

## 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**NB : ce dossier ne vous dispense pas de déposer en parallèle votre dossier à la Région***Identification du projet**Acronyme du projet (8 caractères *maximum*) : IMHOTEPIntitulé du projet *en langue française* :

Impact de la variabilité interannuelle des flux d'eau douce sur les changements de circulation océanique et du niveau de la mer en Atlantique nord sur la période altimétrique 1993-2017

Intitulé du projet *en langue anglaise* :

Impact of interannual variability of freshwater fluxes on ocean circulation and regional sea level changes over the altimetric period 1993-2017

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

Établissement porteur du projet :

Ecole Doctorale : EDSML  SPI ou MATHSTIC pour les projets ISblue **Identification du responsable du projet (futur directeur de thèse)**

Nom du laboratoire d'accueil : LOPS

Code du laboratoire : UMR 6523

Directeur<sup>1</sup> du Laboratoire : Jérôme Paillet

Nom de l'équipe de recherche : Océan et Climat

Nombre HDR dans le laboratoire : 20 Nombre de thèses en cours : 26 Nombre de post-docs en cours : 16

Nom et prénom du directeur\* de thèse (HDR), porteur du projet : Sévellec Florian

- e-mail : [florian.sevellec@univ-brest.fr](mailto:florian.sevellec@univ-brest.fr)

- Téléphone : 0290915540

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

- Sévellec, F., A. C. Naveira Garabato, and T. Huck, 2020: Damping of climate-scale oceanic variability by mesoscale eddy turbulence, *J. Phys. Oceanogr*, doi: 10.1175/JPO-D-20-0141.1
- Sévellec, F., A. Naveira Garabato, C. Vic, and N. Ducousso, 2019: Observing the Local Emergence of the Southern Ocean Residual-Mean Circulation, *Geophys. Res. Lett.*, 46, 3862-3870.
- Sévellec, F., H. A. Dijkstra, S. S. Drijfhout, and A. Germe, 2018: Dynamical attribution of oceanic prediction uncertainty in the North Atlantic: application to the design of optimal monitoring systems, *Climate Dynamics*, 51, 1517-1535.

<sup>1</sup> Ce formulaire est rédigé en style épïcène

- Sévellec, F. and S. S. Drijfhout, 2018: A Novel Probabilistic Forecast System Predicting Anomalously Warm 2018-2022 Reinforcing the Long-Term Global Warming Trend, *Nature Communications*, 9, 3024.
- Sévellec, F., A. V. Fedorov, and W. Liu, 2017: Arctic sea ice decline weakens the Atlantic Meridional Overturning Circulation, *Nature Climate Change*, 7, 604-610.

**- 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)

- 2013-2017 Victor Estella Perez - GSNOCS (UK) - "Mechanism of Atlantic Variability and Sensitivity of the Atlantic to Surface Initial Conditions" - Postdoc LOCEAN-IPSL
- 2015-2019 Delphine Lobelle Postdoc - "Past, Present, and future Variations of the Atlantic Meridional Overturning Circulation" - GSNOCS & NPL (UK) - Postdoc à l'Université d'Utrecht
- 2016-2021 (défense en Février) Dafydd Stephenson - SPITFIRE (UK) - "Sources and Sinks of Variability in the North Atlantic" - Postdoc au NCAR (à partir de Mars)
- 2018- Alex Le Gal - Région, EDSML - "Influence de la turbulence océanique pour la prévision du climat Européen"
- 2020- Pierre Le Bras - Région, EDSML et ISblue - "Méthodes analogues pour l'identification de simulations océanographiques globales"

**Et/ou co-encadrant-e scientifique : Llovel William**

Laboratoire de recherche co-encadrant LOPS UMR 6523

- e-mail : [wllovel@ifremer.fr](mailto:wllovel@ifremer.fr)

- Téléphone : 0298008522

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

Pas d'encadrement de doctorant.

**Financement du projet de thèse**

**En cas de financement à 50 %, le cofinancement est-il déjà identifié : Oui**

**Si oui, préciser la nature du cofinancement :** ½ bourse Cnes (en lien avec le projet OST-ST IMHOTEP ; Pis William Llovel –LOPS- et Thierry Penduff –IGE, Grenoble-)

**En cas de non-obtention du cofinancement demandé, une autre source de cofinancement est-elle identifiée : Non**

**Sollicitez-vous un co-financement Is-Blue ( y compris ARED Is-Blue) (oui/non) ? Oui**

**Important : Veillez à bien compléter les différents co financements sollicités sur le serveur Thèses en Bretagne Loire lors du dépôt de votre dossier.**

