

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Formulaire demande de financement : ARED - ISblue - ETABLISSEMENTS - ...

pour dépôt sur le serveur <https://theses.u-bretagne.fr/sml> au format PDF

Identification du projet

Acronyme du projet (8 caractères *maximum*) : INTEREST

Intitulé du projet en langue française : Modélisation et conceptualisation de la dynamique sédimentaire INTER-ESTuaires

Intitulé du projet en langue anglaise : Modelling and conceptualisation of INTER-ESTuary sediment dynamics

Domaine d'innovation stratégique (DIS) du projet

Cocher le DIS prioritaire au sein duquel le projet de thèse s'intègre.

- DIS 1 : Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative
- DIS 2 : Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité
- DIS 3 : Activités maritimes pour une croissance bleue
- DIS 4 : Technologies pour la société numérique
- DIS 5 : Santé et bien-être pour une meilleure qualité de vie
- DIS 6 : Technologies de pointe pour les applications industrielles

DIS 7 : Observation et ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement

Si aucun DIS ne correspond, cocher « Projet Blanc ».

« Projet Blanc »

Préciser le sous-domaine correspondant : D7A – Observation, surveillance et gestion de l'environnement et des écosystèmes et de leurs interactions.

DIS secondaire si nécessaire : N.A.

Présentation de l'établissement porteur (bénéficiaire de l'aide régionale)

Établissement porteur du projet : Ifremer

Ecole Doctorale : EDSML

Identification du-de la responsable du projet (futur-e directeur-trice de thèse)

Nom du laboratoire d'accueil : DYNECO

Code du laboratoire (U/UMR/USR/EA/JE/...) : UPR Ifremer

Directeur du Laboratoire : Cédric Bacher

Nom de l'équipe de recherche : DHYSED

Nombre HDR dans le laboratoire : 7

Nombre de thèses en cours : 23

Nombre de post-docs en cours : 5

Nom et prénom du directeur de thèse (HDR), porteur du projet :

- e-mail : pierre.le.hir@ifremer.fr

- Téléphone : 02 98 22 43 40

- **Publications récentes du directeur-trice de thèse** (nb total et 5 références max au cours des 5 dernières années) :

1. Chapalain, M., Verney, R., Fettweis, M., Jacquet, M., Le Berre, D., & Le Hir, P. (2018). Investigating suspended particulate matter in coastal waters using the fractal theory. *Ocean Dynamics*, 1-23.
2. Grasso, F., & Le Hir, P. (2019). Influence of morphological changes on suspended sediment dynamics in a macrotidal estuary: diachronic analysis in the Seine Estuary (France) from 1960 to 2010. *Ocean Dynamics*, 69(1), 83-100.
3. Grasso, F., Verney, R., Le Hir, P., Thouvenin, B., Schulz, E., Kervella, Y., ... & Garnier, V. (2018). Suspended sediment dynamics in the macrotidal Seine Estuary (France): 1. Numerical modeling of turbidity maximum dynamics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(1), 558-577.
4. Schulz, E., Grasso, F., Le Hir, P., Verney, R., & Thouvenin, B. (2018). Suspended sediment dynamics in the macrotidal Seine Estuary (France): 2. Numerical modeling of sediment fluxes and budgets under typical hydrological and meteorological conditions. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(1), 578-600.
5. Mengual, B., Hir, P. L., Cayocca, F., & Garlan, T. (2017). Modelling fine sediment dynamics: Towards a common erosion law for fine sand, mud and mixtures. *Water*, 9(8), 564.

- **Expériences d'encadrement et co-encadrement de doctorants (passées et en cours)**

(nom des doctorants dirigés et en cours et antérieurement, sur les 6 années passées : sujet, financement, date de soutenance, et situation professionnelle actuelle si connue)

