

Proposition de sujet de stage, niveau M2.

Impact des épisodes de tempêtes et de crues sur la production primaire en zone côtière exploitée (lagune de Thau) sur un continuum Terre-Mer. Projet TEMPETHAU. Approche par modélisation couplée hydrodynamique-biogéochimie.

Encadrant : Yann Leredde, Géosciences Montpellier

Contact : Yann.Leredde@um2.fr, 04 67 14 36 30

Compétences requises : Bases en océanographie physique et biogéochimie et/ou écologie marine. Bases et goût pour l'informatique et les outils numériques.

Sujet de thèse proposé à la suite du stage.

Collaborations : Francesca Vidussi, Behzad Mostajir (Ecosym Montpellier), Marie-George Tournoud, Christian Salles, Jean-Louis Perrin (Hydrosciences Montpellier), Claude Estournel, Caroline Ulses (Laboratoire d'Aérodynamique de Toulouse)

Contexte :

Les milieux côtiers, dont les lagunes côtières, font partie des zones les plus riches en termes de productivité biologique favorisant de nombreuses activités économiques directes et leur fonctionnement est à l'origine de nombreux services écosystémiques qui contribuent également à l'attraction des populations permanentes et saisonnières. Les écosystèmes marins côtiers sont à l'interface entre le continent et la zone hauturière océanique ce qui est à l'origine de leur richesse. Les écosystèmes marins côtiers sont sous l'influence de forçages provenant des systèmes à leur interface notamment le bassin versant et la zone hauturière. Cette position d'interface engendre des variabilités importantes des variables physico-chimiques (e.g. la température, la concentration des nutriments) et biologiques (espèces dulçaquicoles et marines) influençant le fonctionnement de ces écosystèmes. L'accroissement des usages des milieux marins côtiers (i.e. surpêche, aquaculture, urbanisation) et l'anthropisation des bassins versants concomitant aux changements qui surviennent à l'échelle globale (i.e. changements climatiques) peuvent amplifier cette variabilité. Cela entraîne des changements importants en termes de flux d'éléments nutritifs provenant des bassins versants superficiel et souterrain, de courantologie, de productivité, et de mode d'utilisation, ce qui in fine se répercute sur l'ensemble des services écosystémiques fournis par cet environnement et sur l'habitabilité de ce système.

Il est donc indispensable de développer des études scientifiques pluridisciplinaires sur ces milieux en considérant les écosystèmes adjacents sur le continuum Terre-Mer afin de mieux appréhender d'une part les variabilités naturelles de ce système, et d'autre part quantifier la tendance et l'amplitude des modifications liées aux changements environnementaux à moyen et long terme.

Dans une phase I (2010-14), un Observatoire est en cours d'établissement afin d'observer un écosystème dans son continuum bassin versant - littoral - avant-côte. Il est

constitué de stations où les variables courantologiques, météorologiques, biologiques et physico-chimiques sont mesurées à haute fréquence et à long terme (au moins 10 ans). Un Service d'Observation (SO) de l'OSU OREME a ainsi été créé. En 2014, nous avons ainsi réussi à établir de manière pérenne trois stations, une en mer sous 25 m de fond, une en lagune dans l'étang de Thau et une sur son bassin versant.

En Phase II (2013-17), un modèle numérique couplé hydrodynamique-biogéochimie est proposé. Des premiers résultats ont déjà été obtenus dans des configurations à basse résolution. Pour modéliser l'hydrodynamique et les flux biogéochimiques dans une lagune comme celle de Thau, deux stratégies sont envisageables. La première consiste à utiliser un domaine de modélisation avec pour seules frontières ouvertes les chenaux reliant la lagune à la mer. C'est par exemple le choix fait par Dueri et al (2010) pour un modèle appliqué à la lagune de Thau. Il faut alors disposer de données de débits et de flux dans ces chenaux. Cela nécessite un monitoring permanent et sur le long terme des canaux.

Une alternative, proposée dans ce projet, consiste à utiliser un domaine plus grand, à repousser les frontières ouvertes au large et à emboîter ce domaine dans un domaine de plus grande emprise. Ce dernier domaine peut par exemple correspondre au domaine du golfe du Lion sur lequel nous travaillons depuis des années, notamment avec nos collaborateurs de la plateforme de modélisation Sirrocco (sirocco.omp.obs-mip.fr/). Des modélisations opérationnelles à grande échelle permettent ainsi de fournir les conditions aux limites ouvertes d'un domaine Thau et avant-côte.

