

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2017

- **Date de la demande** (12/01/2017) :

1- Identification du projet (en langue française)

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

- **Intitulé du projet** (en langue française) : Processus de modulation du cycle de vie des cyclones tropicaux : apport des observations satellite et de la modélisation couplée

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

- **Cocher le DIS prioritaire** au sein duquel le projet de thèse s'intègre. Vous pouvez mentionner un DIS secondaire (choix à indiquer et argumenter au point 5-Présentation du projet, paragraphe 6). 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 : 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
- « Projet Blanc »

- **Préciser le sous-domaine correspondant :**

7A - Observation, surveillance et gestion de l'environnement et des écosystèmes et de leurs interactions

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*) : LOPS – Ifremer (Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale)

NB : C'est-à-dire l'établissement bénéficiaire de l'aide régionale. Un seul établissement peut être indiqué.

- **Ecole Doctorale** : SML : Sciences de la Mer et du Littoral

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

- **Nom et prénom** : JULLIEN Swen

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

- **e-mail** : swen.jullien@ifremer.fr

- **Téléphone** : 02 98 22 41 29

- **Nom du laboratoire** : Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS)

- **Code du laboratoire (U/UMR/USR/EA/JE/...)** : UMR6523

- **Nom de l'équipe de recherche** : Satellites et Interface Air-Mer (SIAM)

- **Nombre HDR dans le laboratoire** : 11

- **Nombre de thèses en cours** : 16

- **Nombre de post-docs en cours** : 18

- **Co-directeur-trice de thèse (éventuellement)** : MENKES Christophe (HDR, 127 publications)

- **Laboratoire de recherche co-encadrant** (nom + code U/UMR/USR/EA/JE/...) Laboratoire d'Océanographie et du Climat : Expérimentations et Approches Numériques (LOCEAN), UMR 7159

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2017

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

Oerder V., F. Colas, V. Echevin, S. Masson, C. Hourdin, S. Jullien, G. Madec, F. Lemarié, Mesoscale SST–wind stress coupling in the Peru–Chile current system: Which mechanisms drive its seasonal variability?, *Climate Dynamics*, DOI:10.1007/s00382-015-2965-7

Radenac MH, Léger F., Messié M., Dutrieux P., Menkes CE., Eldin G., Wind-driven changes of surface current, temperature, and chlorophyll observed by satellites north of New Guinea, *Journal of Geophysical Research*, DOI: 10.1002/2015JC011438, 2016

Menkes C.E., M. Lengaigne, M. Lévy, C. Ethé, L. Bopp, O. Aumont, E. Vincent, J. Vialard, S. Jullien, Global impact of tropical cyclones on primary production: Cyclone effects on primary production, *Global Biogeochemical Cycles*, DOI:10.1002/2015GB005214

Jullien S., P. Marchesiello, C. E. Menkes, J. Lefèvre, N. C. Jourdain, M. Lengaigne, G. Samson, Ocean feedback to tropical cyclones: climatology and processes, *Climate Dynamics*, vol. 43, 9-10, pp. 2831-2854, DOI:10.1007/s00382-014-2096-6, 2014

Samson G., S. Masson, M.G. Keerthi, M. Lengaigne, J. Vialard, S. Pous, G. Madec, S. Jullien, N. Jourdain, C. E. Menkes, P. Marchesiello, The NOW regional coupled model : application to the tropical Indian Ocean climate and tropical cyclones activity, *Journal of Advances in Modeling Earth System*, vol. 6, 3, pp. 700-722, 2014

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

- Résumé du projet (15 lignes) :

Les cyclones tropicaux sont un des phénomènes les plus énergétiques et destructeurs du système climatique. Leur prévision reste pourtant un défi du fait de notre méconnaissance de la modulation du flux d'enthalpie qui les nourrit. Sous les vents extrêmes des cyclones, la direction et la vitesse du vent changent très rapidement, générant des houles croisées, des courants inertiels, un mélange intense des couches superficielles de l'océan. Dans quelle mesure cet état de la surface océanique affecte les échanges énergétiques entre l'océan et l'atmosphère, et de ce fait l'intensification et la dissipation des cyclones sont des questions ouvertes. Grâce aux récentes mesures par satellites, nous disposons du plus grand nombre d'observations jamais obtenu sous les cyclones aussi bien en terme de vent, vagues, précipitations, ou température de surface de la mer. Ces observations utilisées en synergie et conjointement à des simulations numériques apporteront une description unique de l'interface air-mer sous ces évènements extrêmes.

