

- **Date de la demande** (15/12/2015) :

### 1- Identification du projet (en langue française)

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

- **Intitulé du projet** (en langue française) : **PROduction et TOurbillons d'eau Persique**

### 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 :**

*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](http://www.bretagne.fr/internet/upload/docs/application/pdf/2013-11/sresr_version_finale.pdf)*

3F - Sécurité et sûreté maritime

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

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

- **Établissement porteur du projet** (implantation obligatoire sur le territoire régional) : **UBO (Université de Bretagne Occidentale)**

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

- **Ecole Doctorale** : **EDSM (École Doctorale des Sciences de la Mer)**

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

- **Nom et prénom** : **CARTON Xavier (professeur UBO)**

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

- **e-mail** : **xcarton@univ-brest.fr**

- **Téléphone** : **0298016219**

- **Nom du laboratoire** :

- **Code du laboratoire (U/UMR/USR/EA/JE/...)** : **UMR 6523 - Laboratoire de Physique des**

**Océans**

- **Nom de l'équipe de recherche : Equipe OSI Ocean scale interactions, interactions d'échelles océaniques**

- **Nombre HDR dans le laboratoire : 10**

- **Nombre de thèses en cours : 8, dont 1 pour le proposant**

- **Nombre de post-docs en cours : 4, et 0 pour le proposant**

- **Publications récentes du directeur-trice de thèse (nb total et 5 références max au cours des 5 dernières années) : 35 publiées et 1 sous presse depuis début 2011**

X. Carton, P. Lhegaret and R. Baraille, 2012: Mesoscale variability of water masses in the Arabian Sea as revealed by ARGO floats. *Ocean Sci.*, 8, 227-248 (doi:10.5194/os-8-227-2012, [www.ocean-sci.net/8/227/2012/](http://www.ocean-sci.net/8/227/2012/)).

P. Lhegaret, L. Lacour, X. Carton, G. Rouillet, R. Baraille, S. Correard, 2013: A seasonal dipolar eddy near Ras al Hamra, Sea of Oman. *Ocean Dynamics*, 63, 6, 633-659.

C. Vic, G. Rouillet, X. Carton, X. Capet, 2014: Mesoscale dynamics in the Arabian Sea and a focus on the Great Whirl lifecycle: a numerical investigation using ROMS. *J. Geophys. Res.*, 119, 9, 6422-6443.

S. Pous, P. Lazure, X. Carton, 2015: A model of the general circulation in the Persian Gulf and in the Straits of Hormuz: intraseasonal to interannual variability. *Cont. Shelf Res.*, 94, 55-70.

P. L'Hegaret, R. Duarte, X. Carton, C. Vic, D. Ciani, R. Baraille and S. Correard, 2015: Seasonal mesoscale variability in the Arabian Sea from HYCOM model and observations: impact on the Persian Gulf Water path. *Ocean Science*, 11, 667-693.

- **Co-directeur-trice de thèse (éventuellement) : néant**

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

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

- **Résumé du projet (15 lignes) :**

L'objectif de la thèse est de caractériser les sources d'eaux très salées au sud ouest du golfe Persique, et le transport de ces eaux, sous la forme de tourbillons ou de filaments de sous méso échelle, en mer d'Arabie. Cette étude permettra aussi la détermination de la structure et de la variabilité des masses d'eau et des courants régionaux, soumis aux effets de marée, et de forçages de plus longue période.

Grâce aux travaux antérieurs, les trajets de l'eau persique sont connus, mais uniquement autour du détroit d'Ormuz et dans le golfe d'Oman. Les sources de cette eau dans le golfe Persique n'ont été mesurées qu'en 2014 (mais ces données n'ont pas encore été analysées) ; et l'export et le mélange de cette eau en mer d'Arabie, sous forme de petits tourbillons, est très mal connu.

La thèse s'appuiera sur un modèle océanique régional à très haute résolution, sur deux campagnes océanographiques dans la région (en 2011 et 2014), sur les données du programme mondial ARGO de flotteurs profileurs et sur les mesures altimétriques et thermiques des satellites. Ce modèle décrira précisément les courants et masses d'eau de la région. La connaissance de ces courants et masses d'eau est essentielle pour l'environnement (pêches, désalinisation de l'eau de mer et exploitation des ressources naturelles), pour la

circulation maritime (sécurité des approvisionnements pétroliers) et pour le climat régional.

