couleurs bleues et jaunes clairs sont comprises dans la marge d'erreur.

5- Morphologie à haute résolution et bilans sédimentaires des différentes unités

Les différents relevés bathymétriques donnent une image à haute résolution de la morphologie sous marine. Cette dernière aide à comprendre les dynamiques sédimentaires. Ils sont couplés à une analyse morphologique (fig. 6) pour éclairer les mécanismes de transferts.

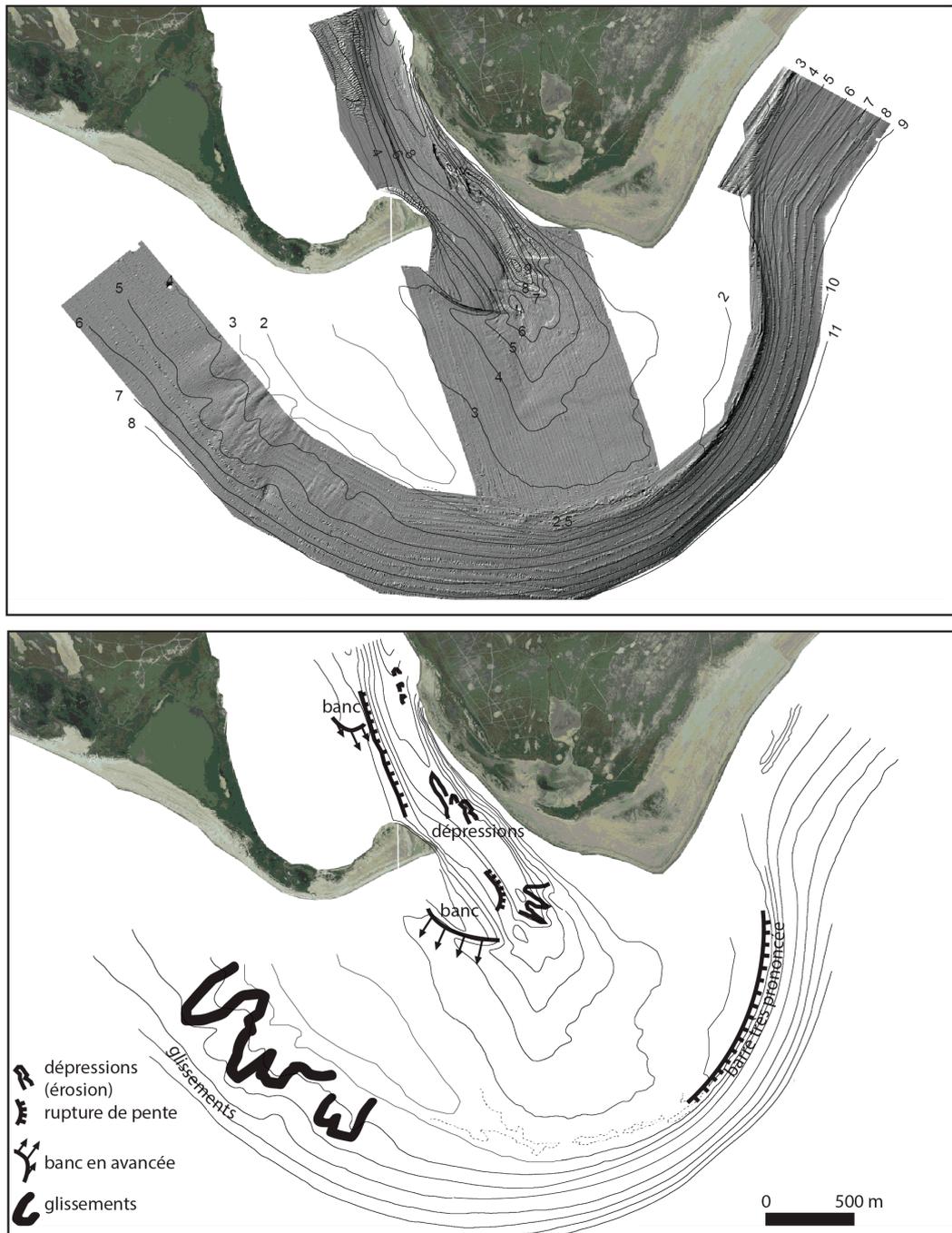


Figure 6. Morphologie et interprétation sédimentaire de l'embouchure. En haut, image réalisée par nuances de gris. En bas, interprétation morphologiques.

5. 1 La partie terminale du fleuve

Dans le fleuve (jusqu' 'au Pouliez), nous observons une dissymétrie importante du lit du Rhône.

