



**HAL**  
open science

# Dynamique et transfert des matières dans le continuum Terre-Mer

François Bourrin

► **To cite this version:**

François Bourrin. Dynamique et transfert des matières dans le continuum Terre-Mer. Environmental Sciences. Université de Perpignan Via Domitia, 2020. tel-04569384

**HAL Id: tel-04569384**

**<https://hal.science/tel-04569384>**

Submitted on 6 May 2024

**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.

UNIVERSITÉ  
PERPIGNAN  
VIA  
DOMITIA



## Habilitation à Diriger des Recherches Spécialité Océanologie

# Dynamique et transfert des matières dans le continuum Terre-Mer

Soutenue le 10 Décembre 2020, par François Bourrin

Université de Perpignan Via Domitia

Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens

UMR 5110 UPVD - CNRS

### Composition du jury

**Dr. Sylvain Ouillon.** Directeur de Recherche IRD, LEGOS, Université de Toulouse (Rapporteur).

**Pr. Robert Lafite.** Professeur des Universités, Université Rouen Normandie (Rapporteur).

**Pr Miquel Canals.** Directeur du département de Dynamique de la Terre et de l'Océan. Faculté des Sciences de la Terre. Université de Barcelone (Rapporteur).

**Dr. Aldo Sottolichio.** Maître de Conférences HDR. Responsable de l'équipe Modélisation, Expérimentation et Télédétection en Hydrodynamique Sédimentaire. Laboratoire EPOC. Université de Bordeaux (Examineur).

**Dr. Laurent Coppola.** Physicien adjoint CNAP HDR, Sorbonne Université, Laboratoire Océanographique de Villefranche-sur-Mer, Institut de la Mer de Villefranche CNRS-SU (Examineur).

**Dr. Yann Leredde.** Maître de Conférences HDR. Directeur du Département d'Enseignement Terre Eau Environnement. Faculté des Sciences de Montpellier (Examineur).

**Dr. Serge Heussner.** Directeur de Recherche CNRS, CEFREM, Université de Perpignan Via Domitia (Examineur).



## Préambule

Après des années de formation universitaire par la recherche, j'ai eu la chance de pouvoir intégrer en tant que Maître de Conférences l'Université de Perpignan et le laboratoire CEFREM en 2009 afin de poursuivre mes activités d'enseignement et de recherche initiées durant mon doctorat et mes années de post-doc. Un peu plus de 10 ans se sont écoulés au cours desquels j'ai encadré plusieurs étudiants de master recherche et de doctorat, que j'ai piloté plusieurs projets de recherche soutenus entre autre par l'INSU mais aussi l'ANR afin de conduire mes activités de recherche sur la dynamique des matières en zone côtière. Plusieurs collègues m'ont alors fortement poussé à franchir le pas.

La période quelque peu étrange que l'on vit actuellement en étant plus ou moins confiné chez soi ou parfois au labo m'a néanmoins permis de faire le point sur mes activités de recherche et d'enseignement. J'avais déjà depuis quelques temps l'idée de franchir cette étape et de faire le point en synthétisant le tout dans un document « officiel ». L'arrêt presque total de mes activités de terrain a été propice à l'établissement du présent document en vue de passer mon « Habilitation à Diriger des Recherches ».

Ce document est composé de 3 parties : la première partie rassemble mon Curriculum Vitae détaillé, la synthèse de mes travaux de recherche, de mes activités d'enseignement et d'encadrement ; la seconde partie concerne le bilan de mes activités de recherche et d'enseignement depuis mon affectation au poste de Maître de Conférences à l'Université de Perpignan ; enfin la troisième partie ouvre sur mes perspectives de recherche et d'enseignement dans les années à venir.



## Table des matières

Préambule.....	3
Curriculum Vitae.....	7
1 Informations générales.....	7
2 Formation.....	7
2.1 Académique.....	7
2.2 Par la recherche.....	7
3 Synthèse bibliographique.....	8
3.1 Publications de Rang A.....	8
3.2 En cours, soumis, en révision.....	12
3.3 Autres publications.....	12
3.4 Production dans des colloques, congrès et séminaires de recherche.....	12
4 Encadrement Master et Doctorants.....	14
4.1 Encadrement de stage de Master 2 Recherche.....	14
4.2 Encadrement de thèse de doctorat.....	15
5 Programmes de recherche.....	16
5.1 En tant que PI.....	16
5.2 En tant que participant.....	18
5.3 Programme d'Observation.....	20
6 Activités pédagogiques.....	21
6.1 Enseignements.....	21
6.2 Responsabilités.....	22
6.3 Formations pédagogiques.....	22
7 Responsabilités Scientifiques.....	22
7.1 Expertises.....	22
7.2 Campagnes à la mer.....	23
7.3 Organisation de campagnes glider.....	24
7.4 Autres responsabilités et reconnaissances.....	24
Bilan de mes activités de recherche : Transfert des matières dans le continuum Terre-Mer.....	27
1 Estimation des flux de matières à l'interface.....	28
1.1 Révision des flux de MES aux embouchures.....	28
1.2 Impacts du changement global sur les flux de matières.....	31
1.3 Apport des images satellite dans la quantification des MES et des flux aux embouchures.....	33
2 Dynamique des matières en zone côtière.....	35
2.1 Rôle de la floculation sur le devenir des matières.....	36
2.2 Impact des apports de matières sur les écosystèmes côtiers.....	44
3 Dynamique des néphéloïdes dans le transfert côte-large.....	47
3.1 Étude de la dynamique des masses d'eau dans le Golfe du Lion.....	48
3.2 Vers une meilleure caractérisation des flux sédimentaires à l'échelle du plateau.....	50
3.3 Rôle des évènements dans les échanges côte-large des matières.....	52
Perspectives.....	57
1 Projets de recherche.....	57
1.1 Rôle des apports sableux sur la dynamique littorale.....	58
1.2 Amélioration des connaissances sur la dynamique des matières en zone côtière.....	60
1.3 Apports de l'océanographie à l'interface Environnement - Énergie.....	63
2 Enseignements.....	63
3 Responsabilités à prendre.....	64

Références bibliographiques.....65  
Annexe.....70  
Remerciements.....73  
Résumé.....76  
Abstract.....76

# Curriculum Vitae

## 1 Informations générales

François BOURRIN

Né le 8 août 1978 à Talence(33) , marié, 2 enfants

Centre de Recherche et de Formation sur les Environnements Méditerranéens

CNRS / Université de Perpignan Via Domitia, UMR 5110

52 avenue Paul Alduy 66000 Perpignan

Tél. : 0468662248

Email : [fbourrin@univ-perp.fr](mailto:fbourrin@univ-perp.fr)

Site web : <https://cefrem.univ-perp.fr/index.php/personnel/27-chercheurs/65-francois>

ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-0266-6992>

## 2 Formation

### 2.1 Académique

2001 : Maîtrise Sciences de la Mer et de l'Environnement de l'Université Bordeaux 1 et de l'Université de Southamton (UK). Programme ERASMUS.

2002 : Diplôme d'Études Approfondies en Océanologie de l'Université Bordeaux 1. Stage de DEA : « Étude de la circulation tidale et subtidale à l'embouchure de l'estuaire de la Gironde » sous la direction d'Aldo Sottolochio, DGO, équipe METHYS, Bordeaux 1.

<https://cefrem.univ-perp.fr/images/files/Rapport%20DEA.pdf>

2007 : Doctorat en Océanologie de l'Université de Perpignan. Mémoire de thèse : « Variabilité et devenir des apports sédimentaires par les fleuves côtiers : cas du système Têt – littoral roussillonnais dans le golfe du Lion » sous la direction de Xavier Durrieu de Madron.

[https://cefrem.univ-perp.fr/images/files/Bourrin%20\(2007\).pdf](https://cefrem.univ-perp.fr/images/files/Bourrin%20(2007).pdf)

### 2.2 Par la recherche

2003-2007 : Doctorant Université de Perpignan.

2006-2007 : ATER Université de Perpignan.

2007-2009 : Post-doctorant au Laboratoire d'Océanographie de Villefranche sur mer sur mer, équipe Optique Marine et Télédétection sous la direction d'Hervé Claustre.

2009-Actuel : Maître de Conférences section 37 UPVD – CEFREM.



### 3 Synthèse bibliographique

33 publications de rang A, 6 en 1<sup>er</sup> auteur, 7 avec mes étudiants en thèse et Master en 1<sup>er</sup> auteur.

740 citations (650 sans les auto-citations), H-index 15 (Scopus, juin 2020)

La liste complète de mes publications en format pdf est disponible sur ma page web personnelle à l'adresse suivante : <https://cefrem.univ-perp.fr/index.php/personnel/27-chercheurs/65-francois>



Figure 1 : Graphique montrant la répartition de mes articles par domaine (source Web of Science, Juillet 2020).

#### 3.1 Publications de Rang A<sup>1</sup>

2020

- (33) **Gentil, M., Many, G.**, Durrieu de Madron, X., Cauchy, P., Pairaud, I., Testor, P., Verney, R., **Bourrin, F.**, 2020. Glider-Based Active Acoustic Monitoring of Currents and Turbidity in the Coastal Zone. Remote Sensing 12, 2875. <https://doi.org/10.3390/rs12182875>
- (32) Mikolajczak, G., Estournel, C., Ulses, C., Marsaleix, P., **Bourrin, F.**, Martin, J., Pairaud, I., Puig, P., Leredde, Y., **Many, G.**, Seyfried, L., Durrieu de Madron, X., 2020. Impact of storms on residence times and export of coastal waters during a mild autumn/winter period in the Gulf of Lion. Continental Shelf Research 104192. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2020.104192>
- (31) Flores Melo, X., Martín, J., **Kerdel, L.**, **Bourrin, F.**, Colloca, C.B., Menniti, C., de Madron, X.D., 2020. Particle Dynamics in Ushuaia Bay (Tierra del Fuego)-Potential Effect on Dissolved Oxygen Depletion. Water 12, 324. <https://doi.org/10.3390/w12020324>
- (30) Balouin, Y., **Bourrin, F.**, **Meslard, F.**, Palvadeau, E., Robin, N., 2020. Assessing the Role of Storm Waves and River Discharge on Sediment Bypassing Mechanisms at the Têt River Mouth in the Mediterranean (Southeast France). Journal of Coastal Research 95, 351. <https://doi.org/10.2112/SI95-068.1>

<sup>1</sup>Les publications des étudiants encadrés et co-encadrés en thèse et master sont indiquées en gras.

## 2019

□(29) Testor, P., Brad DeYoung, Daniel L. Rudnick, Scott Glenn, Daniel Hayes, Craig Lee, Charitha Bandula Pattiaratchi, Katherine Louise Hill, Emma Heslop, Victor Turpin, Pekka Alenius, Carlos Barrera, John Barth, Nicolas Beard, Guislain Becu, Anthony Bosse, François Bourrin, Alex Brearley, Yi Chao, Sue Chen, Jacopo Chiggiato, Laurent Coppola, Richard Crout, James Cummings, Beth Curry, Ruth Curry, Richard Davis, Kruti Desai, Steven DiMarco, Catherine Edwards, Sophie Fielding, Ilker Fer, Eleanor Frajka-Williams, Hezi Gildor, Gustavo Goni, Dimitri Gutierrez, Stephanie Hanson, Peter Haugan, David Hebert, Joleen Heiderich, Karen J. Heywood, Patrick Hogan, Loïc Houpert, Sik Huh, Mark Edward Inall, Masso Ishii, Schin-ichi Ito, Sachihiko Itoh, Sen Jan, Jan Kaiser, Johannes Karstensen, Barbara Kirkpatrick, Jody Klymak, Josh Kohut, Gerd Krahnemann, Marjolaine Krug, Sam McClatchie, Frederic Marin, Elena Mauri, Avichal Mehra, Michael P. Meredith, Travis Miles, Julio Morell, Laurent Mortier, Sarah Nicholson, Joanne O'Callaghan, Diarmuid O'Conchubhair, Peter Robin Oke, Enric Pallàs Sanz, Matthew Palmer, JongJin Park, Leonidas Perivoliotis, Pierre-Marie Poulain, Ruth Perry, Bastien Queste, Luc Rainville, Eric Rehm, Moninya Roughan, Nicholas Rome, Tetjana Ross, Simon Ruiz, Grace Saba, Amandine Schaeffer, Martha Schonau, Katrin Schroeder, Yugo Shimizu, Bernadette Marie Sloyan, David Smeed, Derrick P Snowden, Yumi Song, Sebastiaan Swart, Miguel Tenreiro, Andrew F Thompson, Joaquin Tintore, Robert E Todd, Cesar Toro, Hugh Venables, Stephanie Waterman, Roy Watlington, Doug Wilson, 2019. OceanGliders: A Component of the Integrated GOOS. *Front. Mar. Sci.* 6:422. doi: 10.3389/fmars.2019.00422.

□(28) Pruski, A.M., Buscail, R., Bourrin, F., Vétion, G., 2019. Influence of coastal Mediterranean rivers on the organic matter composition and reactivity of continental shelf sediments: The case of the Têt River (Gulf of Lions, France). *Continental Shelf Research* S0278434318303856. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.05.009>

□(27) **Many, G.**, Durrieu de Madron, X., Verney, R., Bourrin, F., Renosh, P.R., Jourdin, F., Gangloff, A., 2019. Geometry, fractal dimension and settling velocity of flocs during flooding conditions in the Rhône ROFI. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 219, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.01.017>

## 2018

□(26) **Sadaoui, M.**, Ludwig, W., Bourrin, F., Bissonnais, Y., Romero, E., 2018. Anthropogenic Reservoirs of Various Sizes Trap Most of the Sediment in the Mediterranean Maghreb Basin. *Water* 10, 927. <https://doi.org/10.3390/w10070927>

□(25) Jatiault, R., Dhont, D., Loncke, L., Durrieu de Madron, X., Dubucq, D., Channelliere, C., Bourrin, F., 2018. Deflection of natural oil droplets through the water column in deep-water environments: The case of the Lower Congo Basin. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 136, 44–61. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2018.04.009>

□(24) **Meslard, F.**, Bourrin, F., **Many, G.**, Kerhervé, P., 2018. Suspended particle dynamics and fluxes in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 204, 212–224. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.02.020>

□(23) Violaki, K., Bourrin, F., Aubert, D., Kouvarakis, G., Delsaut, N., Mihalopoulos, N., 2018. Organic phosphorus in atmospheric deposition over the Mediterranean Sea: An important missing piece of the phosphorus cycle. *Progress in Oceanography*. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.07.009>

□(22) **Sadaoui, M.**, Ludwig, W., Bourrin, F., Romero, E., 2017. The impact of reservoir construction on riverine sediment and carbon fluxes to the Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography*. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.08.003>

□(21) **Many, G.**, Bourrin, F., Durrieu de Madron, X., Ody, A., Doxaran, D., Cauchy, P., 2018. Glider and satellite monitoring of the variability of the suspended particle distribution and size in the Rhône ROFI. *Progress in Oceanography*. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.05.006>

## 2017

□(20) Testor, P., Bosse, A., Houpert, L., Margirier, F., Mortier, L., Legoff, H., Dausse, D., Labaste, M., Karstensen, J., Hayes, D., Olita, A., Ribotti, A., Schroeder, K., Chiggiato, J., Onken, R., Heslop, E., Mourre, B., D'Ortenzio, F., Mayot, N., Lavigne, H., de Fommervault, O., Coppola, L., Prieur, L., Taillandier, V., Durrieu de Madron, X., Bourrin, F., **Many, G.**, Damien, P., Estournel, C., Marsaleix, P., Taupier-Letage, I., Raimbault, P., Waldman, R., Bouin, M.-N., Giordani, H., Caniaux, G., Somot, S., Ducrocq, V., Conan, P., 2017. Multiscale Observations of Deep Convection in the Northwestern Mediterranean Sea During Winter 2012-2013 Using Multiple Platforms. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1002/2016JC012671>

## 2016

□(19) **Sadaoui, M.**, Ludwig, W., Bourrin, F., Raimbault, P. (2016). Controls, budgets and variability of riverine sediment fluxes to the Gulf of Lions (NW Mediterranean), *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.012>

□(18) Ody, A., Doxaran, D., Vanhellemont, Q., Nechad, B., Novoa, S., **Many, G.**, Bourrin, F., Verney, R., Pairaud, I., Gentili, B., 2016. Potential of High Spatial and Temporal Ocean Color Satellite Data to Study the Dynamics of Suspended Particles in a Micro-Tidal River Plume. *Remote Sensing* 8, 245. <https://doi.org/10.3390/rs8030245>

□(17) **Many, G.**, Bourrin, F., Durrieu de Madron, X., Pairaud, I., Gangloff, A., Doxaran, D., Ody, A., Verney, R., Menniti, C., Le Berre, D., Jacquet, M., 2016. Particle assemblage characterization in the Rhone River ROFI. *Journal of Marine Systems* 157, 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2015.12.010>

□(16) Tallobre, C., Loncke, L., Bassetti, M.-A., Giresse, P., Bayon, G., Buscail, R., de Madron, X.D., Bourrin, F., Vanhaesebroucke, M., Sotin, C., 2016. Description of a contourite depositional system on the Demerara Plateau: Results from geophysical data and sediment cores. *Marine Geology*. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2016.01.003>

□(15) Loncke, L., Maillard, A., Basile, C., Roest, W.R., Bayon, G., Gaullier, V., Pattier, F., Mercier de Lepinay, M., Grall, C., Droz, L., Marsset, T., Giresse, P., Caprais, J.C., Cathalot, C., Graindorge, D., Heuret, A., Lebrun, J.F., Bermell, S., Marcaillou, B., Sotin, C., Hebert, B., Patriat, M., Bassetti, M.A., Tallobre, C., Buscail, R., Durrieu de Madron, X., Bourrin, F., 2015. Structure of the Demerara passive-transform margin and associated sedimentary processes. Initial results from the IGUANES cruise. Geological Society, London, Special Publications. <https://doi.org/10.1144/SP431.7>

## 2015

□(14) Bourrin, F., **Many, G.**, Durrieu de Madron, X., Martín, J., Puig, P., Houpert, L., Testor, P., Kunesch, S., Mahiouz, K., Béguery, L., 2015. Glider monitoring of shelf suspended particle

dynamics and transport during storm and flooding conditions. *Continental Shelf Research* 109, 135–149. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.08.031>

## 2014

□(13) Bressac, M., Guieu, C., Doxaran, D., Bourrin, F., Desboeufs, K., Leblond, N., Ridame, C., 2014. Quantification of the lithogenic carbon pump following a simulated dust-deposition event in large mesocosms. *Biogeosciences* 11, 1007–1020. <https://doi.org/10.5194/bg-11-1007-2014>

## 2013

□(12) Durrieu de Madron, X., Houpert, L., Puig, P., Sanchez-Vidal, A., Testor, P., Bosse, A., Estournel, C., Somot, S., Bourrin, F., Bouin, M.N., Beauverger, M., Beguery, L., Calafat, A., Canals, M., Cassou, C., Coppola, L., Dausse, D., D’Ortenzio, F., Font, J., Heussner, S., Kunesch, S., Lefevre, D., Le Goff, H., Martín, J., Mortier, L., Palanques, A., Raimbault, P., 2013. Interaction of dense shelf water cascading and open-sea convection in the northwestern Mediterranean during winter 2012. *Geophys. Res. Lett.* 40, 1379–1385. <https://doi.org/10.1002/grl.50331>

□(11) Martín, J., Durrieu de Madron, X., Puig, P., Bourrin, F., Palanques, A., Houpert, L., Higuera, M., Sanchez-Vidal, A., Calafat, A.M., Canals, M., Heussner, S., Delsaut, N., Sotin, C., 2013. Sediment transport along the Cap de Creus Canyon flank during a mild, wet winter. *Biogeosciences* 10, 3221–3239. <https://doi.org/10.5194/bg-10-3221-2013>

## 2012

□(10) Michaud, H., Marsaleix, P., Leredde, Y., Estournel, C., Bourrin, F., Lyard, F., Mayet, C., Ardhuin, F., 2012. Three-dimensional modelling of wave-induced current from the surf zone to the inner shelf. *Ocean Science* 8, 657–681. <https://doi.org/10.5194/os-8-657-2012>

□(9) Bressac, M., Guieu, C., Doxaran, D., Bourrin, F., Obolensky, G., Grisoni, J.-M., 2012. A mesocosm experiment coupled with optical measurements to assess the fate and sinking of atmospheric particles in clear oligotrophic waters. *Geo-Marine Letters* 32, 153–164. <https://doi.org/10.1007/s00367-011-0269-4>

## 2009

□(8) Kim, J.-H., Buscail, R., Bourrin, F., Palanques, A., Sinninghe Damsté, J.S., Bonnin, J., Schouten, S., 2009. Transport and depositional process of soil organic matter during wet and dry storms on the Têt inner shelf (NW Mediterranean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 273, 228–238. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.04.019>

## 2008

□(7) Bourrin, F., Friend, P.L., Amos, C.L., Manca, E., Ulses, C., Palanques, A., Durrieu de Madron, X., Thompson, C.E.L., 2008. Sediment dispersal from a typical Mediterranean flood: The Têt River, Gulf of Lions. *Continental Shelf Research* 28, 1895–1910. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.06.005>

□(6) Bourrin, F., Durrieu de Madron, X., Heussner, S., Estournel, C., 2008. Impact of winter dense water formation on shelf sediment erosion (evidence from the Gulf of Lions, NW Mediterranean). *Continental Shelf Research* 28, 1984–1999. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.06.006>

## 2007

□(5) Curran, K.J., Hill, P.S., Milligan, T.G., Mikkelsen, O.A., Law, B.A., Durrieu de Madron, X., Bourrin, F., 2007. Settling velocity, effective density, and mass composition of suspended sediment in a coastal bottom boundary layer, Gulf of Lions, France. *Continental Shelf Research* 27, 1408–1421. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2007.01.014>

□(4) Bourrin, F., Monaco, A., Aloïsi, J.-C., Sanchez-Cabeza, J.-A., Lofi, J., Heussner, S., Durrieu de Madron, X., Jeanty, G., Buscail, R., Saragoni, G., 2007. Last millennia sedimentary record on a micro-tidal, low-accumulation prodelta (Têt NW Mediterranean). *Marine Geology* 243, 77–96. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.04.009>

## 2006

□(3) Guillén, J., Bourrin, F., Palanques, A., Durrieu de Madron, X., Puig, P., Buscail, R., 2006. Sediment dynamics during wet and dry storm events on the Têt inner shelf (SW Gulf of Lions). *Marine Geology* 234, 129–142. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2006.09.018>

□(2) Kim, J.-H., Schouten, S., Buscail, R., Ludwig, W., Bonnin, J., Sinnighe Damsté, J.S., Bourrin, F., 2006. Origin and distribution of terrestrial organic matter in the NW Mediterranean (Gulf of Lions): Exploring the newly developed BIT index. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 7. <https://doi.org/10.1029/2006GC001306>

□(1) Bourrin, F., Durrieu de Madron, X. and Ludwig, W. (2006). Contribution of the study of coastal rivers and associated prodeltas to sediment supply in North-western Mediterranean Sea (Gulf of Lions). *Life and Environment*, 56(4): 307-314.

## 3.2 En cours, soumis, en révision

1. Bourrin, F., Randla, M., Canals, M., Sanchez-Vidal, A., Aubert, D., Menniti, C., Klar, J., soumis. Release of Particles and Metals into Seawater following Sediment Resuspension of a Coastal Mine Tailings Disposal off Portmán Bay, Southern Spain. *Environmental Science and Pollution Research*.
2. Jatiout, R., D. Dhont, F. Besson, M. Tedetti, O. de Fommervault, L. Loncke, F. Bourrin, M. Goutx, X. Durrieu de Madron, in revision. Fluorescence detection of natural hydrocarbon seepage using underwater glider in the offshore Angola. *Journal of Geophysical Research*.
3. Boivin, T., Stitou, D., Bourrin, F., in prep. Theoretical Comparative Study of SWAC Technology in the Gulf of Lion – Energy and economic approach. *Energetics*.

## 3.3 Autres publications

1. **Randla, M.**, Uudeberg, K., Ligi, M., Bourrin, F. (2018). *Heljumi omaduste ja dünaamika varieerumine Pärnu lahes, (Properties and dynamics of SPM (Suspended Particulate Matter) variability in the Pärnu Bay)*, Kaugseire Eestis 2018, Tõravere: Tartu Observatory, University of Tartu, 41-50.
2. Monaco, A., Ludwig, W. et F. Bourrin (2015) Vers une gestion intégrée de la zone côtière du golfe du Lion Impact des aléas climatiques et vulnérabilité. Editions QUAE. Aout 2015.

## 3.4 Production dans des colloques, congrès et séminaires de recherche

1. Balouin, Y., Palvadeau, E., Bourrin, F., 2019. Sediment bypassing mechanisms at river mouths: examples in the mediterranean, in: coastal sediments 2019. presented at the international conference on coastal sediments 2019, world scientific, Tampa/St. Petersburg, Florida, USA, pp. 2899–2907. [https://doi.org/10.1142/9789811204487\\_0248](https://doi.org/10.1142/9789811204487_0248)

2. Bourrin, F., **Many, G.**, **Gentil, M.**, Cauchy, P., Testor, P. & DT INSU. Study Sediment dynamics using gliders. EGO meeting, May 2019. Rutgers University, New Jersey, US.
3. Bourrin, F., **Meslard F.**, Kerherve P., Suspended particle characteristics and fluxes in an Arctic Fjord (Kongsfjorden, Svalbard). The Arctic Science Summit Week, Prague, Czech Republic, Mar 31-Apr. 7, 2017.
4. Bourrin, F., **Randla, M.**, Aubert, D., Menniti, C. In-situ experiment of bottom sediment resuspension in a highly contaminated area, Portman Bay, Southern Spain. Particles in Europe conference. Budapest. Novembre 2016.
5. Bourrin, F. Suspended Sediment Characteristics in coastal waters of the Gulf of Lions observed from fixed and moving platforms (2013). CIESM, Marseille, 2013.
6. Bourrin, F., X. Durrieu de Madron, K. Mahiouz, L. Beguery, L. Houpert, L. Sediment resuspension observed by an optical slocum glider during a typical mediterranean winter storm, 2012 Ocean Science Meeting, Salt Lake City, 19-24 February 2012.
7. Durrieu de Madron X., L. Houpert, P. Puig, A. Sanchez-Vidal, P. Testor, A. Bosse, C. Estournel, S. Somot, F. Bourrin, M.-N. Bouin, A. Calafat, M. Canals, L. Coppola, F. D'Ortenzio, J. Font, S. Heussner, J. Martin, L. Mortier, A. Palanques, P. Raimbault (2012): Interaction of dense shelf water cascading and open-sea convection in the Northwestern Mediterranean during winter 2012, 40th CIESM Congress, 28 Oct. - 1 Nov. 2013, Marseille, France.
8. Durrieu de Madron X., L. Houpert, P. Puig, A. Sanchez-Vidal, P. Testor, A. Bosse, C. Estournel, S. Somot, F. Bourrin, M.-N. Bouin, A. Calafat, M. Canals, L. Coppola, F. D'Ortenzio, J. Font, S. Heussner, J. Martin, L. Mortier, A. Palanques, P. Raimbault (2012): Interaction of dense shelf water cascading and open-sea convection in the Northwestern Mediterranean during winter 2012, EGU General Assembly 2013, 07-12 April 2013, Vienna, Austria.
9. Flores-Melo, X., J. Martín, S. Romero, X. Durrieu De Madron, F. Bourrin, A. Malits, C. Rodriguez-Florez, G.R. Lopez, J. Chiarandinni. Patrones oceanográficos y biogeoquímicos a lo largo del Canal Beagle Argentino durante el invierno austral (Agosto 2017). X Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar - XVIII Coloquio Nacional de Oceanografía. Buenos Aires (Argentina). 31 Julio-3 Agosto 2018.
10. FloresMelo, X., Martín, J., **Kerdel, L.**, Bourrin, F., Colloca Cristina, Menniti, C., Madron, X.D.D., 2019. Hydrography, circulation and suspended particle distribution in Ushuaia Bay and the Beagle Channel Potential effect on dissolved oxygen depletion. Conference: LAPECO 2019, Florianopolis, Brazil. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12622.61763>
11. Gangloff, A., R. Verney, **G. Many**, F. Bourrin, D. Doxaran, I. Pairaud, M. Jacquet, D. Le Berre, C. Estournel. (2015). «A glider in the plume: an innovative approach to investigate the fate of Rhône river sediments in the Gulf of Lions during the 2014 winter flood ». Intercoh Meeting, Louvain (Belgium).
12. **Many, G.**, Bourrin, F., Durrieu de Madron, X., Doxaran, D., Verney, R., Pairaud, I. (2014). Glider monitoring of the Rhône river plume in flooding conditions. Everyone's Gliding Observatories Meeting, Kiel (Ger.)
13. **Many, G.**, Bourrin, F., Durrieu de Madron, X., Verney, R., (2014). Particles characterization of the Rhône river plume in flooding conditions. Particles In Europe 2014, Esbjerg (Dan.)
14. Martín J., X. Flores-Melo, **L. Kerdel**, F. Bourrin, X. Durrieu de Madron, C. Colloca, A. Malits. Suspended particle distribution in response to hydrographic gradients in Ushuaia bay

(Tierra del Fuego, Argentina). I Particles in Americas - XIII Brazilian Meeting of Sediment Engineering. Lugar: Vitoria (Brazil). 24-28 September 2018.

15. Martín, J., Malits, A., Durrieu de Madron, X., Bourrin, F., Flores Melo, X., **Kerdel, L.**, Lovrich, G. Hydrography, circulation and suspended particle distribution in Ushuaia Bay and the Beagle Channel. EGU General Assembly 2019, Lugar: Viena, Austria, 7-12 abril 2019. Referencia: Geophysical Research Abstracts, Vol. 21, EGU2019-17635-1.
16. Martinez Heimann, D., Martín, J., Durrieu de Madron, X., Bourrin, F., Candel, S., Huck, H., Zavala, A.I. Tasas de acumulación de sedimentos en Bahía Ushuaia y el Canal Beagle. V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie. Lugar: La Plata (Argentina), 5-10 Junio 2019.
17. **Randla, M.**, Ligi, M., Uudeberg, K., Kutser, T., Bourrin, F. (2019 May). *The SPM Concentration Dynamics and Linkage Between SPM Size Distribution and Backscattering Properties in Pärnu Bay, Baltic Sea*. Presentation presented at The Living Planet Symposium, Milan, Italy, 13-17 May
18. **Randla, M.**, Ligi, M., Alikas, K., Anspér, A., Reinart, A., Bourrin, F. (2017, March). *Suspended particles characteristics in Pärnu Bay, Baltic Sea*. Poster presented at the ESA Baltic from Space Workshop, Helsinki, Finland, 29-31 March
19. **Randla, M.**, Ligi, M., Uudeberg, K., Kutser, T., Bourrin, F. (2018, October). *Variability of suspended particles properties in Pärnu Bay, Baltic Sea*. Poster presented at The Ocean Optics XXIV Conference, Dubrovnik, Croatia, 07-12 October
20. Tallobre, C., Loncke, L., Giresse, P., Bassetti, M.A., Bayon, G., Buscail, R., Durrieu de madron, X., Bourrin, F. (2015). Description d'un système de dépôt contouritique sur la marge transformante du plateau de Demarara (Guyanne française et Suriname). ASF 2015, Chambéry.