### - Présentation détaillée du projet :

#### 1-Contexte scientifique et socio-économique du projet :

La mer d'Arabie et les mers adjacentes (golfe Persique et golfe d'Oman, mer Rouge et golfe d'Aden) sont des zones importantes tant pour le climat régional et la turbulence océanique, que pour les enjeux géopolitiques via la sécurité du transport maritime (essentiellement du pétrole), et la présence de marines militaires sécurisant ce transport contre la piraterie ou menant d'autres opérations. Localement, cette région est essentielle aux pays riverains, pour les ressources halieutiques, minérales et énergétiques, ou pour l'approvisionnement en eau douce (désalinisation de l'eau de mer).

Scientifiquement, cette zone est marquée par plusieurs phénomènes importants et qui interagissent ; ces interactions conduisent à une grande complexité de la dynamique océanique :

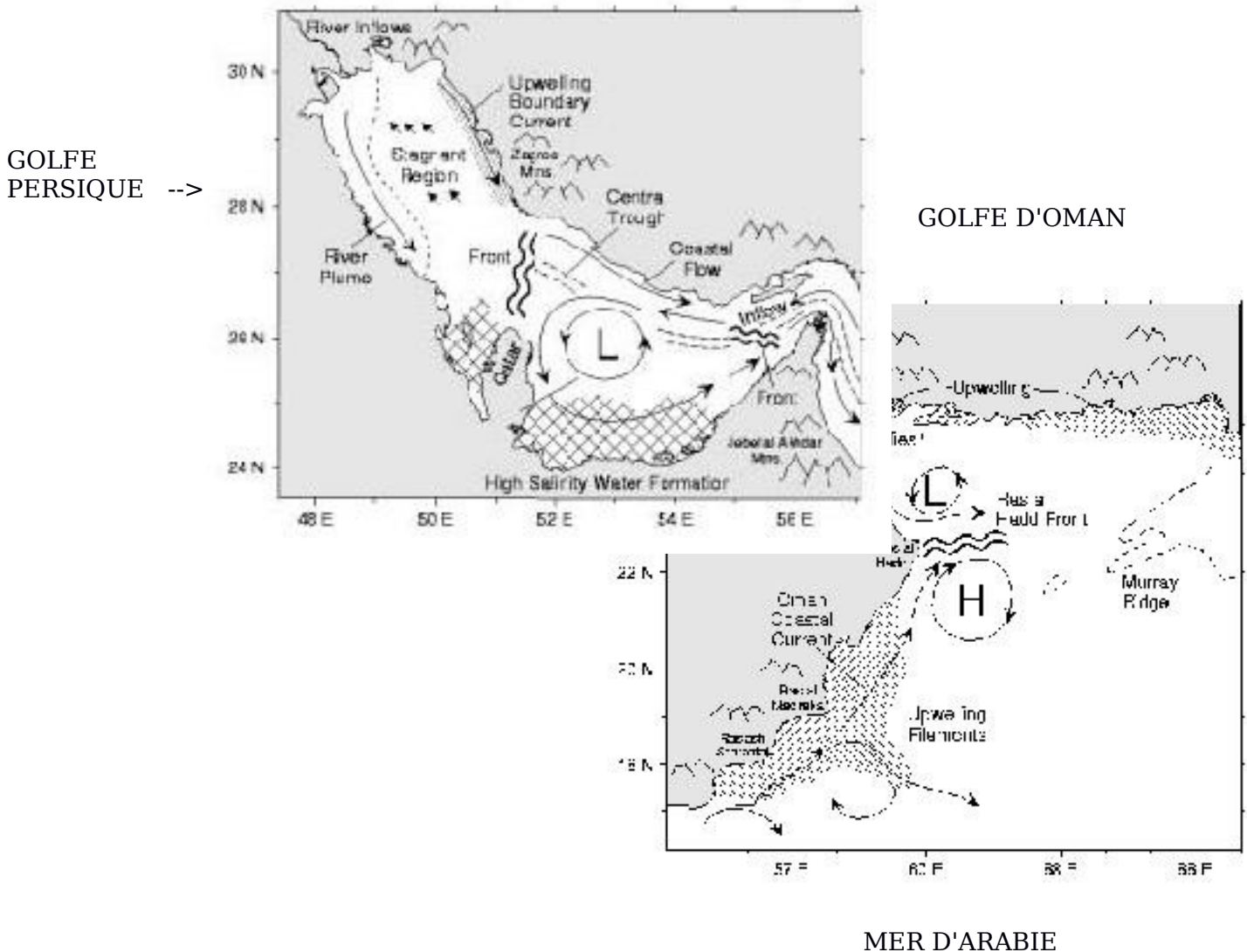
- tout d'abord, l'ensoleillement intense induit une très forte évaporation de l'eau de mer, en particulier dans les mers marginales (golfe Persique et mer Rouge) et donc la formation d'eaux très salées, ensuite exportées en mer d'Arabie (Bower et al., 2000 ; Johns et al., 2000 ; Prasad et al., 2001 ; Bower et al., 2005 ; Thoppil and Hogan, 2009 ; Pous et al., 2015)
- De plus, les intenses vents de mousson créent des anomalies de hauteur d'eau à la côte, associées à des courants horizontaux et verticaux, et, en été, à des remontées d'eau froide (upwellings), propices aux pêcheries. Ces vents induisent également la circulation à l'échelle de toute la mer d'Arabie, ainsi que des ondes (de Rossby) qui traversent cette mer (Lee et al., 2000 ; Shi et al., 2000 ; Schott et al., 2000 ; Brandt et al., 2002 ; Polito and Liu, 2003 ; Beal et al., 2013 ; Pous et al., 2013 ; Vic et al., 2014).
- L'ensemble des courants (côtiers et hauturiers) interagissent et peuvent conduire, avec le concours du vent, à la formation et à l'intensification de grands tourbillons de surface (200 km de diamètre, plusieurs mois de durée de vie). Ces courants et tourbillons ont une profonde influence sur les masses d'eau (conduisant à des cisaillements de courants qui peuvent également affecter les forages sous marins) (Bower et al., 2002 ; Pous et al., 2004a,b ; Fratantoni et al., 2006 ; Carton et al., 2012 ; L'Hegaret et al., 2013, 2015a ; Vic et al., 2015).
- Enfin, les marées jouent un rôle dynamique essentiel dans les zones de faibles profondeurs, à la cote, dans les détroits (Ormuz, Bab el Mandeb) et dans le golfe Persique. Les courants de marée y sont intenses (John, 1992 ; Proctor et al., 1994 ; Pous et al., 2012).