1. Mélanie Diaz : *Modélisation numérique des transferts sédimentaires de l'estuaire de la Gironde au plateau continental* (Ifremer/ANR), soutenance prévue en octobre 2019.
2. Jean-Philippe Lemoine : *Modélisation de l'effet des déplacements anthropiques de sédiments sur l'estuaire de la Seine* (GIP Seine-Aval), soutenance prévue en octobre 2019.
3. Marion Chapalain : *Dynamique des matières en suspension en mer côtière : caractérisation, quantification et interactions sédiments/matière organique* (Ifremer/BELSPO, Belgique), soutenance prévue en janvier 2019.
4. Baptiste Mengual : *Variabilité spatio-temporelle des flux sédimentaires dans le Golfe de Gascogne : contributions relatives des forçages climatiques et des activités de chalutage* (Ifremer/SHOM), soutenance en décembre 2016, actuellement en postdoc au LIENSs (La Rochelle).
5. Iman Khojasteh Pour Fard : *Modélisation des échanges entre l'estuaire de la Loire et les baies côtières adjacentes* (Ifremer/Plan Loire), soutenance en décembre 2015, actuellement en postdoc au MIO (Marseille).

Co-directeur-trice de thèse et co-encadrant scientifique : (précisé si HDR) Non HDR

- **Laboratoire de recherche co-encadrant** (nom + code U/UMR/USR/EA/JE/...) DYNECO, UPR Ifremer

- **e-mail** : florent.grasso@ifremer.fr

- **Téléphone** : 02 98 22 40 75

- Expériences d'encadrement et co-encadrement de doctorants (passées et en cours)

(nom des doctorants dirigés et en cours et antérieurement, sur les 6 années passées : sujet, financement, date de soutenance, et situation professionnelle actuelle si connue)

1. Mélanie Diaz : *Modélisation numérique des transferts sédimentaires de l'estuaire de la Gironde au plateau continental* (Ifremer/ANR), soutenance prévue en octobre 2019.

Le cas échéant, autres collaborations (co-encadrant et laboratoire concerné)

Présentation du projet (en langue française ou anglaise, 2 à 3 pages)

Résumé du projet :

Les estuaires sont des zones dynamiques à l'interface des océans et des continents, favorables au développement d'espèces benthiques et pélagiques. De nombreux estuaires sont caractérisés par un bouchon vaseux, définissant une zone de sédiment en suspension fortement concentrée, qui influence les transferts sédimentaires et les processus biogéochimiques. L'objectif de ce projet est d'aller vers une compréhension globale de la dynamique sédimentaire dans les estuaires caractérisés par des bouchons vaseux. A partir de modèles numériques réalistes et des réseaux d'observation, la variabilité du bouchon vaseux et des flux sédimentaires face aux forçages marins, fluviaux et atmosphériques sera comparée pour les grands estuaires français. Ces travaux permettront d'apporter des connaissances sur la capacité des estuaires à mettre les sédiments en suspension et proposera une conceptualisation de la dynamique sédimentaire estuarienne en réponse aux pressions climatiques et anthropiques.

Présentation détaillée du projet :

1 - Hypothèse et questions posées, identification des points de blocages scientifiques

Les estuaires représentent des zones très dynamiques à l'interface entre les océans et les continents. Les apports d'eau douce des rivières dans les eaux salées des mers côtières apportent une grande quantité de sédiment et de nutriments, stockés temporairement dans le sédiment (sablo-vaseux) ou advectés dans la colonne d'eau, faisant ainsi des estuaires les habitats parmi les plus productifs au monde (Morris et al. 1978). Ces écosystèmes fortement anthropisés sont très vulnérables aux pressions humaines (ex : aménagements portuaires, dragages, rejets ; Nichols et al. (1986)). Les estuaires sont soumis aux forçages marins (marée, vagues), fluviaux (apports liquides et solides) et atmosphériques (vent, pression atmosphérique). Les conditions hydrométéorologiques exceptionnelles, associées aux variabilités interannuelles et/ou au changement climatique, exacerbent les périodes de sécheresses, crues et tempêtes qui ont un impact majeur sur la physique des estuaires. Il est essentiel de comprendre la dynamique estuarienne lors de telles périodes critiques (des échelles de temps événementielles à annuelles) afin de mieux appréhender la trajectoire des estuaires pour des scénarios hydrométéorologiques futurs.