**Projet de thèse en cotutelle internationale**

**S'agit-il d'un projet de thèse en cotutelle internationale dans le cadre d'une convention (oui/non) : Non**

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

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

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

**Préciser quel est le stade du projet international (joindre une lettre d'engagement du partenaire)**

**merci de respecter ce format maxi compatible avec extranet région**

### **Résumé du projet (4000 caractères maxi espaces compris) :**

Le projet de thèse IMHOTEP tend à mieux comprendre les impacts des fluctuations interannuelles des flux d'eau douce venant des rivières (notamment des rivières tropicales) et de la perte de masse de la calotte du Groenland aux changements de la circulation océanique et des variations régionales du niveau de la mer sur la période 1993-2017. Depuis le lancement en 1992 du satellite Topex/Poseidon (collaboration entre le CNES et la NASA) et ses successeurs (satellites Jason, ERS1 et 2, ENVISAT, Saral/Altika ...), nous avons maintenant accès aux changements du niveau des océans avec une très grande précision et une couverture quasi globale des océans. Ces mesures sont aussi très importantes pour déterminer les courants océaniques de surface. Les données in situ de température et de salinité permettent de séparer les changements du niveau de la mer due à la température (niveau de la mer thermostérique) et due à la salinité (niveau de la mer halostérique). Cette dernière contribution est intimement liée aux flux d'eau douce (précipitation et évaporation mais aussi aux apports d'eau douce continentale). Ce travail de thèse s'intéressera à analyser ces données disponibles (spatiales et in situ) pour mieux comprendre les changements régionaux de circulation océanique et de niveau de la mer avec un intérêt particulier pour l'océan Atlantique nord.

Ces données serviront dans un second temps à valider une nouvelle configuration NEMO. Après validation de ce modèle par les différentes données spatiales et in situ, une approche de sensibilité a été retenue pour étudier l'impact de la variabilité interannuelle de ces différents apports d'eau aux changements régionaux de circulation océanique et de niveau de la mer entre 1993 et 2017. Un travail particulier sera réalisé pour l'Atlantique nord car cet océan interagit directement avec la calotte polaire du Groenland et abrite les fleuves tropicaux qui présentent les plus forts débits de la planète (Amazone, Orénoque, Congo, Niger).

### **Présentation détaillée du projet :**

#### **1 - Hypothèse et questions posées, état de l'art, identification des points de blocages scientifiques (4000 caractères maxi espaces compris)**

La hausse du niveau de la mer, de l'ordre de 15-20 cm en moyenne globale au cours du 20<sup>ème</sup> siècle et de plus de 6 cm depuis le début des années 1990, est une des conséquences majeures du réchauffement climatique global. Elle est aussi d'une importance capitale d'un point de vue sociétal, en effet plus de 40% de la population mondiale habite dans une bande littorale de 100 km (Nicholls et Cazenave, 2010). De ce fait, il est primordial d'avoir une bonne connaissance des processus mis en jeu lors de cette évolution, et ainsi pouvoir anticiper l'évolution à plus long terme de cette composante climatique. Un des objectifs majeurs étant de prévoir les impacts futurs de cette hausse sur les régions où la densité de population est importante.

Depuis le début des années 1990, les satellites altimétriques, en particulier Topex/Poseidon, les satellites Jason, ERS1, ERS2, ENVISAT, Saral/Altika, mesurent les variations du niveau de la mer avec une couverture quasi globale des océans (i.e., 65S et 75N). Grâce à l'altimétrie spatiale de haute précision, une forte variabilité des tendances régionales a été mise en évidence. Ainsi, le niveau de la mer ne monte pas à la même vitesse sur l'ensemble du globe (Cazenave and Llovel, 2010). L'océan Atlantique nord présente une forte variabilité régionale avec des tendances très fortes.

En parallèle, les données des flotteurs Argo montrent une augmentation du niveau de la mer halostérique en Atlantique nord entre 2005 et 2013 due à une forte diminution de la salinité (Llovel et Lee, 2015). L'origine de cette désalinisation reste pour le moment mal déterminée. Mieux connaître les différents apports d'eau douce de cet océan et leurs impacts distants facilitera en outre l'interprétation de l'évolution observée du niveau de la mer et des contenus thermohalins océaniques dans cette région.

Néanmoins, les changements régionaux du niveau de la mer n'arrivent pas seuls. Ainsi, la diminution de la salinité induit aussi des changements de la circulation régionale océanique. De plus, cet apport d'eau douce augmente la stratification océanique, affectant potentiellement les événements de convection océanique.