## 4 Encadrement Master et Doctorants<sup>2</sup>

### 4.1 Encadrement de stage de Master 2 Recherche

- **Fatma Cherif**, 2020. Estimation du transport solide par les fleuves côtiers méditerranéens à partir d'une approche de modélisation (TELEMAC/GAIA). Projet DEMAUX.
- **Théo Boivin**, 2020. Étude théorique comparative par modélisation de la technologie SWAC (Sea Water Air Conditioning) dans le Golfe du Lion. Projet FREE CEFREM / PROMES.
- **Jiahan Liu**, 2020. Estimation des flux d'eau et de matière dans les graus des lagunes méditerranéennes : application à la lagune de Bages-Sigean. Projet FLUX.
- **Lancelot Leclerc**, 2019. Interactions Terre-Mer et flux sédimentaires à l'embouchure du fleuve Têt. Projet DEMAUX.
- **Lounes Kerdel**, 2018. Étude du transport d'eau et de particules dans la baie d'Ushuaïa.  
Flores Melo, X., Martín, J., **Kerdel, L.**, Bourrin, F., Colloca, C.B., Menniti, C., Durrieu de Madron, X., 2020. Particle Dynamics in Ushuaia Bay (Tierra del Fuego)-Potential Effect on Dissolved Oxygen Depletion. Water 12, 324. <https://doi.org/10.3390/w12020324>
- **Florian Meslard**, 2016. Dynamique des particules provenant de la fonte d'un glacier arctique. Projet ESCOFAR. Situation actuelle : thèse Région Occitanie projet DEMAUX.

---

<sup>2</sup> Les publications en co-encadrement de thèse ou de master sont indiquées en italique.

**Meslard, F., Bourrin, F., Many, G., Kerhervé, P., 2018.** Suspended particle dynamics and fluxes in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 204, 212–224. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.02.020>

- **Mirjam Randla, 2015.** Étude des propriétés physiques et chimiques des particules remises en suspension sous l'action du chalutage en milieu pollué, Portman, Espagne. Projet Européen MIDAS. Situation actuelle : thèse Estonie-France.

**Bourrin, F., Randla, M.,** Canals, M., Sanchez-Vidal, A., Aubert, D., Menniti, C., soumis. Results from a two vessels in-situ bottom sediment resuspension experiment over a coastal mine tailings disposal site, Portmán Bay, Southern Spain. *Marine Environmental Research*.

## 4.2 Encadrement de thèse de doctorat

### Thèse en cours

- **Mathieu Gentil, 2018-2021.** Contribution à l'étude de la dynamique côtière à l'aide de gliders. Application au Golfe du Lion. Bourse Région Occitanie. Co-encadrement 50 % (50 % Xavier Durrieu de Madron).

**Mathieu, G., Gaël, M.,** Durrieu de Madron, X., Cauchy, P., Pairaud, I., Testor, P., & **Bourrin E., 2020.** Glider-based active acoustic monitoring of currents and turbidity in the coastal zone. *WATER*.

- **Mirjam Randla, 2017-2021.** Study of suspended particle characteristics in Pärnu river ROFI, using in-situ and satellite data. Comparison with Rhône and Têt river ROFIs. Collaboration Franco-Estonienne entre l'Estonian Marine Institute et le CEFREM. Co-encadrement 50 % (50 % Martin Ligi).

**Randla, M.,** Ligi, M., Uudeberg, K., Kutser, T., **Bourrin, E.,** soumis. Variability of suspended particles properties in Western-Estonian coastal area, Baltic Sea. *Oceanologia*.

### Thèses soutenues

- **Gaël Many, 2016.** Impacts of storm and flood events on suspended particulate matter dynamics in the Gulf of Lions. Contributions of gliders to a multi-platform approach. Thèse UPVD. Co-encadrement 50 % (50 % Xavier Durrieu de Madron). Situation actuelle : post-doc Laboratoire d'Aérodologie, Toulouse.

**Many, G., Bourrin, E.,** Durrieu de Madron, X., Pairaud, I., Gangloff, A., Doxaran, D., Ody, A., Verney, R., Menniti, C., Le Berre, D., Jacquet, M., 2016. Particle assemblage characterization in the Rhone River ROFI. *Journal of Marine Systems* 157, 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2015.12.010>

**Many, G., Bourrin, E.,** Durrieu de Madron, X., Ody, A., Doxaran, D., Cauchy, P., 2018. Glider and satellite monitoring of the variability of the suspended particle distribution and size in the Rhône ROFI. *Progress in Oceanography* 163, 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.05.006>

**Many, G.,** Durrieu de Madron, X., Verney, R., **Bourrin, F.,** Renosh, P.R., Jourdin, F., Gangloff, A., 2019. Geometry, fractal dimension and settling velocity of flocs during flooding conditions in the Rhône ROFI. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 219, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.01.017>

- **Mahrez Sadaoui, 2016.** Variabilité et évolution des apports de matières en suspension dans la zone côtière : approche multi-échelle dans le bassin de la Méditerranée. Thèse UPVD. Co-encadrement 50 % (50 % Wolfgang Ludwig). Situation actuelle : recruté IR CNRS au CEFREM fin 2017.



Sadaoui, M., Ludwig, W., Bourrin, F., Raimbault, P., 2016. Controls, budgets and variability of riverine sediment fluxes to the Gulf of Lions (NW Mediterranean Sea). *Journal of Hydrology* 540, 1002–1015. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.012>

Sadaoui, M., Ludwig, W., Bourrin, F., Bissonnais, Y., Romero, E., 2018a. Anthropogenic Reservoirs of Various Sizes Trap Most of the Sediment in the Mediterranean Maghreb Basin. *Water* 10, 927. <https://doi.org/10.3390/w10070927>

Sadaoui, M., Ludwig, W., Bourrin, F., Romero, E., 2018b. The impact of reservoir construction on riverine sediment and carbon fluxes to the Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography*. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.08.003>

## 5 Programmes de recherche

### 5.1 En tant que PI

1. **MELANGE (2020-2023)**. Le projet ANR ASTRID-MATURATION “MELANGE” (Mesure en tEmps-réel des fLUX sédimentAires en zoNe côtière à l'aide de Gliders) fait suite au projet ANR ASTRID “MATUGLI” (Mesures Autonomes de la TURbidité côtière à l'aide de GLIders) au cours duquel un prototype de plateforme autonome de mesure de la turbidité a été développé. Dans le cadre du projet MELANGE, il est prévu de fiabiliser ce prototype avec l'aide d'un industriel (ALSEAMAR) et d'une PME (CENTRALWEB) afin de produire un outil capable de mesurer et transmettre les mesures de courant, turbidité et in fine les flux de matières aux diverses échelles spatiales (du mètre à la centaine de kilomètres) et temporelles (de la seconde à plusieurs mois) de la zone côtière. Cet outil pourra à terme aussi bien permettre la surveillance de la qualité des eaux côtière dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau et de la Directive Cadre Stratégie sur le Milieu Marin pour les parcs marins par exemple, la surveillance du courant et de la visibilité sous-marine pour les applications militaires, mais ces données permettront également d'alimenter les modèles hydrodynamiques de prévision côtière. Chercheurs impliqués: Xavier Durrieu de Madron, CEFREM; Frédéric Jourdin, SHOM. PME/PMI: Laurent Beguery, ALSEAMAR; Jérémy Gautier, CENTRALWEB.
2. **TAPIOCA (2019-2020)**. « opTicAl PropertIes of cOmplex optiCAI waters: comparison between Baltic and Mediterranean Sea ». PHC grant Estonia – France. Programme de mobilité Hubert Curien Parrot. Le programme TAPIOCA vise à mieux caractériser les particules en suspension au niveau des embouchures des fleuves de taille moyenne en Estonie et en France en utilisant des données in-situ et en les comparant avec des images satellites haute résolution. Les eaux de la mer baltique sont saumâtres et riches en CDOM alors que les eaux de la mer Méditerranée sont salées avec de faibles teneurs en matières en suspension. Dans le cadre de la thèse de Mirjam Randla (co-encadrée), des algorithmes de traitement des données satellite seront développés sur les 2 sites (fleuve Parnü et Têt) afin de retrouver les concentrations en particules, CDOM et fluorescence de la Chl a. Chercheurs impliqués: Martin Ligi (co-PI), Kersti Kangro, Tartu Observatory, Estonia; Xavier Durrieu de Madron, CEFREM, France.
3. **METPAG (2019-2020)**. « MEsures de la Taille des PArticules à l'aide de Gliders ». EC2CO DRILL, INSU CNRS. La mesure de la concentration et de la taille des particules marines en suspension est un paramètre critique afin de mieux appréhender la dynamique sédimentaire, les flux de carbone, de polluants et de particules biologiques dans les zones côtières. Les méthodes traditionnelles pour observer la dynamique des matières en suspension comprennent les bouées, les mouillages et cages de fonds équipés de capteurs optiques et

acoustiques. Ces systèmes de mesure sont idéals pour suivre la dynamique 1D des processus hydro-sédimentaires. Mais ceux-ci ne sont pas adaptés pour suivre la dynamique hydro-sédimentaire à l'échelle d'un plateau continental tel que le golfe du Lion. Ce projet a pour but d'intégrer un capteur de mesure directe de la taille des particules en suspension afin de mieux caractériser la dynamique des particules à l'échelle du golfe du Lion lors des événements extrêmes. Cela vise notamment à mieux documenter le rôle de floculation sur la dynamique des particules et la variabilité spatio-temporelle des mécanismes de transfert côte-large.

Chercheurs impliqués : Travis Miles, Rutgers University, US ; Romaric Verney, IFREMER Brest ; David Doxaran, LOV, Villefranche sur Mer.

4. **DEMEAUX (2016-2020).** « DEMonstrateur EAUX Roussillon ». CPER et 3S Région LR, Agence de l'eau. Des besoins croissants et une ressource contrainte : l'aquifère du Roussillon (66), qui assure l'alimentation en eau potable de Perpignan, est étudié afin de mieux connaître ses propriétés. L'objectif est de développer d'ici 2020 un modèle de gestion. Le projet Dem'Eaux Roussillon durera jusqu'en 2020. Il mobilise des organismes de recherche (BRGM – coordinateur, Irstea, les Universités de Montpellier et de Perpignan Via Domitia), des entreprises spécialisées en géosciences (BRL Ingénierie, FUGRO Geoter et Yellowscan) et en informatique (Synapse), ainsi que les gestionnaires de la ressource en eau du territoire (Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon et Syndicat Mixte du Bassin Versant de la Têt).

Chercheurs impliqués: Yvan Caballero, Yann Balouin, BRGM; Frédéric Bouchette, GM; Y Serge Berné, Wolfgang Ludwig, CEFREM.

5. **HYDRO-USHUAIA (2017-2020).** « Dynamique des particules dans le chenal de Beagle et la baie d'Ushuaia ». La ville d'Ushuaia est située au fond d'une baie, qui est étroitement connectée au canal de Beagle. Avec ses 100 000 habitants, une activité industrielle, un trafic maritime intense, et le fait que les effluents urbains et industriels sont rejetés dans la baie sans aucun traitement, la baie d'Ushuaia est un site très anthropisé où sont observés des événements d'hypoxie. En l'absence de données adéquates, l'étude simultanée de l'hydrologie, de la nature des particules en suspension, de la courantologie et du transport particulaire dans la baie d'Ushuaia et le canal de Beagle apparaît comme une priorité pour mieux appréhender le devenir des rejets en matière particulaire de la ville d'Ushuaia et des fleuves locaux et leur impact sur l'hydrologie et la turbidité des eaux de la baie. Les objectifs de ce projet sont donc de mettre en place, en collaboration avec un collègue (Jacobo Martín) du Centre Austral d'Étude Scientifique (CADIC-CONICET) d'Ushuaia, une reconnaissance saisonnière des conditions hydrologiques et courantologiques dans la baie d'Ushuaia et le Canal de Beagle, afin de mieux documenter et comprendre les caractéristiques et la dynamique des masses d'eaux et du matériel particulaire d'origines diverses (apports fluviaux, rejets urbains, érosion du sédiment) dans cette zone. Chercheurs impliqués: Xavier Durrieu de Madron, CEFREM (co-PI), Jacobo Martin, CADIC-CONICET, Ushuaia.

6. **MATUGLI (2014-2018).** « Mesures Autonomes de la Turbidité côtière à l'aide de GLIders » . ANR ASTRID DGA. Le projet MATUGLI traite d'une question clé concernant le milieu marin côtier : la caractérisation de la turbidité comme critère de visibilité de l'eau dans les zones côtières à différentes échelles spatiales et temporelles. La turbidité est également étudiée comme un proxy de la concentration des particules en suspension. Ce paramètre est alors important pour estimer la qualité et la quantité de particules en suspension (sédiments, matières organiques et les contaminants associés) et leur transfert depuis les bassins-versants vers l'océan. De plus, les matières en suspension sont les vecteurs des contaminants, des

matières organiques et nutriments et jouent donc un rôle clé pour la santé et le bon état des écosystèmes côtiers. Le projet MATUGLI a permis un développement instrumental novateur avec l'intégration d'un profileur de courant sur un drone sous-marin, unique en Europe. Des campagnes de mesures dans le Golfe du Lion ont permis de mieux appréhender la variabilité spatio-temporelle de la turbidité. Le drone sous-marin développé dans ce projet permettra à terme de suivre en temps réel les paramètres de qualité de l'eau, dont la turbidité, dans les zones côtières. Ce projet est en phase avec la Directive cadre Stratégie pour le milieu marin (DCSMM) en vue d'atteindre le bon état écologique de la zone côtière.

Chercheurs impliqués: Frédéric Jourdin, SHOM; Pierre Testor, Laurent Mortier, LOCEAN; Romaric Verney, IFREMER, Brest; Ivane Pairaut, IFREMER, La Seyne sur mer; David Doxaran, LOV, Villefranche sur mer

7. **TUCPA (2013-2014).** « TURbidité Côtière et Plateforme Autonomes ». EC2CO DRILL, INSU CNRS. Le but de cette étude était de développer une méthode de mesure de la turbidité côtière de manière autonome. La turbidité est un proxy de la concentration des matières en suspension composées de sédiments et de matière organique. Le suivi de ce paramètre permet notamment d'évaluer/quantifier les échanges côte-large de ces matières qui peuvent avoir un impact notable sur les écosystèmes côtiers. La mesure des flux permet en outre d'établir des bilans du stockage dans la zone côtière et d'exportation vers le large. Les observations de turbidité sont souvent faites à partir de mesures discrètes, à partir de points fixes (mouillages, bouées, ...), de navires de recherche par conditions de beau temps, ou bien à l'aide d'images satellites. Or la plupart des échanges de matières entre le continent et l'océan côtier se déroulent lors des événements de crues et tempêtes durant lesquels il est très difficile de faire des mesures en mer alors que les gradients spatiaux sont amplifiés. Il était ainsi attendu dans ce projet la mise au point d'une méthode de mesure de la turbidité de manière optique à partir de planeurs sous-marins.

Chercheurs impliqués: Romaric Verney, IFREMER, Brest; Ivane Pairaut, IFREMER, La Seyne sur mer; David Doxaran, LOV, Villefranche sur mer.

## 5.2 En tant que participant

1. **FLUX (2017-2021).** Suivi de la dynamique du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées en milieu lagunaire. Projet Région Occitanie. Agence de l'eau. A l'échelle du territoire français, les lagunes méditerranéennes sont un écosystème particulièrement important pour les populations d'anguilles européennes en permettant notamment une production accélérée de géniteurs (ou anguilles argentées). Cependant, et malgré cette importance reconnue, très peu de données quantitatives sur les arrivées (ou recrutement) des civelles dans les lagunes méditerranéennes et les retours d'anguilles argentées vers la mer depuis ces mêmes lagunes (échappement) sont disponibles. Afin de combler ces lacunes, nous proposons d'évaluer les flux de recrutement et d'échappement des anguilles par la mise en place, sur la lagune atelier de Bages-Sigean, de dispositifs de suivis automatisés et continus. Ces suivis sont réalisés quotidiennement pendant la première année du projet pour identifier les périodes principales de recrutement et d'échappement, périodes durant lesquelles se focaliseront les dits suivis les deux années suivantes. Le suivi de l'échappement s'effectue à l'aide d'un sonar multifaisceaux ARIS et le suivi du recrutement à l'aide de différents types de pièges spécifiques aux civelles. Ces deux dispositifs, associés à la relève des paramètres environnementaux (débit, température, salinité, turbidité, direction et force du courant et du vent), permettront d'obtenir des données inédites sur la dynamique du recrutement et de l'échappement (périodicité et abondance) des anguilles et identifier leurs déterminismes (facteurs moteurs de l'environnement). La réalisation des deux suivis sur la même lagune devrait permettre à long

terme de relier le nombre d'anguilles s'échappant vers la mer à celui des civelles ayant recrutées les années précédentes. Ce type de données, très rare au niveau national (et inexistant au niveau du bassin méditerranéen), devrait permettre de mieux comprendre l'effet des facteurs environnementaux et des pressions anthropiques sur l'échappement et ainsi potentiellement de prédire, selon les années, les niveaux d'échappement. Chercheurs impliqués: Elsa Amilhat, Elisabeth Faliex, François Bourrin, Raphaël Lagarde, CEFEM.

2. **CHIFRE (2017-2019).** « Coastal High Frequency Response to Extreme Events, storms and floods ». EC2CO DRIL INSU CNRS. Dans un contexte de changements globaux, l'impact des événements extrêmes, crues et tempêtes, sur les écosystèmes côtiers est investigué pour le cas du golfe du Lion. La réponse rapide (quelques heures à quelques jours) du milieu marin côtier est observée grâce à 5 stations côtières automatiques de mesures, SOLA Banyuls, POEM Perpignan, BESSète, MESURHO à l'embouchure du Rhône et SOLEMIO Marseille. L'objectif principal de ce projet est de rendre compte de la variabilité de la réponse Haute Fréquence (HF) à l'échelle d'une même zone côtière. Pour ce faire, le milieu marin côtier est caractérisé par la mesure de variables physico-chimiques que l'on est capable de mesurer à haute fréquence, la Température, la Salinité, la concentration en Oxygène Dissous, la Fluorescence et la Turbidité. Ces mesures sont réalisées en continu sur une période de deux ans (juin 2017-juin 2019), à haute fréquence (périodicité < 1h) et en subsurface (3 m) et viennent compléter un ensemble de données BF issues du réseau SOMLIT et la modélisation.  
Chercheurs impliqués: Yann Leredde, GM, Montpellier (PI); Pascal Conan, OOB, Banyuls sur Mer; Behzad Mostajir, Francesca Vidussi, MARBEC, Montpellier.
3. **SUNRISE (2015-2017).** « Flux sédimentaires, turbidité et intégrité des fonds pour la Stratégie pour le Milieu Marin ». ANR Défi 1 : Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique. SunRISE rassemble une large communauté de laboratoires de recherche français et étrangers, de bureaux d'études et d'instances de gouvernance afin de répondre en particulier i) aux problématiques liées au changement climatique dans un contexte de vulnérabilité du trait de côte, ii) aux questions posées par les Directives Européennes, pour lesquelles des indicateurs d'état pertinent doivent être imaginés et des stratégies de suivi mises en place. SunRISE est organisé autour de 5 « workpackages » principaux (WP) visant à identifier les sujets de recherche prioritaires permettant à répondre aux deux thématiques « flux sédimentaires à échelle régionale dans un contexte de changement climatique », et « définition d'indicateurs d'état pour les paramètres physiques caractérisant l'environnement marin » : WP1 définit les processus essentiels à aborder, WP2 les innovations nécessaires en terme d'observation, WP3 les différentes approches de modélisation numérique, WP4 la recherche liée aux indicateurs. Le dernier WP est transversal, et consistera à définir les grandes lignes d'une ou plusieurs propositions qui devront être soumises en 2016 en réponse aux appels à projets ANR et/ou Horizon2020. Chercheurs impliqués: Florence Cayocca, Romaric Verney, Pierre Le Hir, IFREMER, Brest. Miquel Canals, UB, Barcelone; Robert Laffite, M2C, Caen-Rouen.
4. **MIDAS (2013-2016).** « Managing Impacts of deep Sea Ressource Exploitation », EU FP7 project. Le projet MIDAS était un programme de recherche multidisciplinaire qui étudiait les impacts environnementaux de l'extraction des ressources minérales et énergétiques des grands fonds marins. Il s'agit notamment de l'exploitation de matériaux tels que les sulfures polymétalliques, les nodules de manganèse, les encroûtements cobaltifères de ferromanganèse, les hydrates de méthane et l'exploitation potentielle des éléments des terres rares. Le projet MIDAS a été financé au titre de l'initiative Framework 7 de la Commission européenne à partir de novembre 2013 pour une période de 3 ans, et a récemment achevé son programme de recherche. Dans ce cadre, des expériences de perturbations par chalutage

sur un analogue côtier riche en minerais ont été menées afin de caractériser l'impact potentiel sur les écosystèmes cotiers.

Chercheurs impliqués: Miquel Canals, Anna Sanchez-Vidal, UB, Barcelone; Dominique Aubert, CEFREM.

5. **ESCOFAR (2014-2015).** « Etude des Sources CONTinentales dans un Fjord Arctique », EC2CO DRIL – IPEV. Ce projet visait à mieux définir d'un point de vue quantitatif et qualitatif les apports continentaux à l'Océan Arctique et plus spécifiquement, les apports par les glaciers côtiers arctiques pendant la période estivale de fonte, ainsi que la réponse de l'écosystème benthique face à ces dépôts importants de sédiments. Les études séparées sur les glaciers arctiques et sur l'écologie benthique existent, mais aucune étude n'a combiné à la fois la quantification du matériel particulaire déversée par un glacier, sa diffusion en zone côtière, sa sédimentation, sa caractérisation géo- et biogéo-chimique ainsi que son impact sur l'écosystème benthique. Le projet présenté peut se résumer par les trois questions scientifiques suivantes:- Quelle est la quantité de matériel particulaire en terme de masse et de carbone organique déversé par les glaciers côtiers et les rivières de glaciers à l'échelle d'un fjord arctique (cas du Kongsfjorden)? - Quelle est la composition bio-géo-chimique de ce matériel allochtone? - Quel est l'impact de ces apports continentaux sur l'écosystème benthique d'un fjord arctique?

Chercheurs impliqués: Philippe Kerhervé, CEFREM (PI); Nathalie Morata, UBO.

6. **DUNE (2008-2011).** « Dust experiment in low Nutrient, low chlorophyll Ecosystem », ANR Blanc. Le but du projet DUNE était d'estimer l'impact des dépôts atmosphériques sur un écosystème oligotrophe. Cette étude était basée sur des expériences en mésocosmes afin de simuler de forts apports de poussières minérales éoliennes. Les expériences en mésocosmes avaient pour but de représenter des événements réels de dépôts atmosphériques à la surface des eaux marines oligotrophes et étaient un essai original afin d'évaluer l'impact des poussières sahariennes sur la colonne d'eau. Les expériences ont été menées durant les étés 2008 et 2010 durant lesquels ont été menées 2 séries de dépôts de poussières sahariennes simulés à partir de poussières analogues provenant de sols détritiques de différentes sources. Des mesures in-situ des propriétés optiques de la colonne d'eau et des prélèvements d'eau pour analyses biogéochimiques ont été menés au cours de l'expérience afin de mesurer le devenir des poussières dans la colonne d'eau et de mesurer l'impact sur la biogéochimie marine.

Chercheurs impliqués: Cécile Guieu (PI), Mathieu Bressac, LOV; Céline Ridame, LOCEAN; Karine Desboeufs, LISA.

### 5.3 Programme d'Observation

1. **MOOSE (2010-).** « Mediterranean Ocean Observing System of the Environment », SOERE ALLENI INSU / IR ILICO. MOOSE constitue un réseau d'observation, multi-site et intégré, entre les trois Observatoires des Sciences de l'Univers méditerranéens : Banyuls (UPMC), Marseille (Université de la Méditerranée) et Villefranche (UPMC) et les unités mixtes de recherche CEREGE (Université Paul Cézanne, CNRS-INSU), CEFREM (Université de Perpignan, CNRS-INSU), LSEET (Université de Toulon et du Var ; CNRS-INSU), LOCEAN (Université Paris VI, CNRS-INSU), LSCE (Université de Versailles, CNRS-INSU), en collaboration avec l'IFREMER et MétéoFrance, afin d'observer sur le long terme les effets du changement climatique et ceux induits par les activités anthropiques en Méditerranée Nord-Occidentale. L'objectif premier est de pérenniser les séries temporelles, d'harmoniser les stratégies d'observations entre les laboratoires, de mettre en

œuvre des moyens de mesures modernes et automatisés pour une observation couplée océan-atmosphère et d'augmenter significativement le flot de données temps réel afin de mieux contraindre les modèles climat-océan et ceux liés à l'océanographie opérationnelle. Enfin, avec l'aide des modèles, MOOSE doit apporter les données indispensables à l'établissement de scénarios « du futur » qui permettront d'explorer l'évolution de la Méditerranée en réponse au changement climatique et aux pressions anthropiques, permettant ainsi de proposer des adaptations.

Chercheurs impliqués : Laurent Coppola, LOV ; Pierre testor, LOCEAN.

2. **MERMEX (2016-2020).** « Marine Ecosystem Response in the Mediterranean Experiment », MISTRALS ALLENI. MISTRALS a pour mission de transformer les objectifs et résultats de recherche en concepts et données accessibles aux décideurs, acteurs territoriaux et gestionnaires, afin d'identifier les besoins et nécessités nationaux et transnationaux et de répondre aux enjeux sociétaux, environnementaux et économiques pour le développement durable des pays et des populations partageant l'aire méditerranéenne. La vision novatrice de MISTRALS est d'intégrer les analyses scientifiques faites sur le système géophysique constitué par l'aire méditerranéenne avec les besoins sociétaux, dans un souci constant d'optimisation de la communication entre chercheurs d'horizons complémentaires et niveaux de décision. Ainsi, MISTRALS s'articule actuellement autour de 8 programmes thématiques internationaux couvrant en particulier :
  - Le cycle de l'eau en Méditerranée, l'évolution de la variabilité climatique et la genèse et la prévisibilité des événements hydrométéorologiques intenses (HYMEX, MERMEX)
  - l'évolution de la biogéochimie marine sous la pression des changements naturels et des impacts socio-économiques et anthropiques, leur influence sur les écosystèmes marins et la biodiversité (MERMEX).
3. **COAST-HF (2018-).** IR-LICO, CNRS INSU. COAST-HF est un réseau qui vise à fédérer et coordonner à l'échelle du littoral français un ensemble de plateformes fixes instrumentées de mesures in situ hautes fréquences pour des paramètres clés des eaux côtières. Ce réseau comprend 18 partenaires : Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN) ; Centre de recherches en environnement côtier (CREC) ; Géosciences Montpellier ; Institut français de recherche pour l'exploration de la mer (IFREMER) ; Institut méditerranée d'océanologie ; Institut Pythéas ; Institut universitaire européen de la mer (IUEM) ; NKE Instrumentation ; Observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer (OOB) ; Observatoire océanologique de Villefranche-sur-Mer (OOV) ; Observatoire de recherche Méditerranéen de l'environnement (OREME) ; Station biologique de Roscoff ; Université d'Aix-Marseille ; Université de Bretagne occidentale (UBO) ; Université de Caen (UNICAEN) ; Université de Montpellier ; Université Pierre et Marie Curie (UPMC).

## 6 Activités pédagogiques

### 6.1 Enseignements

Enseignements généraux en Licence Sciences et Vie de la Terre-Mer (90h / an depuis 2009)

Géodynamique externe et interne

Océanographie générale

Magmatisme et Métamorphisme (organisation de sorties terrain)  
Sédimentologie et pétrologie des Roches sédimentaires (organisation de sorties terrain)  
Géomatique et Cartographie Numérique

Enseignements en Master Sciences de la Mer (90h / an depuis 2009)

Récolte et traitement de données en plongée scientifique

Océanographie physique méditerranéenne

Traitement et analyse de données (programmation)

Flux de matières à l'interface Continent / Océan

Enseignements en cursus ingénieur SUP'ENR (10h / an depuis 2016)

Océanographie générale et Énergie Marines Renouvelables

## 6.2 Responsabilités

Responsable de formation du Master « Géosciences Marines et Environnements Aquatiques » 1ère année de 2011 à 2015 à l'Université de Perpignan.

Coordinateur du « Certificat Informatique et Internet Métiers de l'Environnement et de l'Aménagement Durable » de 2012 à 2018 à l'Université de Perpignan.

## 6.3 Formations pédagogiques

Contrat Enseignant Pédagogie Innovante (2018-19) accompagné d'une décharge d'enseignement de 96h TD afin de développer un projet autour de la Cartographie Numérique à l'aide de données drone pour des applications environnementales.

# 7 Responsabilités Scientifiques

## 7.1 Expertises

- Membre du Comité National de Pilotage Gliders (CNPGL, La Seyne-sur-mer) – depuis 2019.
- Membre du comité d'évaluation pour l'ANR du programme ASTRID (Accompagnement Spécifique des Travaux de Recherches et d'Innovation Défense) – depuis 2018.
- Expert Observation Côtière en Méditerranée pour le réseau européen MONGOOS (<http://www.mongoos.eu/>).
- Animateur prospective Surfaces Interfaces Continentales CNRS Atelier Continuum Homme/Terre/Mer – 2017, ainsi que pour le défi 10 du CNRS « Continuum et Interfaces Terre-Mer » - 2020.
- Membre expert pour l'HCERES pour l'évaluation du laboratoire M2C Caen-Rouen – Novembre 2015.
- Membre de jury de thèse comme examinateur :  
Rut Pedrosa Pamies. Composition, origin and transport of organic matter in continental margins and basins of the Mediterranean Sea. Universitat de Barcelona. Septembre 2016.  
Laura Lopez Fernandez. Sediment Dynamics and associated heavy metals in a small river and wave dominated inner shelf (Barcelona City, NW Mediterranean). Institut Polytechnica

de Barcelona. Septembre 2013.

Matthieu Bressac « Apports atmosphériques à l’océan – Devenir du fer atmosphérique, interactions des particules avec la matière organique et conséquences sur l’export de carbone » UMPC, février 2013, Villefranche-sur-mer.

- Peer-reviewer d’articles de rang A dans les revues internationales suivantes: Marine Geology , Journal of Great Lakes Research , Continental Shelf Research , Ocean Engineering, Estuarine, Coastal and Shelf Sciences, Environnemental Pollution, Journal of Environmental Management
- Expertises pour l’UMS Flotte océanographique française concernant les campagnes à la mer (2015-2019).
- Expertise pour la NSF, US. Division of Ocean Sciences Biological Oceanography program (2019).
- Expertise pour l’ANR Blanc – AAP générique 2020.
- Membre du Comité de Pilotage du PAPI du Réart, du Bassin versant l’Étang de Canet Saint-Nazaire, ainsi que du programme de restauration du fleuve Têt aval. Perpignan Méditerranée Métropole.