Beaucoup d'estuaires à travers le monde sont caractérisés par un bouchon vaseux, définissant une zone de sédiments en suspension fortement concentrée qui peut atteindre plusieurs g/l (de l'ordre de 1 à 10 g/l) (Avoine et al. 1981). Le bouchon vaseux impacte le transfert des sédiments entre les eaux continentales et côtières, contrôle l'envasement des chenaux et des zones intertidales, et modifie les processus biogéochimiques (Billen et al. 2007). Les principaux mécanismes de formation du bouchon vaseux sont : (i) le « pompage tidal » induit par les asymétries de marée le long de l'estuaire et (ii) le transport résiduel barocline induit par les gradients de salinité longitudinaux (Dronkers 1986; Brenon and Le Hir 1999; Scully and Friedrichs 2007). Le positionnement et la masse du bouchon vaseux sont fortement modulés par le débit des fleuves, le marnage et les conditions de vagues (Le Hir et al. 2001; Grasso et al. 2018).

La formation et la dynamique du bouchon vaseux ont principalement été étudiées sur la base de recherches spécifiques à un site donné, ou suivant des approches numériques différentes. Même si les mécanismes physiques sont universels et communs à tous les estuaires, des facteurs locaux contribuent à former différents bouchons vaseux avec des niveaux de turbidité variables. Cependant, ces facteurs restent mal compris (Uncles 2002). Contrairement à la circulation estuarienne pour laquelle existe une classification basée sur un nombre limité de paramètres (Geyer and MacCready 2014), il n'existe pas de généralisation ni de classification des estuaires expliquant la forte variabilité des structures turbides. Afin d'avancer sur cette question, il est nécessaire de réaliser une intercomparaison soutenue et bien documentée sur des estuaires contrastés. Cela est particulièrement pertinent pour les estuaires caractérisés par des bouchons vaseux qui impactent fortement les fonctionnements physiques et écologiques.

Le principal objectif du projet de thèse est d'aller vers une compréhension globale de la dynamique sédimentaire des estuaires avec bouchon vaseux, des échelles de temps événementielles (tempêtes) à annuelles (régimes hydrologiques). A partir d'une approche de modélisation numérique réaliste, ce défi ambitieux sera abordé en comparant les trois grands estuaires français (Gironde, Loire et Seine) présentant des morphologies et conditions hydrométéorologiques contrastées. Une fois finement validés, les modèles numériques représentent des outils très pertinents pour intégrer les masses et flux sédimentaires sur des zones d'intérêt, pour des conditions hydrométéorologiques spécifiques. De plus, ils peuvent être utilisés pour généraliser et conceptualiser les dynamiques observées. Plus spécifiquement, ce projet de thèse adressera les questions suivantes :

- 1 Quelle est l'influence des paramètres clés estuariens sur les caractéristiques du bouchon vaseux ? Quelle est leur capacité à maintenir les sédiments en suspension ? Les réponses permettront de mieux comprendre pourquoi les niveaux de turbidité peuvent fortement différer d'un estuaire à l'autre, et proposer une prédiction de la masse du bouchon vaseux.
- 2 Quels sont les transferts sédimentaires résiduels (i.e. import/export de sédiment) entre les bassins versants en amont et les mers côtières en aval, ainsi qu'entre les chenaux principaux et les zones intertidales ? Est-il possible de quantifier les sources contribuant à la masse du bouchon vaseux ? Comment estimer le temps de résidence des particules sédimentaires estuariennes ?

2 - Approche méthodologique et techniques envisagées :

Les travaux de thèse se basent sur l'intercomparaison de la dynamique sédimentaire des estuaires de la Gironde, de la Loire et de la Seine. Cette intercomparaison s'appuie sur une plate-forme de modélisation numérique 3D à l'état de l'art associant le modèle hydrodynamique MARS3D (Lazure and Dumas 2008), le modèle de génération/propagation/dissipation de vagues WAVE WATCH 3© (Roland and Ardhuin 2014) et le modèle de dynamique sédimentaire multi-classes (sables/vase) MUSTANG développé par l'équipe DYNECO/DHYSED (Le Hir et al. 2011; Grasso et al. 2015; Mengual et al. 2017).