La rive droite du Rhône connaît des profondeurs très faibles et les mesures bathymétriques n'ont pu être réalisées que sur la moitié du chenal. Cette zone affiche une sédimentation depuis plusieurs décennies sur laquelle s'encre progressivement le pouliez d'embouchure de la rive droite. Les fonds de 2 à 4 m sont tapissés de figures sédimentaires nombreuses (dunes de courant) (fig. 7) réparties sur un banc de sable qui se déplace de 60 m environ durant la période automne-hiver (cf Déplacement de la charge de fond).

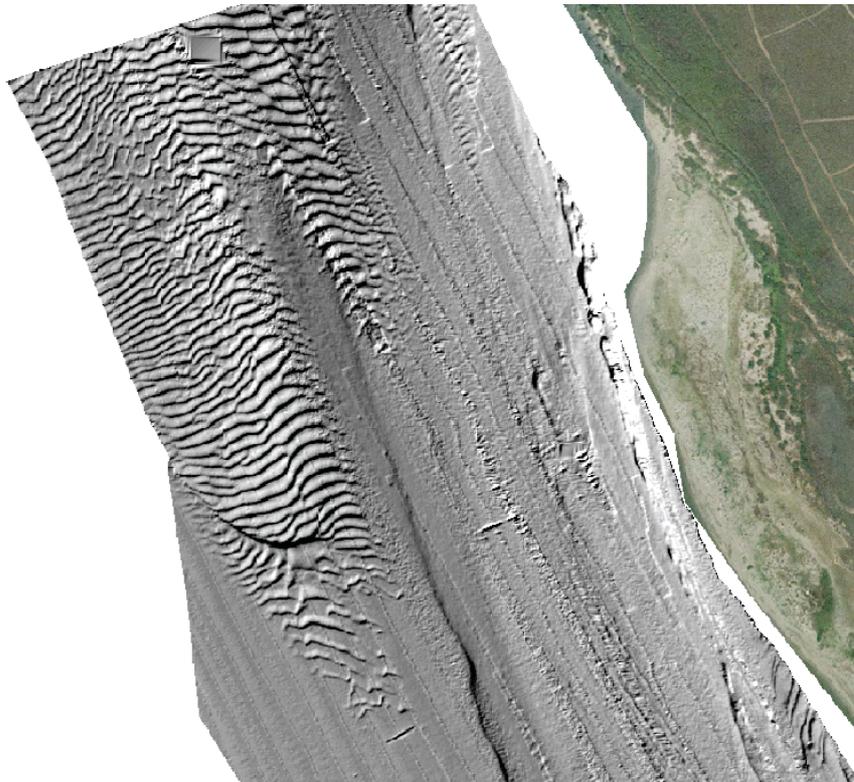


Figure 7. Morphologie par ombrage du dernier banc du fleuve.

Au contraire, la rive gauche est profonde jusqu'à -9m environ. Elle s'inscrit dans le prolongement du talweg du fleuve. A l'échelle annuelle, cette zone s'incise (jusqu'à 1,5-2m et - 141.000 m³), même si une faible accumulation (+49.000 m³) est observée durant la période estivale en relation avec les faibles énergies qui y séjournent et permettent une décantation des sédiments fins. L'incision du chenal est aussi probablement influencée par la nature sédimentaire du fond et/ou sa cohérence. En effet, la morphologie est complexe, on observe des dépressions d'arrachements allongées dans le sens du courant bordée par des escarpements de 50 cm environ. Le fond n'est généralement pas tapissé de figures sédimentaires alors que ces dernières apparaissent dans les profondeurs moins importantes. L'explication hydrodynamique reste encore difficile, on présume d'un fond lisse à cause de vitesse de courant très

élevées et/ou des sédiments fins dans lesquels les figures sédimentaires se développent difficilement. Une poche sédimentaire montre néanmoins des rides de courants (fig.8) apparemment bloquées par la bathymétrie complexe liée à l'arrachement du fond. Ces dernières, perpendiculaires à l'axe d'écoulement du fleuve, confirment la direction du transit sédimentaire dans l'axe du fleuve.