## 7.2 Campagnes à la mer

### En tant qu’organisateur

- Campagnes embarquées à la semaine dans le cadre du projet TUCPA (avril 2013, R/V Néréis) et février 2014 (R/V Antédon) [16 jours].
- Campagnes embarquées à la semaine dans le cadre du projet MATUGLI 2016 (janvier 2016, février 2016, avril 2016, mai 2016, août 2016 et novembre 2016, R/V Téthys II) : <https://doi.org/10.17600/16007900> (legs 1 et 2) et <https://doi.org/10.17600/16016600> (legs 3 à 6). [48 jours].
- Campagnes embarquées à la semaine dans le cadre du projet MATUGLI 2017 (janvier 2017 et mars 2017, R/V Téthys II) : <https://doi.org/10.17600/17008700> (leg1) et <https://doi.org/10.17600/17008800> (leg2) [16 jours].
- Campagnes embarquées à la semaine dans le cadre du projet METPAG Legs 1 et 2 (janvier 2020 et février 2020, R/V Téthys II) [16 jours].

### En tant que participant

Campagne CASCADE (février-mars 2011) dans le cadre du programme MERMEX (R/V Atalante) : <https://doi.org/10.17600/11010020> [30 jours].

Campagne PLUMRHO leg 1 <https://doi.org/10.17600/15007300> et leg 2 <https://doi.org/10.17600/15007700> (février-mars 2015, R/V Téthys II) [16 jours].

Campagne HYDRO-USHUAIA dans le canal de Beagle (août 2017, R/V Bernardo Houssai) [15 jours].



Campagne ESCOFAR IPEV (août 2015, Svalbards, R/V Jean Floc'h) [15 jours].

Campagne MIDAS (R/V Angeles Alverino, Institut Océanographique Espagnol, Cartagena, Espagne) [20 jours].

### 7.3 Organisation de campagnes glider

1. Bourrin François, Testor Pierre, Mortier Laurent, Coppola Laurent, Claustre Hervé, D'Ortenzio Fabrizio, Durrieu De Madron Xavier, Raimbault Patrick (2018). **Chifre 2018** (EGO glider : Theque) (Mediterranean Sea - Western basin). SEANOE. <https://doi.org/10.17882/56442>
2. Bourrin François, Durrieu De Madron Xavier, Many Gaël, Verney Romaric, Pairaud Ivane, Testor Pierre, Mortier Laurent (2017). **Matugli 2017** (EGO glider : Theque) (Mediterranean Sea - Western basin). SEANOE. <http://doi.org/10.17882/51459>
3. Bourrin François, Durrieu De Madron Xavier, Many Gaël, Verney Romaric, Pairaud Ivane, Testor Pierre, Mortier Laurent (2017). **Matugli 2016** (EGO glider : Theque) (Mediterranean Sea - Western basin). SEANOE. <http://doi.org/10.17882/51458>
4. Bourrin François, Durrieu De Madron Xavier, Many Gaël, Verney Romaric, Pairaud Ivane, Testor Pierre, Mortier Laurent (2017). **Plumrho 2015** (EGO glider : Tenuse) (Mediterranean Sea - Western basin). SEANOE. <http://doi.org/10.17882/51434>
5. Bourrin François, Durrieu De Madron Xavier, Many Gaël, Verney Romaric, Pairaud Ivane, Testor Pierre, Mortier Laurent (2017). **Tucpa 2014 Rhône** (EGO glider : Tenuse) (Mediterranean Sea - Western basin). SEANOE. <http://doi.org/10.17882/51456>
6. Bourrin François, Testor Pierre, Mortier Laurent, Coppola Laurent, Claustre Hervé, D'Ortenzio Fabrizio,, Durrieu De Madron Xavier, Raimbault Patrick (2018). **Tucpa 2013 Têt** (EGO glider : Tenuse) (Mediterranean Sea - Western basin). SEANOE. <https://doi.org/10.17882/56441>
7. Bourrin François, Testor Pierre, Mortier Laurent, Coppola Laurent, Claustre Hervé, D'Ortenzio Fabrizio, Durrieu De Madron Xavier, Raimbault Patrick (2018). **Cascade deployment** (EGO glider : Tenuse) (Mediterranean Sea - Western basin). SEANOE. <https://doi.org/10.17882/56458>

### 7.4 Autres responsabilités et reconnaissances

- Responsable de site au sein du Réseau de Systèmes d'Observation MOOSE de 2010 à 2016 (<http://www.moose-network.fr/>). Ce réseau d'observation à l'échelle de la méditerranée Nord-Occidentale a pour but de maintenir des stations de mesures environnementales (hydrologie et biogéochimie) depuis les bassins vers l'océan profond. Je coordonnais au sein de ce réseau les activités scientifiques du laboratoire CEFREM (stations fleuve, atmosphérique, côtière, lignes de mouillage).
- Responsable scientifique de la station d'observation POEM-L2R du CEFREM (mesures hautes fréquences des événements de crues et tempêtes) comprenant une station fluviale haute fréquence et une bouée instrumentée.

- Responsable de l'animation de l'axe de recherche 3 au sein du laboratoire et membre du conseil de laboratoire du CEFREM depuis 2015 (<http://cefrem.univ-perp.fr/index.php/organigramme>).
- Animateur scientifique du thème 1 : « Forçages terrestres et rôle des interfaces » du prochain plan quadriennal du CEFREM (2020-2025).
- PEDR (« Prime d'Encadrement Doctoral et de Recherche ») section 37 depuis 2018.
- Lauréat de projets BQR (« Bonus Qualité Recherche » 15k€ par projet) UPVD en 2010 (« Apports de la granulométrie laser in-situ pour l'étude des propriétés de matières en suspension »), 2014 (« Caractérisation de la taille des sédiments par granulométrie laser »), 2017 (« Hydrologie et propriétés des matières en suspension en baie d'Ushuaïa »).



## Bilan de mes activités de recherche : Transfert des matières dans le continuum Terre-Mer

La zone côtière constitue une zone tampon entre les continents et les océans. Elle est le réceptacle des matières provenant des bassins-versants, en stocke une partie et en relargue une autre vers le large. Le suivi des « matières » dans le continuum Terre-Mer est le fil rouge de mes activités de recherche menées depuis mes études de DEA (Bourrin, 2002) sous la direction d'Aldo Sottolichio au laboratoire EPOC (Bordeaux 1) jusqu'à aujourd'hui au CEFREM en passant par mes études de doctorat au CEFREM et de post-doctorat au laboratoire d'Océanographie de Villefranche-sur-mer. Ces « matières » que j'ai étudiées depuis 2002 concernent la partie en suspension provenant des bassins-versants qui sont constituées des produits de l'érosion (sédiments). Mais elles sont aussi le vecteur des matières organiques et des contaminants dont les métaux avec qui elles se complexent dans l'environnement pour former des floccs et/ou agrégats dans le milieu marin. Dans le cadre de ma thèse de doctorat (Bourrin, 2007), je me suis concentré sur le devenir des apports fluviaux en matières en suspension (MES) dans la zone côtière et l'enregistrement sédimentaire laissé par les forçages fluvio-marins (crues et tempêtes) au niveau des prodeltas (Figure 2, Résultante).

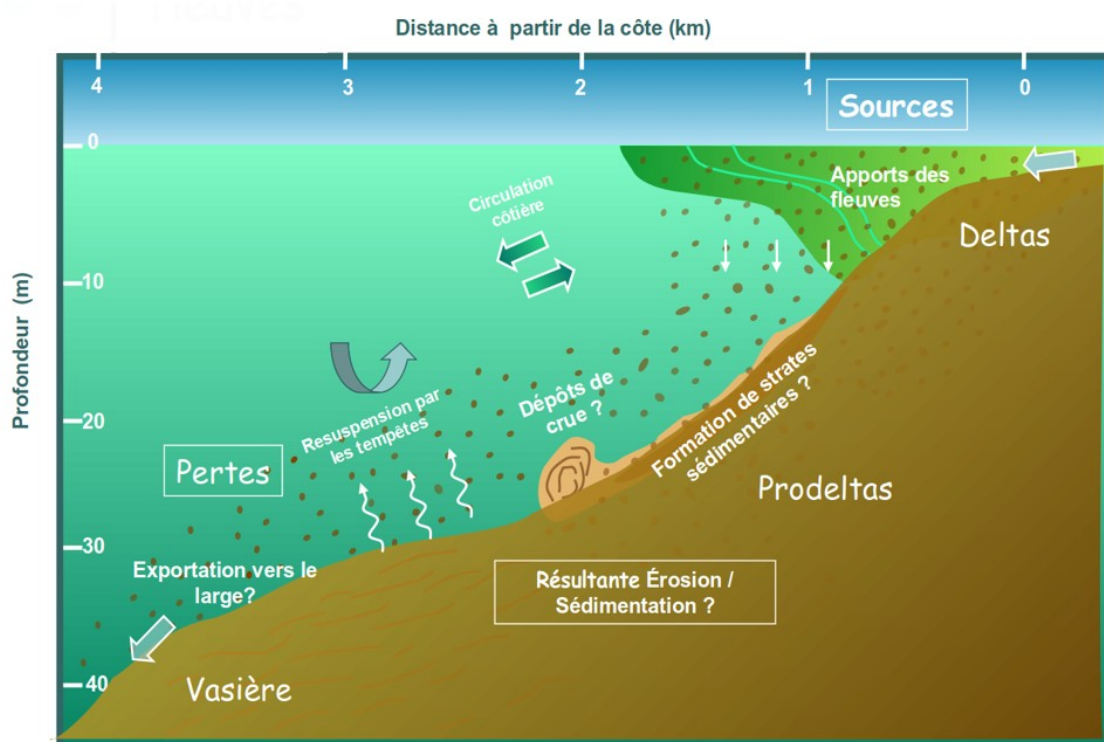


Figure 2 : Processus hydro-sédimentaires intervenant dans le transfert côte-large des matières en suspension (d'après Geyer and Traykovski, 2001).

Mes travaux de recherche se sont appuyés sur des développements instrumentaux importants avec dans un premier temps la mise en place de stations de mesure haute-fréquence à terre sur le fleuve Têt mais aussi en mer avec la bouée instrumentée POEM (Plateforme d'Observation de l'Environnement Méditerranéen, <https://cefrem.univ-perp.fr/qgis2web/homebis/donnees%20temps>

[%20reel/#9/42.8317/3.2135](#)). Tous ces dispositifs sont maintenus au sein de l'Infrastructure de Recherche ILICO (<https://www.ir-ilico.fr/>) contenant les Services Nationaux d'Observation labellisés par l'INSU : MOOSE et COAST-HF dans lesquels je me suis impliqué. Au cours de mes années de post-doc au LOV, je me suis familiarisé à la biogéochimie et l'utilisation des plateformes autonomes sous la direction d'Hervé Claustre. Il m'a permis de découvrir le potentiel de l'utilisation des gliders pour l'océanographie à grande échelle mais aussi pour le domaine côtier. J'ai ensuite dirigé un premier projet de recherche financé par le programme EC2CO « TURbidité Côtière et Plateformes Autonomes » afin de démontrer l'utilité des gliders munis de capteurs optiques pour comprendre l'impact des phénomènes de crue et de tempête à l'échelle du plateau du Golfe du Lion. C'est au cours de ce programme que j'ai co-encadré ma première thèse sur le sujet (Many, 2016). Pour aller plus loin dans la compréhension et l'estimation des flux de MES pendant les événements météorologiques intenses, j'ai ensuite monté et dirigé le programme MATUGLI financé par l'ANR afin d'implémenter un ADCP sur un glider et mieux mesurer les courants et les concentrations de MES par voies optique et acoustique. La thèse de M. Gentil en cours vise notamment à développer une méthodologie d'estimation des flux sédimentaires à l'aide d'un glider-ADCP. Le programme MATUGLI a notamment permis de développer un prototype qui sera fiabilisé dans le cadre du programme ANR MELANGE que je pilote et qui vient de débiter en collaboration avec un industriel ALSEAMAR. Enfin, au cours du projet MATUGLI, on a mis en évidence des différences dans les signaux optiques et acoustiques dans certaines situations où les populations de particules sont dispersées en taille ou de natures différents. Afin de mieux caractériser la dynamique des MES notamment dans les zones côtières sous l'influence des panaches fluviaux, j'ai eu l'opportunité de collaborer avec un collègue américain de l'Université de Rutgers afin d'implémenter un capteur LISST sur un glider. Cette intégration s'est faite dans le cadre d'un autre projet EC2CO « MEsure de la Taille des PARTicules à l'aide de GLIders » que je pilote également au cours duquel des mesures in-situ de taille des particules ont été réalisées à haute fréquence spatio-temporelle devant le Rhône. Les données seront exploitées dans le cadre de la thèse de M. Gentil (Gentil, en cours).

Après avoir rappelé le contexte laboratoire / programmes de mes activités de recherche, cette partie bilan est organisée en 3 sous-parties qui correspondent à mes 3 principaux centres d'intérêt : la 1ère s'intéresse à l'estimation des flux de matières par les fleuves, dans la seconde on s'intéressera à mes activités liés à la dynamique des particules en suspension dans la zone côtière et notamment le rôle de la floculation, et enfin dans une 3ème partie on s'intéressera à la dynamique des couches turbides ou néphéloïdes dans la zone côtière en fonction des forçages fluvio-marins et leur transfert vers le large.

## **1 Estimation des flux de matières à l'interface**

### **1.1 Révision des flux de MES aux embouchures**

La quantification des flux d'eau et de MES est primordiale lorsque l'on s'intéresse aux transferts côte-large et notamment lorsque l'on étudie la dispersion des matières sur le plateau continental. Il existe un grand nombre de données disponibles mais les bases ne sont pas homogènes et les données sont spatialement très dispersées. Ceci est vrai lorsque l'on s'intéresse au Golfe du Lion mais c'est d'autant plus le cas lorsque l'on regarde la Méditerranée dans son ensemble. Dans le

cadre des travaux de thèse de Sadaoui (2016), nous avons réévalué les flux de matière des fleuves côtiers du Golfe du Lion et du Rhône. Les premières courbes de corrélation débit / charge solide pour l'ensemble des fleuves côtiers du Golfe du Lion avaient été réalisées par Bourrin et al. (2006). Cette étude comprenait les estimations pour les fleuves roussillonnais (Têt, Tech et Agly), les fleuves languedociens (Aude, Orb et Hérault) mais également les fleuves cévenols (Lez et Vidourle). Une nouvelle méthode d'estimation des flux sédimentaires à long-terme a été validée à partir des données haute résolution disponibles dans les différentes bases (SNO MOOSE, BDD CEFREM, ...).

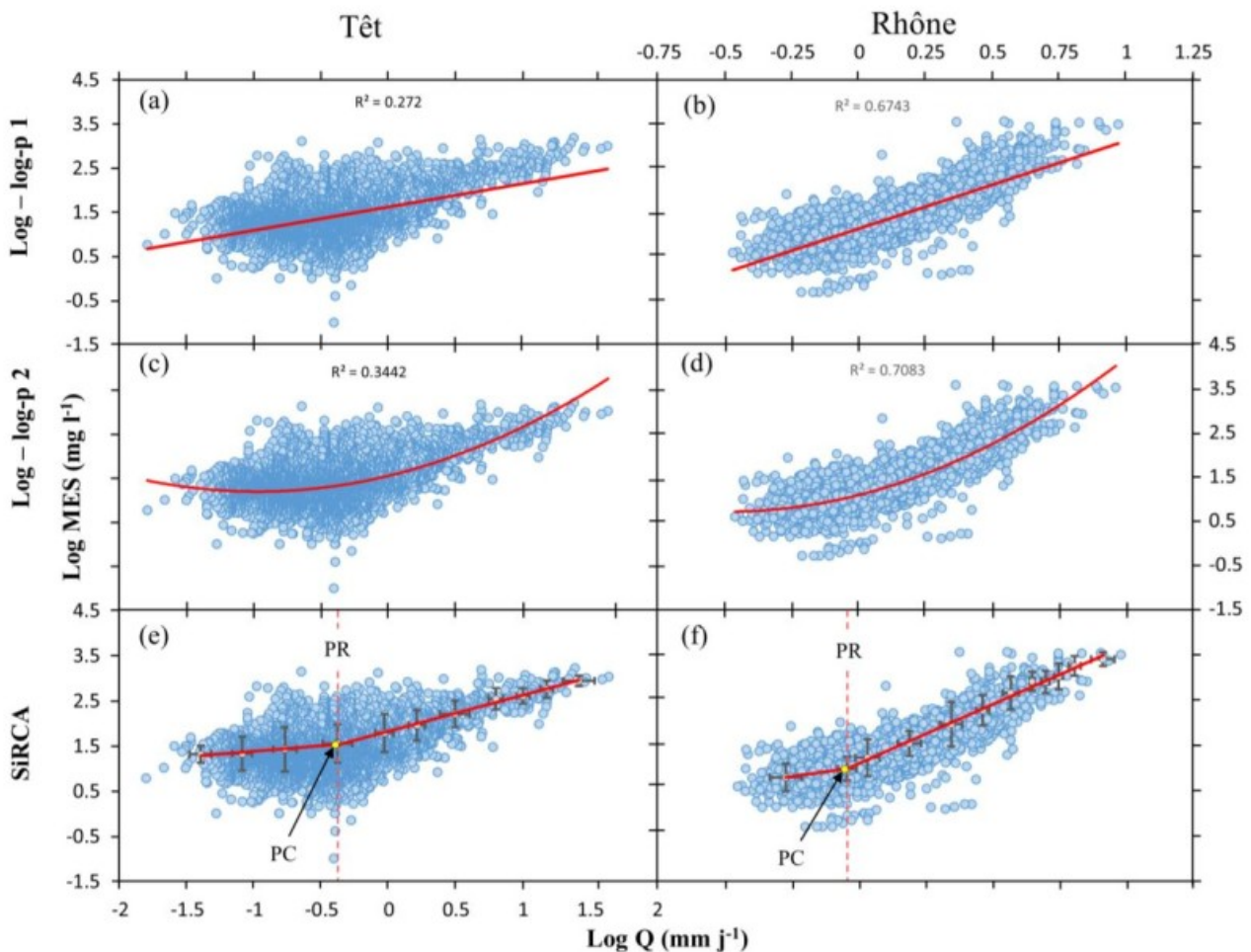


Figure 3 : Ajustement des courbes de tarage Q-MES à partir des données haute résolution pour les fleuves Têt (a, c et e) et Rhône (b, d et f). Pour le modèle SiRCA (e et f), PR indique le point de rupture et PC le point de changement (Sadaoui, 2016).

Sadaoui (2016) a montré que les méthodes de régression linéaire classique ou polynomiale d'ordre 2 ne permettent pas d'estimer de manière optimale les flux de MES. Ceci est d'autant plus vrai lorsque l'on s'intéresse aux bilans annuels où les estimations sont sous-estimées durant les années sèches et surestimées durant les années humides. Le modèle SiRCA pour « Simplified Rating Curve Approach » a été développé en vue d'optimiser l'estimation des flux en périodes de basse-eau et en crue (Figure 3). Celui-ci est basé sur l'estimation de 2 courbes de tarage (régression linéaire) séparées par un point de changement (PC) dans la série de données entre les données en régime

d'étiage et de crue. Ce modèle est d'autant plus important pour les fleuves côtiers qui sont soumis à des régimes torrentiels avec un très faible débit de base et par contre des débits en crue pouvant augmenter de 3 ordres de grandeur par rapport au débit de base. Enfin, la méthode SiRCA permet de renforcer les mesures de MES dans des conditions de hauts débits, généralement sous-représentés dans les ensembles de données Q-MES, afin d'éviter les biais possibles dans les estimations.

Les principaux résultats de la thèse de Sadaoui (2016) montrent que les fleuves côtiers contribuent en moyenne à 5 % des apports totaux annuels au Golfe du Lion (Figure 4). Cependant, au cours de certaines années propices aux événements de crues extrêmes (type cévenol) comme en 2011, la contribution des fleuves côtiers peut approcher les 30 %, ce qui montre que ces fleuves peuvent jouer un rôle important dans les bilans globaux de MES (Milliman and Meade, 1983; Milliman and Syvitski, 1992). A l'échelle méditerranéenne, bien que les fleuves côtiers occupent 38 % de la surface de drainage, ils apportent environ 58 % du flux solide total annuel (Sadaoui et al., 2018).

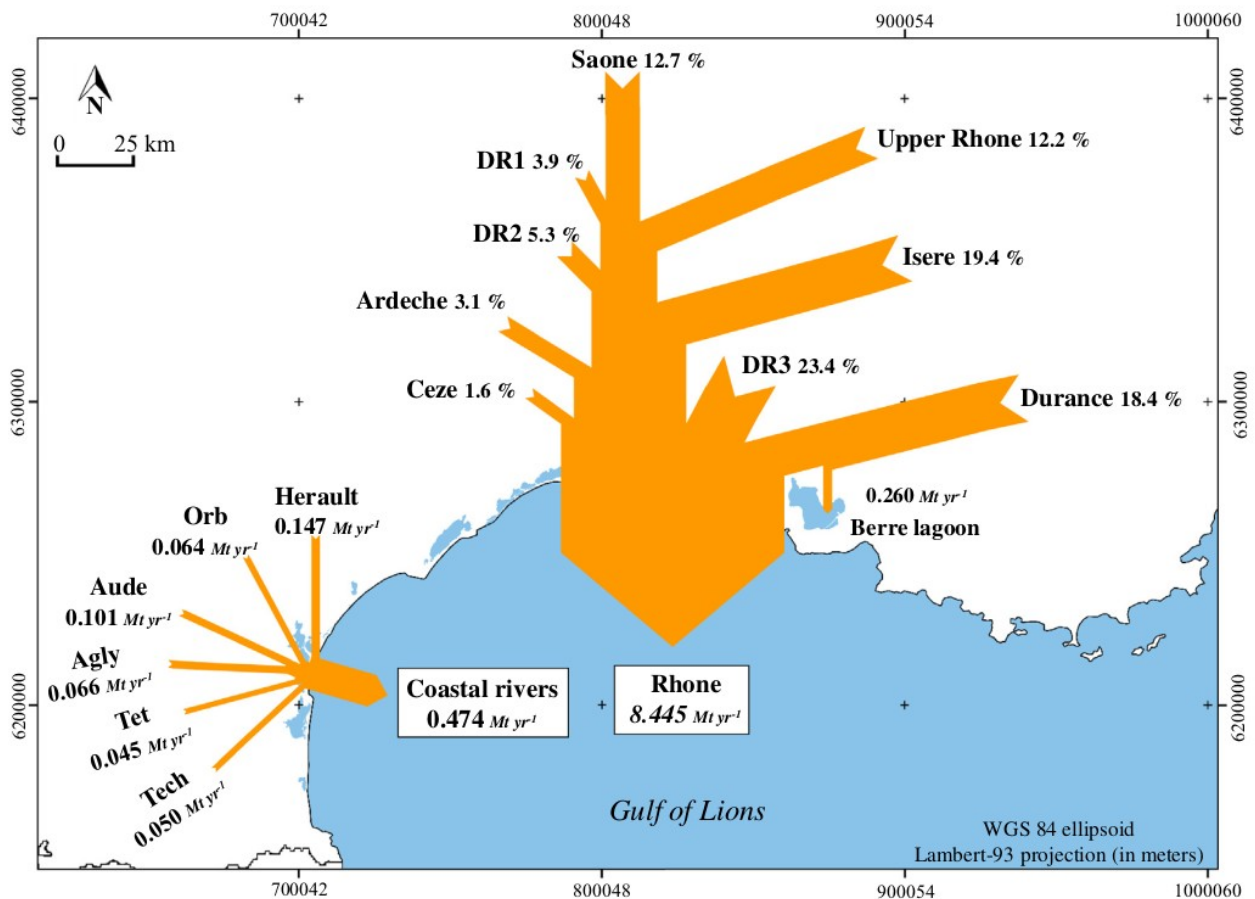


Figure 4 : Quantification des apports solides annuels des fleuves côtiers et du Rhône ainsi que des sous-bassins au Golfe du Lion (Sadaoui et al., 2016).

Ces estimations ne prennent cependant pas en compte les fleuves côtiers situés entre le Rhône et l'Hérault qui peuvent apporter une part non négligeable de sédiment. Il existe également un certain nombre d'étangs côtiers qui communiquent avec la mer par des embouchures ou graus. La contribution de ces étangs qui se vidangent de la partie fine de sédiments lorsque les vents

continentaux sont bien établis n'est également pas prise en compte.

Lorsque l'on s'intéresse aux flux spécifiques de MES c'est-à-dire normalisés par la surface du bassin versant, il existe de très fortes disparités entre les fleuves côtiers et les sous-bassins du Rhône et de ses affluents. Ils sont généralement plus faibles pour les fleuves côtiers où une grande surface de leur bassin versant est occupée par des massifs rocheux. La superficie des bassins-versants n'a aucune influence sur les flux spécifiques de MES comme on aurait pu le penser. Les principaux facteurs de contrôle sont la lithologie et le caractère torrentiel de l'écoulement.

Toutes ces estimations des flux solides sont établies à partir de mesures combinées de débit liquide et de charge de matières en suspension. Les flux solides apportés par charriage (transport de fond) ne sont pas pris en compte actuellement et ceux-ci concernent principalement les sables qui alimentent les plages. Dans le cadre du projet DEMEAUX (CPER Occitanie 2016-2020) que je coordonne pour l'Université de Perpignan, nous nous intéressons particulièrement aux estimations de flux sableux au regard des flux de particules fines transportées par les fleuves côtiers pendant les événements de crues typiques du climat Méditerranéen. La frange sableuse littorale est principalement rechargée de manière naturelle par les apports fluviaux. Cette frange littorale joue également un rôle de barrière physique entre le continent et la mer. Or les bilans des stocks sableux de la zone littorale du Golfe du Lion montrent que toute la zone est en érosion depuis l'établissement de suivis réguliers (Brunel et al., 2014). Ce déficit serait essentiellement dû à la baisse du nombre de jours de crue par les fleuves côtiers mais également à l'aménagement des bassins-versants avec la construction des barrages. Il reste cependant à mettre en relation les quantités de sédiments notamment les sables retenus par les constructions humaines dans les bassins-versants avec les déficits estimés au niveau des littoraux et voir s'il existe des pertes vers le large.

## **1.2 Impacts du changement global sur les flux de matières**

On estime que le changement global concentre les changements climatiques naturels mais aussi les changements anthropiques (IPCC report, 2014). Le changement climatique naturel est dû essentiellement aux forçages externes comme la variabilité du flux solaire total aux différentes échelles temporelles, des cycles de Milankovitch jusqu'aux cycles centenaires voire millénaires (Helama et al., 2010). Les changements anthropiques concernent notamment nos émissions de gaz à effet de serre qui ont un impact certain sur le changement climatique actuel. Les impacts du changement global ont plusieurs effets à différentes échelles spatio-temporelles. Cependant, les études récentes montrent que le réchauffement climatique ferait diminuer de manière importante le débit de la plupart des fleuves méditerranéens (Ludwig et al., 2009) dont ceux du Golfe du Lion (Lespinas et al., 2010, 2014) à cause en partie de la diminution des précipitations dans les bassins-versants. Bien que les apports liquides par les fleuves soient intimement liés aux apports solides, il n'existe pas de tendance claire dans la série temporelle des flux sédimentaires des fleuves côtiers et du Rhône à long terme (1975-2015 ; Sadaoui, 2016).

Les mesures directes des flux sédimentaires avant et après construction d'un barrage sont rares et la plupart des études concernant l'impact des barrages sur l'évolution des flux sédimentaires sont basées sur des méthodes indirectes (Syvitski et al., 2005; Vörösmarty et al., 2003). Dans Sadaoui (2016), nous avons dans un premier temps, modélisé les flux naturels liquides et solides à l'échelle



de la Méditerranée à l'aide de régressions multiples sur les données existantes (débits, charge et caractéristiques du bassin-versant). Ensuite, nous avons estimé les taux de rétention des sédiments par les grands barrages à partir de la BD GranD (Global Reservoir and Dam). Une analyse SIG des données basées sur une évaluation du routage des flux sur les bassins-versants affectés par les barrages a permis d'évaluer les flux sédimentaires anthropiques. On a ainsi estimé qu'en 2003, environ 35 % des flux de sédiments ont été retenus par les barrages à l'échelle méditerranéenne (Figure 5). Ces valeurs constituent des valeurs minimums du fait que la seule base de données disponible sur les barrages est largement incomplète et couvre seulement une faible partie du bassin méditerranéen. Il faut aussi mentionner que ces simulations s'arrêtent en 2003 et que de nombreux barrages ont été mis en eau depuis. Enfin d'après nos simulations, la capacité de stockage des barrages a baissé de 22 %, et 30 % d'entre eux ont une durée de vie estimée n'excédant pas 200 ans (Sadaoui et al., 2018).

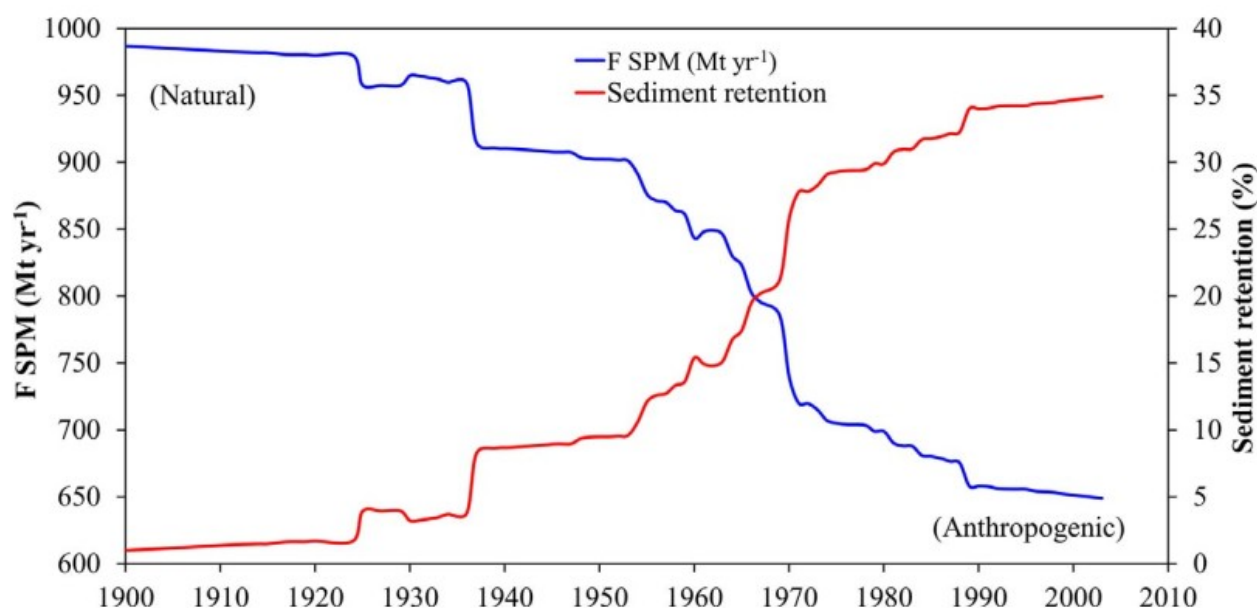


Figure 5 : Evolution des flux sédimentaires naturels ( $F_{SPMn}$ ) exportés annuellement par les fleuves méditerranéens sur la période 1900-2003, incluant l'effet des barrages (courbe bleue); évolution annuelle cumulée de la rétention en sédiment (%) par les réservoirs (courbe rouge).