Des modèles hydrodynamiques ont déjà été implémentés et validés par le laboratoire DHYSED sur les trois estuaires avec des maillages curvilignes optimisés. A partir des données collectées par les réseaux de mesures MAGEST-Gironde (Schmidt et al.), SYVEL-Loire (GIP Loire Estuaire), SYNAPSES-Seine (GIP Seine-Aval and GPM Rouen), la dynamique sédimentaire a été validée en estuaire de Seine (Grasso et al. 2018; Schulz et al. 2018), est actuellement en cours de validation en estuaire de Gironde dans le cadre du projet ANR AMORAD (2013-2019) et sera validée en estuaire de Loire par Florent Grasso (DYNECO/DHYSED) en 2019 avant le début de la thèse.

Les travaux de thèse consistent principalement en deux grandes tâches associées aux objectifs décrits précédemment :

Tâche 1 : Influence des forçages estuariens sur les caractéristiques du bouchon vaseux

L'analyse se basera sur des années hydrométéorologiques caractéristiques (i.e. moyenne, sèche, humide, tempétueuse) simulées sur les trois estuaires pour couvrir des conditions environnementales contrastées.

- Différents paramètres devront être proposés pour quantifier la dynamique du bouchon vaseux, par exemple : les forçages marins (marée, vagues) et fluviaux (débit liquide), la morphologie de l'estuaire (forme, bathymétrie), les sources sédimentaires (apport amont, nature du fond), les dragages. Le marnage, l'asymétrie de marée et l'énergie tidale peuvent servir de proxys pour représenter les processus de pompage tidal et de gradients de salinité (Dalrymple et al. 1992; Nidzicko and Ralston 2012; Grasso et al. 2018).
- Les paramètres clé forçant le système seront reliés aux caractéristiques du bouchon vaseux (ex : concentration en MES, masse, position, extension), en portant un intérêt particulier sur les dynamiques associées à différentes échelles temporelles (ex : cycle tidal, tempête, cycle vive eau/morte eau, saison, période hydrologique).

Tâche 2 : Intercomparaison des transferts sédimentaires

- De manière similaire à la Tâche 1, les simulations des différentes années hydrométéorologiques contrastées seront utilisées pour relier les forçages estuariens aux flux sédimentaires.
- Les transferts sédimentaires résiduels seront calculés le long de sections représentatives des compartiments clés des estuaires afin de quantifier les imports/exports de sédiment (Schulz et al. 2018).
- Le temps de résidence des particules estuariennes sera estimé par différentes méthodes, comme le marquage de sédiment (Le Hir and Thouvenin 1994) ou le calcul d'âge-concentration (Deleersnijder et al. 2001).
- La composition du bouchon vaseux sera étudiée en marquant les sédiments de différents compartiments clés des estuaires (ex : apports des rivières, zones intertidales, zones côtières) afin de quantifier la contribution relative des sédiments fluviaux, estuariens et marins. Cela permettra également de mieux comprendre les mécanismes de transfert des échanges particuliers terre-mer.

3 - Positionnement et environnement scientifique dans le contexte régional, national et international :

Le projet de thèse INTEREST, cofinancé par l'Ifremer, est adossé à un projet de recherche sur la caractérisation globale de la dynamique sédimentaire dans les estuaires (ESTUMAX) qui a été soumis à l'AAPG ANR JCJC 2019. Ce projet s'intègre à une démarche de plus grande ampleur, visant à inter-comparer les grands estuaires européens (préparation d'un ITN « Estuaires »).

4 - Pour la région Bretagne : adéquation du projet au regard du DIS de rattachement (et/ou du DIS secondaire).

Les retombées de ce projet de thèse permettront de conceptualiser et caractériser la dynamique hydro-sédimentaire des estuaires et les impacts potentiels sur leur fonctionnement écologique (ex : production primaire, anoxie, habitat, contamination), en adéquation avec le D7A « *Observation, surveillance et gestion de l'environnement et des écosystèmes et de leurs interactions* ». Cela est particulièrement pertinent pour les nombreux systèmes estuariens bretons pour lesquels le déploiement systématique d'outils de modélisation numérique complexe est trop coûteux. Ce projet permettra ainsi d'aider les gestionnaires des estuaires à mieux caractériser l'impact des pressions climatiques et anthropiques sur le fonctionnement écologique estuarien. Ce projet représentera également une étape vers la définition d'indicateurs pour caractériser les niveaux de turbidité dans les eaux côtières et de transition (DCE, DCSMM).