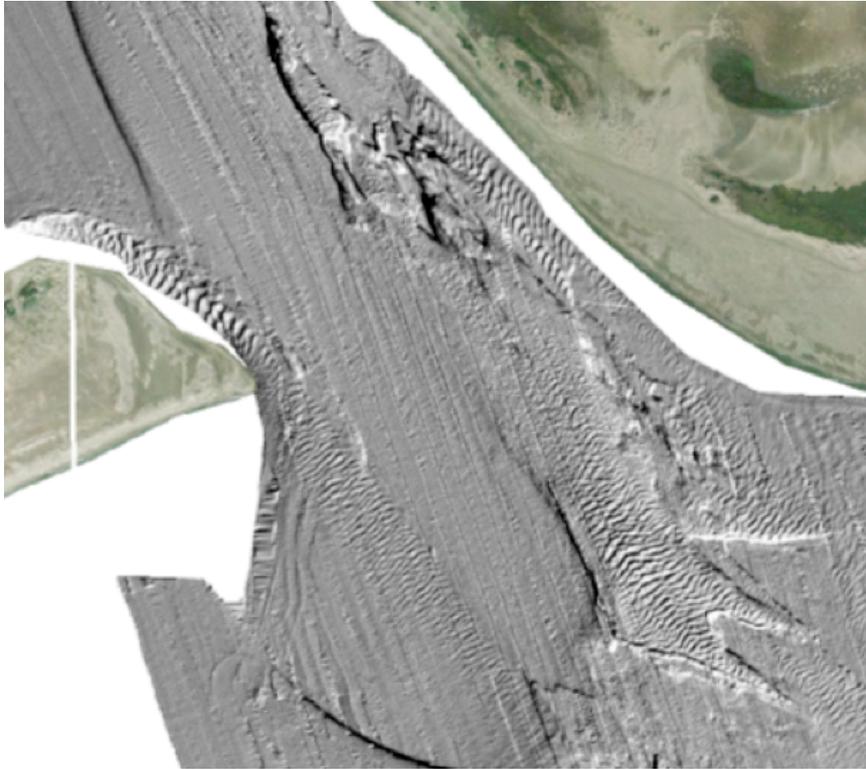


Figure 8. Morphologie par ombrage de la partie terminale du fleuve et centrale de l'embouchure

5. 2 La partie centrale de l'embouchure

Dans la partie centrale de l'embouchure, le talweg du chenal s'évase et remonte jusqu'à la barre dont la profondeur est mal déterminée du fait des difficultés techniques liées aux hauts fonds (proche de 1,5m à l'ouest et 2m à l'est). Au sud du poulier, un banc de sable se développe et apparaît durant l'étude. Ce dernier est peu profond (-1,5 m à -4 m) et indique un déplacement sédimentaire vers le SW. (cf Déplacement de la charge de fond).

5. 3 Le front du lobe

Le lobe deltaïque ne montre pas une symétrie parfaite contrairement à la description établie par les travaux antérieurs. Le bilan sédimentaire annuel distingue une partie Est en gains (350.000 m³) et Ouest en pertes (-59.000 m³) (fig. 5).

La partie Est affiche une morphologie « classique ». La barre d'embouchure et le talus connaissent une morphologie lobée, à pente forte (5° environ) aux courbes

bathymétriques parallèles entre elles (fig. 5-6). Cette zone reçoit la plus forte accumulation durant l'étude sous l'effet des crues qui apportent du matériel sédimentaire et/ou déplacent la barre d'embouchure vers le large. Cette dernière glisse alors et alimente le talus. La zone d'accumulation préférentielle du lobe se localise dans l'axe d'écoulement du fleuve. Cette zone est donc directement sous l'influence du débit fluvial. Nos observations diffèrent donc de celles établies en 2003 (Maillet et al., 2006) qui montraient des glissements de masses associés à des encoches d'arrachements sur la partie Est du lobe alors que nous suggérons au contraire des glissements plus diffus et homogènes depuis la barre vers le talus. De plus, nous observons une accumulation importante alors que ce secteur connaissait plutôt des gains modérés, voire un déficit à proximité du rivage après la crue de 2003. Nos travaux comme ceux qui ont analysés cette crue exceptionnelle montrent que l'accumulation maximale se produit systématiquement dans l'axe d'écoulement du fleuve. Ce dernier se déplaçant vers l'Est sous l'effet de la flèche qui barre progressivement l'embouchure, les apports du fleuve délaissent progressivement l'Ouest de l'embouchure.

La morphologie de la partie Ouest du lobe est plus surprenante car on y distingue des ondulations bathymétriques dans les petits fonds (jusqu'à -6m) interprétés comme des effondrements par gravité (fig. 5-6). Ces glissements concentrés se produisent à partir des hauts fonds (sommet de la barre d'embouchure) non mesurés du fait de profondeurs trop faibles. Le bilan sédimentaire de cette zone est déficitaire durant toute la durée de l'étude ce qui est en contradiction avec les observations morphologiques qui décrivent des accumulations par écoulements. Cette partie du lobe doit donc connaître des épisodes de gains et de pertes successifs à une échelle pluri annuelle (que nos relevés ne permettent pas de rendre compte). Néanmoins, la crue de 2003 montrait des gains alors que nous observons l'inverse en 2012 ce qui témoigne de l'évolution du lobe.

