

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2016

- **Date de la demande (.../.../...)** : 17/12/2015

1- Identification du projet (en langue française)

- **Acronyme du projet (8 caractères maximum)** : SONIFIC

- **Intitulé du projet (en langue française)** : **Impacts interannuel-à-décennal des régimes de temps hivernaux extrêmes sur la stratification subtropicale en Atlantique Nord**

2- Domaine d'innovation stratégique (DIS) du projet

- **Cocher le DIS prioritaire** au sein duquel le projet de thèse s'intègre. Vous pouvez cocher un DIS secondaire (à préciser en ce cas, point 6 de la présentation du projet). Si aucun DIS ne correspond, cocher « Projet Blanc ».

- DIS 1 : Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative
- DIS 2 : Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité
- DIS 3 (primaire) : 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 (secondaire) : Observation et ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement
- « Projet Blanc »

- **Préciser le sous-domaine correspondant** : 7A- Observation, surveillance et gestion de l'environnement et des éco-systèmes et de leurs inter-actions

Pour une plus ample présentation des DIS et des sous-domaines, merci de vous référer au Schéma régional de l'enseignement supérieur et de la recherche disponible à l'adresse suivante : http://www.bretagne.fr/internet/upload/docs/application/pdf/2013-11/sresr_version_finale.pdf

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

- **Établissement porteur du projet (implantation obligatoire sur le territoire régional)** : **Ifremer, centre de Brest**

- **Ecole Doctorale** : **Ecole doctorale des sciences de la mer (EDSM) à l'observatoire des Sciences de l'Univers (OSU) de l'Institut universitaire européen de la mer (IUEM)**

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

- **Nom et prénom** : Maze Guillaume

- **Genre du/de la responsable du projet (F/H)** : H

- **e-mail** : gmaze@ifremer.fr

- **Téléphone** : 02.98.22.43.39

- **Equipe de recherche encadrante (JE/EA/...)** : Equipe « océan et climat » du Laboratoire de Physique des Océans.

- **Unité (U/UMR/USR /...)** : Laboratoire de Physique des Océans (UMR 6523 Ifremer,CNRS,IRD,UBO)

- **Nombre HDR dans l'équipe d'accueil** : 3

- **Nombre de thèses en cours** : 2

- **Nombre de post-docs en cours** : 2

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2016

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

- Nb total de références : 14
- 1. Roulet Guillaume, Capet Xavier, Maze Guillaume (2014). Global Interior Eddy Available Potential Energy Diagnosed from Argo Floats. *Geophysical Research Letters*, 41(5), 1651-1656.
- 2. Maze Guillaume, Deshayes Julie, Marshall John, Treguier Anne-Marie, Chronis Alexandros, Vollmer Lukas (2013). Surface vertical PV fluxes and subtropical mode water formation in an eddy-resolving numerical simulation. *Deep-sea Research Part II-topical Studies In Oceanography*, 91, 128-138.
- 3. Cerovecki Ivana, Talley Lynne D., Mazloff Matthew R., Maze Guillaume (2013). Subantarctic Mode Water Formation, Destruction, and Export in the Eddy-Permitting Southern Ocean State Estimate. *Journal Of Physical Oceanography*, 43(7), 1485-1511.
- 4. Maze Guillaume, Mercier Herle, Thierry Virginie, Memery Laurent, Morin P., Perez F.F. (2012). Mass, nutrient and oxygen budgets for the northeastern Atlantic Ocean. *Biogeosciences*, 9(10), 4099-4113.
- 5. Maze Guillaume, Marshall John (2011). Diagnosing the Observed Seasonal Cycle of Atlantic Subtropical Mode Water Using Potential Vorticity and Its Attendant Theorems. *Journal Of Physical Oceanography*, 41(10), 1986-1999.

- Co-directeur-trice de thèse (éventuellement) : Herlé Mercier (LPO/CNRS) et Christophe Cassou (CERFACS/CNRS)

- Equipe de recherche co-encadrante (JE/EA/...) :

5- Présentation du projet (en langue française, 2 à 3 pages)

- Résumé du projet (15 lignes) : *Impacts interannuel-à-décennal des régimes de temps hivernaux extrêmes sur la stratification subtropicale en Atlantique Nord*