5 - Si « projet blanc » (hors DIS), préciser les raisons de ce choix : N.A.

6 - Si lien avec projet ERC, préciser lequel : N.A.

7 - Autres informations utiles (CPER, FEDER, concernant la politique régionale) : N.A.

8 - Le cas échéant, précisez le lien du sujet avec les thèmes ISblue

- la régulation du climat par l'océan
- les interactions entre la Terre et l'océan
- la durabilité des systèmes côtiers
- l'océan vivant et les services écosystémiques
- les systèmes d'observation à long terme

Les objectifs du projet de thèse adressent spécialement les défis scientifiques du thème 3 « *Durabilité des systèmes côtiers* » de l'EUR ISblue. En particulier, ils visent à caractériser la réponse hydro-sédimentaire des systèmes côtiers sensibles (estuaires) face aux pressions climatiques (événements hydrométéorologiques) et anthropiques (aménagement côtiers, dragages, etc.).

Le cas échéant (si financement ISblue demandé): en regard de la formation par la recherche du futur docteur, perspectives d'insertion professionnelle dans le milieu académique et non académique

Le(la) doctorant(e) bénéficiera d'un environnement de travail privilégié au sein de l'équipe DYNECO/DHYSED à l'Ifremer (Centre de Bretagne – Plouzané) qui a implémenté les différents modèles numériques sur les trois grands estuaires français et qui continue de développer le modèle de transport sédimentaire MUSTANG. Le(la) doctorant(e) sera intégré(e) aux projets de recherche associés à sa thématique et aura un soutien financier pour présenter ses travaux à des colloques scientifiques nationaux et internationaux. Il est également prévu que le(la) doctorant(e) participe au moins à une école d'été (nationale/internationale) sur la thématique du projet (ex : *NCK Summer School*, Pays-Bas). Les compétences qui seront acquises au cours du projet de thèse permettront de préparer le(la) futur(e) doctorant(e) aux métiers de la recherche et de l'ingénierie en dynamique hydro-sédimentaire côtière.

9 - Contexte scientifique et partenarial : éléments généraux

Cette thèse bénéficiera de nombreuses collaborations françaises et européennes dont dispose actuellement le laboratoire DHYSED, et qui seront davantage développées dans le cadre du projet ESTUMAX (soumission AAPG ANR JCJC 2019). Ces collaborations font intervenir des collègues français experts des estuaires de la Gironde (Aldo Sottolichio, EPOC), la Loire (Régis Walther, ARTELIA) et la Seine (Robert Lafite, M2C), ainsi que des collègues européens experts des estuaires de l'Escault (Thijs Van Kessel, Deltares – Pays-Bas), de l'Ems (Bas Van Maren, Deltares – Pays-Bas), de la Weser (Anna Zorndt, BAW – Allemagne), de l'Elbe (Hans Burchard, IOW – Allemagne), de la Dee et la Mersey (Alex Souza, Cinvestav – Mexico). Ces collaborations seront assurées par l'organisation de workshops sur l'intercomparaison de la dynamique sédimentaire estuarienne à l'échelle européenne.

10 - Si projet de co-tutelle, internationale, précisez le pays et l'établissement : N.A.

11 - Financements Région Bretagne acquis par le porteur au cours des 3 dernières années (titre, montant) : Aucun.

12 - Si projet cofinancé, nom du cofinancier (sollicité et ou acquis) : Ifremer (acquis).

13 - Si cofinancement refusé, autres sources de cofinancement identifiées : Oui, demande ANR JCJC 2019.

Le – la candidat.e

Profil souhaité du candidat (compétences scientifiques et techniques requises) :

Le(la) candidat(e) devra avoir des compétences en océanographie physique côtière et dynamique sédimentaire. Expérience en modélisation numérique souhaitée.

Projet de thèse en cotutelle internationale

S'agit-il d'un projet de thèse en cotutelle internationale (*oui/non*) : Non.

Si oui, préciser l'établissement pressenti (*et le pays de rattachement*) : N.A.