Lors des événements exceptionnels comme la crue de 2003, les apports massifs de sédiments par le fleuve concernent l'ensemble de l'embouchure tandis que durant les crues modérées comme celles de 2012-13, la partie Ouest ne bénéficie pas des apports du Rhône et les apports se concentrent dans la partie Est, dans l'alignement du chenal du fleuve.

6- Déplacements de la charge de fond

Les rides sédimentaires et les bancs de la zone d'étude reçoivent ici une analyse approfondie pour tenter d'estimer la charge de fond en transit durant l'année 2012-2013.

6.1 Le dernier banc du fleuve

Le banc dans le chenal situé entre -2 et -4m de profondeur comporte un front haut de 2 m qui avance de 60 m durant la période automne-hiver (fig.9). La charge solide déplacée s'élève à 6000 m³. Aucune avancée significative du banc n'est observée durant les autres campagnes. Autrement dit, le seuil de mise en mouvement de ce banc de sable correspond à des débits moyens journaliers à Arles supérieurs à 2500 m³/s ce qui confirme les travaux antérieurs.

Ce banc comporte des dunes aux morphologies relativement similaires sur toutes les campagnes. Elles affichent des longueurs de 6 à 9 m et des hauteurs moyennes de 0,15 à 0,23 m. Par déduction avec la formule de Yalin (1962), la vitesse du courant atteindrait près de 4 m/s dans ce secteur pour générer ces formes ce qui est supérieur à ce que l'on peut attendre en relation avec les crues enregistrées durant la période d'étude. A ce stade, l'homogénéité morphologique de ces figures sédimentaires reste encore mal comprise. Les dunes se déplacent en moyenne de 3 m dans le sens du courant pour la campagne encadrant le printemps et sont globalement stables durant la période estivale (localement 1,5 m de déplacement). Pendant la période d'automne-hiver, le déplacement des dunes ne peut pas être observé à l'échelle saisonnière car ces dernières se déplacent trop rapidement et le revers du banc de sable sur lequel elles s'appuient subit une incision de 50 cm environ. A moins de campagnes bathymétriques durant une crue, il n'est pas possible de suivre saisonnièrement le déplacement des dunes sableuses pour en déduire le transfert de la charge de fond vers la mer. Le déplacement du banc est alors plus représentatif.