La réponse de l'océan de l'Atlantique Nord à ces changements des différents apports d'eau douce (du Groenland et des grands fleuves) et de sel (des régions subtropicales) reste encore une question scientifique ouverte. Les études les plus récentes se sont principalement intéressées à la réponse de l'océan aux apports accrus d'eau douce venant du Groenland (Sévillec et al, 2017).

L'objectif de cette thèse vise à caractériser et comprendre la réponse océanique globale et régionale aux fluctuations interannuelles des principaux « runoffs » de l'Atlantique Nord : fluctuations des grands fleuves tropicaux (Amazone, Orénoque, Niger, Congo, *etc.*), et des « runoffs » de la calotte groenlandaise. La réponse océanique sera analysée sur la période 1980-2017 en termes de changement de circulation et de changements de niveau de la mer. En particulier, ce travail de thèse cherchera à caractériser et attribuer les différentes sources de ces changements (i.e., halo/thermostériques et manométrique). La variabilité interannuelle de la calotte du Groenland n'ayant été estimée que récemment à partir d'observations spatiales (altimétriques et gravimétriques ; Bamber et al 2018 et Mouginot et al., 2019) ses impacts océaniques sont pratiquement inconnus, mais sont potentiellement substantiels étant donné la sensibilité de la circulation océanique de l'Atlantique Nord aux flux d'eau douce le long du Groenland (Sévellec et Fedorov, 2016).

## **2 - Approche méthodologique et techniques envisagées :** (4000 caractères maxi espaces compris)

Cette thèse s'appuiera sur les produits altimétriques dans le cadre des projets CMEMS et CCI pour estimer les changements régionaux du niveau de la mer depuis 1993. Les données in-situ disponibles, notamment des flotteurs Argo et deep-Argo disponibles au LOPS serviront à quantifier les causes de ces changements (niveau de la mer stérique, thermo-halostérique). Ces données seront aussi utilisées pour valider les sorties du modèle numérique considéré.

En effet, une configuration forcée du modèle d'océan NEMO sera utilisée pour étudier et comprendre les processus océaniques clés intervenant dans les changements de circulation océanique et les variations régionales du niveau de la mer induits par l'apport d'eau douce du Groenland et des fleuves tropicaux. Une approche de sensibilité a été retenue pour cela.

La calotte du Groenland perd de la masse depuis plusieurs décennies maintenant. La variabilité interannuelle de la perte de masse de cette calotte a été estimée que récemment à partir d'observations spatiales (altimétriques et gravimétriques ; Mouginot et al., 2019). Les impacts océaniques dus à ces apports d'eau douce et notamment à sa variabilité interannuelle sont inconnus, mais sont potentiellement substantiels étant donné la sensibilité de la circulation océanique de l'Atlantique Nord aux flux d'eau douce le long du Groenland (Sévellec et Fedorov, 2016).

Les fleuves et notamment les fleuves tropicaux montrent une très forte variabilité interannuelle. Par exemple, le débit de l'Amazone présente des variations interannuelles du même ordre de grandeur que le cycle saisonnier suggérant une réponse océanique non négligeable. Les sorties du modèle numérique ISBA-CTRIP, modèle développé à Météo-France (Decharme et al., 2019), simule convenablement ces variations interannuelles des fleuves tropicaux notamment dans le bassin Atlantique nord. Ces données seront utilisées pour réaliser des simulations avec le modèle global forcé NEMO ¼°.

Les simulations seront réalisées dans le cadre du projet OST-ST (**IMHOTEP**) en collaboration avec Stéphanie Leroux (OceanNext, Grenoble), T. Penddud et J-M Molines de l'IGE (Grenoble). Nous proposons d'analyser 3 simulations globales de sensibilité au 1/4° aux « runoffs » de l'Atlantique Nord (RAN) :

- 1- d'abord *sans* variabilité interannuelle des RAN (simulations *S* de contrôle : « runoffs » climatologique, avec une variabilité purement saisonnières pour les fleuves et la calotte du Groenland),
- 2- ensuite en y ajoutant la variabilité interannuelle des RAN liés à la *calotte* groenlandaise (simulation *C*),
- 3- et finalement en y ajoutant à la fois la variabilité interannuelle des RAN liés aux grands *fleuves* et celle des RAN liés à la *calotte* groenlandaise (simulation *FC*).

En étudiant les différences de ces différentes simulations, nous étudierons l'impact de la variabilité interannuelle de ces flux d'eau douce aux changements de circulation océanique de l'Atlantique nord (circulation de retournement et circulation des gyres) et des variations régionales du niveau de la mer entre 1993 et 2017.