Le travail envisagé consiste 1) en la mise en place de simulations réalistes sur les cas de cyclones des saisons 2015-2017 afin de les comparer précisément aux observations disponibles (satellites : radars, radiomètres, altimètres, scatteromètres, et Argo), 2) en l'étude de sensibilité des processus modulant le cycle de vie des cyclones, pour finalement 3) déterminer ceux qui sont susceptibles d'expliquer la divergence modèle-observations.

- Présentation détaillée du projet :

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2017

1-Contexte scientifique et socio-économique du projet :

Les vents des cyclones tropicaux peuvent souffler à plus de 250km/h et produire des vagues de plus de 10m de hauteur. En retour, la circulation océanique et le refroidissement des eaux induit par les cyclones influencent les flux turbulents d'enthalpie et de moment à l'interface air-mer qui pilotent l'intensité des cyclones (e.g. Schade 2000, Jullien et al. 2014). La complexité de l'interface océanique sous les cyclones (houles croisées, embruns, gouttelettes, écume, courants, refroidissements, tourbillons...) est telle qu'il est difficile de savoir si la physique conventionnelle prise en compte pour représenter les interactions océan-vagues-atmosphère et les flux air-mer est pertinente pour modéliser correctement l'évolution des cyclones tropicaux.

Les quelques études ayant tenté de prendre en compte ces interactions pour l'étude des cyclones se sont focalisées sur quelques cas particuliers (e.g. Bender et Ginis, 2000 ; Bao et al., 2000 ; Doyle 2002) et sur des théories idéalisées (Emanuel 1986 ; Schade 2000 ; Montgomery et al. 2009) et aboutissent pour le moment à des résultats divergents en raison d'une méconnaissance des processus dominants. Cette méconnaissance est notamment liée au manque d'observations disponibles permettant de décrire l'état de mer et la stratification océanique sous les cyclones. Ce projet de thèse vise à combler certaines de ces lacunes à partir de l'examen croisé de simulations et d'observations.

En effet, plusieurs sources d'observations satellite récentes permettent à présent d'étudier l'interface air-mer sous les cyclones. La constellation de radiomètres, altimètres, scatteromètres et radars à ouverture de synthèse (i.e. radar à haute résolution ou SAR) dont nous disposons à l'heure actuelle est sans précédent. La caractérisation du champ de vent, en particulier son extension spatiale et sa variabilité temporelle, pourra être réalisée grâce l'exploitation de la capacité des altimètres et radiomètres à mesurer la vitesse du vent (Quilfen et al., 2011, Reul et al., 2016) conjointement aux données issues de scatteromètres. Ces capteurs nous permettront également d'avoir accès à la hauteur significative des vagues (altimètres) et aux propriétés de surface de la mer (température, salinité via les radiomètres). De plus, des acquisitions issues du SAR (Synthetic Aperture Radar) de Sentinel-1 A en mode grande fauchée et à haute résolution dédiées à l'étude des cyclones ont été réalisées lors de la campagne SHOC (Satellite Hurricane Observation Campaign) à l'été 2016 ; ces observations fourniront des informations à haute résolution (< 3 km) sur la taille et la structure des cyclones très utiles pour évaluer précisément le fetch effectif (distance sur laquelle le vent souffle pour générer des vagues). Cette information pourra alors être couplée aux données de vagues (hauteur, spectre directionnel) acquises loin de l'oeil et disponibles grâce aux acquisitions en « mode vagues » des radars embarqués sur les satellites Sentinel-1 A et Sentinel-1 B. Cela permettra une analyse cohérente vent/vagues. Enfin, l'utilisation des observations in situ Argo permettra une description de la stratification océanique avant le passage des cyclones.

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

L'originalité et la force du sujet proposé résident en la confrontation de ces observations avec des simulations numériques réalistes. Il est en effet souvent difficile de réunir la communauté des observateurs et celle des modélisateurs. Nous disposons dans l'équipe encadrante des 2 expertises. La mise en place de simulations sur tous les cas de cyclones observés sur les saisons 2015 à 2017 sera la base de travail sur laquelle le thésitif pourra s'appuyer. Tout d'abord, une étude de la performance du modèle à reproduire le

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2017

cycle de vie de chacun des cyclones vis à vis des observations sera conduite. Ensuite des tests de sensibilité au couplage des modèles atmosphérique, de vagues et océanique à l'état de l'art permettra d'évaluer les variables et processus potentiels menant à la divergence entre modèles et observations. Cette analyse conjointe entre modèle et observations sera inédite pour l'étude de l'évolution du cycle de vie des cyclones.