Si on se focalise sur le Golfe du Lion, les taux de rétention de sédiments sont d'environ 64 % soit 2 fois plus importants que dans le reste de la Méditerranée. Ceci est dû en particulier à la forte anthropisation du fleuve Rhône qui apporte près de 95 % des apports liquides et solides au Golfe du Lion mais dont 70 % de ses sédiments sont retenus dans les barrages.

Les bases de données (flux liquides et solides, données sur les barrages, ...) utilisées dans la thèse de Sadaoui (2016) montrent de grandes disparités à l'échelle méditerranéenne qui peuvent être complétés et améliorés par l'analyse fine des images satellite. Ce travail a été réalisé en partie pour l'étude sur les barrages à l'échelle de la Mer Méditerranée (Sadaoui et al., 2018 ; 2020) mais il reste à compléter cette base de données notamment pour le Golfe du Lion.

Enfin, un essai de comparaison des flux de MES apportés par les fleuves côtiers méditerranéens avec ceux des fleuves côtiers arctiques a été entrepris dans le cadre du programme de recherche

ESCOFAR. En effet les glaciers arctiques sont des zones où le changement climatique se fait particulièrement ressentir en drainant de plus de sédiments vers la zone côtière avec la fonte glaciaire. Ces fleuves glaciaires et notamment aux Svalbard, apporteraient un flux sédimentaire d'un ordre de grandeur supérieur à ceux des fleuves côtiers de même taille en zone tempérée (Meslard et al., 2018). Leur prise en compte dans les bilans globaux est donc primordiale afin d'estimer les flux totaux de MES.

### 1.3 Apport des images satellite dans la quantification des MES et des flux aux embouchures

Les méthodes de mesure classique des flux de MES nécessitent de lourds moyens humains et financiers afin de maintenir les stations fluviales notamment celles du SNO MOOSE (IR ILICO) dont les stations Têt à Villelongue de la Salanque et Rhône à Arles. Dans le cadre d'une collaboration avec David Doxaran du LOV, nous avons évalué le potentiel des images satellite haute résolution afin d'estimer les concentrations et les flux de MES au niveau de l'embouchure du fleuve Rhône et le transport jusque dans la zone côtière. La résolution spatiale des images ne permettaient pas jusqu'à présent de rentrer à terre et de voir des objets de la largeur du fleuve Rhône.



Figure 6 : Images RGB Landsat-8 (résolution spatiale (30m) du 6 novembre 2014 (A) du fleuve Rhône et de des embouchures, zooms sur (B) la station de mesure d'Arles et (C) la station marine MESURHO.

La combinaison des données des bandes spectrales infrarouge et proche infra-rouge des images satellite Landsat-8 avec les données in-situ des stations fluviale et marine a permis d'établir des relations robustes afin d'estimer les concentrations de matières en suspension (Ody et al., in prep.). Il apparaît que les relations sont différentes pour les estimations des concentrations de MES aux

différentes stations Arles et MESURHO (Figure 6). Ceci peut s'expliquer par des différences dans les caractéristiques des propriétés des MES dont la nature, la forme, et la taille. Néanmoins, les concentrations des MES dans le fleuve sont très supérieures à celles rencontrées au niveau de la zone côtière.

On remarque que les concentrations en MES baissent de moitié entre les mesures à la dernière station avant l'embouchure et l'exutoire du Rhône (Figure 7). On peut expliquer en partie cette baisse par un dépôt des sédiments les plus grossiers dans la partie terminale du fleuve au niveau du delta. Ensuite, on remarque une chute brutale de ces concentrations au droit de l'embouchure. L'explication la plus plausible est l'effet de dilution des apports fluviaux dans le milieu côtier en passant d'un écoulement concentré et chenalisé au domaine côtier plus dynamique. En arrivant à la station marine MESURHO sur 28 m de fond, les concentrations en MES ont diminuées d'un facteur 6 par rapport à la station d'Arles et celles-ci chutent ensuite rapidement en allant vers le large pour atteindre des valeurs de quelques mg/L. Ici la cause de la diminution des concentrations des MES est probablement dû aux effets de la floculation des particules issues du fleuve qui entraînent une augmentation de leur vitesse de chute (Dyer, 1989; Eisma, 1986; Winterwerp, 1999) comme on le verra dans le prochain chapitre.

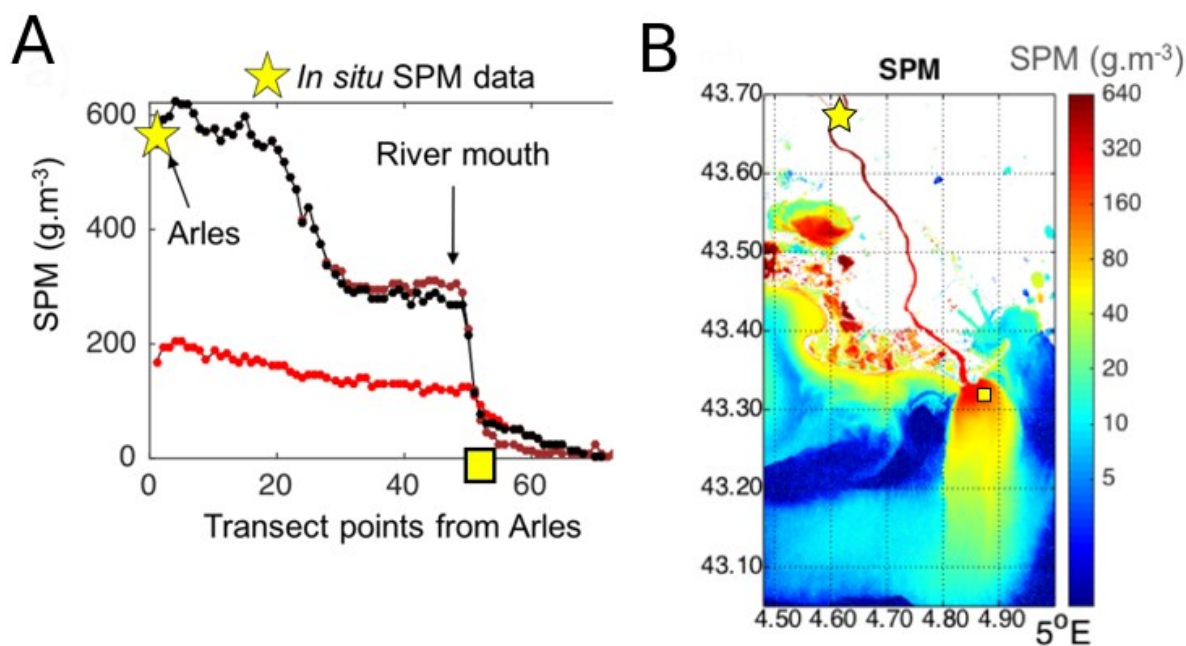


Figure 7 : (A) Transect de Arles jusqu'au large de l'embouchure du Rhône des concentrations des MES dérivées des images Landsat-8 et (B) carte de surface des concentrations des MES dérivées à partir des bandes spectrales infrarouges et proche infrarouge. Les étoiles jaunes indiquent la station d'Arles et le carré jaune la station marine MESURHO.

L'apport de l'imagerie satellite nous renseigne de manière précise sur la distribution des MES en surface ainsi que sur certaines de leurs propriétés dont la concentration. Ces images ne permettent cependant pas de renseigner précisément sur les caractéristiques des particules situées plus profondément que l'épaisseur optique (couche d'eau de surface vue par les satellites) de quelques centimètres à quelques mètres (Doxaran et al., 2003; Irigoien and Castel, 1997) et ne sont utilisables

que lorsque la couverture nuageuse est faible. Le lancement de nouveaux satellites / capteurs couleur de l'eau comme Sentinel-2 – MSI avec des résolutions spatiales de plus en plus fines (<10 m) permettront sans doute de passer à des objets plus petits comme la Têt et d'estimer les flux de MES à moindres coûts en s'affranchissant en partie des stations de prélèvement.

**Les résultats majeurs de cette partie « sources de matières » sont :**

(1) La révision des flux de matières en suspension apportées par le Rhône vs par les fleuves côtiers au Golfe du Lion a été réalisée en utilisant une nouvelle méthode SiRCA qui permet de distinguer les flux de MES à l'étiage des flux de MES en période de crue. Bien que les fleuves côtiers puissent jouer un rôle important en termes d'apports liquide et solide certaines années, le Rhône apporte en moyenne 95 % des apports au Golfe du Lion.

(2) L'estimation de la rétention des MES par les barrages dans le Golfe du Lion et à l'échelle méditerranéenne a été évaluée à partir des bases de données disponibles : 35 % des sédiments sont retenus dans les barrages à l'échelle méditerranéenne et 64 % à l'échelle du Golfe du Lion à cause de la forte anthropisation du fleuve Rhône.

(3) L'utilisation des images satellite haute résolution de couleur de l'eau est désormais possible pour estimer les flux aux embouchures des fleuves tels que le Rhône : les images satellite haute résolution permettraient ainsi de s'affranchir en partie des stations de mesure coûteuses en moyens humain et financier.

**Les verrous restant à lever sont :**

(1) Alors que la quantification du transport en suspension est relativement bien documentée pour le Golfe du Lion, la quantification des apports fluviaux sableux reste très peu étudiée.

(2) Les apports en MES par les fleuves côtiers sont bien connus, par contre la contribution des lagunes a peu été prise en compte et pourrait amener à réviser les bilans.

(3) Avec l'augmentation de la résolution des capteurs, l'utilisation des images satellite haute résolution pourraient permettre d'estimer les flux par les petits fleuves côtiers.

## 2 Dynamique des matières en zone côtière

La quantification et la caractérisation des matières à l'interface continent-océan revêt une importance majeure lorsque l'on s'intéresse à leur devenir dans le milieu marin. Les principales questions de recherche concernent (1) le stockage et la transformation de ces matières dans la zone côtière et (2) leur transfert vers le large (Figure 2). Ces matières sont essentiellement composées de sédiments : on distingue les sédiments grossiers ou sables qui ont un caractère non-cohésif, ceux-ci sédimentent rapidement et vont alimenter les littoraux, et les sédiments fins qui ont un caractère cohésif. Ces derniers subissent des modifications importantes en passant du milieu fluvial au milieu marin qui affecte leur devenir en zone côtière (Figure 8).

En effet, le changement des propriétés physico-chimiques environnementales induit un changement de forme des sédiments fins qui ont tendance à flocculer sous l'effet de différents facteurs (turbulence, salinité, nature et taille des particules primaires, ...) et former des microflocs (<100µm) qui peuvent à leur tour s'agréger et former des macroflocs (Eisma, 1986). Les macroflocs sont moins résistants que les microflocs et peuvent se rompre sous l'effet de la turbulence et former à nouveau des microflocs (Curran et al., 2007). Ces floccs forment des complexes avec les matières

organiques mais aussi les contaminants et sont ensuite disséminés dans et hors de la zone côtière en fonction des forçages hydrodynamiques, et sédimentent lorsque les forçages diminuent. Dans cette seconde partie, on s'intéressera (1) au rôle de la floculation dans le devenir et la transformation des matières fines en zone côtière, et (2) à l'impact des apports de matières associées aux métaux / contaminants sur les écosystèmes côtiers.

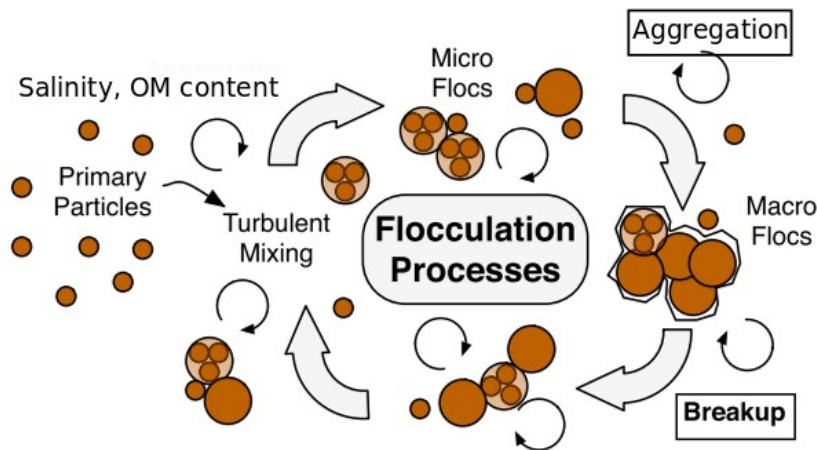


Figure 8 : Facteurs et processus de floculation des particules dans le milieu marin d'après Kuprenas et al. (2018).

## 2.1 Rôle de la floculation sur le devenir des matières

### Apport des images satellites

L'exploitation des images satellite de couleur de l'eau permettait jusqu'à présent de caractériser la distribution et la concentration des MES en surface à haute résolution spatiale d'un côté et temporelle de l'autre (Doxaran et al., 2003; Ody et al., 2016). Dans la thèse de Gaël Many (Many, 2016), nous avons ainsi montré que la combinaison des mesures in-situ permet de valider cette méthode en zone côtière mais aussi de valider l'estimation d'indices de taille de particules en suspension à partir des images satellites (Many et al., 2018). A partir des données in-situ, nous avons montré que la pente spectrale ( $\gamma$ ) de la relation entre le log du coefficient de rétrodiffusion particulaire ( $\log(b_{bp}(\lambda))$ ) et le log de la longueur d'onde correspondante ( $\log(\lambda)$ ) est ainsi directement proportionnel au paramètre de Junge ( $j$ ) qui définit la proportion de grosses particules vs fines particules dans l'assemblage particulaire (Many et al., 2016). Cette relation avait été initialement démontrée pour les particules en suspension dans l'océan du large (Babin et al., 2003). Nous avons démontré que cette relation fonctionnait également dans les eaux côtières à partir des données satellite lorsque les concentrations ne sont pas trop fortes ( $[MES] < 35 \text{ mg L}^{-1}$ ). Ainsi, en surface devant l'embouchure du Rhône, nous avons pu montrer que l'assemblage particulaire est dominé par des macroflocs dans la zone « inner-shelf » ( $0.3 < \gamma < 0,45$ ), laissant la place à des microflocs dans la zone « mid-shelf » ( $0.45 < \gamma < 0.6$ ) et enfin à des particules fines sur la partie « outer-shelf » ( $0.6 < \gamma < 0.9$ ) (Figure 9).

Les satellites sont des outils intéressants lorsque l'on s'intéresse à la distribution spatio-temporelle des MES et la distribution moyenne de l'assemblage particulaire. Par contre, il existe certaines limitations lorsque la couverture nuageuse est présente, lorsque les concentrations sont trop

importantes. En effet, les images satellite ne permettent pas de caractériser les MES en profondeur dans la colonne d'eau (i.e. sous l'épaisseur optique). Ainsi, afin de caractériser les mécanismes de transfert côte – large de la matière dans toute la colonne d'eau, nous avons besoin de mesurer plus finement leurs propriétés (nature, taille, forme, densité) en vue d'estimer notamment leur vitesse de chute qui est un paramètre clé pour affiner les modèles hydro-sédimentaires.

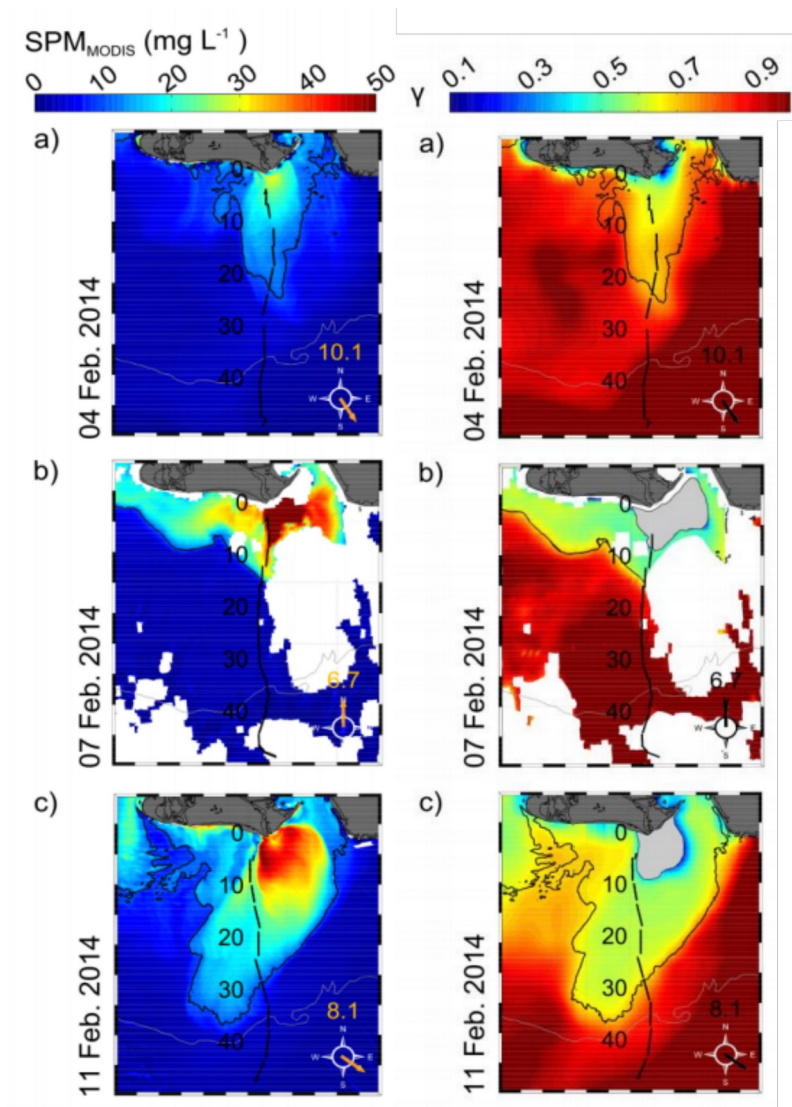


Figure 9 : A gauche: distribution des concentrations des MES de surface devant le Rhône en février 2014; à droite, distribution des indices de distribution de taille de l'assemblage particulaire de surface. Données MODIS 250m de résolution.

#### Apports des données in-situ lors de campagnes à la mer

Ces paramètres sont essentiels pour estimer le temps de résidence des MES dans l'environnement côtier. Dans le cadre de la thèse de Gaël Many (Many, 2016), nous avons pu mettre en œuvre des outils innovants de mesure in-situ des propriétés des matières en suspension dans les ROFI (Region Of Fresh water Influence) basés sur la diffraction laser et l'holographie (LISST-100 et LISST-

HOLO, Sequoia Inc.), et déployés lors de campagnes de terrain. Nous avons ainsi pu confirmer que les matières en suspension dans l'environnement marin forment des floccs de tailles variées : en surface, alors que l'on retrouve des macrofloccs ( $> 100\mu\text{m}$ ) proche de l'embouchure du fleuve Rhône, ceux-ci sédimentent rapidement au niveau du prodeltas et seuls restent en suspension des microfloccs ( $<100\mu\text{m}$ ) dans le panache de surface dans la zone du mid-shelf (Figure 10). A l'extérieur du panache, on retrouve très peu de microfloccs. Ceux-ci sont de plus en plus fins et l'assemblage particulaire est alors dominé par des particules marines (pellets, zooplancton, ...). Cette répartition macrofloccs vs microfloccs se retrouve non seulement dans la couche de surface (« Surface Nepheloid Layer », SNL) mais également dans le couche turbide de fond (« Benthic Nepheloid Layer », BNL) à la fois proche de l'embouchure mais aussi dans le mid-shelf (Many et al., 2016).

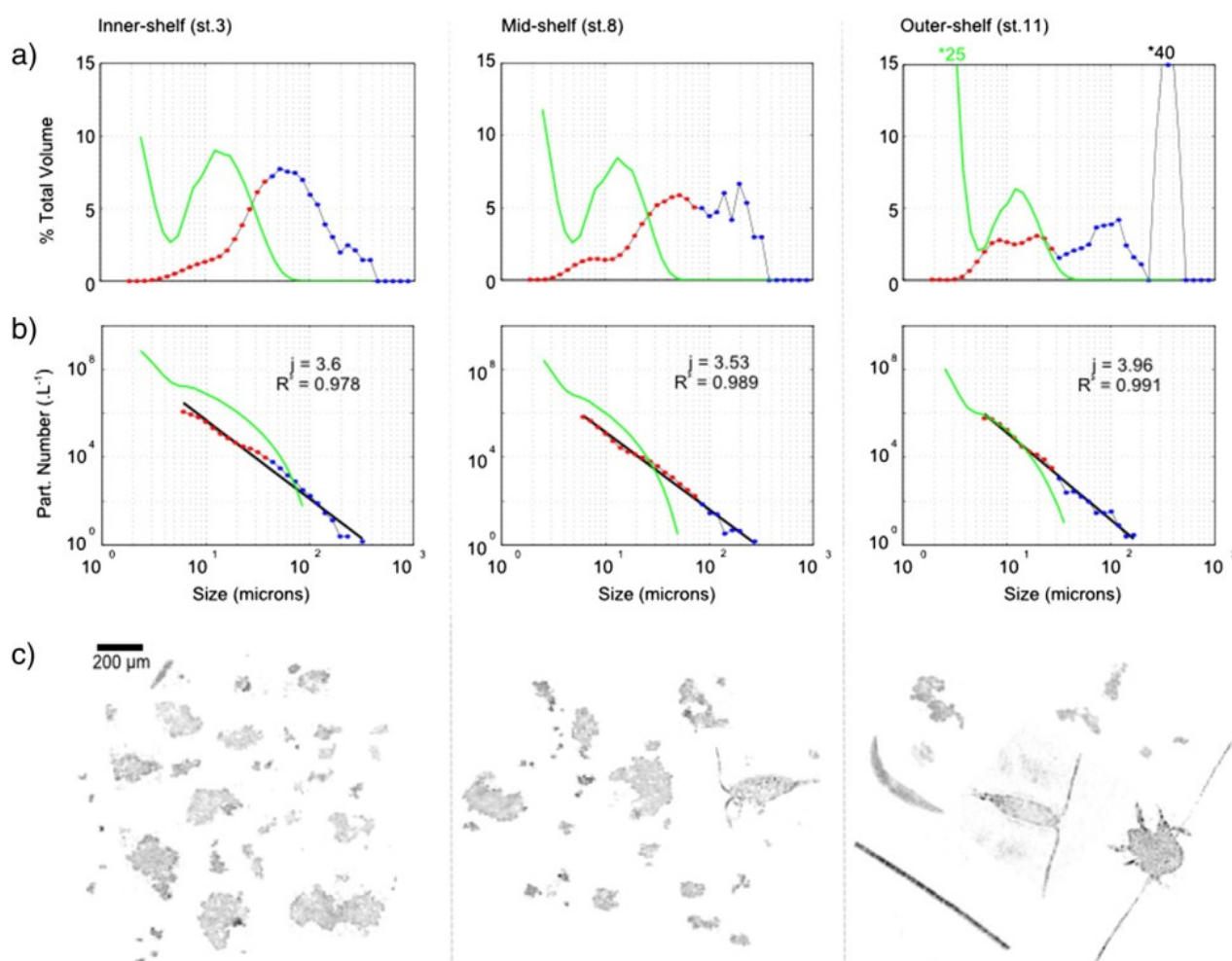


Figure 10 : Propriétés des particules en suspension dans le panache du Rhône en fonction de la distance à l'embouchure d'après Many et al. (2016).

Enfin, même si les outils utilisés ne nous ont pas permis d'identifier une variabilité spatio-temporelle des paramètres de forme des particules en suspension, la combinaison des méthodes par diffraction laser et par holographie nous a permis de caractériser la taille et la forme de l'ensemble de l'assemblage particulaire (1 – 2000  $\mu\text{m}$ ). Nous avons également pu démontrer que les particules

en suspension dans le domaine côtier ont essentiellement des formes très variés et réparties aléatoirement. Ceci montre que les algorithmes d'inversion de matrice de diffraction laser basés sur le principe de sphéricité des particules sont obsolètes et que les algorithmes basés sur la répartition aléatoire de la forme des particules doivent être utilisés en priorité (Agrawal et al., 2008).

Au travers de différents programmes de recherche et d'opportunités (ESCOFAR aux Svalbard, Hydro-Ushuaïa en Terre de Feu, ou encore TAPIOCA en mer baltique), nous avons pu réaliser des mesures in-situ des propriétés des particules en suspension dans divers milieux autres que le Golfe du Lion largement étudié dans la thèse de Many (2016). Dans les zones tempérées et particulièrement devant le Rhône, le phénomène de floculation des matières peut être facilité par les fortes concentrations en matière organique apportée par le fleuve (Sempéré et al., 2000). Par contre en zone arctique et notamment, dans la zone des fjords du Svalbard, il y a très peu de matière organique dans la colonne d'eau mais nous avons démontré que le phénomène de floculation se produit également au débouché des sources glaciaires en période de fonte. Au niveau de ces fjords, ce sont la salinité mais aussi les fortes concentrations ( $> 250 \text{ mg L}^{-1}$ ) en sédiments fins qui initient ce processus (Meslard et al., 2018). Les sédiments sont injectés à la base des glaciers par des rivières sous-glaciaires sous forme de panaches turbides qui remontent en surface rapidement sous l'effet de leur forte flottabilité (Figure 11). Les particules grossières sédimentent rapidement en formant un delta alors que les particules fines s'agrègent et se dispersent le long du fjord en surface avant de sédimenter.

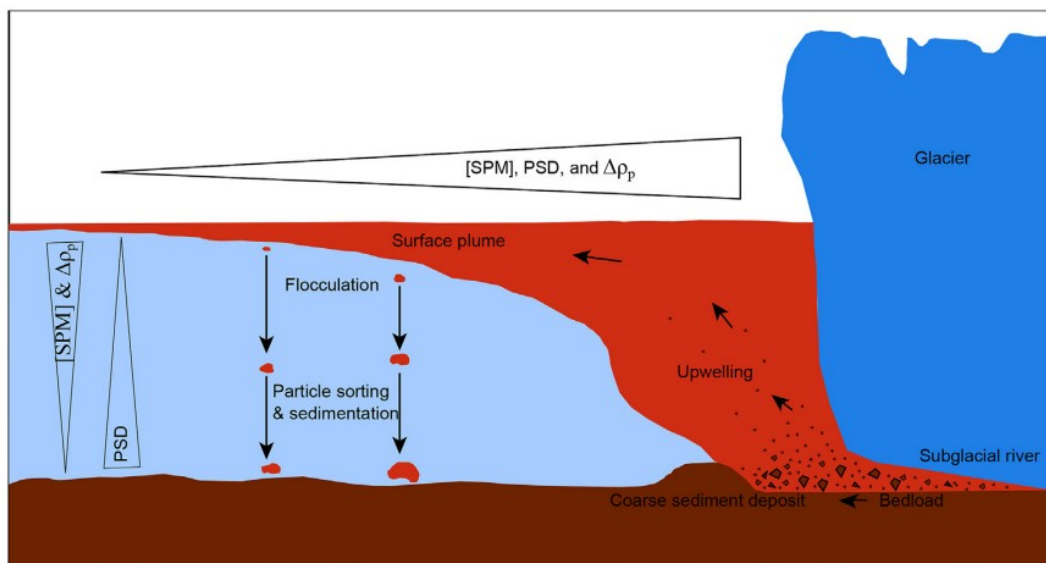


Figure 11 : Modèle conceptuel de la dynamique des particules dans un système typique d'upwelling glaciaire en face du glacier Kronebreen dans le Kongfjorden aux Svalbard.

Nous avons également étudié le comportement des matières en suspension en zone sub-antarctique en baie d'Ushuaïa où les concentrations en MES sont faibles mais les concentrations en matières organiques sont relativement importantes dans cette zone très productive (Flores Melo et al., 2020). La baie d'Ushuaïa est une zone très anthropisée où les rejets urbains ne sont pas encore traités mais déversés directement dans la baie par des émissaires. On y observe une variabilité saisonnière de la



taille des MES avec de fines particules dans la colonne d'eau en hiver mais un assemblage particulière bi-modal avec de grosses particules notamment en surface liées à la forte productivité biologique. Ici, encore les matières en suspension se trouvent essentiellement sous la forme de floccs de petite taille ( $< 100 \mu\text{m}$ ) dont la formation serait contrôlée par les fortes teneurs en matière organique.

Le fait que les matières en suspension se trouvent sous forme flocculé est une généralité d'après nos investigations dans différents milieux avec des facteurs de contrôle variés. On a longtemps estimé que la salinité était le principal facteur responsable de la floculation des particules (Aloisi et al., 1979 ; Pauc, 2005). Rau et al. (2018) ont montré que la turbulence était un des facteurs déterminants lors des mécanismes de floculation des particules primaires, agrégation /désagrégation des floccs. Mais d'autres facteurs dont la salinité, la concentration, la taille et la nature des particules primaires, ainsi que la proportion de matière organique peuvent également jouer un rôle non négligeable. Même avec de faibles salinités comme en mer baltique ( $\sim 10 \text{ g L}^{-1}$ ), on retrouve les MES sous la forme de petits floccs ( $< 100 \mu\text{m}$ ) alors que les concentrations sont faibles mais avec des taux de matières organiques relativement important comme le montre les fortes concentrations en CDOM mesurées en baie de Parnu (Uusoue et al., en prép.).

L'estimation des paramètres de forme (rapport d'aspect de forme AR et dimension fractale DF) et de la taille des particules à partir des mesures holographiques devant l'embouchure du Rhône, nous a permis d'estimer une loi de la vitesse de chute des MES à l'embouchure du Rhône (Figure 12) qui est un paramètre essentiel pour la modélisation hydro-sédimentaire. Le rapport d'aspect, défini par le rapport largeur sur longueur des particules en suspension est inversement proportionnel à la dimension fractale et caractérise la complexité de forme des particules. Les particules les plus complexes ont un AR  $< 0.4$  et une DF  $> 2.3$  et inversement. Cette loi montre que la forme définie ici par le rapport d'aspect, joue un rôle important et peut être directement intégré dans la formule d'estimation de la vitesse de chute (Many et al., 2019). Nous avons ainsi montré que l'intégration de ce paramètre qui était auparavant fixé faute de mesures in-situ abaissent de près de 40 % la vitesse de chute des particules en suspension. L'autre paramètre important est l'estimation de la taille des particules primaires composant les floccs. L'estimation de la taille des particules primaires peut s'effectuer à partir de mesures directes de suspensions désagrégées sous l'effet prolongée de bains d'ultrasons (Gangloff, 2017). Une variation de la taille des particules primaires composant les floccs de 1 à 12  $\mu\text{m}$  augmente de 5 fois la vitesse de chute des floccs d'où l'importance de bien mesurer ce paramètre.