### **Références :**

Decharme et al., 2019 Recent Changes in the ISBA-CTRIP Land Surface System for Use in the CNRM-CM6 Climate Model and in Global Off-Line Hydrological Applications , Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 11(5), pp. 1207-1252

Llovel, W., and T. Lee (2015), Importance and origin of halosteric contribution to sea level change in the southeast Indian Ocean during 2005–2013, Geophys. Res. Lett., 42, 1148–1157, doi:10.1002/2014GL062611

Mouginot et al., 2019: Forty-six years of Greenland Ice Sheet mass balance from 1972 to 2018. Proc Natl Acad Sci USA, 116(19):9239-9244. doi: 10.1073/pnas.1904242116

Nicholls R. J. and A. Cazenave, Seal-level rise and its impact on coastal zones, Science, 1517-1520, 2010.

Sévellec, F. and A. V. Fedorov, 2016: AMOC sensitivity to surface buoyancy fluxes: Stronger ocean meridional heat transport with a weaker AMOC?, *Climate Dynamics*, 47, 1497-1513.

Sévellec, F., A. V. Fedorov, and W. Liu, 2017: Arctic sea ice decline weakens the Atlantic Meridional Overturning Circulation, *Nature Climate Change*, 7, 604-610.

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

#### *Contexte Régional*

La Bretagne est directement concernée par les variations du niveau de la mer du fait de ses quelques 2470km de côtes. La Bretagne représente 1/3 des côtes de la France métropolitaine. Les modèles climatiques couplés estiment que le niveau moyen régional de la mer va augmenter de 60-120cm selon les scénarii d'émission des gaz à effet de serre. Ces estimations présentent encore de fortes incertitudes. Bien comprendre les causes de ces évolutions passées est un prérequis pour affiner ces projections futures. De plus, la thématique 'Niveau de la mer' est émergente au LOPS avec le recrutement de William Llovel depuis le 1<sup>er</sup> Octobre 2019.

#### *Contexte national*

La thématique du niveau de la mer s'est grandement développée avec l'arrivée des satellites altimétriques de haute-précision (notamment Topex/Poseidon et les satellites Jason) en étroite collaboration entre le CNES et la NASA. Si cette thématique est très orientée géodésie par le CNES, cette thèse propose une approche océanographique originale basée sur la modélisation numérique. De plus, et d'un point de vue national, l'intégration de flux d'eau douce réalistes est une avancée non négligeable pour la communauté NEMO.

#### *Contexte international*

Les derniers rapports de l'IPCC (AR5, 2013; SROCC, 2018) et le prochain IPCC-AR6 ont dédié un chapitre entier sur les variations (globales et régionales) du niveau de la mer passées, actuelles et futures démontrant l'importance au plan international de cette thématique de recherche. De plus, le World Climate Research Programme (WCRP) a défini des « grands challenges » comme axes prioritaires de recherche pour la communauté scientifique internationale pour la période 2019-2029. Ces grands challenges sont au nombre de 7 et listés ci-dessous :

- (i) An integrated approach to historic sea level estimates (paleo time scale)
- (ii) Quantifying the contribution of land ice to near-future sea level rise
- (iii) Contemporary regional sea level variability and change
- (iv) Predictability of regional sea level
- (v) Sea level science for coastal zone management
- (vi) Global mean sea level

La thématique « variations régionales du niveau de la mer et impacts côtiers » est clairement identifiée dans le « Science Plan and Implementation Strategy » (2018) du WCRP. Ces efforts de coordination internationaux démontrent bien l'importance des recherches axées sur une meilleure compréhension des variations du niveau de la mer passées, présentes et futures.

### **4 - Contexte scientifique et partenarial : éléments généraux (ERC, CPER, FEDER, Breizhcop ...) (4000 caractères maxi espaces compris)**

Les différents apports d'eau douce continentaux (rivières et glaces continentales) sont des contributions majeures du système climatique et du cycle global de l'eau sur Terre. Ces apports d'eau douce proviennent essentiellement de l'évaporation des océans qui va précipiter en partie sur les continents. Cet apport d'eau douce (liquide) va diminuer localement la salinité, va changer la thermodynamique, le contenu de chaleur et les échanges à l'interface entre océan et atmosphère mais aussi du niveau régional de la mer. Les apports d'eau douce solide (icebergs) vont quant à eux fondre durant leur dérive au gré des courants marins.

Peu d'études se sont intéressées à quantifier l'impact des apports interannuel d'eau douce et des calottes polaires.

Aucune étude n'a considéré ces deux sources (apports des rivières et des glaces continentales) simultanément. C'est objet majeur de cette thèse. Dans un premier temps, la décharge du Groenland sera considérée entièrement liquide. Si le temps le permet, cette décharge pourra être considérée en partie liquide et en partie solide (utilisation du module Iceberg dans le code NEMO).