3-Approche méthodologique et technique envisagée :

1) Mise en place de simulations numériques des cyclones observés et confrontation aux observations

Dans un premier temps, des simulations réalistes des cyclones observés lors des saisons 2015-2017 seront mises en place. Pour ce faire, le modèle 3D atmosphérique WRF (Weather Research and Forecast) sera utilisé. Ce type de modèle propose des facilités de mise en œuvre de configurations et une capacité de raffinement d'échelle pour permettre la résolution de systèmes de fine échelle et d'intensité forte tels que les cyclones tropicaux. Il a d'ores et déjà été utilisé et mis en place sur les régions d'étude (Jullien et al., 2014, Samson et al. 2014, Patoit 2015). Une évaluation des champs modélisés sera conduite par comparaison aux observations satellite disponibles.

La caractérisation des propriétés des cyclones sera abordée via les mesures de température de brillance (radiomètres SMOS, SMAP, AMSR-2) et de rugosité (SAR sur Sentinel-1 A, B, scattéromètre ASCAT) qui permettent d'accéder à une évaluation de la structure du cyclone (taille, rayons caractéristiques, gradient d'intensité, asymétrie, déplacement). Les mesures obtenues le long des traces altimétriques seront également être considérées. On attachera une attention particulière aux cas des cyclones pour lesquels des acquisitions SAR spécifiques ont été réalisées (campagne SHOC). Ces mesures à très haute résolution nous permettront de décrire au mieux le profil de vent au sein des cyclones. La capacité du modèle à reproduire la structure verticale du cyclone sera également évaluée grâce aux observations de pluie tridimensionnelles du satellite GPM et aux observations de température de brillance au sommet des nuages des satellites géostationnaires qui permettent un suivi dans le temps des structures et une vue intégrée sur la verticale du cyclone.

Une telle évaluation des caractéristiques des cyclones simulés sur plusieurs saisons cycloniques est à notre connaissance inexistante à l'heure actuelle (notamment car les observations qui seront utilisées pour la validation sont très récentes et parce qu'il existe souvent un clivage entre modèles et observations) et pourra faire l'objet d'une première publication.

2) Tests de sensibilité aux processus couplés qui peuvent moduler le cycle de vie du cyclone

Cette seconde partie consistera en l'étude de la sensibilité du cycle de vie du cyclone modélisé aux processus couplés pris ou non pris en compte. Pour cela, les cas de cyclones étudiés en partie 1 qui présentent de mauvaises performances en terme de représentation du cycle de vie du cyclone seront repris. De nouvelles simulations de ces cas seront réalisées en ajoutant des couplages (avec la température de surface, les courants, les vagues). Ces couplages pourront être réalisés avec des modèles analytiques de vagues et d'océan, et avec les modèles 3D CROCO et WW3. Ces tests de sensibilité seront alors à nouveau confrontés aux observations. Pour cela, les mesures de température de surface seront utilisées afin de caractériser la réponse océanique au forçage cyclonique. La caractérisation du champ de vagues se

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2017

fera à partir de l'analyse des données altimétriques qui permettent d'accéder à la hauteur des vagues et des imagerie SAR qui permettent de déterminer le spectre directionnel des houles. Un algorithme de rétro-propagation des spectres de vagues vers leur zone de génération a été développé par A. Mouche (LOPS) pour le cas des cyclones. Cette méthodologie permet d'utiliser les acquisitions SAR loin des trajectoires de cyclones (ainsi le signal n'est pas perturbé par la pluie et les vents violents) et de déduire les caractéristiques des vagues émises en un point donné de la trajectoire.

Cette partie permettra donc d'analyser les relations statistiques existantes entre les caractéristiques des cyclones (son stade de développement : initialisation, intensification, dissipation ; son intensité ; sa vitesse de translation ; sa taille ; etc) et les caractéristiques de la surface océanique.

3) **Caractérisations des variables et processus susceptibles d'expliquer la divergence modèle-observations**

Cette dernière partie, en s'appuyant sur les 2 précédentes, s'attachera à déterminer quels processus non représentés ou mal représentés dans les modèles actuels sont responsables de la divergence entre modèle et observations.