A cause de sa stratification, l'océan subtropical Nord Atlantique est le plus grand réservoir de chaleur terrestre; une région qui montre une tendance décennale au réchauffement depuis les années 1970 plus forte que la moyenne globale. Mais cette tendance climatique repose sur une variabilité saisonnière, inter-annuelle et décennale forte dont les mécanismes ne sont pas encore bien connus. En effet, les observations Argo récentes ont révélées la signature de conditions atmosphériques extrêmes dans le bassin Nord Atlantique. La problématique de cette thèse naît du fait que ces conditions de forçage extrême ont eu tendance à se répéter au cours des derniers hivers. Comme l'océan subtropical favorise la circulation quasi-horizontale des anomalies de sub-surface, cette thèse adressera la question encore ouverte de l'impact de long terme, c'est-à-dire au delà d'une année, sur les éléments de la stratification subtropicale (notamment les eaux modales et zones frontales qui les séparent comme la pycnocline) des forçages atmosphériques hivernaux extrêmes et répétés. A partir des observations, principalement Argo, nous déterminerons dans un premier temps les conditions environnementales de re-émergence et de persistance de long terme des anomalies de stratification dans la gyre subtropicale Nord Atlantique. Puis, à partir d'une simulation numérique réaliste forcée par des régimes de temps extrêmes et répétés, nous identifierons les mécanismes contrôlant l'impact interannuel-à-décennal de ce forçage atmosphérique sur la stratification et déterminerons les chemins de circulation des anomalies entre l'est et l'ouest du bassin.

- Présentation détaillée du projet :

1-Contexte scientifique et socio-économique du projet :

Bien que peu profondes et avec seulement 10% du volume total des océans, les régions subtropicales contiennent environ 40% de la chaleur stockée dans les océans; elles sont donc l'un des plus grands réservoirs de chaleur sur la Terre. Les observations montrent que les régions subtropicales concentrent 60% de la variation totale de contenu de chaleur ajoutée aux océans depuis les années 1970, un total qui représente 93% de l'excès de chaleur stockée par la Terre sur la même période (Stocker et al, 2013). Ce rôle de premier plan dans le stockage de chaleur océanique est due aux principales caractéristiques de la stratification de l'océan subtropical (SOS), à savoir: les eaux modales et la pycnocline permanente sous-jacente. Les eaux modales de surface sont des masses d'eau peu stratifiées et homogènes situées au-dessus d'un fort gradient vertical de densité aux profondeurs intermédiaires (200 à 800m) appelé la pycnocline permanente. Cette dernière empêche la chaleur capturée à la surface, ainsi que d'autres traceurs tels que le carbone anthropique, d'atteindre l'océan abyssale. Au lieu de cela, les océans subtropicaux favorisent une redistribution quasi-horizontale de la chaleur qui se concentre alors dans les eaux modales de surface (Speer & Forget, 2013). Dans le contexte du changement climatique, les mécanismes de variabilité interannuelle à décennale de la SOS sont d'une

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2016

importance primordiale pour la compréhension des changements du contenu de chaleur océanique observés depuis les années 60. Dans cette thèse, nous nous proposons d'étudier les mécanismes de variabilité de la SOS associées aux anomalies de forçage atmosphérique hivernale dans l'Atlantique Nord.

En effet, Bryden et al (2014) ont montré que l'hiver 2009-2010 a été marqué par une réduction de 30% de la circulation horizontale à 25N. Billheimer et al (2013) ont montré que pendant l'hiver 2011-2012, l'eau modale à 18 degrés (EDW, Marshall et al, 2009) a été mal ventilés et qu'une quantité anormalement petite de cette masse d'eau a été formée / renouvelée (minimum sur une période de 8 ans). Enfin Grist et al (2015) ont observé une formation accrue des eaux modales denses durant l'hiver 2013-2014 dans le coin nord-est du gyre subtropical.

Ces anomalies récentes, observées grâce au réseau de profilers autonomes Argo, sont dus à des régimes météorologiques extrêmes en hiver, que ce soit dans la force de chacun des événements individuels ou en moyenne tout au long de l'hiver. Ces régimes sont d'une importance primordiale pour le climat en raison du processus de ré-émergence (Alexander & Deser, 1995). La re-émergence est le processus par lequel une anomalie de température créée en hiver est conservée sous la couche de mélange en été et réapparaît à la surface à l'automne suivant, éventuellement modulant l'atmosphère. Par exemple, le début d'hiver 2010-2011 a été marquée par une NAO négative, qui pourrait avoir été influencée par la ré-émergence des anomalies de température formées au cours du précédent hiver 2009-2010 qui fut marqué par un hiver record de faible NAO- (Cassou et al, 2007, Taws et al, 2011). Hanawa & Sugimoto (2004) ont montré que la ré-émergence des anomalies se produit dans les sites de formation des eaux modales subtropicales. Les analyses Lagrangiennes de trajectoire de particules confirment que les parcelles d'eau des eaux modales subtropicales réapparaissent principalement après 1 an dans la même zone, où elles ont été enfouies sous de la couche de mélange au moment de leur ventilation (Kwon et al, 2015; Grist et al, 2015). En outre, nous avons récemment développé un nouvel algorithme pour caractériser la pycnocline permanente qui, appliqué aux données Argo dans l'Atlantique Nord, a révélé que les régions de formation d'eau modales sont situés là où une pycnocline permanente est également observées (Feucher et al, 2015).