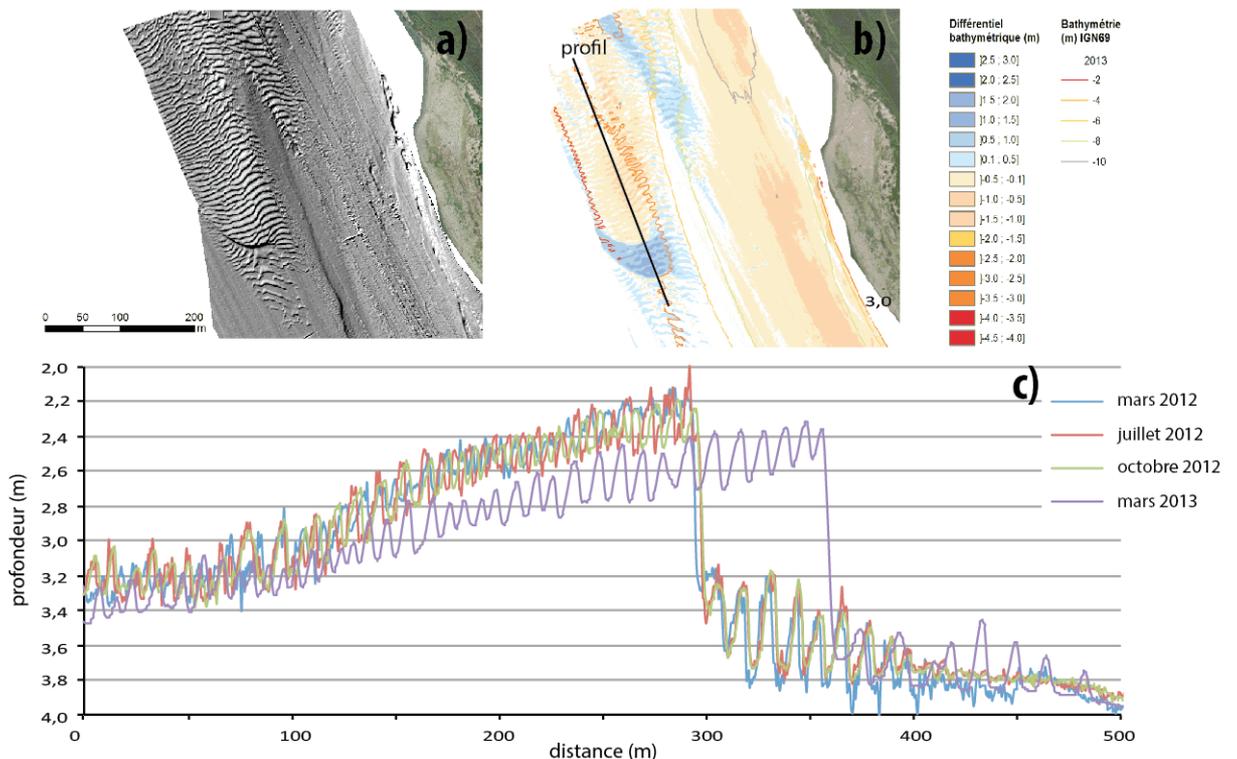


Figure 9. Déplacement du banc dans le chenal. A) Morphologie du banc par ombrage de gris ; b) Comparaison bathymétrique entre octobre 2012 et février 2013 ; c) profil bathymétrique du banc dont l'axe est reporté en b)

6.2 Le banc du poulie de l'embouchure

Le banc dans l'embouchure au sud du poulie de rive droite se met en place durant l'automne-hiver 2012-2013. Ce banc représente une avancée sédimentaire de 100 à 200 m sur une largeur de 500 m environ (fig. 10). Sa forme lobée associée à un front pentu témoigne d'un déplacement vers le SSW en relation avec le courant fluvial. Le banc

accumule environ 60.000 m³ dont l'origine n'est pas facilement établie tant la zone amont du chenal connaît une érosion. Néanmoins, nous attribuons cette accumulation à un déplacement de la charge de fond issue de l'incision du chenal. La durée d'étude n'a pas permis d'observer la direction et le devenir de cette masse sédimentaire mais on soupçonne qu'elle joue un rôle important dans l'alimentation de la flèche et donc l'alimentation limitrophe des plages à l'ouest de l'embouchure.