Cette thèse s'inscrit aussi dans un projet à 4 ans de l'OST-ST IMHOTEP du CNES (2021-2024) dont les Pis sont W. Llovel (LOPS/Brest) et T. Penduff (IGE/Grenoble). Ce projet OSTST-IMHOTEP va produire des simulations globales océaniques avec le modèle NEMO au  $\frac{1}{4}^\circ$  en mode forcé entre 1980 et 2017. Une approche de sensibilité est adoptée pour étudier les contributions des apports interannuels d'eau douce du Groenland et des rivières tropicales aux variations de circulation et de niveau de la mer avec un focus particulier pour l'océan Atlantique nord. Le projet OST-ST IMHOTEP apportera de l'accompagnement à cette thèse (frais de publication, participations aux conférences nationales et internationales).

Le candidat collaborera ainsi avec Thierry Penduff, Jean-Marc Molines, Jérémie Mouginot de l'IGE (Grenoble) ; avec Stéphanie Leroux d'OceanNext (Grenoble); avec Julien Jouanno, Fabrice Papa du LEGOS (Toulouse) ; Jérôme Vialard du LOCEAN (Paris), Matthieu Lengaigne de MARBEC (Montpellier) ainsi qu'avec Bertrand Decharme du CNRM (Toulouse).

Le candidat participera à des réunions de travail et workshop dans le cadre de la collaboration nationale présentée plus haut mais aussi participera à des conférences internationales pour présenter ses résultats de recherche.

### **Vous sollicitez un financement ISblue, ou une ARED ISblue :**

Précisez le lien du sujet avec les thèmes ISblue

Thème ISblue	Thème principal	Thème secondaire (si nécessaire)	Autre (si nécessaire)
la régulation du climat par l'océan	x		
les interactions entre la Terre et l'océan	x		
la durabilité des systèmes côtiers			
l'océan vivant et les services écosystémiques			
les systèmes d'observation à long terme			

**Expliquez/précisez en quelques lignes dans quelle mesure votre demande correspond à l'un ou plusieurs des critères ISblue ci-dessous :**

#### **1- Originalité, impact potentiel du projet** (4 lignes maxi)

L'originalité de ce projet est l'inclusion pour la première fois de flux d'eau douce réalistes (rivières tropicales et calotte glacière du Groenland) dans le modèle numérique forcé NEMO  $\frac{1}{4}^\circ$ . L'approche envisagée permettra d'étudier l'impact de ces apports réalistes aux changements de circulation et de niveau de la mer.

#### **2- Positionnement international du sujet, cotutelle ou co-encadrement international** (4 lignes maxi)

Ce projet s'insère dans une réflexion internationale avec les projets WCRP et CLIVAR. Ce projet s'articule aussi très fortement avec les priorités scientifiques établies par le CNES, la NASA et la NOAA. Le doctorant pourra après sa thèse se diriger vers un appel d'offre NASA / NOAA pour proposer un sujet de recherche de post-doctorat aux Etats-Unis.

#### **3- Effet intégrateur entre unités de recherche et / ou interdisciplinarités** (4 lignes maxi)

Ce sujet de thèse s'intéresse tout particulièrement aux changements de circulation et de niveau de la mer qui sont des thématiques d'intérêt de plusieurs laboratoires français (LOCEAN/LEGOS/LOPS/IGE). L'inclusion de flux d'eau

douce réaliste va nécessiter une connaissance en hydrologie, et de la cryosphère et du changement climatique d'où l'interdisciplinarité de ce sujet.

**4- Potentiel d'insertion à un haut niveau dans la communauté académique ou non académique du docteur**  
(4 lignes maxi)

Le sujet étant très novateur (approche méthodologique) et s'attaquant à des questions générales protégées par de grands projets internationaux. L'étudiant.e aura l'opportunité de s'épanouir tant dans un contexte national de recherche (CNRS/IRD) que dans un contexte international (ESA/NASA/NOAA).

**Le candidat**

**Profil souhaité du candidat (spécialité/discipline principale, compétences scientifiques et techniques requises) :**

- Etudiant en Master 2 recherche, école d'ingénieur généraliste ou étudiant d'une université étrangère avec des solides connaissances en océanographie physique
- Notion en programmation (fortran 90, matlab, NCL, python, R, Julia)
- Savoir lire, écrire et communiquer en langue anglaise
- Savoir travailler en équipe

**ATTENTION :**

**Tout dossier non déposé sur le serveur dans les délais indiqués, ne pourra être pris en compte notamment par les instances ISblue, conseil de l'EDSML.**