2-Hypothèse et questions posées, identification des points de blocages scientifiques que le travail de thèse se propose de lever :

Wang et al (2015) ont montré que les changements de la thermocline associés au forçage anthropique climatique dans les régions subtropicales sont cohérents avec les hypothèses et le modèle de la thermocline ventilée (Luyten et al, 1983). Ce modèle fournit une connexion dynamique entre l'enfouissement des anomalies et la structure à grande échelle de la thermocline/pycnocline de la gyre subtropicale. En utilisant ce modèle comme notre hypothèse nulle, des anomalies larges et persistantes des propriétés des eaux modales peuvent éventuellement se propager vers le sud-ouest de la gyre subtropicale, mais cela reste à être explorer.

L'objectif général de cette thèse est de mieux documenter / quantifier / comprendre l'impact à long terme des anomalies atmosphériques océaniques sur la stratification de l'océan subtropicale dans l'Atlantique Nord ; dans un contexte de changement climatique. Ici, « long terme » signifie toutes les échelles de temps plus longues qu'une année typique liée au processus de ré-émergence, englobant ainsi les fluctuations de interannuelles à décennales.

Les questions que cette thèse devra adresser sont les suivantes:

- Quels sont les impacts des hivers extrêmes, et peut-être répétés, sur les caractéristiques de la stratification de l'océan subtropical (SOS) ?
- Quelles sont les conditions environnementales qui déterminent d'une part, la ré-émergence efficace des anomalies de chaleur au bout de 1 an et, d'autre part, leur persistance plus longue que le seuil de 1 an?
- Quel est l'impact à distance de ces anomalies de SOS sur le reste de l'océan Atlantique Nord? y a t-il un chemin de connection pour de telles anomalies entre le gyre subtropical est et ouest?

3-Approche méthodologique et technique envisagée :

Compte tenu des problématiques et objectifs précitées, les 2 approches méthodologiques proposées sont:

1. Identifier les anomalies de SOS créés par des forçages hivernaux atmosphériques extrêmes et persistants et comprendre les conditions dans lesquelles ces anomalies seront en mesure de re-émerger après un cycle de 1 an et de persister plus longtemps. Nous allons nous concentrer sur la période 2002-2015 parce que les données in-situ obtenues à partir du réseau d'observation Argo (profils et produits grillés) fournissent depuis 2002 des données de température et de salinité qui nous permettront de déterminer la structure thermohaline de l'océan intérieur. Nous allons utiliser la nouvelle méthode OACP (Algorithme Objectif pour la caractérisation de la pycnocline, Feucher et al, 2015) pour déterminer les anomalies de SOS (par exemple l'épaisseur, la profondeur, la température des eaux modales subtropicales et de la pycnocline permanente). La circulation atmosphérique saisonnière anormale sera déterminée en utilisant des données satellites du CERSAT (flux de chaleur de surface et la température de surface de la mer et de la salinité), AVISO (hauteur de la surface de la mer) et les ré-analyses atmosphériques (comme NCEP). Nous utiliseront le paradigme des régimes de temps (WR), qui sera préféré ici aux classiques modes de variabilité (type EOF), car les WR

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2016

sont très efficaces dans la capture de la variabilité interannuelle de l'océan de surface forçant l'Atlantique Nord (Cassou et al, 2010) et représentent correctement l'asymétrie spatiale des forçages. Les forçages atmosphériques extrêmes et persistent de l'océan seront déterminés comme les régimes de temps dont les occurrences d'hiver sont plus élevées que les niveaux climatologiques. Une attention particulière sera consacrée aux hivers 2009-2010 et 2013-2014 où ont été observées des niveaux records de NAO négative et positive.