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

#### Points de blocage scientifiques

La variabilité et les mécanismes de la production de l'eau très salée (eau persique) dans le sud ouest du golfe Persique sont mal connus en raison de la grande difficulté d'y mener des mesures in situ (navigation en eaux très peu profondes parmi les champs pétroliers et les zones naturelles protégées) (Reynolds, 1993). Ces mesures ont néanmoins été réalisées en 2014 par le SHOM sous la direction du proposant. Rappelons que la salinité de l'eau persique est supérieure à 44 pour mille à la source, alors que la salinité moyenne des océans est de 35,5 pour mille. Le taux de formation de l'eau persique, et ses caractéristiques locales, sont

mal décrits par les modèles océaniques, ce qui affecte ensuite le devenir de ces eaux dans ces modèles (Pous et al., 2015). De plus, les marées et phénomènes océaniques de haute et basse fréquences affectent ces régions de formation (voir la zone hachurée sur la figure ci dessous).



Par ailleurs, si des travaux récents ont montré la diversité des trajets de l'eau persique dans le golfe d'Oman, ils ont aussi indiqué qu'elle pouvait atteindre des zones éloignées (le nord de Murray Ridge, comme le sud d'Oman, voir figure ci dessus,), sous forme de filaments ou de petits tourbillons d'eau persique. Mais la résolution des modèles employés était trop faible pour bien caractériser cet export. Cependant ces petits tourbillons ont été observés (Senjyu et al., 1998) et en particulier pendant la campagne Physindien 2011 réalisée par le SHOM sous la direction du proposant (L'Hegaret et al., 2015a ; L'Hegaret et al., 2015b).