Enfin Many et al. (2019) ont démontré que le phénomène d'agrégation des microflocs en macroflocs identifiés dans la ROFI du Rhône permettrait d'augmenter la vitesse de chute des particules en suspension d'un ordre de grandeur ce qui favoriserait la sédimentation vers la couche de fond et le prodelta. Les vitesses de chute estimées pour les floccs montrent des valeurs comprises entre  $0.02 \text{ mm s}^{-1}$  pour des particules de 20  $\mu\text{m}$  et  $> 2 \text{ mm s}^{-1}$  pour des floccs de 400 à 600  $\mu\text{m}$ . En considérant des particules primaires de 1 à 12  $\mu\text{m}$ , leur vitesse de chute équivalente si elles restaient à l'état de particules primaires dans l'environnement serait de quelques  $\text{mm jour}^{-1}$  (Figure 12). Ce qui signifie que ces mêmes particules resteraient beaucoup plus longtemps en suspension qu'à l'état flocculé. Les phénomènes de floculation / agrégation provoquent donc un effet « ballast » des matières (sédiments, matières organiques et contaminants) et permettent son enfouissement plus ou moins temporaire sur les marges continentales.

Les résultats exposés ci-dessus sont basées sur des mesures in-situ réalisées durant des campagnes en mer. Elles ont donc été réalisées lors de périodes de calme relatif puisqu'il est très difficile de mesurer pendant des conditions marines énergétiques. Hors l'essentiel des processus responsables du transfert côte-large des matières se déroulent lors des évènements intenses du climat méditerranéen. Il a donc été nécessaire d'utiliser une stratégie adaptée pour effectuer des mesures à haute fréquence spatio-temporelle durant les périodes de crue et tempête.

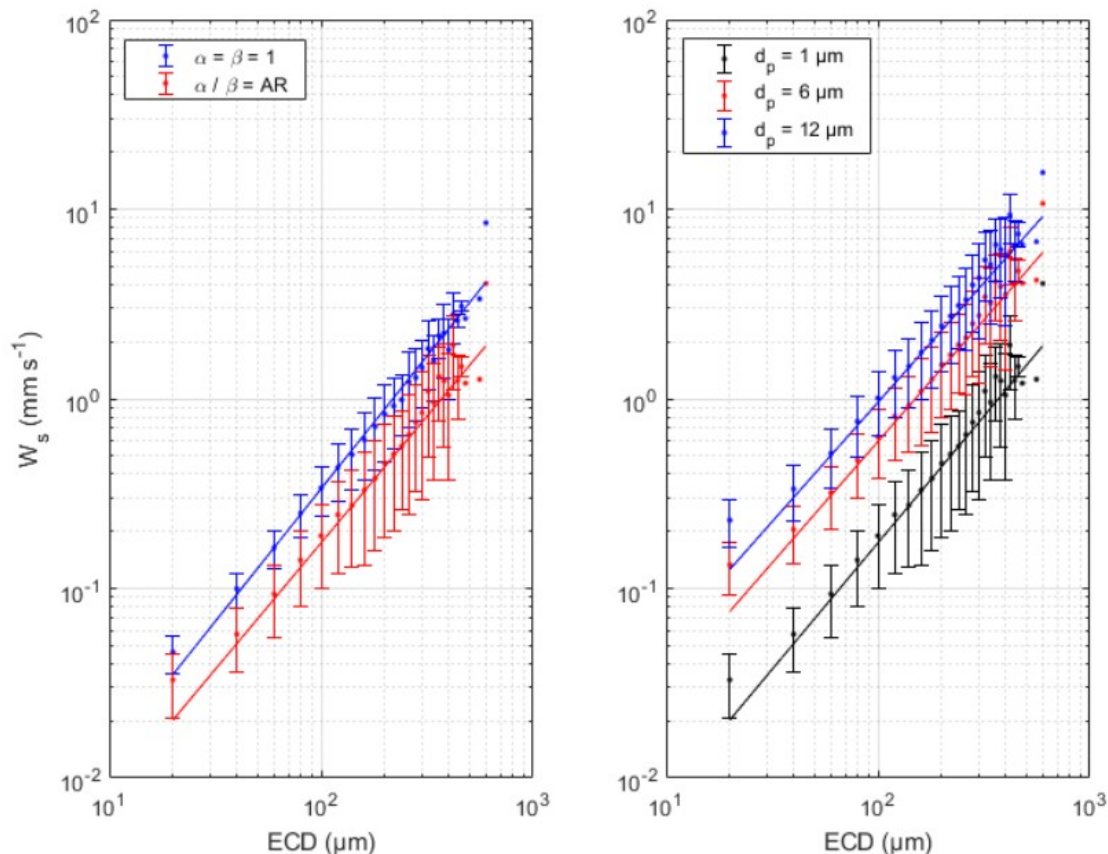


Figure 12 : Estimation des vitesses de chute en fonction de la taille des matières en suspension (flocs) d'après Many et al. (2019).

### Apport des planeurs sous-marins

L'utilisation des planeurs sous-marins communément appelés gliders était jusqu'alors réservée à l'étude du domaine hauturier (Testor et al., 2019) et très peu d'études côtières intégraient ces observations novatrices. Mes années de post-doc au Laboratoire d'Océanographie de Villefranche sur mer m'ont permis de réfléchir et penser à l'utilisation de glider pour caractériser les matières en suspension en domaine côtier lors des évènements énergétiques. L'autonomie et la manœuvrabilité certes limitées des gliders en font des outils adéquats pour documenter ces évènements avec une résolution inégalée. On se limitera ici aux résultats issus des données glider pour caractériser les propriétés des MES car leur apport pour l'étude de la dynamique des masses d'eau et couches turbides associées sera développée dans la 3eme partie de ce document.

Les gliders utilisés sont équipés de capteurs optiques à plusieurs longueurs d'onde permettant de déterminer les mêmes indices décrivant la distribution de taille des particules marines en suspension ( $\gamma$ ) qu'avec les images satellite ou les mesures par campagnes embarquées. Les gliders permettent d'effectuer des mesures dans la colonne d'eau entre 30 m et 200 m de fond depuis 1-2 m au-dessus du fond jusqu'à 1-2 m sous la surface. Ils complètent ainsi les mesures effectuées en surface à partir des images satellites (dernier mètre). Une comparaison entre les 2 méthodes montre que les gliders ne permettent pas d'échantillonner le dernier mètre en surface de la colonne d'eau. Ceci peut être problématique dans les domaines très stratifiés comme la ROFI du Rhône où les mesures satellites montrent des concentrations en MES 2.5 fois supérieures aux mesures glider les plus proche de la surface (Many et al., 2018). Cependant, les données glider permettent de confirmer les résultats des mesure in-situ avec les données LISST mais permettent également de caractériser la variabilité spatio-temporelle des caractéristiques des MES (Figure 13).

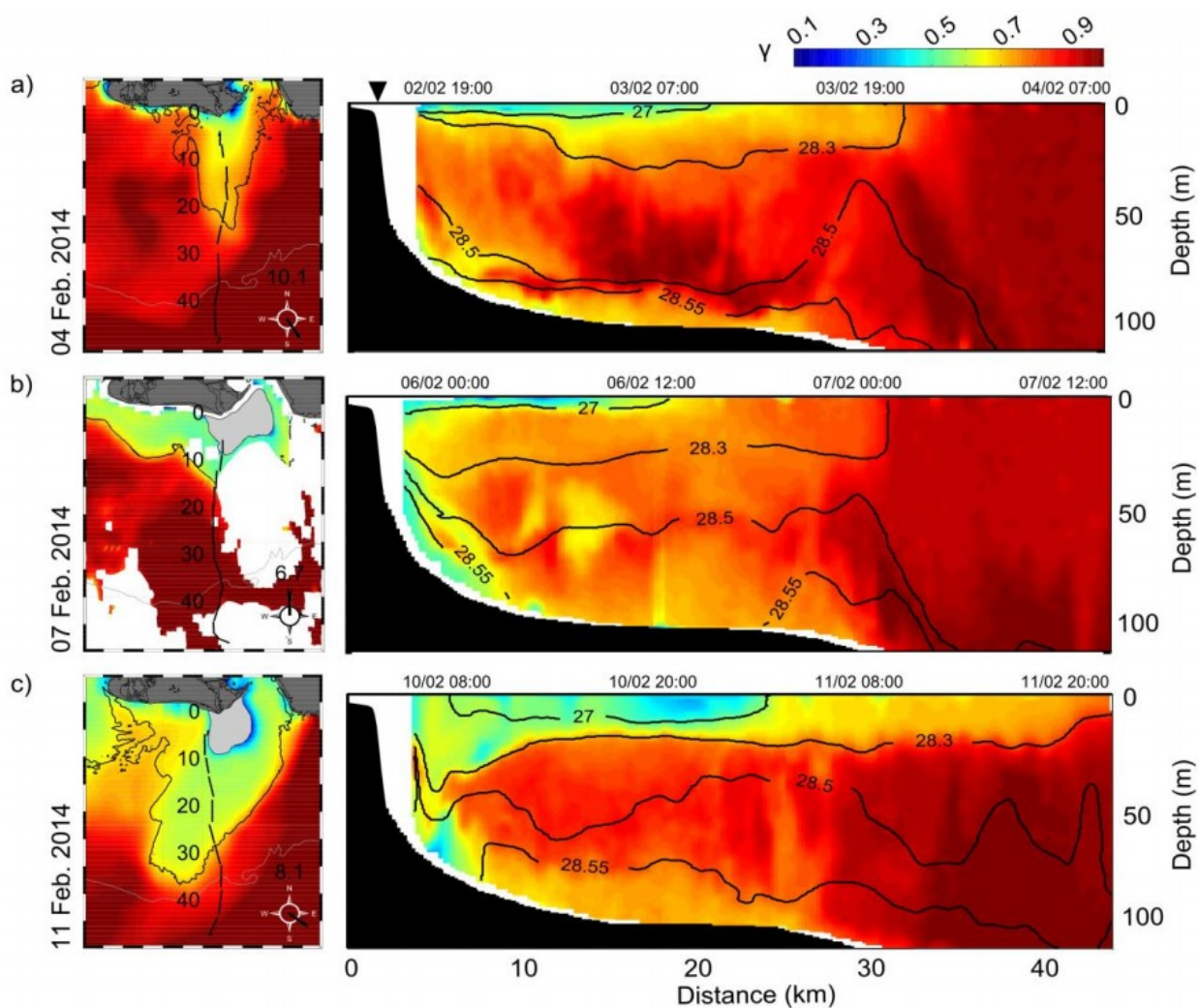


Figure 13 : A gauche: indices  $\gamma$  estimés à partir des données satellites MODIS; à droite indices  $\gamma$  estimés à partir des données glider.

La dynamique du panache de surface est intimement liée aux conditions de vent. Les couches néphéloïdes de surface (SNL) et de fond (BNL) sont dominées par des grosses particules identifiées précédemment comme des floes dont la taille diminue en fonction de la distance à l'embouchure

(Many et al., 2016). En conditions de vent marin, le panache est plaqué à la côte (Figure 13 b) et la rupture de stratification identifiée lors des événements énergétiques favorise l'alimentation de la couche de fond en floccs de même taille (même gamme de  $\gamma$ ). En dehors des couches néphéloïdes, les particules en suspension sont caractérisées par des indices  $\gamma$  plus fort ce qui indique que l'assemblage particulaire est dominé par des particules fines.

Dans le cadre de la thèse de Mathieu Gentil et du programme MATUGLI, nous avons pu déployer dans la même zone de la ROFI du Rhône, un glider équipé d'un capteur acoustique en plus des capteurs optiques afin de démontrer l'apport de ces 2 capteurs différents pour caractériser l'ensemble des MES.

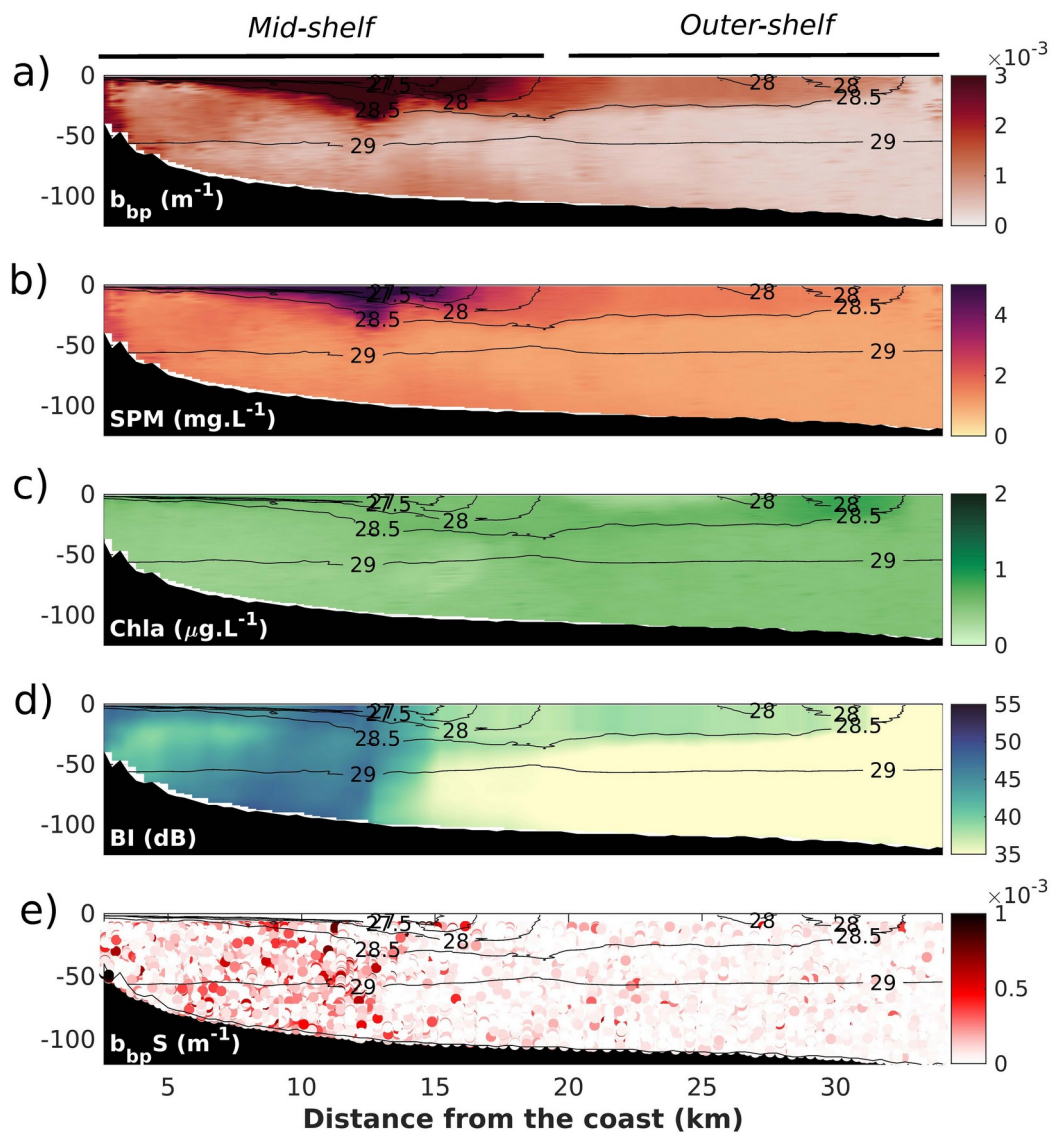


Figure 14 : Mesures de turbidité optique (a), MES (b), Chla (c), turbidité acoustique (d) et intensités des anomalies des valeurs de turbidité optique (e). Transect glider réalisé du 5 au 7 février 2017 (Gentil et al., 2020)

Les résultats des mesures par ces 2 capteurs montrent des différences notables dans les signaux de turbidité optique et acoustique. Alors que le capteur optique montre de fortes valeurs essentiellement en surface dans le panache (Figure 14a), le capteur acoustique montre de fortes valeurs dans toute la colonne d'eau dans les premiers kilomètres proches de l'embouchure (Figure 14d). L'analyse des anomalies du signal de turbidité (Figure 14e) montre également une forte intensité de ces anomalies dans la même zone identifiée avec les signaux acoustiques. Alors que les capteurs optiques sont plus sensibles à la détection des particules fines, les capteurs acoustiques permettent quant à eux de caractériser la partie plus grossière de l'assemblage particulaire. Ainsi, l'ensemble de ces données montre que ces capteurs sont complémentaires permettant de caractériser les particules fines et microflocs d'une part à partir des signaux optiques, et les macroflocs et particules biologiques d'autre part à partir des signaux acoustiques.

## **2.2 Impact des apports de matières sur les écosystèmes côtiers**

Nous avons abordé jusqu'à présent la dynamique des matières en suspension d'origine fluviale apportées dans la colonne d'eau du domaine côtier, et notamment leur capacité à flocculer et s'agréger qui influence leur devenir. Une autre partie de mes activités de recherche concernant la dynamique particulaire s'est également focalisée sur (1) l'impact des particules atmosphériques associées aux métaux sur la colonne d'eau, mais également sur (2) le relargage des métaux lors d'expérience de remise en suspension de sédiments côtiers pollués.

### Dynamique des poussières atmosphériques

Dans le cadre du projet DUNE, nous nous sommes intéressés à l'impact des poussières atmosphériques d'origine saharienne en Mer Méditerranée. Ce projet s'intéressait à l'impact de ces apports de matières riches en fer sur un écosystème oligotrophe d'un point de vue biogéochimique et notamment sur le fonctionnement de la pompe biologique de carbone (Guieu et al., 2014). Pour ma part, ce projet était l'occasion d'étudier le comportement et le devenir des poussières sahariennes fines ( $< 12 \mu\text{m}$ ) composées de quartz, calcite et d'argiles dans la colonne d'eau. Il est à noter que cette composition peut se retrouver dans la composition des particules issues de l'érosion des bassins-versants du Golfe du Lion. Des expériences d'ensemencement artificiel dans des mésocosmes contrôlés ont été réalisées en Corse en 2010, au niveau de la réserve de Scandola qui constitue un milieu très oligotrophe (LNLC = low-nutrient, low-chlorophyll). Le but de ces expériences était de (1) observer et analyser le devenir des particules fines déposés à la surface de la colonne d'eau, (2) quantifier l'impact sur la biogéochimie et l'écosystème.

Une des originalités de ce projet était de combiner différentes disciplines et techniques de mesures c'est-à-dire combiner des mesures optiques (atténuation, taille) dont j'avais la charge et des mesures biogéochimiques dans des mésocosmes. Les mesures optiques d'atténuation de la lumière ont montré une rapide augmentation de la concentration en particules depuis la surface et un export rapide vers le fond 8 h environ après l'ensemencement artificiel (Figure 15A).

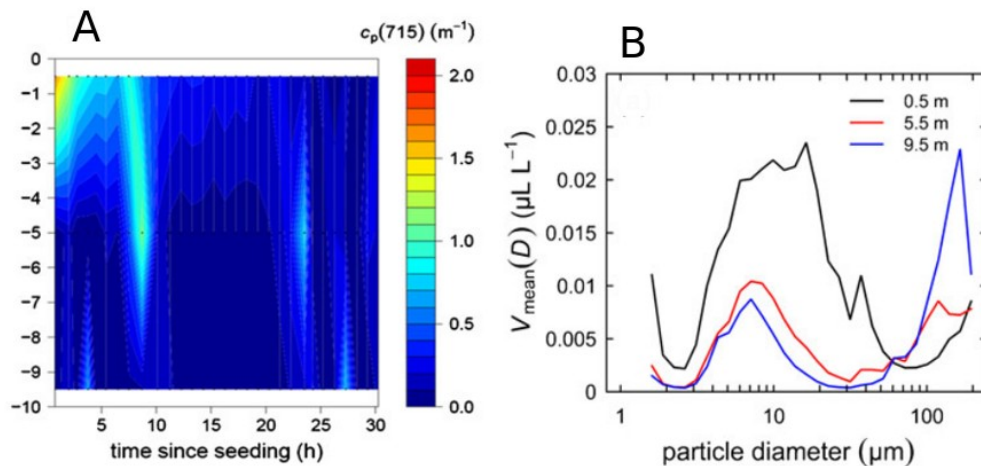


Figure 15 : A. Evolution du coefficient d'atténuation particulaire mesurée dans le mésocosme optique à partir de l'ensemencement ( $T_0$ ) et B. Spectres de taille moyennés sur la durée de l'expérience des particules mesurées in-situ au sein du mésocosme à différentes profondeurs.

Les mesures de taille des particules in-situ à partir des mesures LISST ont montré que les particules sahariennes fines flocculent rapidement sous la forme de flocs  $> 100 \mu m$ , ce qui participe à leur rapide sédimentation (Figure 15B). Une seconde phase d'exportation vers le fond a également été observée entre 25 et 30 h après le début de l'expérience. Les analyses biogéochimiques ont montré que cette seconde phase d'exportation concernait des flocs formés d'un complexe organo-minéral correspondant à des flocs riches en matière organique fraîchement formée. Dans cet environnement très oligotrophe, les apports de matériel détritique fin ont un rôle fertilisant important et participent à un effet « ballast » du carbone organique particulaire grâce à la formation de flocs (Bressac et al., 2014). Les vitesses de chute estimées des flocs organo-minéral sont de l'ordre de  $0.3 - 1 \text{ mm s}^{-1}$  (Bressac et al., 2012). Ces vitesses sont du même ordre de grandeur que celles mesurées devant le Rhône pour des flocs de  $100 \mu m$  composés de particules primaires d'environ  $12 \mu m$ . Nous avons ainsi pu mettre en évidence au cours de cette expérience le rôle clé de la flocculation des particules atmosphériques sur la pompe biologique dans un environnement océanique très pauvre.

### Dynamique de la remise en suspension de sédiments pollués

Dans le cadre du programme européen MIDAS (Canals et al., 2016), nous avons réalisé une autre expérience in-situ de grande ampleur, à l'aide d'un bateau servant de chalutier et d'un autre bateau de monitoring afin d'évaluer l'impact potentiel de la remise en suspension de sédiments côtiers pollués sur les écosystèmes environnants. Cette expérience a été menée avec nos collègues de l'université de Barcelone avec qui nous avons des liens de collaboration étroits depuis de nombreuses années au travers de plusieurs programmes européens (EURODELTA, EUROSTRATAFORM, HERMIONE, SESAME).

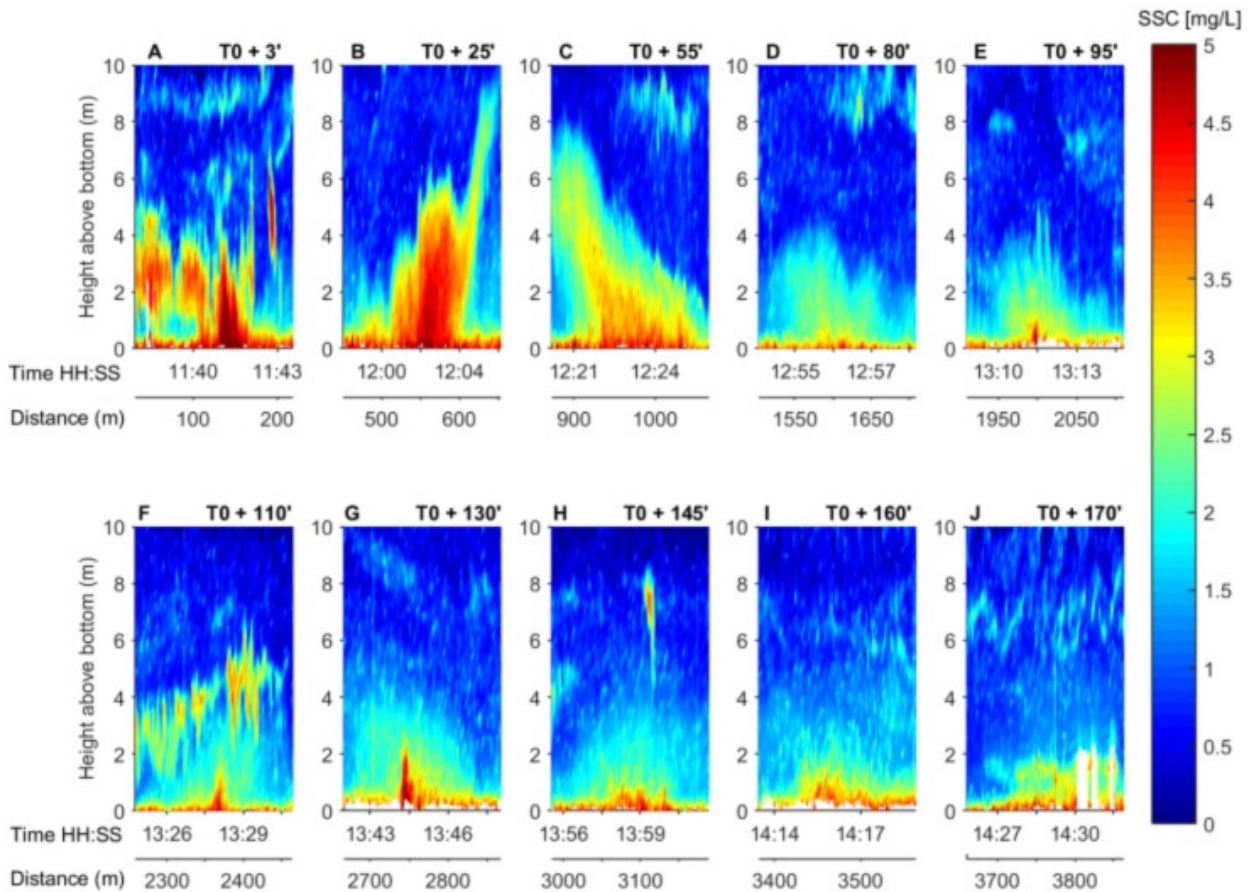


Figure 16 : Evolution des concentrations des MES dérivées des mesures ADCP, dans les panaches générés par chalutage au cours de l'expérience MIDAS.

La baie de Portman située au sud de l'Espagne près de la ville de Carthagène constitue un des sites côtiers les plus pollués de la Mer Méditerranée en raison du comblement de sa baie par le « dumping » jusque dans les années 1990, des résidus de l'exploitation minière contenant les métaux suivants : Pb, Zn, As, Cd et Fe (Oyarzun et al., 2013 ; Peña et al., 2013). D'un côté, l'augmentation du cours des métaux a remis en question la ré-exploitation potentielle des résidus miniers rejetés et stockés dans l'environnement. D'un autre côté, le gouvernement espagnol réfléchit à des possibilités de remédiation et de réhabilitation de ce site portuaire dans une zone où le tourisme pourrait apporter beaucoup à l'économie locale. C'est dans ce contexte que cette expérience a été menée où nous avons été sollicités pour notre expertise sur la dynamique des particules à partir des mesures optiques (granulométrie laser in-situ) et des mesures acoustiques (ADCP) afin d'estimer la concentration et la dynamique des MES après resuspension.

Plusieurs expériences de remise en suspension des sédiments côtiers ont été menées à l'aide d'un bateau chalutier. Le bateau de monitoring a permis d'échantillonner pendant plusieurs heures le panache ainsi créé à l'aide des instruments optiques et acoustiques pour suivre la dynamique des MES. Une sonde CTD équipée de bouteilles NISKIN nous a permis en même temps d'effectuer des prélèvements d'eau afin de mesurer l'évolution des concentrations en métaux dans les particules remise en suspension. Nous avons ainsi pu montrer que les sédiments fins contenus au niveau du

substrat, flocculent rapidement dans la colonne d'eau après remise en suspension et ne retombent sur le fond qu'après quelques heures (Figure 16). Alors que la partie la plus grossière ( $> 100\mu\text{m}$ ) sédimente rapidement dans la première heure après la resuspension artificielle, les concentrations en Pb, Fe et As augmentent continuellement avant la sédimentation totale des MES (Bourrin et al., soumis). Ceci est dû à la plus forte affinité de ces métaux pour les particules fines qui restent plus longtemps en suspension. Leur persistance dans la colonne d'eau avec les particules fines pourrait avoir des conséquences écotoxicologiques importantes sur la santé des écosystèmes (Mestre et al., 2017).

**Les résultats majeurs tirés de cette partie sont :**

- (1) Quel que soit le milieu étudié (tempéré, arctique, subantarctique), les particules fines se transforment rapidement sous la forme de floccs de taille et forme variée dans l'environnement marin sous l'effet de salinité, de leur concentration, de la turbulence et de la teneur en matière organique.
- (2) Les phénomènes de floculation / agrégation modifient les propriétés des MES en modifiant leur densité effective mais aussi leur vitesse de chute, ce qui conduit à leur rapide sédimentation en zone côtière.
- (3) La combinaison des capteurs optiques / acoustiques mais aussi des plateformes (navires / satellites / gliders) est une bonne stratégie pour étudier la dynamique et la variabilité spatio-temporelle des propriétés des MES.
- (4) Les apports de poussières atmosphériques d'origine saharienne favorisent un effet ballast du carbone organique particulaire dans les eaux oligotrophes de la Méditerranée grâce aux mécanismes de floculation.
- (5) Les métaux ont une affinité particulière pour les particules fines et peuvent ainsi avoir des conséquences écotoxicologiques importantes sur les écosystèmes.

**Les verrous restant à lever sont :**

- (1) Les vitesses de chute des particules marines sont estimés à partir de mesures directes de leur taille et de leur forme. Des mesures in-situ directes de ce paramètre en fonction des classes de taille des MES permettraient d'affiner les estimations ce qui demande des développements technologiques importants.
- (2) Les facteurs et les mécanismes de floculation restent encore peu connus en raison des difficultés à effectuer des mesures sur leur lieu de formation à l'interface eaux douces / eaux salées. La miniaturisation de capteurs de mesure directe de la taille des MES et leur intégration sur un glider permettrait de mieux décrire la variabilité spatio-temporelle de cette dynamique.
- (3) Le transport des contaminants (métaux, micro-plastiques) depuis les bassins-versants vers le domaine côtier et le large pourraient être largement influencé par la transformation des particules fines à l'interface. Leur dynamique lors des phénomènes de floculation / agrégation des particules fines reste à investiguer.