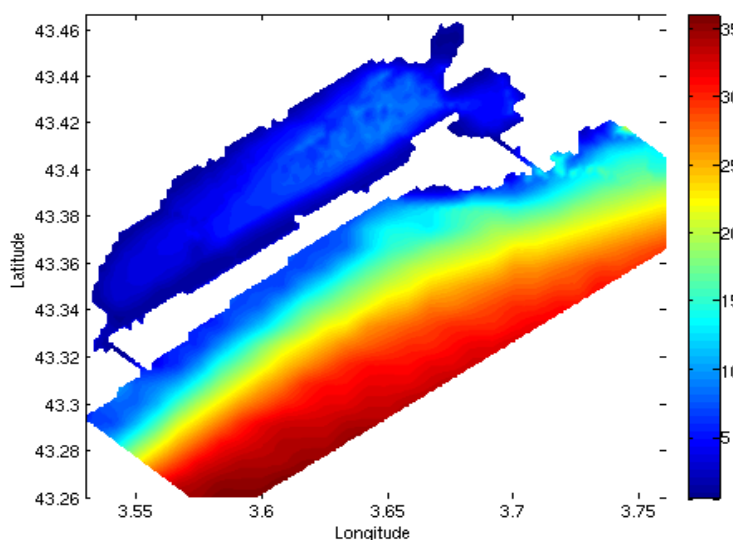


Figure 1. Bathymétrie de l'étang de Thau et son avant-côte utilisée

A titre de démonstrateur, on montre ici des premiers résultats sur un domaine de faible résolution ($\Delta x = 250\text{m}$, 10 niveaux σ) dont la bathymétrie est présentée sur la figure 1. L'élévation de la surface libre est alors conditionnée aux limites ouvertes par le domaine de plus grande emprise dont le calcul prend en compte tous les effets, y compris ceux de marée astronomique.

En un point situé en mer ouverte, on a par exemple le calcul présenté sur la figure 2 pour les 9 premiers jours de l'année 2008. On y perçoit le signal de marée ainsi que la surcote de tempête du 3-4 janvier 2008. La différence de niveau entre la mer ouverte et la lagune, 10 cm par exemple le 03/01/2008 à 0h, va alors provoquer de très forts flux dans les chenaux. Le niveau dans la lagune (figure 2) suit le niveau de la mer ouverte avec quelques heures de délai. On va donc assister à des remplissages suivis de vidanges provoquant d'importants échanges entre la lagune et l'avant-côte. Ces échanges mer-lagune régulent l'hydrologie et la biogéochimie de l'étang de Thau. Les écosystèmes pélagiques et benthiques en sont immédiatement dépendants. Toujours à titre de démonstrateur, on montre un exemple de transport de traceur passif émis à l'entrée de la lagune et un exemple

de trajectoire lagrangienne de bouée (figure 3). Cet exemple montre la diffusion dans la lagune suivi de l'export vers la mer ouverte lors de l'épisode de vidange.

Dans cette stratégie de modélisation, les débits et flux entre la lagune et l'avant-côte ne sont plus prescrits au modèle mais calculés par le modèle. Cela signifie qu'à condition d'avoir un modèle bien calé (ne serait-ce qu'en jouant sur la géométrie complexe des chenaux), il n'est pas nécessaire de mesurer de manière permanente et sur le long terme ces flux et débits dans les chenaux. Les conditions aux limites, notamment celles du niveau de la mer et des concentrations en éléments biogéochimiques, sont en fait fournies par les résultats de modélisation à grande échelle (golfe du Lion).

Toutefois, cela ne doit pas nous affranchir d'une étape de calage et de validation. C'est pourquoi, à l'automne 2012, nous avons commencé à mesurer les flux et les débits dans les chenaux.

Nous proposons également de développer un modèle à plus haute résolution susceptible de bien reproduire les panaches, soit d'eau douce en lagune et avant-côte, soit d'eau marine dans la lagune. L'expérience Resthau 2008 (Fouilland et al, 2012) fournira également un set de mesures susceptible d'être reproduit.

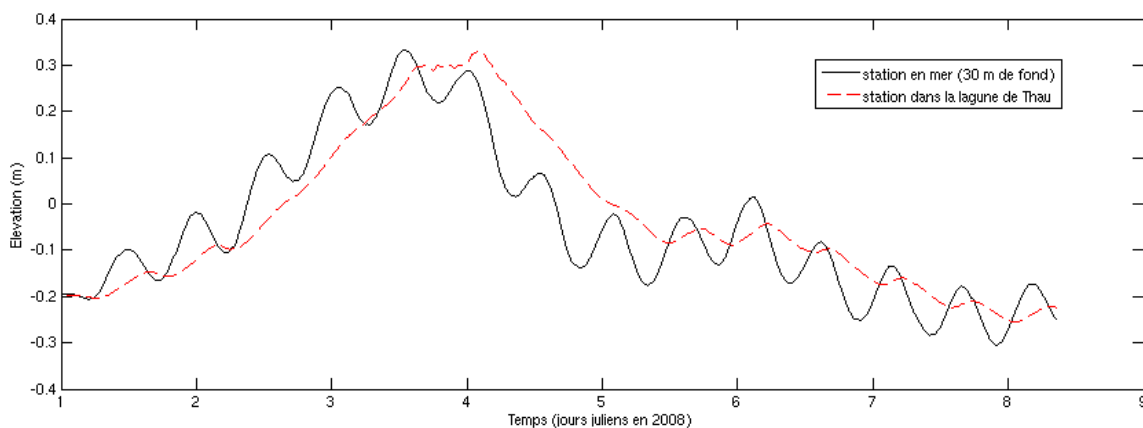


Figure 2. Elévation de la surface libre (m) simulée en fonction du temps en deux stations entre le 01/01/08 à 0h et le 08/01/08 à 12h.