**La question centrale est donc de déterminer les modalités et caractéristiques de formation des eaux salées dans le golfe Persique (mer à marée), et leur export à longue distance via des tourbillons de sub-surface (ou via des filaments) en utilisant un modèle océanique à très haute résolution (HYCOM avec une maille de 1 km ou**

**moins, horizontalement). Une validation des prévisions du modèle sera menée avec les données issues des campagnes océanographiques (Physindien 2011 et 2014). L'impact de l'eau persique sur les eaux environnantes et sur la circulation régionale en mer d'Arabie sera également étudié.**

### *3-Approche méthodologique et technique envisagée :*

Cette thèse s'appuie sur la disponibilité exceptionnelle de mesures in situ dans la région (tant l'ouvert du golfe d'Oman qu'au sud ouest du golfe Persique) et d'un modèle océanique régional validé à l'échelle de 5 km, qui sera notre modèle de grande emprise.

Ce modèle (HYCOM) a été développé par le SHOM et sera mis disposition du thésard/de la thésarde. Le rôle de ce(tte) dernier(e) sera de réaliser 2 zooms régionaux à plus haute résolution (0,5 à 1 km), sur les deux régions sus-mentionnées. Avec ces simulations, il/elle pourra analyser les mécanismes physiques impliqués dans la formation des eaux salées dans le golfe Persique et la dynamique des tourbillons contenant cette eau salée, à l'ouvert du golfe d'Oman. Les jeux de données issus des campagnes en mer, les données du programme mondial de flotteurs profileurs ARGO, les données météorologiques locales ou régionales, ainsi que les données altimétriques et radiométriques des satellites, serviront pour la mise en place, et la validation des résultats, du modèle.

Le plan de travail est donc le suivant :

Année 1 : mise en place du zoom régional du modèle HYCOM à très haute résolution (0.5 km) sur le golfe Persique ; analyse des mécanismes conduisant à la formation des eaux très salées ; importance des fronts thermohalins et des fronts de marée dans la formation et le mélange de ces eaux. Analyse des instabilités de ces fronts conduisant à des tourbillons de petite taille (5 à 10 km). Importance des coups de vent locaux. Variabilité saisonnière de cette formation d'eau salée. Comparaison aux mesures de la campagne Physindien 2014b.

Année 2 : rédaction d'un article sur cette première étude et mise en place d'un zoom régional du modèle HYCOM à très haute résolution (0,5 à 1 km) sur le golfe d'Oman et son ouvert. Analyse de la dynamique des filaments et petits tourbillons d'eau persique (structures de sous méso échelle), et de leur propagation vers les cotes iraniennes et pakistanaïses.

Année 3 : Étude du mélange progressif de l'eau salée de ces tourbillons ou filaments avec les eaux environnantes. Comparaison de ces résultats aux données de la campagne Physindien 2011 ; rédaction d'un article sur cette deuxième étude et rédaction du manuscrit de thèse.

### Références bibliographiques

- Beal, L., V. Hormann, R. Lumpkin, and G. Foltz, The response of the surface circulation of the Arabian Sea to monsoonal forcing, *J. Phys. Oceanogr.*, 43(9), 2008–2022, 2013.
- Bower, A. S., Hunt, H. D., and Price, J. F.: Character and dynamics of the red Sea and the Persian Gulf outflows, *J. Geophys. Res. Oceans*, 105, 6387–6414, 2000.
- Bower, A. S., Fratantoni, D. M., Johns, W. E., and Peters, H.: Gulf of Aden eddies and their impact on Red Sea Water, *Geophys. Res. Lett.*, 29, 2025, doi:10.1029/2002GL015342, 2002.
- Bower, A. S., Johns, W. E., Fratantoni, D. M., and Peters, H.: Equilibration and circulation of Red Sea Outflow Water in the Western Gulf of Aden, *J. Phys. Oceanogr.*, 35, 1963–1985, 2005.
- Brandt P., Stramma L., Schott F., Fischer J., Dengler M. and Quadfasel D., Annual Rossby waves in the Arabian Sea from TOPEX/POSEIDON altimeter and in situ data. *Deep-Sea Research II*, 49, 1197-1210, (2002).
- Fratantoni, D. M., Bower, A. S., Johns, W. E., and Peters, H.: Somali Current rings in the eastern Gulf of Aden, *J. Geophys. Res.*, 111, C09039, doi:10.1029/2005JC003338, 2006.
- John, V.C. : Harmonic Tidal Current Constituents of the Western Arabian Gulf from Moored