### **3 Dynamique des néphéloïdes dans le transfert côte-large**

Dans la partie précédente, nous nous sommes intéressés à la dynamique des particules, leur potentiel à former des floccs et / ou des agrégats, et à leur affinité à se complexer avec la matière organique et les métaux. Ces particules élémentaires sont transportées en groupe au sein de couches turbides ou néphéloïdes soit en surface, soit au fond ou parfois au milieu de la colonne d'eau. Leur dynamique est intimement liée à l'hydrodynamisme ambiant. Au cours de mes recherches



précédentes, je me suis focalisé sur le rôle des évènements extrêmes de crue, tempête et plongée d'eau dense sur le transfert de ces couches turbides dans le continuum Terre-Mer. Mais ces évènements extrêmes qui deviennent de plus en plus fréquents n'ont plus rien d'extrêmes, et on assiste désormais à des évènements annuels qui jouent un rôle important sur la dynamique des néphéloïdes à l'échelle des marges continentales. Dans cette dernière partie bilan, nous nous intéresserons à l'étude de la dynamique côtière sur le plateau d'abord à l'interface continent-océan puis à l'interface domaine côtier - océan grâce à l'utilisation des planeurs sous-marins qui constituent les principaux outils de mesure développés et utilisés dans mes recherches ces dernières années.

### 3.1 Étude de la dynamique des masses d'eau dans le Golfe du Lion

Les eaux côtières sont largement influencées par les apports d'eau douce et de matières (sédiments, matières organiques et inorganiques) principalement au niveau des ROFI. Les principales questions portent sur la dynamique des masses d'eau + particules en fonction des forçages hydrodynamiques, sur le temps de résidence de ces eaux et sur le rôle des apports d'eau douce sur la stratification des eaux côtières. Ces questions ont longtemps été appréhendées à partir de campagnes en mer concentrées sur les périodes de beau temps ou à partir de mesures à point fixe à l'aide de bouées et mouillages instrumentés.

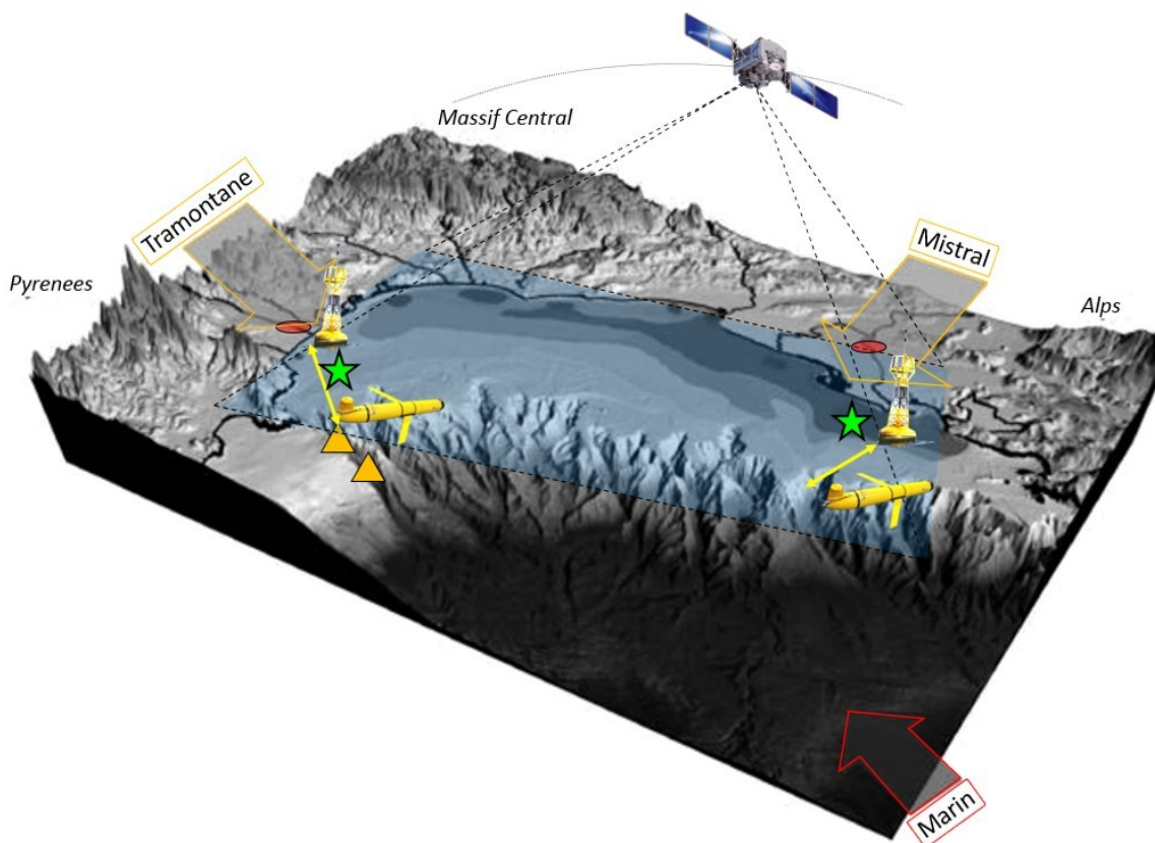


Figure 17 : Stratégie multi-plateformes adoptée pour l'étude des flux d'eau et de matières à haute résolution spatio-temporelle dans le Golfe du Lion.

Ces méthodes ne permettent pas de mesurer pendant les événements de crue et de tempête à haute résolution spatio-temporelle, par exemple à l'échelle du plateau continental du Golfe du Lion avec une résolution temporelle infra-horaire sur plusieurs mois. Dans le cadre de la thèse de Gaël Many (Many, 2016), nous avons développé une approche multi-plateformes pour étudier la dynamique des masses d'eau et des transferts de matières aux interfaces du domaine côtier (Figure 17). En effet, chaque type de plateforme instrumentée apporte son lot d'avantages et d'inconvénients. Les satellites permettent d'effectuer des mesures de la couleur de l'eau à l'échelle du plateau mais seulement en surface et lorsque la couverture nuageuse est absente. Les bouées et mouillages instrumentés permettent de faire des mesures à haute-résolution temporelles mais seulement à un endroit très localisé. Dans le cadre du projet EC2CO TUCPA que j'ai coordonné, nous avons développé un glider côtier équipé de charges utiles optiques permettant de mesurer les paramètres hydrologiques et de caractériser les matières en suspension de manière autonome notamment durant les épisodes météorologiques extrêmes du climat méditerranéen.

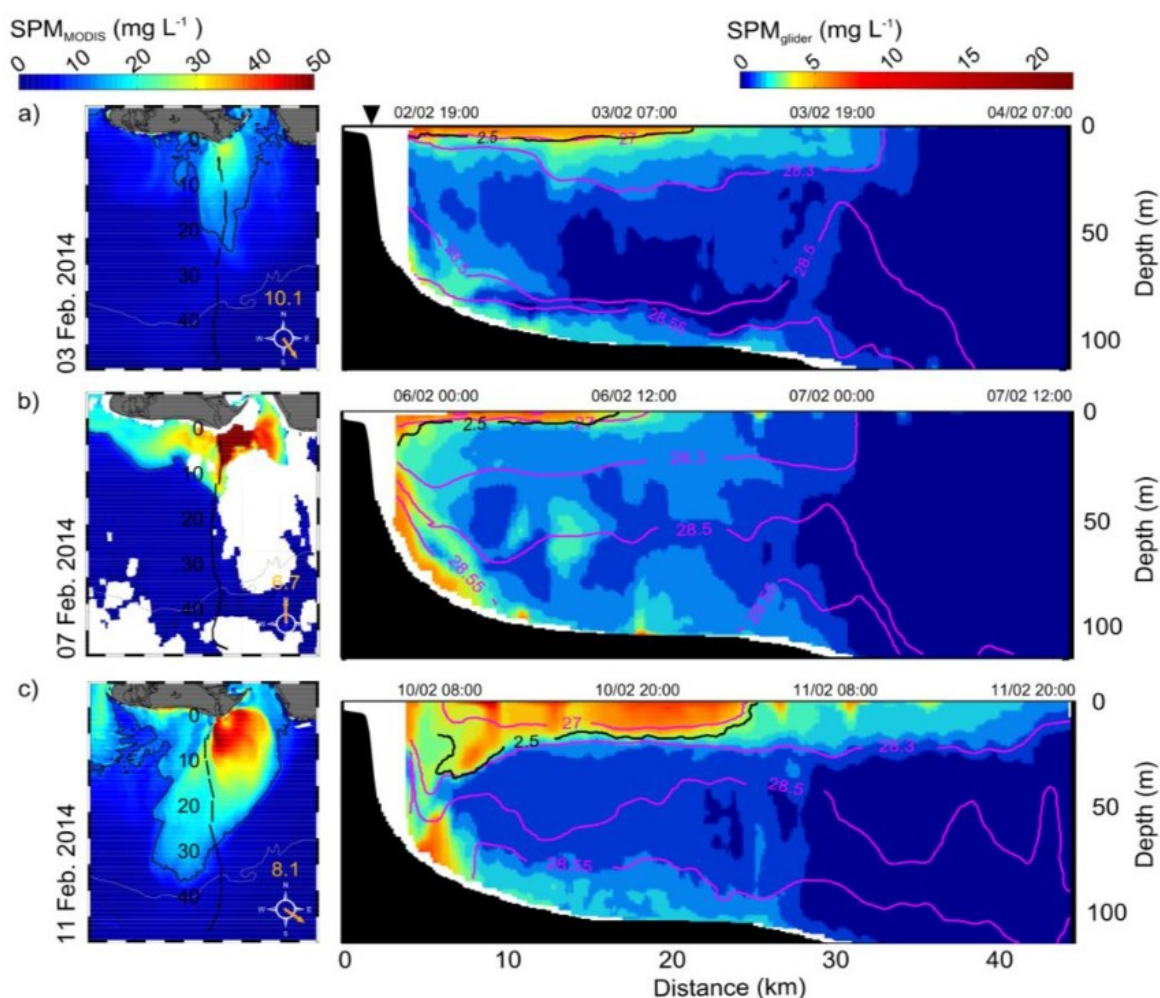


Figure 18 : Suivi haute fréquence des masses d'eaux turbides du Rhône par satellite (à gauche) et par glider à (droite) d'après Many et al. (2018)

Nous avons pu notamment confirmer que le panache du Rhône possède une dynamique spatio-temporelle très variable en fonction du vent, comme le montrent les données satellite de couleur de l'eau (Ody et al., 2016). Ainsi les vents continentaux favorisent l'export de ces masses d'eau et

particules associées en déplaçant les panaches vers le large. Les déploiements de glider nous ont ainsi permis de mieux caractériser la dynamique des néphéloïdes à l'intérieur de la colonne d'eau (Figure 18). Nous avons en effet montré que les vents marins et les tempêtes associées permettent d'alimenter les couches néphéloïdes benthiques par rupture de la stratification du panache de surface. Des structures intermédiaires temporaires ont également été mise en évidence comme celles montrées par les travaux antérieurs de Aloisi et al., (1982). Ces couches ont un rôle majeur dans le transfert des matières dans le continuum Terre-Mer. Alors que les structures néphéloïdes de fond peuvent avoir une direction différente de celle du panache de surface, celles-ci peuvent se prolonger jusqu'à la rupture de pente vers 100 m de profondeur. Néanmoins, ces couches néphéloïdes de fond sont quasi-permanentes dans les derniers mètres de la colonne d'eau et ceci semble être le cas sur la totalité du Golfe du Lion (Durrieu de Madron et al., 1990). Au large sur le plateau, ces couches profondes sont générées par la remise en suspension des sédiments très fins et l'agitation permanente due aux courants de fond.

### **3.2 Vers une meilleure caractérisation des flux sédimentaires à l'échelle du plateau**

Dans le cadre de la thèse Gaël Many (Many, 2016), nous avons commencé à estimer des flux sédimentaires à l'échelle du plateau du golfe du Lion notamment durant les événements de tempêtes à la sortie du golfe du Lion (Bourrin et al., 2015). Ces estimations ont été basées sur les mesures de concentration des MES à partir des capteurs optiques et également sur les estimations de courant à partir de la dérive estimée du glider entre 2 remontées en surface. La différence entre les positions GPS réelles prises en surface par le glider et la position de remontée estimée par le glider à partir de sa centrale de navigation permet d'estimer le courant horizontal moyen sur toute la colonne d'eau entre 2 surfaces. La composante géostrophique perpendiculaire à la trajectoire du glider est ensuite ajoutée à cette dérive moyenne pour estimer le courant total. Cette méthode de mesure est une estimation moyenne qui fonctionne lorsque la structure du courant est homogène entre 2 surfaces du glider (i.e. sur quelques centaines de mètres à 1 kilomètre). Mais elle ne permet pas de décrire les courants lorsque les conditions sont très variables localement et lorsque l'on observe une stratification des courants comme cela peut être le cas dans les zones côtières soumises à l'influence des apports d'eau fluviale. Cette méthode ne permet pas non plus d'estimer correctement la composante du courant le long de la trajectoire faute de pouvoir estimer la composante géostrophique.

Dans le cadre du projet ANR MATUGLI (2014-2018) que j'ai coordonné, nous avons intégré avec l'aide de la DT INSU un ADCP sur un glider afin de mieux estimer (1) les courants totaux dans la colonne d'eau, et (2) mieux caractériser les MES. La méthode de traitement des données est développée dans le cadre de la thèse de Mathieu Gentil (Gentil, en cours) et un premier article concernant l'étude de la dynamique des masses d'eau et l'estimation des flux sédimentaires à partir de ce glider-ADCP dans la ROFI du Rhône vient d'être publié (Gentil et al., 2020). Les mesures ADCP permettent d'estimer la vitesse et la direction du courant suivant les axes géographiques Nord, Est et sur la verticale, additionnée de la vitesse propre du glider. Il « suffit » alors de retrancher le déplacement du glider pour obtenir le courant dû au déplacement de l'eau. Plusieurs méthodes existent dans la littérature (Merckelbach et al., 2010 ; Thurnherr et al., 2015; Visbeck, 2002), mais la méthode la plus robuste qui a été utilisée dans Gentil et al. (2020) est basée sur

l'hypothèse que la vitesse du glider est constante au cours d'un profil et peut donc être négligée. Après avoir reconstruit le cisaillement du courant sur toute la colonne d'eau en comparant les vitesses mesurées d'une cellule à une autre, on obtient un profil de courant relatif. Enfin le profil du courant absolu est obtenu en intégrant la composante barotrope du courant à partir des mesures de déplacement de l'ADCP par rapport au fond (« bottom track »). L'estimation de l'erreur sur la mesure du courant par cette méthode a été estimée à  $13 \text{ cm s}^{-1}$  en prenant une configuration classique de l'ADCP embarqué permettant un déploiement long-terme.

Les premières mesures de glider-ADCP ont été réalisées dans la ROFI du Rhône durant une période stratifiée en Novembre 2016 et une période homogène en Février 2017 durant des situations relativement calmes hors crue et tempête. Les courants mesurés étaient homogènes avec un maximum de  $50 \text{ cm s}^{-1}$ . Bien qu'un fort courant de subsurface vers le nord ait parfois été observé comme en Février 2017 (Figure 19b), un courant vers l'ouest est souvent observé avec des vitesses de  $40 \text{ cm s}^{-1}$  comme en Novembre 2017 (Figure 19d). Dans cette zone influencée par les vents de nord-ouest, le panache de surface est rapidement expulsé vers le large entraînant la formation d'un contre-courant sous-jacent vers le nord (Figure 19b) ce qui a rarement été mesuré directement mais seulement suggéré par les travaux de modélisation. Finalement Gentil et al. (2020) ont montré que les mesures glider-ADCP permettent de décrire de façon précise la structure tri-dimensionnelle du courant mais que ces mesures pouvaient également permettre de décrire la structure inertielle du courant.

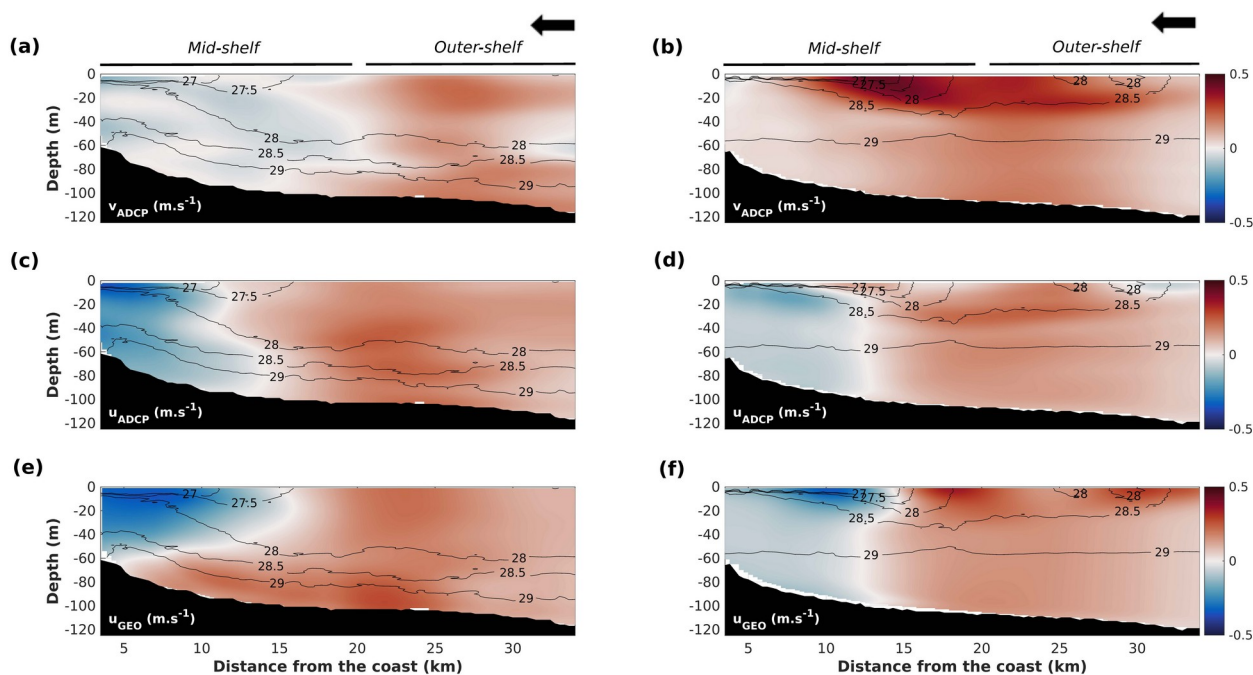


Figure 19 : Composantes du courant estimées sur 2 transects glider devant le Rhône en Novembre 2016 (a, c et e) et en Février 2017 (b, d et f).  $V_{ADCP}$  correspond à la composante nord-sud du courant,  $U_{ADCP}$  à la composante est-ouest et  $U_{GEO}$  à la composante est-ouest du courant géostrophique estimé à partir des données CTD glider.

L'estimation du transport sédimentaire sur les marges est une question clé en vue de mieux comprendre le fonctionnement de la zone côtière. Les mesures combinées du courant et des concentrations en MES de manière détaillée le long de la trajectoire glider permettent de calculer des flux en travers et le long des transects glider généralement déployés en travers du plateau. Le calcul des flux sédimentaires est fortement contraint par les événements hydro-sédimentaires (Bourrin et al., 2015) et dépend fortement de l'estimation des MES. La méthode utilisée dans le cadre des thèses de Gaël Many et Mathieu Gentil ont été reprise de Tessier et al., (2008). Les MES sont dérivées des mesures acoustiques après plusieurs corrections et sont calibrées soit à partir de mesures directes de MES soit à partir des mesures optiques calibrées. A partir des mesures glider, l'estimation des flux lorsque la concentration est faible (en dehors des événements) peut souffrir d'une très forte incertitude (20 à 600%), mais Gentil et al. (2020) ont estimé que les flux dans la ROFI du Rhône sont de l'ordre de 10 à 130 kg s<sup>-1</sup> dans les directions along- et cross- shore et sont d'un ordre de grandeur inférieur aux flux de matière du fleuve Rhône sur la même période de Novembre 2016.

### **3.3 Rôle des événements dans les échanges côte-large des matières**

Les ROFI sont les zones préférentielles d'échange entre les bassins-versants et la zone côtière : c'est le cas particulièrement de l'embouchure du Rhône principale source de matières au Golfe du Lion. Les fleuves côtiers tels que l'Aude et la Têt peuvent également contribuer de manière significative aux apports tel que cela a été le cas pendant la période CASCADE durant l'hiver 2011 (Higuera et al., 2014). Une fois apportées à la zone côtière, ces matières sont dispersées sur le plateau, une partie sédimente et l'autre partie est transférée au large au travers des canyons sous-marins lors des épisodes de tempêtes hivernales. De nombreuses études ont démontré que l'exutoire préférentiel du transfert des matières en suspension du Golfe du Lion vers le large se situe à l'extrémité sud-ouest et les canyons du Lacaze-Duthiers du Cap de Creus (Palanques et al., 2008).

Lors de l'hiver 2011, nous avons observé plusieurs tempêtes d'est typiques du climat méditerranéen avec des périodes de récurrence annuelle. Les données des bouées côtières avaient déjà permis de montrer que ces tempêtes pouvaient éroder le substrat jusqu'à des profondeurs de 30 m sur plusieurs centimètres et exporter ce matériel vers les canyons (Bourrin et al., 2008 ; Guillén et al., 2006). Durant l'expérience CASCADE, nous avons pu organiser et maintenir un déploiement d'un glider côtier pour la première fois sur le plateau durant des épisodes de tempête. Nous avons ainsi pu observer la formation d'une couche néphéloïde de fond continue depuis la côte jusque vers 100 m de profondeur et de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur sur le plateau catalan en face de l'embouchure de la Têt (Figure 20).

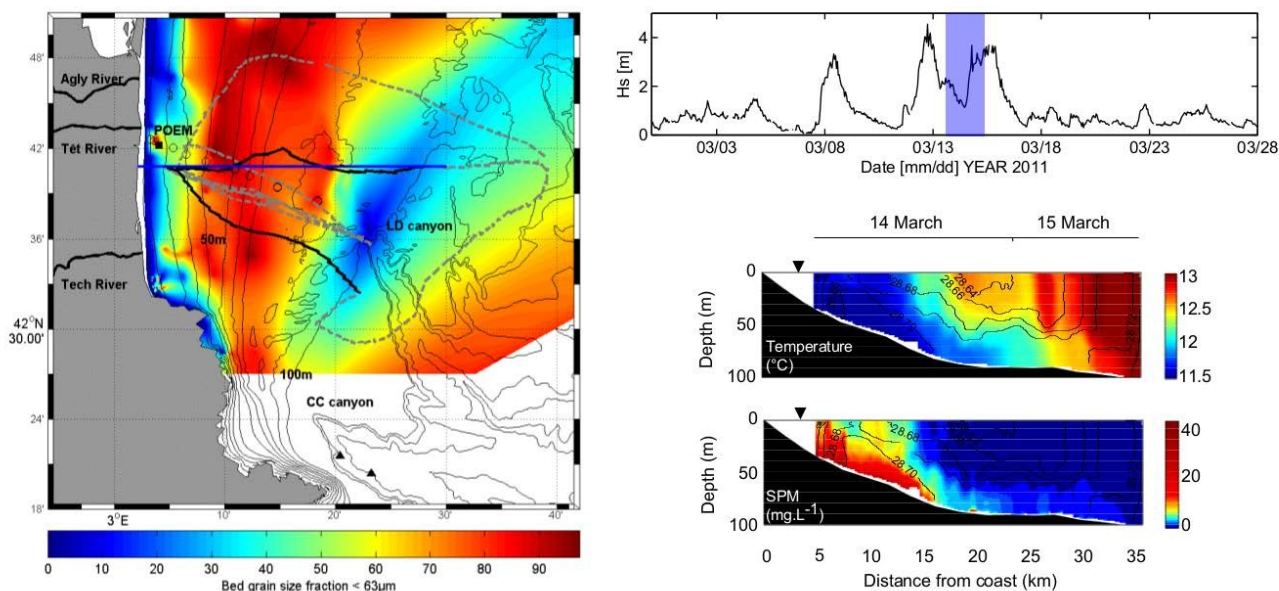


Figure 20 : Gauche: Carte sédimentologique de surface du plateau catalan avec trajectoire glider durant la tempête de mars 2011, Droite : haut: série temporelle de la hauteur significative des vagues, bas : section de température et concentration des MES mesurées par le glider (Bourrin et al., 2015).

Cette couche turbide et froide a été alimentée par les apports des fleuves côtiers durant les crues concomitantes mais également par la remise en suspension des sédiments par les vagues et les courants durant les tempêtes. Nous n'avons pas pu démontrer que ces tempêtes hivernales avec des hauteurs significatives moyennes  $< 5\text{m}$  avaient un pouvoir érosif jusqu'à des profondeurs  $> 50\text{m}$  mais ce néphéloïde benthique a certainement été alimenté par l'advection de sédiments plus côtiers remis en suspension. Quelques jours après les épisodes de crues / tempêtes, un autre passage du glider a permis de montrer que les eaux froides et turbides présentes sur le plateau avaient été balayées et transportées plus au sud vers les canyons.

Durant la campagne CASCADE, des sections CTD ont été réalisées grâce à l'utilisation d'un navire hauturier l'Atalante en zone côtière durant l'épisode de tempête de mars 2011. Les différentes sections hydrologiques montrent le 14 mars le passage des eaux froides, légèrement dé-salées, oxygénées et turbides du plateau (Figure 21a). Une seconde section réalisée après la tempête le 21 mars montre que ces masses d'eau du plateau ont été balayée et exportée plus au sud comme le suggérait également les transects glider. Cet hiver 2011 n'a pas été caractérisé par des conditions propices à la formation d'eau dense, autre processus exportateur d'eau et de matières hors du plateau (Bourrin et al., 2008). Ces eaux peu denses ont été préférentiellement exportées entre le canyon du cap de Creus et le promontoire à terre du même nom.

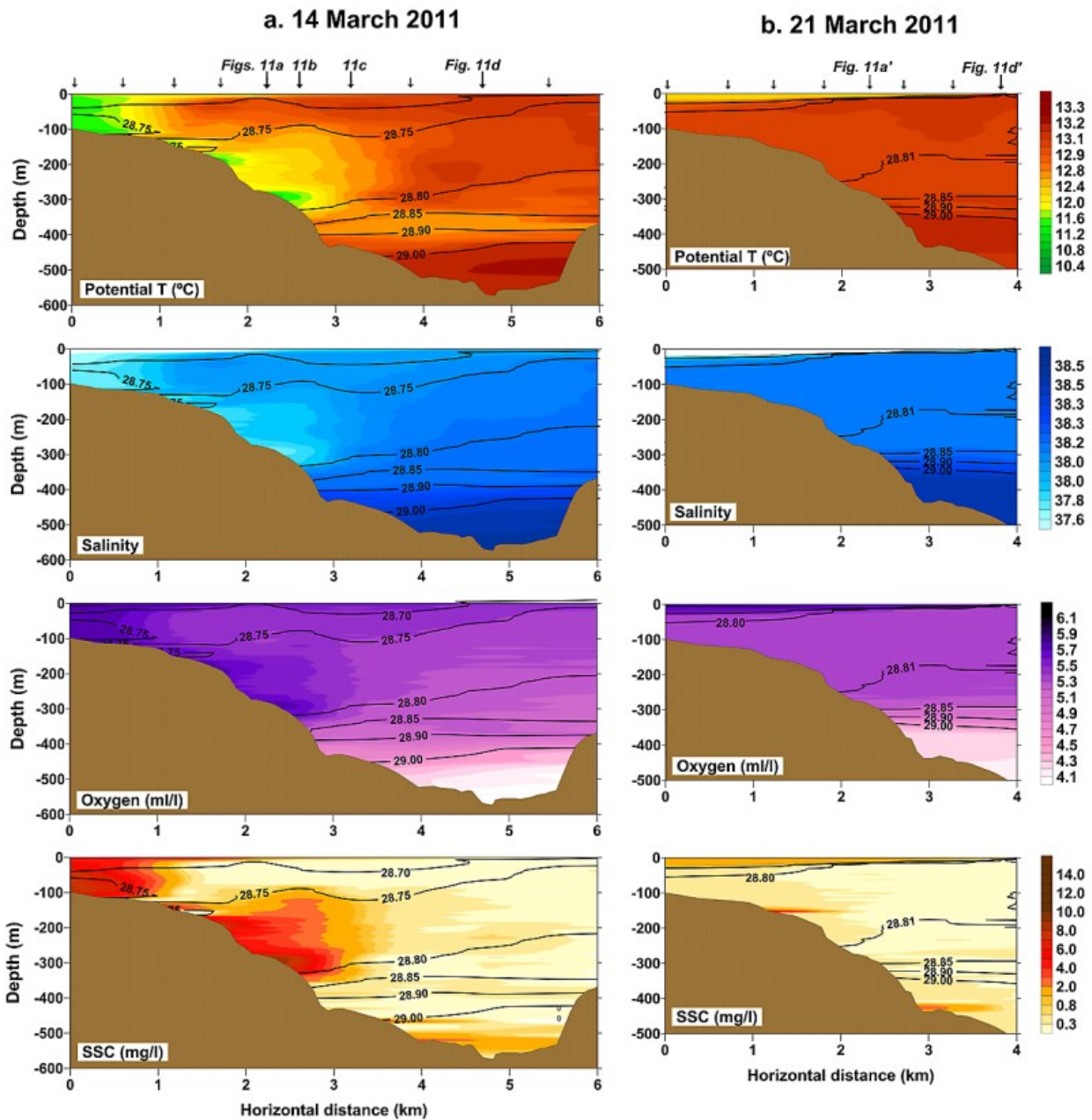


Figure 21 : Sections hydrologiques réalisées en travers du canyon du Cap de Creus les 14 et 21 mars 2011 montrant du haut vers le bas la température potentielle, la salinité, la concentration en oxygène dissous et la concentration en matières en suspension (Martín et al., 2013). Les contours de la densité potentielle sont indiqués sur chaque figure.

Les données de cette campagne ont été ensuite utilisées afin de modéliser l'exportation des eaux du plateau vers le large durant cette période de tempête dans le cadre de la thèse de Guillaume Mikolajczak (Mikolajczak et al., 2020). Les résultats de la modélisation hydrodynamique montrent que durant ces périodes sans important phénomène de « cascading » (i.e. plongées d'eau dense), l'export des eaux du plateau est provoqué par les circulations induites par les vents marins. Durant l'hiver 2011, les 2/3 de l'export du flux d'eau s'est déroulé dans la frange côtière entre le promontoire et le canyon du Cap de Creus (Figure 22). Les simulations sur plusieurs années (2010-2017) montrent enfin que les exports sont limités aux premières centaines de mètre de la colonne

d'eau et que les exports dans le fond du canyon du Cap de Creus sont limités aux années de très fort refroidissement des eaux de surface et donc de plongées d'eaux denses comme durant l'hiver 2011-12.