Ce projet de thèse fera-t-il l'objet d'un cofinancement international (*oui/non*) : Non.

(Rémunération du doctorant par l'établissement implanté sur le territoire régional (18 mois sur 36 mois), et l'établissement étranger, qui s'engage également à rémunérer le doctorant dans le cadre de son séjour à l'étranger, soit durant 18 mois -a minima-)

En cas de cofinancement international, préciser -si vous en avez connaissance- l'organisation du calendrier des périodes de séjour : N.A.

Financement du projet de thèse

Part de l'enveloppe financière régionale affectée au projet :

Financement Région 100 %

Financement Région 50 % (préconisé)

En cas de financement à 50 %, le cofinancement est-il déjà identifié (*oui/non*) : Oui.

Si oui, préciser la nature du cofinancement (*ANR, partenaire privé, Ademe, etc.*) : Ifremer (acquis)

Si le cofinancement n'est pas encore confirmé, date prévue de réponse du cofinancier : N.A.

En cas de non-obtention du cofinancement demandé, une autre source de cofinancement est-elle identifiée (*oui/non*) : Oui, demande ANR JCJC 2019.

Références

- Avoine J, Allen G, Nichols M, Salomon J, Larssonneur C (1981) Suspended-sediment transport in the Seine estuary, France: effect of man-made modifications on estuary—shelf sedimentology *Marine Geology* 40:119-137
- Billen G et al. (2007) A long-term view of nutrient transfers through the Seine river continuum *Science of the total Environment* 375:80-97
- Brenon I, Le Hir P (1999) Modelling the turbidity maximum in the Seine estuary (France): identification of formation processes *Estuarine, coastal and shelf science* 49:525-544
- Burchard H, Schuttelaars H, Ralston D (2018) Sediment Trapping in Estuaries *Annual review of marine science* 10:371-395
- Dalrymple RW, Zaitlin BA, Boyd R (1992) Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications: perspective *Journal of Sedimentary Research* 62
- Deleersnijder E, Campin J-M, Delhez EJ (2001) The concept of age in marine modelling: I. Theory and preliminary model results *Journal of Marine Systems* 28:229-267
- Dronkers J (1986) Tide-Induced Residual Transport of Fine Sediment *Physics of shallow estuaries and bays*:228-244
- Geyer WR, MacCready P (2014) The Estuarine Circulation. In: Davis SH, Moin P (eds) *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol 46, vol 46. *Annual Review of Fluid Mechanics*. Annual Reviews, Palo Alto, pp 175-197. doi:10.1146/annurev-fluid-010313-141302
- GIP Loire Estuaire <http://www.loire-estuaire.org/dif/do/init>.
- GIP Seine-Aval, GPM Rouen <http://www.seine-aval.fr/reseau-synapses/>.
- Grasso F, Le Hir P, Bassoullet P (2015) Numerical modelling of mixed-sediment consolidation *Ocean Dynamics* 65:607-616
- Grasso F et al. (2018) Suspended Sediment Dynamics in the Macrotidal Seine Estuary (France): 1. Numerical Modeling of Turbidity Maximum Dynamics *Journal of Geophysical Research: Oceans* 123:558-577 doi:10.1002/2017JC013185
- Lazure P, Dumas F (2008) An external–internal mode coupling for a 3D hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS) *Advances in Water Resources* 31:233-250
- Le Hir P, Cayocca F, Waeles B (2011) Dynamics of sand and mud mixtures: A multiprocess-based modelling strategy *Continental Shelf Research* 31:S135-S149 doi:10.1016/j.csr.2010.12.009
- Le Hir P et al. (2001) Fine sediment transport and accumulations at the mouth of the Seine estuary (France) *Estuaries* 24:950-963
- Le Hir P, Thouvenin B (1994) Mathematical modelling of cohesive sediment and particulate contaminants transport in the Loire Estuary *OLSEN & OLSEN, FREDENSBORG, DENMARK*:71-78
- Mengual B, Hir P, Cayocca F, Garlan T (2017) Modelling Fine Sediment Dynamics: Towards a Common Erosion Law for Fine Sand, Mud and Mixtures *Water* 9:564 doi:10.3390/w9080564
- Morris A, Mantoura R, Bale A, Howland R (1978) Very low salinity regions of estuaries: important sites for chemical and biological reactions *Nature* 274:678-680
- Nichols FH, Cloern JE, Luoma SN, Peterson DH (1986) The modification of an estuary *Science(Washington)* 231:567-573
- Nidziko N, Ralston D (2012) Tidal asymmetry and velocity skew over tidal flats and shallow channels within a macrotidal river delta *Journal of Geophysical Research: Oceans* 117
- Roland A, Ardhuin F (2014) On the developments of spectral wave models: numerics and parameterizations for the coastal ocean *Ocean Dynamics* 64:833-846
- Schmidt S, Etcheber H, Sottolichio A, Castaing P Bilan de 10 ans de suivi haute-fréquence de la qualité des eaux de l'estuaire de la Gironde system 97:98
- Schulz E, Grasso F, Le Hir P, Verney R, Thouvenin B (2018) Suspended Sediment Dynamics in the Macrotidal Seine Estuary (France): 2. Numerical Modeling of Sediment Fluxes and Budgets Under Typical Hydrological and Meteorological Conditions *Journal of Geophysical Research: Oceans* 123:578-600 doi:10.1002/2016JC012638
- Scully ME, Friedrichs CT (2007) Sediment pumping by tidal asymmetry in a partially mixed estuary *Journal of Geophysical Research: Oceans* 112
- Uncles R (2002) Estuarine physical processes research: some recent studies and progress *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 55:829-856