- Current Measurements, Coastal Engineering, 17, 145-151, 1992.
- Johns, W., Yao, F., Olson, D. B., Josey, S. A., Grist, J. P., and Smeed, D. A.: Character and dynamics of the Red Sea and the Persian Gulf outflows, J. Geophys. Res.-Oceans, 105, 6387-6414, 2000.
- Lee, C. M., Jones, B. H., Brink, K. H., and Fisher, A. S.: The upper-ocean response to monsoonal forcing in the Arabian Sea: seasonal and spatial variability, Deep-Sea Res. Pt. II, 47, 1177-1226, 2000.
- Polito, P. S., and W. T. Liu (2003), Global characterization of Rossby waves at several spectral bands, J. Geophys. Res., 108(C1), 3018, 2003
- Prasad, T. G., Ikeda, M., and Prasanna Kumar, S.: Seasonal spreading of the Persian Gulf Water mass in the Arabian Sea, J. Geophys. Res., 106, 17059-17071, 2001.
- Proctor, R., Flather R.A. and J. Elliott, Modeling Tides and Surface Drift in the Arabian Gulf: Application to the Gulf Oil Spill, Continental Shelf Research, 14, 5, 531-545, 1994.
- Reynolds R.M., Physical Oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman-Results from the Mt Mitchell Expedition, Mar Pollution Bull., 27, 35-59, 1993.
- Schott, F. A. and Fisher, J.: Winter Monsoon circulation of the Northern Arabian Sea and Somali Current, J. Geophys. Res., 105, 6359-6376, 2000.
- Senjyu, T., Ishimaru, T., Matsuyama, M., and Koike, Y.: High salinity lens from the Strait of Hormuz, in: Offshore Environment of the ROPME Sea Area after the War-Related Oil Spill, Terrapub, Tokyo, 35-49, 1998.
- Shapiro, G.I., Meschanov, S.L. and Polonsky, A.B.: Red Sea water lens formation in Arabian Sea. Oceanology, 34(1), 26-31, 1994.
- Shi, W., Morrison, J. M., Bohm, E., and Manghnani, V.: The Oman upwelling zone during 1993, 1994 and 1995, Deep-Sea Res. Pt. II, 47, 1227-1247, 2000.
- Thoppil, P. G. and Hogan, P. J.: On the mechanisms of episodic salinity outflow events in the Strait of Hormuz, J. Phys. Oceanogr., 39, 1340-1360, 2009.

Références du proposant (X. Carton) sur le sujet :

- S.P. Pous, X. Carton & P. Lazure: Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman ; results from the GOGP99 Experiment. Part I. Strait of Hormuz. J. Geophys. Res., 109, C12037, 1-15, (2004a).
- S.P. Pous, X. Carton & P. Lazure: Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman ; results from the GOGP99 Experiment. Part II. Gulf of Oman. J. Geophys. Res., 109, C12038, 1-26, (2004b).
- X. Carton, P. L'Hegaret and R. Baraille: Mesoscale variability of water masses in the Arabian Sea as revealed by ARGO floats. Ocean Sci., 8, 227-248, (2012).
- S. Pous, X. Carton, P. Lazure: A process study of the tidal circulation in the Persian Gulf. Open J. Mar. Sciences, 2, 4, 131-140, (2012).
- S. Pous, X. Carton, P. Lazure: A process study of the wind-induced circulation in the Persian Gulf. Open J. Mar. Sciences, 3, 1, 1-11, (2013).
- P. L'Hegaret, L. Lacour, X. Carton, G. Rouillet, R. Baraille, S. Correard: A seasonal dipolar eddy near Ras al Hamra, Sea of Oman. Ocean Dynamics, 63, 6, 633-659, (2013).
- C. Vic, G. Rouillet, X. Carton, X. Capet: Mesoscale dynamics in the Arabian Sea and a focus on the Great Whirl lifecycle: a numerical investigation using ROMS. J. Geophys. Res., 119, 9, 6422-6443, (2014).
- S. Pous, P. Lazure, X. Carton: A model of the general circulation in the Persian Gulf and in the Straits of Hormuz: intraseasonal to interannual variability. Cont. Shelf Res., 94, 55-70. (2015).
- P. L'Hegaret, R. Duarte, X. Carton, C. Vic, D. Ciani, R. Baraille and S. Correard, 2015: Seasonal mesoscale variability in the Arabian Sea from HYCOM model and observations: impact on the Persian Gulf Water path. Ocean Science, 11, 667-693, (2015a).