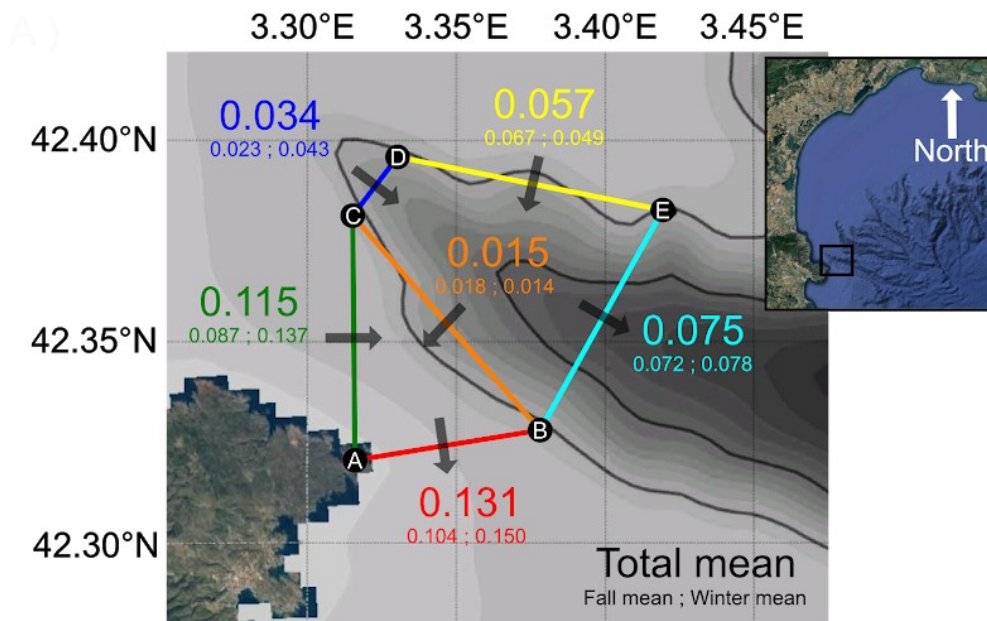


Figure 22 : Flux d'eau simulés au niveau de diverses sections du canyon Cap de Creus (Mikolajczak et al., 2020). Les flux sont moyennés sur la période de simulation Symphonie d'octobre 2010 à mars 2011 (les chiffres en minuscules correspondent aux flux moyens sur la période automnale (à gauche) et hivernale (à droite)).

Enfin, la région située entre le promontoire et le canyon du Cap de Creus est une zone où il y a très peu de mesures directes des flux d'eau et de matières et le déploiement d'un glider dans cette zone permettrait de mieux documenter la variabilité spatiale de l'export notamment durant les événements de cascading.

**Les principaux résultats issus de cette troisième partie bilan sont :**

- 1) L'approche multi-plateformes et l'utilisation des gliders permet de mieux documenter la dynamique des masses d'eau et des couches turbides associées au niveau des ROFI.
- 2) Une méthode innovante a été développée au cours de plusieurs projets de recherches successifs permettant de mesurer les flux hydro-sédimentaires à haute résolution spatio-temporelle sur les marges continentales.
- 3) Les événements de tempête et la circulation côtière associée aux vents marins, sont les principales périodes d'exportation d'eau et de matière hors du Golfe du Lion par le canyon du Cap de Creus et la fine zone côtière entre celui-ci et le promontoire du même nom.

**Les perspectives et questions en suspens de ce travail sont :**

- 1) La dynamique des masses d'eau et des matières a été largement étudiée dans la ROFI du Rhône considérée comme l'entrée du Golfe du Lion, mais également à la sortie du Golfe du Lion au



travers des canyons. Par contre, peu de mesures ont été effectuées au milieu du Golfe du Lion et notamment sur le devenir et la transformation des matières provenant du Rhône.

2) Le déploiement de gliders côtiers équipés de charges optiques et acoustiques en vue de quantifier et caractériser les flux sédimentaires est en cours de validation à partir de mesures effectuées en milieu microtidal. Il reste à vérifier si cette méthode de mesure est possible en milieu où les courants sont plus importants et notamment en zone à marée comme en Atlantique.

3) Les gliders côtiers ont été déployés et fiabilisés pour l'étude des flux hydro-sédimentaires au cours de projet de recherche. Ils pourraient être des outils précieux dans le cadre de la définition du bon état écologique de la Directive Cadre Stratégie sur le Milieu Marin (DCSSM), mais pourraient également être déployés en routine dans le cadre des services d'observation à l'échelle nationale et européenne.

# Perspectives

## 1 Projets de recherche

Au cours de ces dernières années, nous avons effectué des avancées majeures dans les connaissances (1) des flux de matières aux interfaces du domaine côtier (Bourrin et al., 2015; Meslard et al., 2018; Sadaoui et al., 2016), (2) de la dynamique des masses d'eau côtières et notamment dans les ROFI (Gentil et al., 2020; Meslard et al., 2018) et enfin (3) de la caractérisation des propriétés des particules en suspension (nature, taille, forme, densité et vitesse de chute) qui jouent un rôle essentiel dans les mécanismes de transfert côte-large (Many et al., 2019, 2018, 2016).

Dans les années à venir, je me propose d'améliorer les connaissances sur les flux sableux et notamment les flux par charriage apportés au domaine côtier (programme DEMEAUX en cours). Ces apports en sable aux Golfe du Lion ont très peu été évalué et ils jouent un rôle important sur la dynamique du littoral. Les mécanismes de formation des agrégats et la dynamique des masses d'eau dans les ROFI ont également été largement étudiés notamment en face du Rhône. Par contre le transfert et la transformation des matières issues des ROFI vers et hors du plateau sont encore méconnues (programme CHIFRE). La miniaturisation des capteurs de mesure de taille des particules rend maintenant possible leur mise en place sur des plateformes autonomes tels que les gliders et permettront à terme de mieux caractériser la matière sur toute la plateforme continentale à haute fréquence spatio-temporelle (programme METPAG en cours).

Alors que le bilan s'articule autour de 3 thèmes que sont les flux de matières fluviales, la dynamique particulaire et la dynamique des couches turbides en zone côtière, mon projet de recherche pour les années futures s'articule autour de 3 thèmes avec la continuité de mes recherches sur les apports continentaux, un rassemblement de mes activités principales autour de la dynamique côtière incluant les processus de floculation à l'échelle des particules et la dynamique hydro-sédimentaire, et un nouveau thème d'ouverture vers l'écologie et l'énergie plus proche des activités du CEFREM pour le prochain plan quadriennal et des préoccupations sociétales actuelles. Les programmes, plateformes et structures d'observation en soutien ainsi que les thèses engagées sont rassemblées dans la Figure 23.

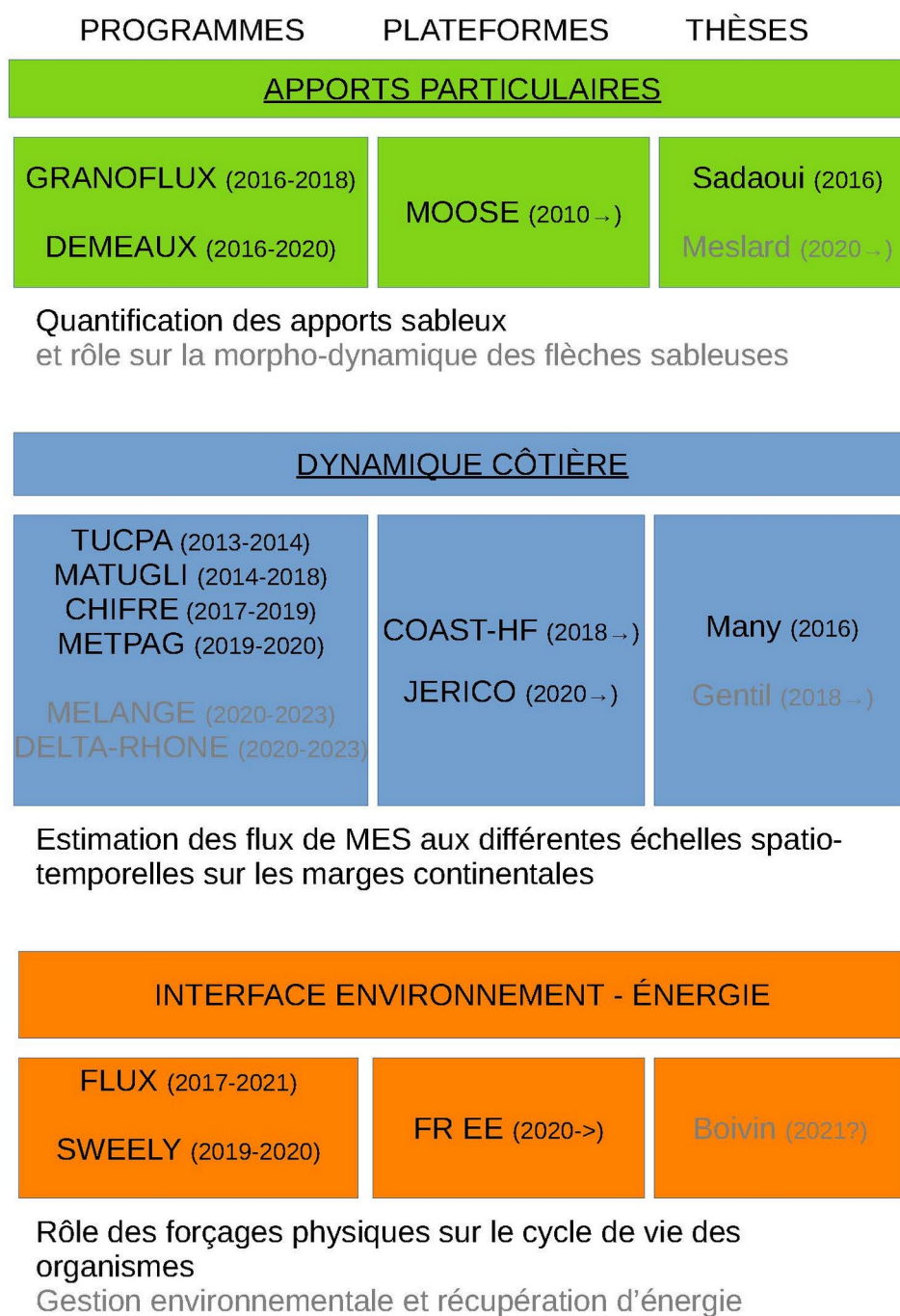


Figure 23 : Contexte programmatique, thèses et questions scientifiques du projet. Les textes en noir correspondent au contexte du bilan de mes travaux alors que les textes en gris concernent plus particulièrement mon projet.

## 1.1 Rôle des apports sableux sur la dynamique littorale

On a vu dans la partie bilan que les travaux issus de la thèse de Mahrez Sadaoui ont permis de mieux définir les apports en MES au domaine côtier. Cependant il existe un manque de données sur les apports en sable notamment par charriage qui vont directement alimenter les littoraux. Un effort de synthèse a bien été fait par Brunel et al., (2014), mais les évaluations sont basées sur le transport

total incluant les MES fines et pas seulement sur le transport de sédiments non cohésifs apportés au littoral.

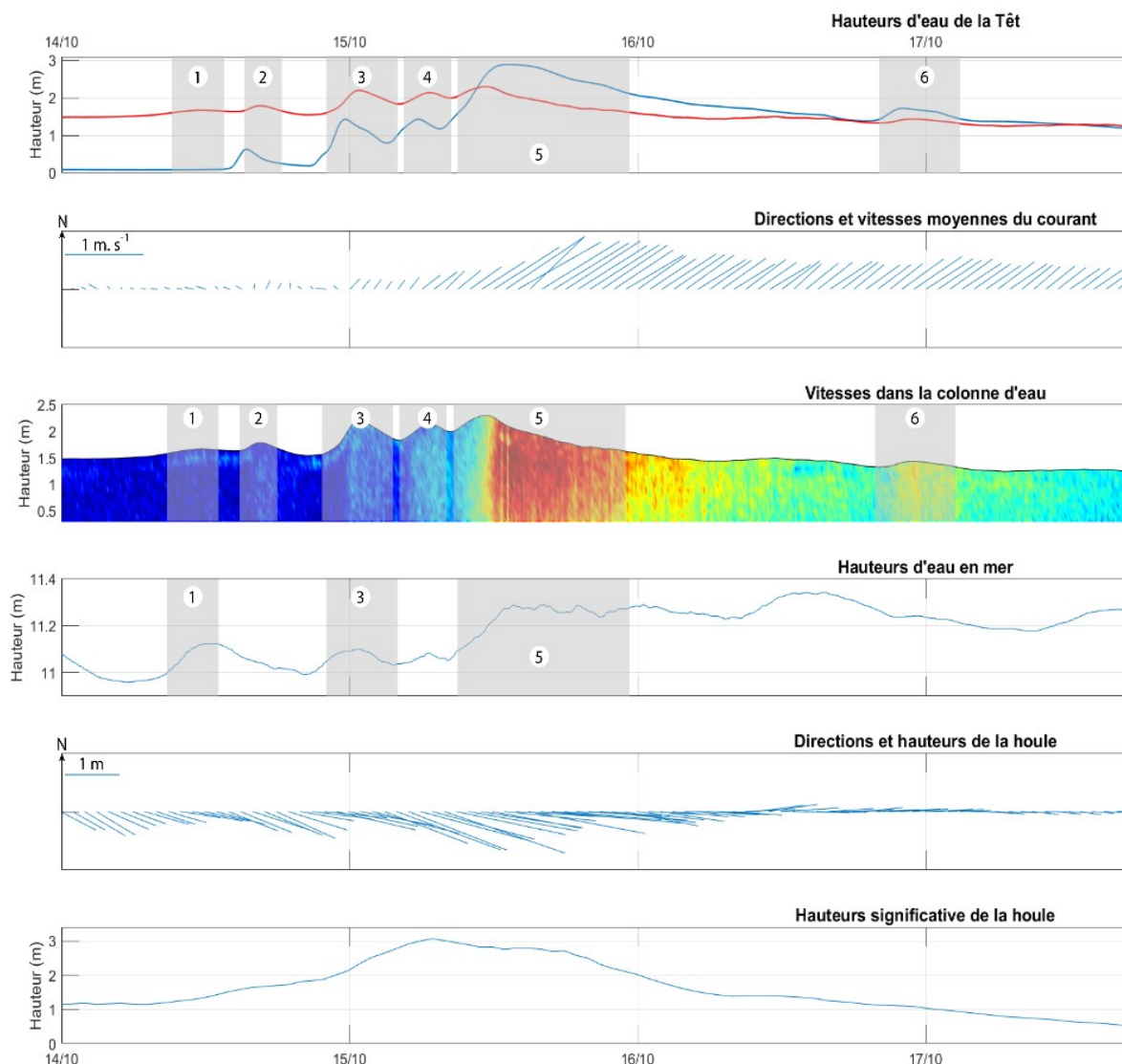


Figure 24 : Exemple de suivi hydrodynamique à l'embouchure du fleuve Têt montrant le blocage des flux hydro-sédimentaires (vitesses dans la colonne d'eau, 4) avant que la flèche sableuse ne crève (vitesses dans la colonne d'eau, 5) en octobre 2018.

Dans le cadre du projet DEMEAUX (2016-2020) que j'ai coordonné pour l'Université de Perpignan en collaboration avec le BRGM, nous nous sommes intéressés à la quantification des apports sableux en suspension et par charriage au travers de mesures in-situ (Leclerc, 2019) et par la modélisation (Cherif, 2020). Nous avons montré que l'essentiel des flux sableux se déroulent lors des épisodes de crue-éclair violents et très brefs typiques du climat méditerranéen. Les dernières crues de la Têt lors des épisodes Gloria et Vera de 2020 montrent que des épisodes de plus en plus violents deviennent récurrents et que l'évaluation de périodes de retour > 100 ans basée sur les séries passées n'est que relative. Néanmoins, ces crues apportent de grosses quantités de sable au littoral qui favoriserait la construction des barres d'embouchure affectées ensuite par la dérive

littorale (Balouin et al., 2020). Les phénomènes d'ouverture / fermeture de ces barres sableuses jouent certainement un rôle d'une part sur le blocage des apports en sédiments lors des crues provoquant des inondations et lors des tempêtes concomitantes provoquant des aléas de submersion marine (Figure 24).

Dans le cadre d'une bourse de la région Occitanie acquise, Florian Meslard qui a déjà travaillé avec moi dans le cadre de son stage de Master 2 Recherche ayant donné lieu à une publication (Meslard et al., 2018) va commencer une thèse à partir d'octobre 2020 en collaboration d'une part avec Yann Balouin du BRGM et Nicolas Robin du CEFREM d'autre part à la suite du projet DEMEAUX. Les objectifs de cette thèse sont (1) mieux quantifier les apports sableux lors des évènements, (2) évaluer le rôle de ces apports sur la dynamique des barres d'embouchure, (3) évaluer l'impact potentiel des évènements de crue / tempête sur les phénomènes d'inondation / submersion marine mais également sur les phénomènes de salinisation des nappes dans le contexte du changement climatique. Ce projet de thèse est également l'occasion de collaborer en interne au CEFREM sur le transport des sédiments non-cohésifs et la morpho-dynamique côtière avec mes collègues littoralistes.

## **1.2 Amélioration des connaissances sur la dynamique des matières en zone côtière**

### Dynamique des particules

Dans le cadre de la thèse de Mathieu Gentil et du projet MATUGLI, les mesures optiques et acoustiques embarquées sur un glider ont montré des disparités de signal sur certaines radiales devant l'embouchure du Rhône et notamment en période stratifiée comme en novembre 2016 (Figure 14). Dans cette étude (Gentil et al., 2020), nous avons suggéré que les différences entre les 2 signaux venaient du fait que la population de particules avait sans doute une répartition bi-modale avec 2 modes de fines et grosses particules, probablement des agrégats. Les capteurs optiques sont plus sensibles à la diffusion sur les fines particules alors que les capteurs acoustiques sont plus précis pour détecter les grosses particules. Mais nous n'avons pas pu conclure concernant la taille exacte des particules en suspension faute de mesure directe.

Au cours d'un projet EC2CO METPAG, j'ai eu l'occasion de collaborer avec Travis Milles de l'Université de Rutgers aux États-Unis qui a développé l'intégration d'un capteur LISST sur un glider afin de mesurer l'impact des « hurricanes » sur la resuspension des sédiments sur le plateau du New Jersey. Ayant plusieurs capteurs LISST-Glider à sa disposition, je l'ai convaincu de m'en prêter un pour l'intégrer sur un glider français de la DT INSU et de venir participer à une campagne en mer devant le Rhône. Le but de ces campagnes METPAG était de (1) valider la mesure LISST-Glider avec des données in-situ de mesure directe plus précises de taille, concentration, nature, et forme des particules et (2) estimer la variabilité spatio-temporelle des propriétés des MES dans la ROFI du Rhône de façon plus précise qu'à partir des mesures antérieures faites lors des campagnes à la mer.

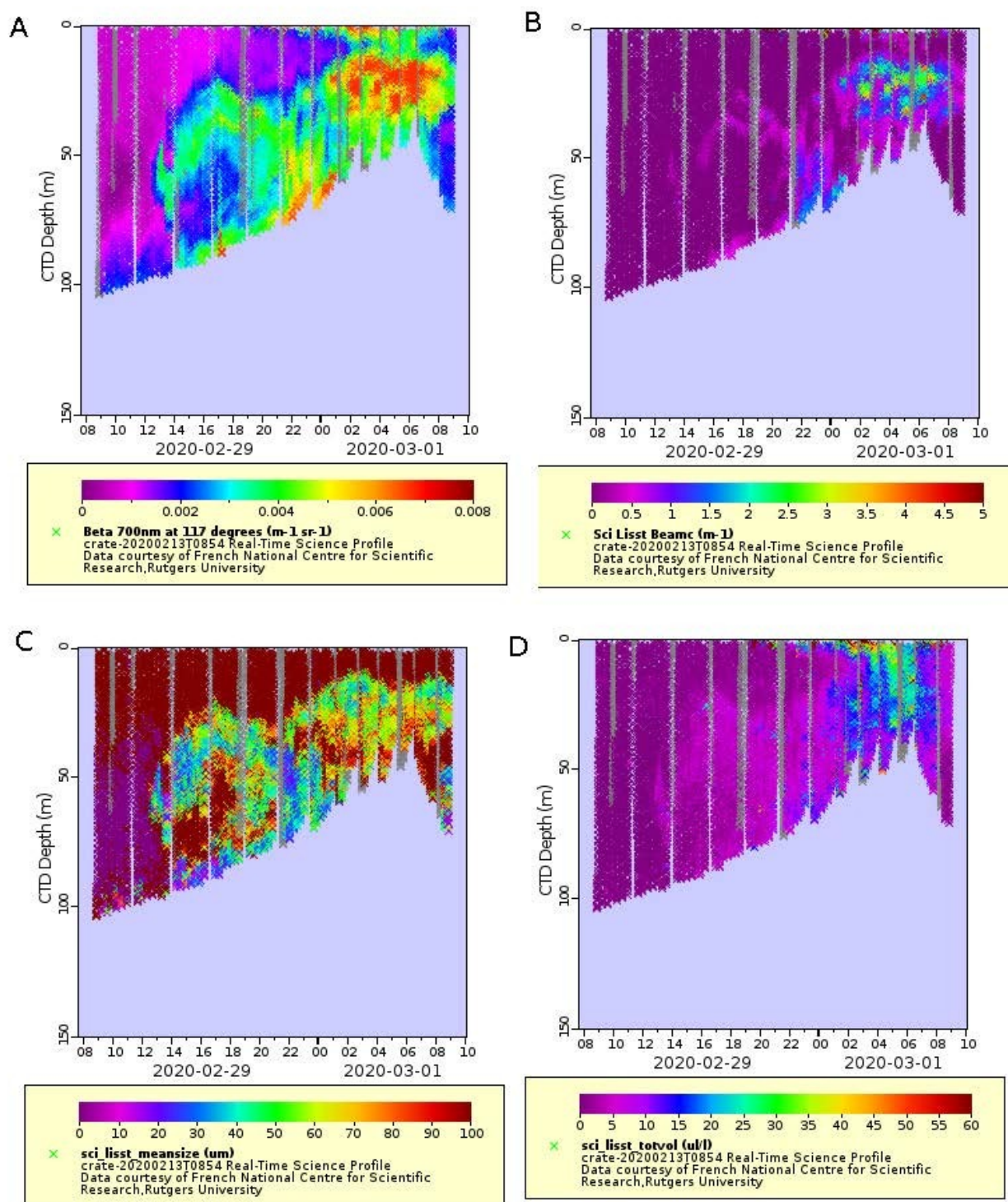


Figure 25 : Mesures glider effectuées à l'embouchure du Rhône durant la campagne METPAG (février - mars 2020). A: rétro-diffusion à 700 nm (capteur optique WETLABS), B: coefficient d'atténuation mesuré par le LISST (en  $m^{-1}$ ), C: D50 estimé (en  $\mu m$ ), D: concentration volumique (en  $\mu L L^{-1}$ ).

La campagne s'est déroulée en février – mars 2020 juste avant le confinement. Les premières données sont prometteuses (Figure 25) et le recouplement des mesures effectuées avec les différents capteurs embarqués font apparaître une variabilité spatio-temporelle très fine des MES. Ces

données sont encore en cours de traitement et seront exploitées dans le cadre de la thèse de Mathieu Gentil (Gentil et al., in prep.). Le capteur LISST embarqué permet notamment d'estimer directement et en temps réel la taille moyenne des MES, l'atténuation et le volume occupé par les MES. Ceci permettra de dériver des densités moyennes et donc des vitesses de chute. Ces paramètres permettront à terme de mieux contraindre les modèles hydro-sédimentaires.

### Transfert et devenir des matières du Rhône et impact des tempêtes

Dans le cadre de la thèse de Mathieu Gentil et du projet CHIFRE, nous avons eu l'opportunité de déployer un glider acoustique dans la zone centrale du plateau du Golfe du Lion entre Sète et le canyon du Bourcart. Le but était de (1) quantifier, mesurer le devenir et la transformation des matières provenant du Rhône (2) mesurer et observer la dynamique hydro-sédimentaire dans cette zone centrale qui a peu été observée du fait de la forte activité de chalutage. Ce déploiement glider a été réalisé en février-mars 2018 et a permis d'observer l'impact d'une tempête annuelle sur le plateau externe du Golfe du Lion. Cette zone est connue comme la zone des sables reliques du large et est caractérisée par de très faibles taux de sédimentation. Ceci serait dû en partie par la présence de très forts courants de fond notamment durant les périodes de tempête d'est qui empêcheraient la sédimentation (Bassetti et al., 2006). Seulement, ces résultats sont issus de la modélisation et il n'y a pas de données pour valider complètement ces estimations. Les données sont en cours d'exploitation et feront l'objet du second article de la thèse de Mathieu Gentil (Gentil et al., in prep.).

### Dynamique des masses d'eau

Le programme MATUGLI financé par l'ANR dans le cadre de l'appel à projet ASTRID de la DGA a été un succès tant du point de vue développement instrumental, avancées scientifiques et publications (Gentil et al., 2020 ; Many et al., 2019 ; Ody et al., 2016). Mais il a été surtout le cadre d'une collaboration toujours active avec de jeunes collègues Romaric Verney et Ivan Pairault d'IFREMER, David Doxaran du LOV et Frédéric Jourdin du SHOM avec des champs disciplinaires différents. De plus, le glider acoustique développé dans le cadre de ce projet a servi de tremplin pour un projet ANR MATURATION MELANGE qui a débuté cette année. Ce projet intègre cette fois-ci un partenaire privé ALSEAMAR avec lequel j'ai déjà collaboré par le passé durant mes années de post-doc. Le but de ce projet est (1) transférer les connaissances acquises durant MATUGLI vers un industriel français, (2) fiabiliser les mesures de courant à l'aide de glider acoustique et notamment dans les zones à fort courant et marée comme en Atlantique. Une campagne à la mer est doré-et-déjà programmé au printemps 2021 sur la Thalassa afin de déployer un glider dans la zone de la vasière sud-Bretagne. Les données seront notamment exploitées par un post-doc financé sur le projet.

### 1.3 Apports de l'océanographie à l'interface Environnement - Énergie

Depuis quelques années et l'intégration de nouvelles compétences et disciplines au sein du CEFREM, j'ai commencé à collaborer avec mes collègues biologistes du CEFREM qui s'interrogeaient sur le rôle de l'hydrodynamique sur l'écologie des espèces biologiques comme les anguilles ou le sar commun notamment présent dans le Parc Marin du Golfe du Lion.

C'est dans le cadre du projet FLUX-Anguilles piloté par Betty Falieix que j'ai été sollicité pour mesurer et quantifier les flux d'eau et de matière dans le grau de Port-la-Nouvelle qui est un lieu de passage privilégié des anguilles. Outre la collaboration pluridisciplinaire, ce projet était l'occasion d'estimer la contribution relative des étangs côtiers au Golfe du Lion par rapport aux fleuves côtiers. Une première estimation a été réalisée dans le cadre du stage de M2 Recherche de Jiahua Liu avec qui on a évalué à environ  $15 \times 10^3$  t de MES / an apportées par l'étang de Bages-Sigean à la zone côtière. Cette évaluation a été réalisée à partir des mesures de H-ADCP et des prélèvements in-situ, et correspond à environ 25 % des apports annuels d'un fleuve côtier comme la Têt. Les données seront ensuite corrélées avec les données de capture des anguilles et des civelles et feront l'objet d'une publication à l'interface hydrodynamique / biologie (Lagarde et al., in prep.).

D'autre part, dans le cadre de la Fédération de Recherche Énergie - Environnement de l'UPVD, je me suis impliqué dans l'animation de l'axe 3 « transition énergétique et développement soutenable ». Le but de cette fédération est de coordonner des actions de recherche entre les différents laboratoires de l'université avec des disciplines variées allant de l'énergétique à la biologie en passant par la géographie et l'économie. A cette occasion j'ai pu monter une collaboration avec Driss Stitou du laboratoire PROMESS (UPR UPVD) afin d'évaluer le potentiel du « Sea Water Conditioning » pour économiser de l'énergie en climatisant de manière optimisée des bâtiments côtiers. Le stage de Théo Boivin a permis d'explorer le couplage des données hydrologiques historiques sur 2 sites du Golfe du Lion (Canet-en-Roussillon et Banyuls sur mer) avec un modèle thermo-dynamique du SWAC. Une publication est en cours de rédaction (Boivin et al., in prep.) et une demande de bourse de thèse auprès de la région Occitanie sera faite en fin d'année.

## 2 Enseignements

Côté enseignements, je me suis très tôt après mon arrivée au CEFREM en 2009, attelé à la supervision de la 1ère année du Master Géosciences Marines de Perpignan. Depuis l'intégration du CEFREM à l'OMP de Toulouse, je me suis engagé au développement des enseignements en océanographie côtière au sein l'École Universitaire de Recherche (EUR) « Toulouse Graduate School of Earth and Space Science » (TESS). Dans cette EUR internationale, j'ai fait la promotion de nos enseignements de terrain, et traitements des données océanographiques acquises lors des campagnes en mer. Cette école thématique sera sans nul doute un tremplin pour la promotion de nos recherches.

Avec la création de l'école d'Ingénieur en Énergie Renouvelables de Perpignan en cotutelle avec l'INSA de Toulouse, j'ai commencé à développer le volet énergies renouvelables marines en initiant les élèves ingénieurs au potentiel des ressources marines pour créer de l'énergie propre et durable.



Les chantiers à venir pour la création de champs d'éoliennes offshore est une bonne voie pour développer cet axe au niveau local.

Le développement de la plateforme « Intervention et Expertise en Environnement Marin » (IEEM) est également l'occasion de développer nos activités de terrain d'acquisition de données en plongée mais aussi avec nos dispositifs d'observation (bouées, mouillages, ...). Je continuerai notamment mon intervention/encadrement en tant que plongeur professionnel (scaphandrier C1B) dans le module de « Plongée Scientifique » très attractifs pour nos étudiants de Master.

J'ai également bénéficié d'un « Contrat d'Enseignement et de Pédagogie Innovante » en 2018-19 au cours duquel j'ai commencé à développer des activités d'enseignement autour de la cartographie 3D à l'aide de drones. Je n'ai pas encore pu intégrer ces enseignements actuellement et je compte l'intégrer pleinement avec l'arrivée du prochain quadriennal 2021-2025.

Enfin, dans la continuité de mes activités de recherche soutenues avec nos collègues chercheurs et enseignants-chercheurs catalans, je souhaite également remettre en activité la filière enseignement entre Perpignan et Barcelone qui existait il y a quelques années. Ce serait l'occasion de mutualiser certains modules ou filières de notre Master Sciences de la Mer voire de l'EUR TESS.

### **3 Responsabilités à prendre**

Au niveau activités recherche, je me suis déjà bien engagé au sein de la communauté « Observation » avec l'IR ILLICO et plus particulièrement avec les SNO MOOSE et COAST-HF. Je vais continuer mes activités autour de la bouée POEM dont je suis le responsable scientifique.

Je suis également rentré dans le comité national de Pilotage Gliders de la DT INSU. Je connais bien l'équipe en place, le fonctionnement ayant été pilote ou « gliderman ». Je ne serais pas contre si l'occasion se présentait à l'avenir de prendre la présidence de ce comité afin de le faire évoluer.

Je continuerai mes expertises au sein de comités ANR telle que la commission ASTRID, mais aussi pour l'HCERES, et la CNFC.