Les transferts entre l'océan et l'atmosphère sont paramétrisés dans les modèles par un coefficient de frottement qui dépend de la rugosité de surface associée aux vagues. Or l'état de l'interface air-mer sous les cyclones est complètement différent de l'état de la mer sous un forçage en vent faible et plutôt constant. Les marins parlent de « mer blanche » où on ne peut plus distinguer l'air et l'eau. L'interface est alors très probablement régit par une physique complètement différente. La confrontation statistique de nombreux cas de cyclones simulés et observés pourra alors nous permettre de s'intéresser aux situations où les modèles divergent des observations afin de tenter de comprendre pourquoi : quel processus physique est mal représenté ? quelle variable environnementale est mal prise en compte dans la modélisation ? Est-ce associé plus à l'état de mer et sa représentation ou bien à l'océan sous-jacent ?

Ces questions sont cruciales pour l'étude des événements extrêmes car il est nécessaire de savoir si nous avons besoin de représenter une physique différente pour modéliser l'intensification des cyclones ou si une meilleure prise en compte de la physique connue dans les paramétrisations macroscopiques est suffisante. Une publication présentera les résultats obtenus.

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

Titulaire d'un master 2 (ou équivalent) comprenant une ou plusieurs des spécialités suivantes : Océanographie physique, Dynamique de l'atmosphère, Télédétection

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

La thèse s'inscrit dans le cadre d'un projet (CTroVagueS : Interactions Cyclones Tropicaux - Vagues - Surcotes) en collaboration entre des chercheurs Ifremer et IRD issus de 4 laboratoires (LOPS, LEGOS, LOCEAN, LIENS) et profitera de l'expertise des spécialistes des cyclones, du couplage air-mer, des vagues et des observations satellite.

Ce projet s'intègre aussi dans le cadre de plusieurs programmes dont l'Ifremer est partie prenante :

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2017

- le développement des modèles couplés CROCO-WW3-WRF (resp. : S. Jullien, F. Ardhuin)
- le centre d'expertise (ESA Mission Performance Center) pour les mesures SAR des satellites Sentinel-1 (resp. A. Mouche)
- le projet SMOS storm (mesure des vents forts par le radiomètre SMOS)
- la préparation de la mission CFOSAT dédiée à la surveillance du champ de vent et de vagues à la surface des océans. Une étude préliminaire du champ de vagues généré par les cyclones comme proposée ici s'avère particulièrement intéressante pour la mission CFOSAT car elle permettra de mesurer sa capacité à reproduire la complexité de l'état de mer en interaction avec la structure du vent
- la préparation à la future génération de diffusionmètres METOP-SG EUMETSAT/ESAT (Membre du Science Advisory Group, A. Mouche)

Le projet de thèse permettra une collaboration forte autour des mesures satellite et de la modélisation, permettant à la fois la valorisation des mesures, la mise en place de simulations couplées à l'état de l'art et une recherche au cœur des questions scientifiques actuelles sur l'évolution des cyclones.

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

Les cyclones sont parmi les événements les plus extrêmes du système climatique et sont pour cela un objet d'étude de premier choix. Leurs effets dévastateurs à la côte sont aussi bien connus. Le sujet proposé permettra d'approfondir nos connaissances sur la représentation de l'interface air-mer sous ces événements extrêmes, ainsi que de fournir une caractérisation statistique des états de mer qu'ils génèrent à partir d'observations satellites, in-situ et de modèles. A terme, ces outils pourront être utilisés pour mieux anticiper l'impact littoral et côtier de tels événements extrêmes (cyclones tropicaux, comme tempêtes des moyennes latitudes).

7-Autres informations utiles (projet relevant des Objets d'excellence -OBEX-, ou des « Projets émergents de recherche » régionaux...):

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) :

- 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-)

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2017

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

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 :** 1/03/2017

- **En cas de non-obtention du cofinancement demandé, une autre source de cofinancement est-elle identifiée (oui/non) :** non (mais possibilité de demander un cofinancement auprès de l'université, ie bourse ministérielle)

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

→ **Ce document est à renvoyer par l'établissement porteur pour le 29 janvier au plus tard à :**
ared@bretagne.bzh en mettant en copie l'ED concernée, ainsi que votre référente ARED au service SDENSU de
la Région Bretagne : caroline.mével@bretagne.bzh