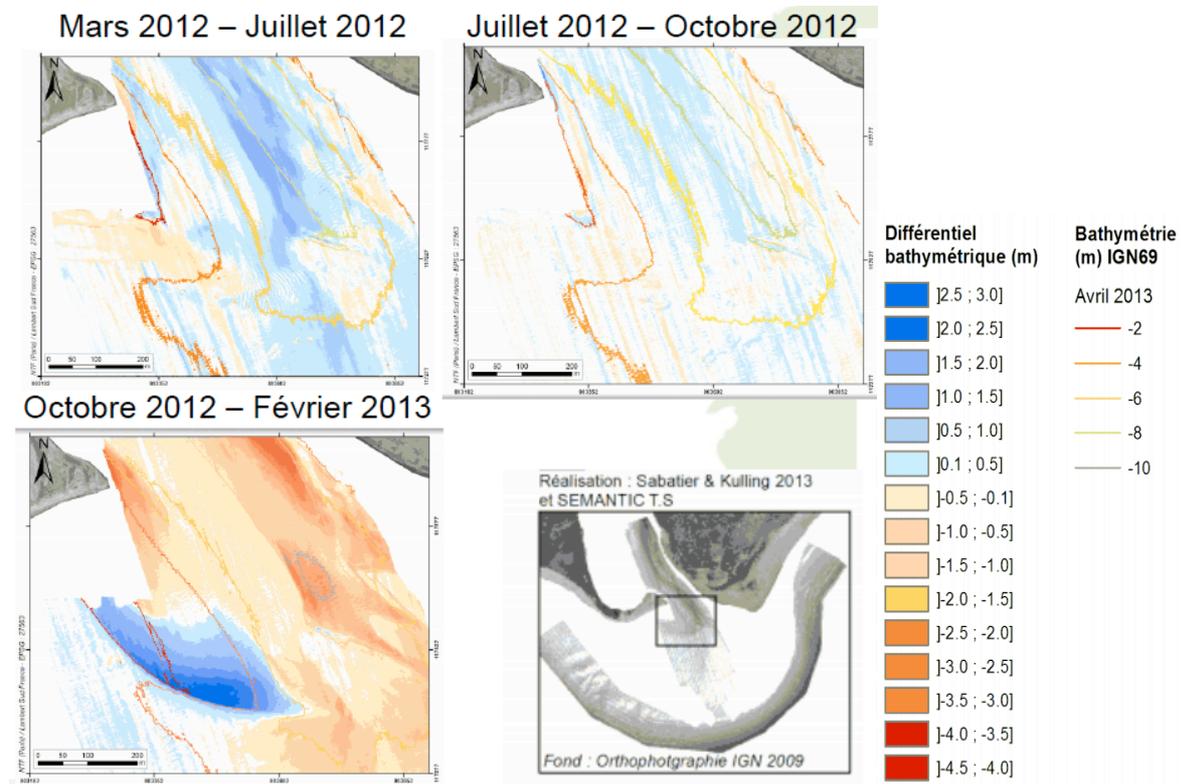


Figure 10. Bilan sédimentaire annuel du banc proche du poulrier

6.3 A proximité du rivage

A proximité des rives et dans des profondeurs faibles (<4m), des dunes sédimentaires apparaissent aussi. Le long de la rive gauche du fleuve, des dunes sont présentes sur les relevés de l'automne-hiver. Ces dernières, légèrement obliques par rapport à la rive montrent une dissymétrie vers la mer en conformité avec la direction du courant fluvial (du fait des faibles profondeurs et de la proximité de la rive, elle ne sont pas systématiquement observées sur toutes les campagnes). Sur l'autre rive, des figures sédimentaires de type barkanoïdes bordent la flèche (- 3 m) et témoignent du courant lié à la houle qui façonne le poulrier orienté de direction contraire à l'écoulement du fleuve (fig. 11).

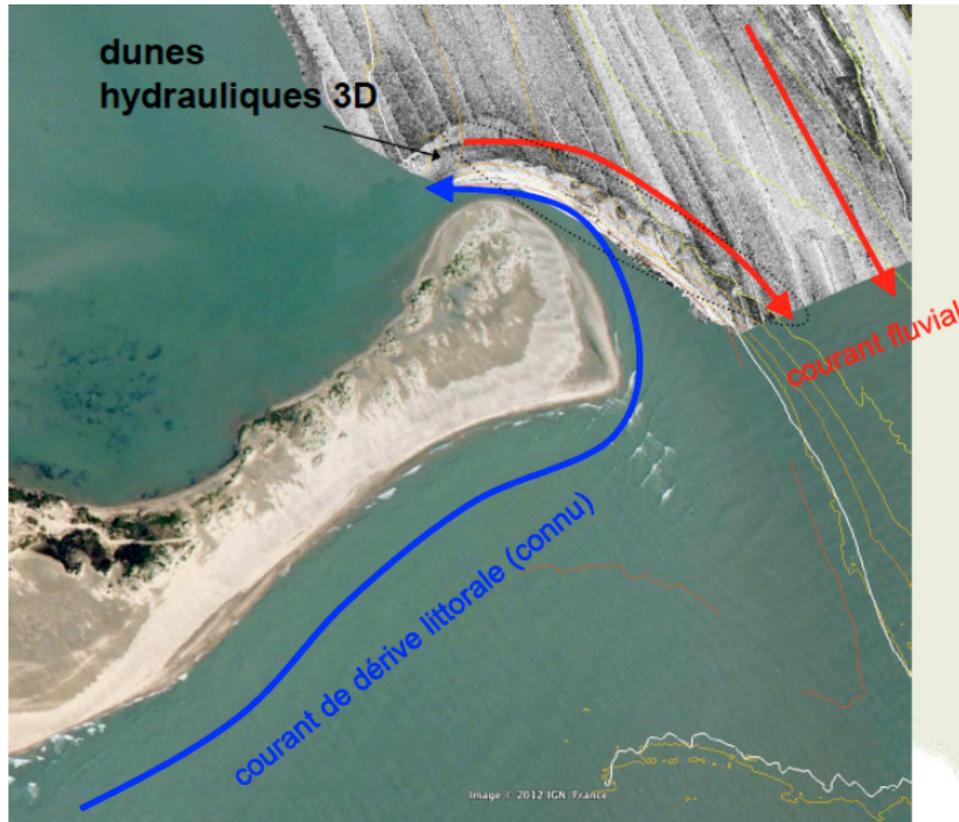


Figure 11. Présence de dunes en forme de barkhanes à l'extrémité du poulier (rive droite).