C. Vic, G. Rouillet, X. Capet, X. Carton, M.J. Molemaker and J. Gula: Eddy-topography interactions and the fate of the Persian Gulf Outflow. *J. Geophys. Res.*, 120, 6700-6717, (2015).

L'Hégaret, P., Carton, X., Louazel, S., Boutin, G.: A submesoscale lens of Persian Gulf Water

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

Étudiant(e) ayant validé son master d'océanographie physique et/ou de météorologie dynamique et/ou de modélisation numérique en mécanique des fluides. Pour les premier(e)s, une connaissance en modélisation numérique sera importante ; pour les dernier(e)s, une connaissance supplémentaire en fluides géophysiques sera requise.

Connaissance de l'anglais scientifique requise.

Une expérience en analyse de données sera appréciée.

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

Le contexte de l'étude de l'océan Indien est favorable en France : pour mieux comprendre le couplage physique - biogéochimie ou l'impact sur le climat régional (en particulier la mousson), des chercheurs bretons, parisiens et toulousains étudient la mer d'Arabie, ainsi que l'océan indien tropical et sud.

L'équipe demanderesse a l'avantage, via sa collaboration avec le SHOM, de disposer à la fois de données récentes et très denses dans cette région difficile d'accès (en particulier vu la piraterie), et d'un modèle validé grâce aux études antérieures. Ces études précédentes ont aussi conféré une certaine expertise à cette équipe.

Il faut noter une croissance forte de l'intérêt d'autres pays sur ce sujet, en particulier les USA. Nos jeunes docteurs se voient proposer des post-doctorats dans les plus prestigieux centres de recherche américains (RSMAS à Miami, Scripps Institution à San Diego).

Enfin, nos participations aux conférences internationales, avec ces autres équipes françaises ou américaines, nous permettent d'échanger les résultats les plus récents et de bien focaliser les prochaines études à mener.

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

DIS prioritaire :

**3F - Sécurité et sûreté maritime**

*La connaissance des courants marins (pour la navigation) mais aussi des masses d'eau (pour les besoins de la Défense) est essentielle à la sécurité des navires civils et militaires français croisant dans cette région, ainsi qu'à la sûreté et la continuité de exploitation des ressources naturelles.*

DIS secondaire :

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

*Le travail proposé concerne l'observation et la prévision (à terme) de l'environnement marin (environnement physique) et il permettra ensuite de mettre en œuvre un couplage avec la biogéochimie marine, une fois les études physiques achevées. Ce couplage a déjà été mis en œuvre dans des modèles à plus basse résolution.*

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

Demande de validation par l'Axe 1 du Labex Mer : L'océan à très haute résolution/Ocean Engine at very high resolution. Cette demande a été approuvée.

#### 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) : néant**
- **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 : néant**

#### 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) : cofinancement UBO non encore acquis (décision de l'EDSM)**
- **Si oui, préciser la nature du cofinancement (ANR, partenaire privé, Ademe, etc.) : la demande de co-financement sera faite à l'UBO (EDSM)**
- **Si le cofinancement n'est pas encore confirmé, date prévue de réponse du cofinancier : début juillet 2016 lors du conseil de l'Ecole Doctorale des Sciences de la Mer**
- **En cas de non-obtention du cofinancement demandé, une autre source de cofinancement est-elle identifiée (oui/non) : non**

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