Domaines d'innovation stratégique

- 1/ Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative
- 2/ Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité
- 3/ Activités maritimes pour une croissance bleue
- 4/ Technologies pour la société numérique
- 5/ Santé et bien-être pour une meilleure qualité de vie
- 6/ Technologies de pointe pour les applications industrielles
- 7/ Observation et ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement

Ventilation en sous-domaines

D1 – Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative

- 1A- Démarches d'innovation sociale et citoyenne
- 1B- E-éducation et e-learning
- 1C- Patrimoine et tourisme durable
- 1D- Industries créatives et culturelles
- 1E- Transitions et mutations des modèles économiques des filières et des entreprises

D2- Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité

- 2A- Qualité et sécurité sanitaire des aliments
- 2B- Nouveaux modèles de production agricole
- 2C- Usine agro-alimentaire du futur

D3- Activités maritimes pour une croissance bleue

- 3A- Energies marines renouvelables
- 3B- Valorisation de la biomasse marine et biotechnologies (pour toutes les applications)
- 3C- Valorisation des ressources minières marines
- 3D- Nouveaux modèles d'exploitation des ressources vivantes aquatiques (pêche et aquacultures)
- 3E- Navire du futur
- 3F- Sécurité et sûreté maritime

D4- Technologies pour la société numérique

- 4A- Internet du futur : objets communicants, cloud computing et big data
- 4B- Images et contenus
- 4C- Conception logiciels
- 4D- Modélisation numérique
- 4E- Réseaux convergents, fixes mobile broadcast
- 4F- Cybersécurité

D5- Santé et bien-être pour une meilleure qualité de vie

- 5A- Prévention – santé – bien-être
- 5B- Nouvelles approches thérapeutiques alliant génétique, bio-marqueurs et biomolécules
- 5C- Technologies médicales, diagnostiques et thérapeutiques et e-santé

D6- Technologies de pointe pour les applications industrielles

- 6A- Photonique et matériaux pour l'optique
- 6B- Matériaux multi-fonctionnels
- 6C- Technologies en environnements sévères
- 6D- Electronique, robotique et cobotique pour l'ingénierie industrielle
- 6E- Systèmes de production avancés de petites et moyennes séries (usine du futur)

D7- Observation et Ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement

- 7A- Observation, surveillance et gestion de l'environnement et des éco-systèmes et de leurs inter-actions
- 7B- Réseaux énergétiques intelligents
- 7C- Système constructif performant et durable (éco-construction et éco-rénovation, TIC et bâtiment)
- 7D- Véhicules et mobilités serviciels durables
- 7E- Eco-procédés, éco-produits et matériaux bio-sourcés.