6.4 La barre d'embouchure

La barre d'embouchure de la moitié Est témoigne aussi des apports de la charge de fond depuis le fleuve à la mer. Sur la durée de l'étude la barre avance vers le large de 30 m environ et les mouvements sédimentaires sont très réduits en dessous de -6 m. Par comparaison, les mouvements significatifs du profil atteignaient environ -12 m pour la crue de 2003. Les relevés montrent que (1) le sommet de la barre est érodé durant le printemps avec un recul de 30 m environ, (2) la morphologie reste stable durant la période estivale puis (3) avance brutalement pendant l'automne-hiver sous l'effet des crues qui poussent cette masse sableuses de 50 m (350.000 m³ de gains). Par rapport à la crue centennale de 2003, le déplacement de la barre vers le large généré par les crues moyennes de l'automne-hiver 2012-13 est 4 fois inférieur.

Cependant dans une perspective à long terme (fig. 13), la barre d'embouchure recule probablement depuis 1995 ce qui témoigne d'une réduction des apports sédimentaires et/ou d'une configuration des courants différente. Le poulier qui avance en rive droite et qui barre progressivement l'embouchure joue probablement un rôle déterminant sur la courantologie de cette zone en concentrant le courant du fleuve sur la partie Est. Sur la base des relevés analysés dans ce rapport ces hypothèses doivent être approfondies en développant une approche modélisante (thèse au Cerege de Laurie Boudet qui débute en 2013),

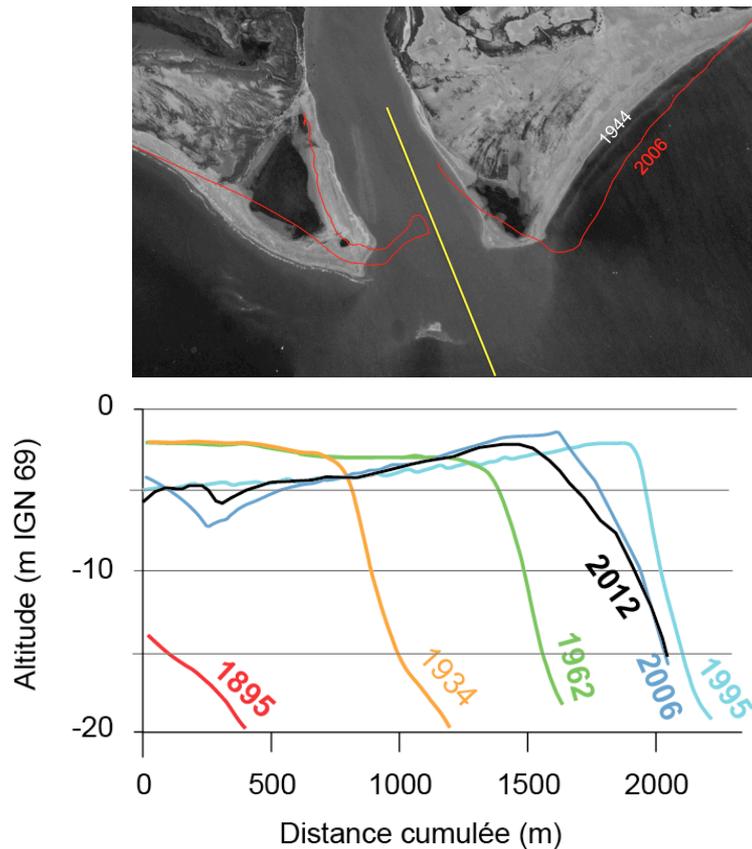


Figure 13. Evolution de la barre d'embouchure depuis l'ouverture de Roustan (1892). L'axe des profils est localisé en jaune sur la figure de dessus.

7- Résumé - Conclusion

Le suivi saisonnier de l'embouchure du Rhône permet d'esquisser un premier modèle conceptuel de fonctionnement (fig. 14). Les variations bathymétriques de l'embouchure du Rhône se produisent essentiellement durant la saison des crues, même durant une période de faible énergie comme l'année de suivi (mars 2012-février 2013). Aujourd'hui le déplacement de la charge de fond concerne un banc dans le chenal (60 m d'avancée pour 6.000 m³) et un banc au sud de la flèche (100 à 200 m pour 60.000 m³) qui vont alimenter dans les années à venir l'embouchure. La barre se déplace aussi vers le large à l'échelle saisonnière (50 m) et alimente le front du lobe dans un contexte de recul depuis le milieu des années 90. La flèche qui barre progressivement l'embouchure joue un rôle déterminant dans le fonctionnement général car elle induit un approfondissement du chenal du fleuve par adaptation. De fait, l'écoulement du Rhône se déplace progressivement vers l'Est laissant aux houles la possibilité de contrôler, au moins partiellement, la partie ouest de l'embouchure. Ces travaux se basent sur des relevés bathymétriques multifaisceaux à très haute résolution inédits qui ont par exemple permis d'identifier des figures sédimentaires de 15 cm de haut et dont l'utilisation sera cruciale dans des perspectives de modélisation.