## Références bibliographiques

- Agrawal, Y.C., Whitmire, A., Mikkelsen, O.A., Pottsmith, H.C., 2008. Light scattering by random shaped particles and consequences on measuring suspended sediments by laser diffraction. *J. Geophys. Res.* 113. <https://doi.org/10.1029/2007JC004403>
- Aloisi, J.C., Cambon, J.P., Carbonne, J., Cauwet, G., Millot, C., Monaco, A., Pauc, H., 1982. Origine et rôle du néphéloïde profond dans le transfert des particules au milieu marin. Application au Golfe du Lion. *Oceanol. Acta* 5, 481–491.
- Babin, M., Morel, A., Fournier-Sicre, V., Fell, F., Stramski, D., 2003. Light scattering properties of marine particles in coastal and open ocean waters as related to the particle mass concentration. *Limnol. Oceanogr.* 48, 843–859. <https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.2.0843>
- Balouin, Y., Bourrin, F., Meslard, F., Palvadeau, E., Robin, N., 2020. Assessing the Role of Storm Waves and River Discharge on Sediment Bypassing Mechanisms at the Têt River Mouth in the Mediterranean (Southeast France). *J. Coast. Res.* 95, 351. <https://doi.org/10.2112/SI95-068.1>
- Bassetti, M.A., Jouet, G., Dufois, F., Berné, S., Rabineau, M., Taviani, M., 2006. Sand bodies at the shelf edge in the Gulf of Lions (Western Mediterranean): Deglacial history and modern processes. *Mar. Geol.* 234, 93–109. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2006.09.010>
- Boivin, T., Stitou, D., Bourrin, F., in prep. Theoretical Comparative Study of SWAC Technology in the Gulf of Lion – Energy and economic approach. *Energy*.
- Bourrin, F., 2007. Variabilité et devenir des apports sédimentaires par les fleuves côtiers: cas du système Têt-Littoral Roussillonnais dans le golfe du Lion. Université de Perpignan,.
- Bourrin, F., 2002. Etude de la circulation tidale et subtidale à l'embouchure de l'estuaire de la Gironde.
- Bourrin, François, Durrieu de Madron, X., Heussner, S., Estournel, C., 2008. Impact of winter dense water formation on shelf sediment erosion (evidence from the Gulf of Lions, NW Mediterranean). *Cont. Shelf Res.* 28, 1984–1999. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.06.006>
- Bourrin, F., Durrieu de Madron, X., Ludwig, W., 2006. Contribution of the study of coastal rivers and associated prodeltas to sediment supply in North-western Mediterranean Sea (Gulf of Lions). *Vie Milieu* 56, 1–8.
- Bourrin, F., Friend, P.L., Amos, C.L., Manca, E., Ulses, C., Palanques, A., Durrieu de Madron, X., Thompson, C.E.L., 2008. Sediment dispersal from a typical Mediterranean flood: The Têt River, Gulf of Lions. *Cont. Shelf Res.* 28, 1895–1910. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.06.005>
- Bourrin, F., Many, G., Durrieu de Madron, X., Martín, J., Puig, P., Houpert, L., Testor, P., Kunesch, S., Mahiouz, K., Béguery, L., 2015. Glider monitoring of shelf suspended particle dynamics and transport during storm and flooding conditions. *Cont. Shelf Res.* 109, 135–149. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.08.031>
- Bourrin, F., Randra, M., Canals, M., Sanchez-Vidal, A., Aubert, D., Menniti, C., Klar, J., soumis. Release of Particles and Metals into Seawater following Sediment Resuspension of a Coastal Mine Tailings Disposal off Portmán Bay, Southern Spain. *Environ. Sci. Pollut. Res.*
- Bressac, M., Guieu, C., Doxaran, D., Bourrin, F., Desboeufs, K., Leblond, N., Ridame, C., 2014. Quantification of the lithogenic carbon pump following a simulated dust-deposition event in large mesocosms. *Biogeosciences* 11, 1007–1020. <https://doi.org/10.5194/bg-11-1007-2014>
- Bressac, M., Guieu, C., Doxaran, D., Bourrin, F., Obolensky, G., Grisoni, J.-M., 2012. A mesocosm experiment coupled with optical measurements to assess the fate and sinking of atmospheric particles in clear oligotrophic waters. *Geo-Mar. Lett.* 32, 153–164. <https://doi.org/10.1007/s00367-011-0269-4>

- Brunel, C., Certain, R., Sabatier, F., Robin, N., Barusseau, J.P., Aleman, N., Raynal, O., 2014. 20th century sediment budget trends on the Western Gulf of Lions shoreface (France): An application of an integrated method for the study of sediment coastal reservoirs. *Geomorphology* 204, 625–637. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.09.009>
- Canals, M., Sanchez-Vidal, A., Amblas, D., Cerda-Domenech, M., Frigola, J., Rayo, R., Danovaro, R., Gambi, C., Dell’Anno, A., Tangherlini, M., Manea, E., Mestre, N.C., Rocha, T.L., Cardoso, C., Bebianno, M.J., 2016. Report on Disturbance Experiment at Portmán Bay (unpublished No. Deliverable 6.4), MIDAS project.
- Cherif, F., 2020. Estimation du transport solide par les fleuves côtiers méditerranéens à partir d’une approche de modélisation (TELEMAC/GAIA). Projet DEMEAUX. (Rapport Master 2 Recherche).
- Curran, K.J., Hill, P.S., Milligan, T.G., Mikkelsen, O.A., Law, B.A., Durrieu de Madron, X., Bourrin, F., 2007. Settling velocity, effective density, and mass composition of suspended sediment in a coastal bottom boundary layer, Gulf of Lions, France. *Cont. Shelf Res.* 27, 1408–1421. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2007.01.014>
- Doxaran, D., Froidefond, J.-M., Castaing, P., 2003. Remote-sensing reflectance of turbid sediment-dominated waters Reduction of sediment type variations and changing illumination conditions effects by use of reflectance ratios. *Appl. Opt.* 42, 2623. <https://doi.org/10.1364/AO.42.002623>
- Durrieu de Madron, X., Nyffeler, F., Godet, C.H., 1990. Hydrographic structure and nepheloid spatial distribution in the Gulf of Lions continental margin. *Cont. Shelf Res.* 10, 915–929.
- Dyer, K.R., 1989. Sediment processes in estuaries: Future research requirements. *J. Geophys. Res. Oceans* 94, 14327–14339. <https://doi.org/10.1029/JC094iC10p14327>
- Eisma, D., 1986. Flocculation and de-flocculation of suspended matter in estuaries. *Neth. J. Sea Res.* 20, 183–199.
- Flores Melo, X., Martín, J., Kerdel, L., Bourrin, F., Colloca, C.B., Menniti, C., de Madron, X.D., 2020. Particle Dynamics in Ushuaia Bay (Tierra del Fuego)-Potential Effect on Dissolved Oxygen Depletion. *Water* 12, 324. <https://doi.org/10.3390/w12020324>
- Gangloff, A., 2017. Devenir des apports solides du Rhône dans le Golfe du Lion : étude de la dynamique du panache turbide du Rhône en réponse aux forçages hydrométéorologiques. Brest.
- Gentil, M., en cours. Apport des drones sous-marins à l’étude de la dynamique côtière (TELEDYNE). Université de Perpignan Via Domitia.
- Gentil, M., Bourrin, F., Durrieu De Madron, X., in prep. Sediment Dynamics and Fluxes during Storm Events in the outer-shelf of the Gulf of Lions. *Cont. Shelf Res.*
- Gentil, M., Bourrin, F., Miles, T.N., Durrieu De Madron, X., in prep. Spatio-temporal variability of Particle properties in the Rhône River ROFI from Glider-LISST measurements. *Limnol. Oceanogr. Methods.*
- Gentil, M., Many, G., Durrieu de Madron, X., Cauchy, P., Pairaud, I., Testor, P., Verney, R., Bourrin, F., 2020. Glider-Based Active Acoustic Monitoring of Currents and Turbidity in the Coastal Zone. *Remote Sens.* 12, 2875. <https://doi.org/10.3390/rs12182875>
- Geyer, W.R., Traykovski, P., 2001. Wave- and density driven sediment transport., in: Millennium., O.S. and the N. (Ed.), Ocean Sciences Decadal Committee. National Science Foundation., p. 91.
- Guieu, C., Dulac, F., Ridame, C., Pondaven, P., 2014. Introduction to project DUNE, a DUst experiment in a low Nutrient, low chlorophyll Ecosystem. *Biogeosciences* 11, 425–442. <https://doi.org/10.5194/bg-11-425-2014>
- Guillén, J., Bourrin, F., Palanques, A., Durrieu de Madron, X., Puig, P., Buscail, R., 2006. Sediment dynamics during wet and dry storm events on the Têt inner shelf (SW Gulf of Lions). *Mar. Geol.* 234, 129–142. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2006.09.018>

- Helama, S., Fauria, M.M., Mielikainen, K., Timonen, M., Eronen, M., 2010. Sub-Milankovitch solar forcing of past climates: Mid and late Holocene perspectives. *Geol. Soc. Am. Bull.* 122, 1981–1988. <https://doi.org/10.1130/B30088.1>
- Higuera, M., Kerhervé, P., Sanchez-Vidal, A., Calafat, A., Ludwig, W., Verdoit-Jarraya, M., Heussner, S., Canals, M., 2014. Biogeochemical characterization of the riverine particulate organic matter transferred to the NW Mediterranean Sea. *Biogeosciences* 11, 157–172. <https://doi.org/10.5194/bg-11-157-2014>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), 2014. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing, in: *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 659–740. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.018>
- Irigoien, X., Castel, J., 1997. Light Limitation and Distribution of Chlorophyll Pigments in a Highly Turbid Estuary: the Gironde (SW France). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 44, 507–517. <https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0132>
- Kuprenas, R., Tran, D., Strom, K., 2018. A Shear-Limited Flocculation Model for Dynamically Predicting Average Flocc Size. *J. Geophys. Res. Oceans* 123, 6736–6752. <https://doi.org/10.1029/2018JC014154>
- Lagarde, R., Faliex, E., Amilhat, E., Bourrin, F., in prep. Physical forcings driving Eels ecology in the Bages-Sigean lagoon and adjacent coastal area. *Ecol. Indic.*
- Leclerc, L., 2019. Interactions Terre-Mer et flux sédimentaires à l’embouchure du fleuve Têt. *Projet DEMAUX*. (Rapport Master 2 Recherche).
- Lespinas, F., Ludwig, W., Heussner, S., 2014. Hydrological and climatic uncertainties associated with modeling the impact of climate change on water resources of small Mediterranean coastal rivers. *J. Hydrol.* 511, 403–422. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.033>
- Lespinas, F., Ludwig, W., Heussner, S., 2010. Impact of recent climate change on the hydrology of coastal Mediterranean rivers in Southern France. *Clim. Change* 99, 425–456. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9668-1>
- Ludwig, W., Dumont, E., Meybeck, M., Heussner, S., 2009. River discharges of water and nutrients to the Mediterranean and Black Sea: Major drivers for ecosystem changes during past and future decades? *Prog. Oceanogr.* In Press, Accepted Manuscript.
- Many, G., 2016. Impacts of storm and flood events on suspended particulate matter dynamics in the Gulf of Lions. *Contributions of gliders to a multi-platform approach*. Université de Perpignan Via Domitia.
- Many, G., Bourrin, F., Durrieu de Madron, X., Ody, A., Doxaran, D., Cauchy, P., 2018. Glider and satellite monitoring of the variability of the suspended particle distribution and size in the Rhône ROFI. *Spec. Issue MERMEX Proj. Recent Adv. Oceanogr. Mediterr. Sea* 163, 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.05.006>
- Many, G., Bourrin, F., Durrieu de Madron, X., Pairaud, I., Gangloff, A., Doxaran, D., Ody, A., Verney, R., Menniti, C., Le Berre, D., Jacquet, M., 2016. Particle assemblage characterization in the Rhone River ROFI. *J. Mar. Syst.* 157, 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2015.12.010>
- Many, G., Durrieu de Madron, X., Verney, R., Bourrin, F., Renosh, P.R., Jourdin, F., Gangloff, A., 2019. Geometry, fractal dimension and settling velocity of flocs during flooding conditions in the Rhône ROFI. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 219, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.01.017>
- Martín, J., Durrieu de Madron, X., Puig, P., Bourrin, F., Palanques, A., Houpert, L., Higuera, M., Sanchez-Vidal, A., Calafat, A.M., Canals, M., Heussner, S., Delsaut, N., Sotin, C., 2013. Sediment transport along the Cap de Creus Canyon flank during a mild, wet winter. *Biogeosciences* 10, 3221–3239. <https://doi.org/10.5194/bg-10-3221-2013>
- Merckelbach, L., Smeed, D., Griffiths, G., 2010. Vertical Water Velocities from Underwater Gliders. *J. Atmospheric Ocean. Technol.* 27, 547–563. <https://doi.org/10.1175/2009JTECHO710.1>

- Meslard, F., Bourrin, F., Many, G., Kerhervé, P., 2018. Suspended particle dynamics and fluxes in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 204, 212–224. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.02.020>
- Mestre, N.C., Rocha, T.L., Canals, M., Cardoso, C., Danovaro, R., Dell’Anno, A., Gambi, C., Regoli, F., Sanchez-Vidal, A., Bebianno, M.J., 2017. Environmental hazard assessment of a marine mine tailings deposit site and potential implications for deep-sea mining. *Environ. Pollut.* 228, 169–178. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.027>
- Mikolajczak, G., Estournel, C., Ulses, C., Marsaleix, P., Bourrin, F., Martin, J., Pairaud, I., Puig, P., Leredde, Y., Many, G., Seyfried, L., Durrieu de Madron, X., 2020. Impact of storms on residence times and export of coastal waters during a mild autumn/winter period in the Gulf of Lion. *Cont. Shelf Res.* 104192. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2020.104192>
- Milliman, J.D., Meade, R.H., 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *J. Geol.* 1–21.
- Milliman, J.D., Syvitski, J.P.M., 1992. Geomorphic/Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers. *J. Geol.* 100, 5, 525–544.
- Ody, A., Doxaran, D., Bourrin, F., Verney, R., Pairaud, I., in prep. Transport, fluxes and dynamics of suspended sediments from rivers to river plumes using high resolution ocean color satellites. *Remote Sens. Environ.*
- Ody, A., Doxaran, D., Vanhellemont, Q., Nechad, B., Novoa, S., Many, G., Bourrin, F., Verney, R., Pairaud, I., Gentili, B., 2016. Potential of High Spatial and Temporal Ocean Color Satellite Data to Study the Dynamics of Suspended Particles in a Micro-Tidal River Plume. *Remote Sens.* 8, 245. <https://doi.org/10.3390/rs8030245>
- Oyarzun, R., Manteca Martínez, J.I., López García, J.A., Carmona, C., 2013. An account of the events that led to full bay infilling with sulfide tailings at Portman (Spain), and the search for “black swans” in a potential land reclamation scenario. *Sci. Total Environ.* 454–455, 245–249. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.030>
- Palanques, A., Guillén, J., Puig, P., Durrieu de Madron, X., 2008. Storm-driven shelf to canyon flushing sediment transport in the southwestern end of the Gulf of Lions. *Cont. Shelf Res.*
- Peña, J.A., Manteca, J.I., Martínez-Pagán, P., Teixidó, T., 2013. Magnetic gradient map of the mine tailings in Portman Bay (Murcia, Spain) and its contribution to the understanding of the bay infilling process. *J. Appl. Geophys.* 95, 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.05.011>
- Rau, M.J., Ackleson, S.G., Smith, G.B., 2018. Effects of turbulent aggregation on clay floc breakup and implications for the oceanic environment. *PLOS ONE* 13, e0207809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207809>
- Sadaoui, M., 2016. Variabilité et évolution des apports de matières en suspension dans la zone côtière: approche multi-échelle dans le bassin de la Méditerranée (PhD Thesis). Perpignan.
- Sadaoui, M., Ludwig, W., Bourrin, F., Raimbault, P., 2016. Controls, budgets and variability of riverine sediment fluxes to the Gulf of Lions (NW Mediterranean Sea). *J. Hydrol.* 540, 1002–1015. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.012>
- Sadaoui, M., Ludwig, W., Bourrin, F., Romero, E., 2018. The impact of reservoir construction on riverine sediment and carbon fluxes to the Mediterranean Sea. *Prog. Oceanogr.* <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.08.003>
- Sempéré, R., Charriere, B., Cauwet, G., Van Wambecke, F., 2000. Carbon inputs of the Rhone River to the Mediterranean Sea: biogeochemical implications. *Glob. Biogeochem. Cycles* 14.
- Syvitski, J.P.M., Vorosmarty, C.J., Kettner, A.J., Green, P., 2005. Impact of Humans on the Flux of Terrestrial Sediment to the Global Coastal Ocean 10.1126/science.1109454. *Science* 308, 376–380.

- Tessier, C., Hir, P.L., Lurton, X., Castaing, P., 2008. Estimation de la matière en suspension à partir de l'intensité rétrodiffusée des courantomètres acoustiques à effet Doppler (ADCP). *Comptes Rendus Geosci.* 340, 57–67. <https://doi.org/DOI: 10.1016/j.crte.2007.10.009>
- Testor, P., de Young, B., Rudnick, D.L., Glenn, S., Hayes, D., Lee, C.M., Pattiaratchi, C., Hill, K., Heslop, E., Turpin, V., Alenius, P., Barrera, C., Barth, J.A., Beaird, N., Bécu, G., Bosse, A., Bourrin, F., Brearley, J.A., Chao, Y., Chen, S., Chiggiato, J., Coppola, L., Crout, R., Cummings, J., Curry, B., Curry, R., Davis, R., Desai, K., DiMarco, S., Edwards, C., Fielding, S., Fer, I., Frajka-Williams, E., Gildor, H., Goni, G., Gutierrez, D., Haugan, P., Hebert, D., Heiderich, J., Henson, S., Heywood, K., Hogan, P., Houpert, L., Huh, S., E. Inall, M., Ishii, M., Ito, S., Itoh, S., Jan, S., Kaiser, J., Karstensen, J., Kirkpatrick, B., Klymak, J., Kohut, J., Krahnemann, G., Krug, M., McClatchie, S., Marin, F., Mauri, E., Mehra, A., P. Meredith, M., Meunier, T., Miles, T., Morell, J.M., Mortier, L., Nicholson, S., O'Callaghan, J., O'Conchubhair, D., Oke, P., Pallàs-Sanz, E., Palmer, M., Park, J., Perivoliotis, L., Poulain, P.-M., Perry, R., Queste, B., Rainville, L., Rehm, E., Roughan, M., Rome, N., Ross, T., Ruiz, S., Saba, G., Schaeffer, A., Schönau, M., Schroeder, K., Shimizu, Y., Sloyan, B.M., Smeed, D., Snowden, D., Song, Y., Swart, S., Tenreiro, M., Thompson, A., Tintore, J., Todd, R.E., Toro, C., Venables, H., Wagawa, T., Waterman, S., Watlington, R.A., Wilson, D., 2019. OceanGliders: A Component of the Integrated GOOS. *Front. Mar. Sci.* 6, 422. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00422>
- Thurnherr, A.M., Symonds, D., St. Laurent, L., 2015. Processing explorer ADCP data collected on slocum gliders using the LADCP shear method. *IEEE*, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1109/CWTM.2015.7098134>
- Uusoue, M., Ligi, M., Uudeberg, K., Kutser, T., Bourrin, F., en prép. Variability of suspended particles properties in Western-Estonian coastal area, Baltic Sea. *Oceanologia*.
- Visbeck, M., 2002. Deep Velocity Profiling Using Lowered Acoustic Doppler Current Profilers: Bottom Track and Inverse Solutions. *J. ATMOSPHERIC Ocean. Technol.* 19, 14.
- Vörösmarty, C.J., Meybeck, M., Fekete, B., Sharma, K., Green, P., Syvitski, J.P.M., 2003. Anthropogenic sediment retention: major global impact from registered river impoundments. *Glob. Planet. Change* 39, 169–190.
- Winterwerp, H., 1999. On the dynamics of high-concentrated mud suspensions. Delft University of Technology,.

# Annexe

Sélection de 5 papiers :

1. Bourrin, F., Many, G., Durrieu de Madron, X., Martín, J., Puig, P., Houpert, L., Testor, P., Kunesch, S., Mahiouz, K., Béguery, L., 2015. Glider monitoring of shelf suspended particle dynamics and transport during storm and flooding conditions. *Continental Shelf Research* 109, 135–149. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.08.031>
2. Gentil, M., Many, G., Durrieu de Madron, X., Cauchy, P., Pairaud, I., Testor, P., Verney, R., Bourrin, F., 2020. Glider-Based Active Acoustic Monitoring of Currents and Turbidity in the Coastal Zone. *Remote Sensing* 12, 2875. <https://doi.org/10.3390/rs12182875>
3. Many, G., Bourrin, F., Durrieu de Madron, X., Pairaud, I., Gangloff, A., Doxaran, D., Ody, A., Verney, R., Menniti, C., Le Berre, D., Jacquet, M., 2016. Particle assemblage characterization in the Rhone River ROFI. *Journal of Marine Systems* 157, 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2015.12.010>
4. Meslard, F., Bourrin, F., Many, G., Kerhervé, P., 2018. Suspended particle dynamics and fluxes in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 204, 212–224. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.02.020>
5. Sadaoui, M., Ludwig, W., Bourrin, F., Raimbault, P., 2016. Controls, budgets and variability of riverine sediment fluxes to the Gulf of Lions (NW Mediterranean Sea). *Journal of Hydrology* 540, 1002–1015. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.012>

## Index des figures

Figure 1: Graphique montrant la répartition de mes articles par domaine (source Web of Science, Juillet 2020).....	8
Figure 2: Processus hydro-sédimentaires intervenant dans le transfert côte-large des matières en suspension (d'après Geyer and Traykovski, 2001).....	27
Figure 3: Ajustement des courbes de tarage Q-MES à partir des données haute résolution pour les fleuves Têt (a, c et e) et Rhône (b, d et f). Pour le modèle SIRCA (e et f), PR indique le point de rupture et PC le point de changement (Sadaoui, 2016).....	29
Figure 4: Quantification des apports solides annuels des fleuves côtiers et du Rhône ainsi que des sous-bassins au Golfe du Lion (Sadaoui et al., 2016).....	30
Figure 5: Evolution des flux sédimentaires naturels (F SPMn) exportés annuellement par les fleuves méditerranéens sur la période 1900-2003, incluant l'effet des barrages (courbe bleue); évolution annuelle cumulée de la rétention en sédiment (%) par les réservoirs (courbe rouge).....	32
Figure 6: Images RGB Landsat-8 (résolution spatiale (30m) du 6 novembre 2014 (A) du fleuve Rhône et de des embouchures, zooms sur (B) la station de mesure d'Arles et (C) la station marine MESURHO.....	33
Figure 7: (A) Transect de Arles jusqu'au large de l'embouchure du Rhône des concentrations des MES dérivées des images Landsat-8 et (B) carte de surface des concentrations des MES dérivées à partir des bandes spectrales infrarouges et proche infrarouge. Les étoiles jaunes indiquent la station d'Arles et le carré jaune la station marin MESURHO.....	34
Figure 8: Facteurs et processus de floculation des particules dans le milieu marin d'après Kuprenas et al. (2018).....	36
Figure 9: A gauche: distribution des concentrations des MES de surface devant le Rhône en février 2014; à droite, distribution des indices de distribution de taille de l'assemblage particulaire de surface. Données MODIS 250m de résolution.....	37
Figure 10: Propriétés des particules en suspension dans le panache du Rhône en fonction de la distance à l'embouchure d'après Many et al. (2016).....	38
Figure 11: Modèle conceptuel de la dynamique des particules dans un système typique d'upwelling glaciaire en face du glacier Kronebreen dans le Kongfjorden aux Svalbard.....	39
Figure 12: Estimation des vitesses de chute en fonction de la taille des matières en suspension (flocs) d'après Many et al. (2019).....	41
Figure 13: A gauche: indices $\gamma$ estimés à partir des données satellites MODIS; à droite indices $\gamma$ estimés à partir des données glider.....	42
Figure 14: Mesures de turbidité optique (a), MES (b), Chla (c), turbidité acoustique (d) et intensités des anomalies des valeurs de turbidité optique (e). Transect glider réalisé du 5 au 7 février 2017 (Gentil et al., 2020).....	43
Figure 15: A. Evolution du coefficient d'atténuation particulaire mesurée dans le mésocosme optique à partir de l'ensemencement ( $T_0$ ) et B. Spectres de taille moyennés sur la durée de l'expérience des particules mesurées in-situ au sein du mésocosme à différentes profondeurs.....	45
Figure 16: Evolution des concentrations des MES dérivées des mesures ADCP, dans les panaches générés par chalutage au cours de l'expérience MIDAS.....	46
Figure 17: Stratégie multi-plateformes adoptée pour l'étude des flux d'eau et de matières à haute résolution spatio-temporelle dans le Golfe du Lion.....	48
Figure 18: Suivi haute fréquence des masses d'eaux turbides du Rhône par satellite (à gauche) et par glider à (droite) d'après Many et al. (2018).....	49
Figure 19: Composantes du courant estimées sur 2 transects glider devant le Rhône en Novembre 2016 (a, c et e) et en Février 2017 (b, d et f). $V_{ADCP}$ correspond à la composante nord-sud du	



courant, $U_{ADCP}$ à la composante est-ouest et $U_{GEO}$ à la composante est-ouest du courant géostrophique estimé à partir des données CTD glider.....	51
Figure 20: Gauche: Carte sédimentologique de surface du plateau catalan avec trajectoire glider durant la tempête de mars 2011, Droite : haut: série temporelle de la hauteur significative des vagues, bas : section de température et concentration des MES mesurées par le glider (Bourrin et al., 2015).....	53
Figure 21: Sections hydrologiques réalisées en travers du canyon du Cap de Creus les 14 et 21 mars 2011 montrant du haut vers le bas la température potentielle, la salinité, la concentration en oxygène dissous et la concentration en matières en suspension (Martín et al., 2013). Les contours de la densité potentielle sont indiqués sur chaque figure.....	54
Figure 22: Flux d'eau simulés au niveau de diverses sections du canyon Cap de Creus (Mikolajczak et al., 2020). Les flux sont moyennés sur la période de simulation Symphonie d'octobre 2010 à mars 2011 (les chiffres en minuscules correspondent aux flux moyens sur la période automnale (à gauche) et hivernale (à droite).....	55
Figure 23: Contexte programmatique, thèses et questions scientifiques du projet. Les textes en noir correspondent au contexte du bilan de mes travaux alors que les textes en gris concernent plus particulièrement mon projet.....	58
Figure 24: Exemple de suivi hydrodynamique à l'embouchure du fleuve Têt montrant le blocage des flux hydro-sédimentaires (vitesses dans la colonne d'eau, 4) avant que la flèche sableuse ne crève (vitesses dans la colonne d'eau, 5) en octobre 2018.....	59
Figure 25: Mesures glider effectuées à l'embouchure du Rhône durant la campagne METPAG (février - mars 2020). A: rétro-diffusion à 700 nm (capteur optique WETLABS), B: coefficient d'atténuation mesuré par le LISST (en $m^{-1}$ ), C: D50 estimé (en $\mu m$ ), D: concentration volumique (en $\mu L L^{-1}$ ).....	61

## Remerciements

En tant qu'enseignant-chercheur, la moitié de mon temps est consacré aux activités d'enseignement bien que je ne l'ai abordé que succinctement dans ce manuscrit. Les 50 % restant sont donc consacrés à mes activités recherche dont la moitié est consacrée à la recherche de financement pour mener à bien les projets (matériel, salaires des post-docs, ingénieurs, stagiaires, missions, ...). Tous ces travaux n'auraient donc pas été menés aussi bien et aussi vite sans la participation entière et dévouée de mes thésards passés Gaël et Mahrez, actuels Mathieu et Florian voire ceux délocalisés Mirjam et Ximena. Je remercie également les étudiants en Master 2 Recherche qui m'ont aussi permis d'ouvrir certaines pistes de recherche et parfois de les mener à termes (Lancelot, Lounes, Jiahan, Fatma, Théo, certains comme Florian et Mirjam se retrouvent dans les 2 catégories tellement ils ont voulu continuer l'aventure !).

Je remercie également mes collègues du CEFREM (chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens, ATER pour ne pas les citer sinon je vais en oublier) moins physiquement présents ces temps-ci ! Wolfgang qui m'a poussé à franchir le cap, Olivier qui me le rappelait aussi ! Et Xavier bien sûr que j'ai suivi dans ces projets de recherche sur l'hauturier et qui commence maintenant à me suivre sur le côtier surtout quand il faut voyager de l'autre côté de la planète !

Je remercie également ma famille, mes enfants et ma femme qui me laisse partir à l'autre bout de la planète pour mener à bien ma passion de la recherche... et ce n'est pas fini ! Enfin j'espère !





# **Dynamique et transfert des matières dans le continuum Terre-Mer**

**François Bourrin**

**HDR 2020**

## **Résumé**

Mes activités de recherche visent à améliorer les connaissances sur la quantification et la caractérisation des flux de matières à l'interface Terre-Mer, leur devenir et leur transformation sur les marges continentales en fonction des forçages météo-marins. Mes recherches sont basées sur une forte activité de terrain en combinant plusieurs outils : les images satellites de couleur de l'eau, les données in-situ à partir de campagnes à la mer, mouillages et bouées côtières mais aussi l'utilisation de plateformes autonomes telles que les planeurs sous-marins.

Mon projet de recherche se base naturellement sur la continuité de mes thématiques de recherche sur les flux fluviaux mais en me concentrant sur la dynamique des sédiments non-cohésifs qui jouent un rôle important sur l'interface Terre-Mer. Mon activité centrale concernant la dynamique des masses d'eau et des matières associées en zone côtière est également au cœur de mon projet en utilisant des gliders et nouveaux capteurs associés de mesure hydrodynamique et de la taille des particules en suspension. Une nouvelle activité d'ouverture est cependant proposée à l'interface biologie – environnement concernant le rôle de l'hydrodynamique et paramètres environnementaux sur les écosystèmes côtiers d'une part et à l'interface énergie - environnement concernant le développement durable des énergies marines renouvelables.

## **Abstract**

My research activities aim at improving knowledge on the quantification and characterization of particulate matter at the land-sea interface, their fate and transformation on continental margins constrained by meteorological and marine forcing. My research is based on a strong field activity by combining several tools: satellite images of water colour, in-situ data from research cruise, coastal moorings and buoys but also the use of autonomous platforms such as underwater gliders.

My research project is naturally based on the continuity of my research activities on riverine inputs but focusing on the dynamics of non-cohesive sediments that play an important role on the land-sea interface. My core activity concerning the dynamics of water masses and associated materials in coastal areas is also at the heart of my project using gliders and new associated sensors for hydrodynamic and suspended particle size characterization. A new opening activity is however proposed at the interface biology - environment concerning the role of hydrodynamics and environmental parameters on coastal ecosystems on the one hand and at the interface energy - environment concerning the sustainable development of renewable marine energies in the coastal area on the other hand.