Le modèle numérique développé dans ce projet est issu de collaborations avec les hydrodynamiciens du Laboratoire d'Aérodynamique de Toulouse (e.g. Michaud, 2011) et les océanographes physiciens et biogéochimistes du Centre d'Océanologie de Marseille (e.g. Gatti et al, 2006). Nous utilisons une modélisation numérique multi-échelle développée grâce à la plateforme de modélisation Sirrocco (<http://sirocco.omp.obs-mip.fr/>). Il est ainsi prévu des modélisations hydro-biogéochimiques à l'échelle du plateau du golfe du Lion, elles-mêmes emboîtées dans des modélisations à l'échelle de toute la Méditerranée. Le domaine Thau et avant-côte (figure 1) pourra donc être emboîté dans cette modélisation grande échelle qui fournira les conditions aux limites du domaine (courants, élévation de la surface, flux biogéochimiques).

Un travail spécifique sur la partie biogéochimique sera également demandé. L'équipe d'Ecosym travaille pour l'instant sur des modèles 0D où seules les interactions trophiques sont prises en compte. Nous proposons de continuer à développer cette approche 0D et

d'intégrer ensuite ces développements dans le modèle 3D couplé hydrodynamique-biogéochimie.

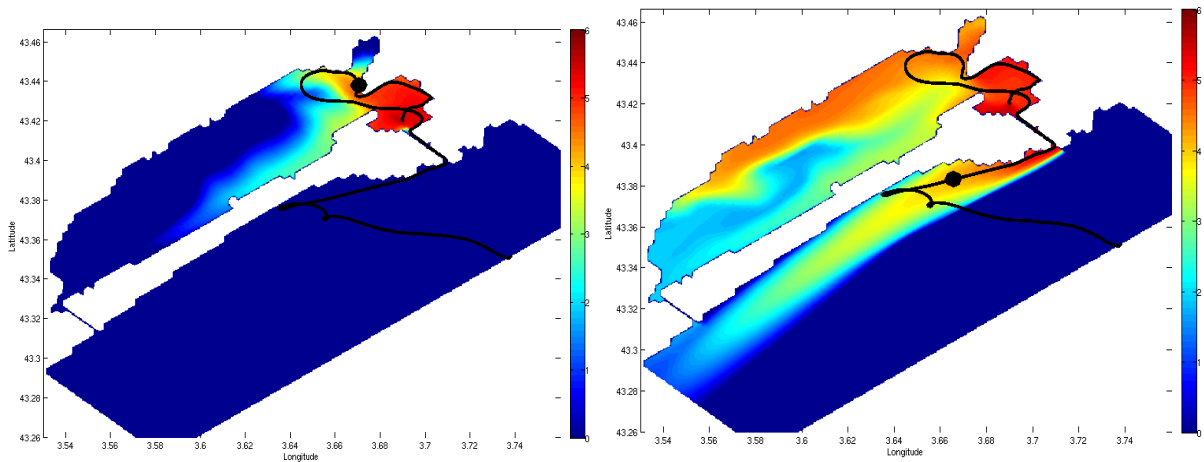


Figure 3. Concentration d'un traceur passif (échelle logarithmique) produit régulièrement à l'entrée de la lagune simulée le 03/01/2008 à 0h (a) et le 05/01/2008 à 0h (b). Trajectoire lagrangienne d'une bouée de surface simulée entre le 01/01/08 à 0h et le 08/01/08 avec position (point noir) le 03/01/2008 à 0h (a) et le 05/01/2008 à 0h (b).

Dueri S., Marinov D., Fiandrino A., Tronczynski J., Zaldivar J-M., 2010. Implementation of a 3D Coupled Hydrodynamic and Contaminant Fate Model for PCDD/Fs in Thau Lagoon (France): The Importance of Atmospheric Sources of Contamination. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 7, 4, 1467-1485.

Fouilland E., A. Trottet, C. Bancon-Montigny, M. Bouvy, E. Le Floc'h, J.-L. Gonzalez, E. Hatey, S. Mas, B. Mostajir, J. Nougier, D. Pecqueur, E. Rochelle-Newall, C. Rodier, C. Roques, C. Salles, M.-G. Tournoud, F. Vidussi, 2012. Impact of a river flash flood on microbial carbon and nitrogen production in a Mediterranean Lagoon (Thau Lagoon, France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, i

Gatti J., Petrenko A., Leredde Y., Devenon J.L., Ulses C., 2006. The Rhone river dilution zone present in the North-Eastern shelf of the Gulf of Lion in December 2003. *Continental Shelf Research*, 26:1794-1805.

Michaud H., 2011. Impacts des vagues sur les courants marins: Modélisation multi-échelle de la plage au plateau continental. Thèse de doctorat. Université Montpellier 2.