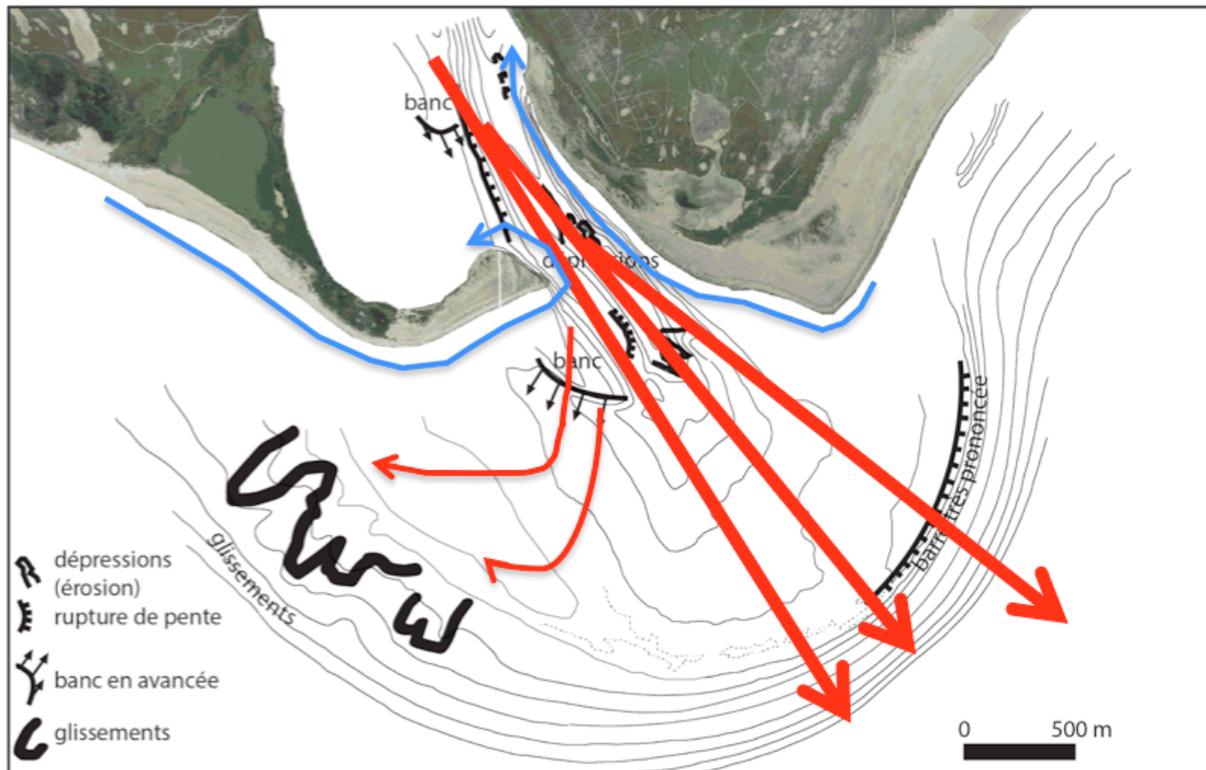


Figure 14. Morphologie et organisation générale des transites sédimentaires liés à la houle (bleu) et au fleuve (rouge).

8- Références

Maillet G.M., Vella C, Berné S., Friend P.L., Amos C.L., Fleury J., Normand, A. 2006. Morphological changes induced by the December 2003 flood at the present mouth of the Rhône river (southern France). *Marine Geology*, 234, 159-177.

Sabatier, F., Maillet, G., Fleury, J., Provansal, M., Antonelli, C., Suanez, S., Vella, C., 2006. Sediment budget of the Rhône delta shoreface since the middle of the 19th century. *Marine Geology*, 234, 143-157.

Sabatier F., Samat O., Ullmann A., Suanez S., 2009. Connecting large-scale coastal behaviour with coastal management of the Rhone delta. *Geomorphology*, 107,79-89.

Suanez S., Bruzzi C., Arnoux-Chiavassa S., 1998 Données récentes sur l'évolution des fonds marins dans le secteur oriental du delta du Rhône (plage Napoléon et flèche de la Gracieuse). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 4, 292-312.

Vassas C., Sabatier F., Vella C., 2007. Résultats préliminaires sur le taux de transport à l'embouchure du grand Rhône (SE de la France). *La Houille Blanche*, 4, 35-40.