2. Déterminer et comprendre les chemins de circulation des anomalies de SOS. En particulier, nous allons nous concentrer sur la connexion est-ouest à travers le courant des Açores. Pour cela, nous allons considérer comme notre état océanique de référence une simulation numérique réaliste existante - et déjà validée - développée par le projet DRAKKAR (référence ORCAO25-MJMO1, cf Penduff et al, 2011) qui a été contrainte par un cycle saisonnier typique. En introduisant des régimes météorologiques extrêmes et persistants dans le forçage (déterminé ci-dessus), nous allons analyser la réponse de la SOS par comparaison avec la simulation de référence. Nous allons ensuite procéder à une analyse Lagrangienne avec le logiciel ARIANNE développé au LPO qui est déjà utilisée en routine avec ce modèle (Desbryères et al, 2013). Les particules suivies seront placées dans les zones d'enfouissement des éléments clés de SOS lors de conditions de forçage atmosphérique extrêmes. L'analyse des trajectoires des particules va nous aider à comprendre comment les parties orientale et occidentale de la gyre subtropicale sont connectées par l'intermédiaire du courant des Açores. Les résultats seront analysés avec l'hypothèse nulle de la théorie de ventilation de la thermocline classique selon laquelle les anomalies de température enfouies dans la partie orientale du bassin circulent vers le sud-ouest le long de surface iso-densités, contraintes par les principes de conservation (de vorticité potentielle, Luyten et al, 1983).

4-Profil du candidat (compétences scientifiques et techniques requises) :

Le candidat devra disposer d'un diplôme de Master 2 en océanographie physique ou météorologie dynamique.

5-Positionnement et environnement scientifique dans le contexte régional, et le cas échéant, national et international :

Au niveau régional, ce travail de thèse permettra au LPO (qui deviendra le LOPS au 1er janvier 2016) de "Diagnostiquer l'état de référence, la variabilité et les tendances de l'état de l'océan et leurs relations avec les forçages" un objectif qu'il s'est fixé pour la période 2016-2020. Ces travaux doctoraux participeront aux objectifs de l'axe 1 du **Labex mer** notamment de mieux comprendre l'impact des flux air-mer sur la dynamique océanique, en particulier lors d'évènements extrêmes, et ils contribueront fortement à la valorisation des nouvelles données Argo issues des développements de l'equipex NAOS.

Cette thèse bénéficiera d'une collaboration étroite au niveau national avec le **Cerfacs** à Toulouse via le co-encadrement de la thèse par Christophe Cassou.

Ce travail permettra également de valoriser et d'exploiter scientifiquement le jeu de données **Argo**, un réseau global d'observation des océans fortement soutenu par la région via le **CPER Euro-Argo**.

Enfin ces travaux permettront de contribuer au rayonnement international de la région dans le domaine des sciences marines car ils disposent des compétences qui lui permettront de se placer dans la meilleure position afin de répondre à un sujet d'actualité scientifique fort dans le domaine environnemental et climatique.

6-Pertinence du projet au regard du DIS de rattachement (et/ou du DIS secondaire). Si « projet blanc », préciser les raisons de ce choix :

Ce projet se rattache au domaine d'innovation stratégique 7 d'Observation et Ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement et au sous-domaine « 7A- Observation, surveillance et gestion de l'environnement et des éco-systèmes et de leurs inter- actions » car : (i) il fournira un **modèle de compréhension du fonctionnement du milieu marin** aux moyennes latitudes de l'océan Atlantique nord et (ii) il s'appuie fortement sur l'**expertise « différenciante »** pour la Bretagne : du **labex Mer**, de l'**equipex NAOS** et des systèmes et réseaux d'observation de l'océan mondial développés par l'Ifremer à Brest (Projet mondial ARGO et **Euro-ARGO**).

7- Autres informations utiles (projet relevant des Objets d'excellence -OBEX-, projet inscrit dans le cadre des « Projets réservés » régionaux, dont « Projets émergents de recherche »...) :

Ce projet relève des problématiques scientifiques du **labex Mer** (axe 1) et valorisera par l'exploitation des données Argo les avancées technologiques conduites dans l'**equipex NAOS**.

6- 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) :

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2016

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

NB : Est entendue comme « thèse en cotutelle internationale », la situation où le doctorant partage son temps de thèse de manière égale, entre un établissement breton bénéficiaire, qui le rémunère pendant les périodes de thèse effectuées sur le territoire régional (18 mois sur 36 mois), et un 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-. (Voir article 6.4 du Dispositif ARED 2015).

7- 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

- **Si le cofinancement n'est pas encore confirmé, date prévue de réponse du cofinancier :** semaine 8

- **En cas de non-obtention du cofinancement demandé, une autre source de cofinancement est-elle identifiée (oui/non) :** oui (UBO/EDSM)

NB : attestation d'obtention d'un cofinancement ou à défaut, de la demande effectuée, à joindre au dépôt de cette fiche-projet.