

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Formulaire demande de financement: ARED - ETABLISSEMENTS

pour dépôt sur le serveur <https://theses.u-bretagne-normandie.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*) : TuToDyCo

Intitulé du projet en langue française : Turbulence, Topographie et Dynamique Cotiere

Intitulé du projet en langue anglaise : Turbulence, topography and coastal dynamics

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

Établissement porteur du projet : UBO

Ecole Doctorale : EDSML

Identification du responsable du projet (futur directeur de thèse)

Nom du laboratoire d'accueil : LOPS - Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale

Code du laboratoire (U/UMR/USR/EA/JE/...) : UMR 6523

Directeur¹ du Laboratoire : Dr Jerome PAILLET, IFREMER

Nom de l'équipe de recherche : OSI (Ocean Scales Interactions)

Nombre HDR dans le laboratoire : 21 Nombre de thèses en cours : 28 Nombre de post-docs en cours : 16

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

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

- Téléphone : 0290915509

- Publications récentes du directeur de thèse

total 122 de rang A, 9 de rang B, 14 proceedings, 1 chapitre de livre

sur les 5 dernières années (2016-2020) : 42 articles de rang A

(5 références max au cours des 5 dernières années)

T.A. Capuano, S. Speich, X. Carton, B. Blanke, 2018: Mesoscale and submesoscale processes in the Southeast Atlantic and their impact on the regional thermohaline structure. J. Geophys. Res., 123, 3, 1937-1961.

M. Morvan, X. Carton, J. Gula, P. L'Hegaret, C. Vic, M. Sokolovskiy, K. Koshel, 2019: The life cycle of submesoscale eddies generated by topographic interactions. Ocean Sci., 15, 1531-1543.

K. Koshel, E. Ryzhov, X. Carton, 2019: Vortex Interactions Subject to Deformation Flows : A Review. Fluids, 4, (1), 14

C. de Marez, M. Morvan, P. L'Hegaret, B. Le Vu, A. Stegner, T. Meunier, X. Carton, 2020: Oceanic vortex mergers are not isolated but influenced by the beta-effect and surrounding eddies. Sci. Rep., 10, Article number: 2897.

C. De Marez, M. Morvan, T. Meunier, P. L'Hegaret, X. Carton, 2020: Study of the stability of a large realistic cyclonic eddy. Ocean Modelling, 146, 101540.

- 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)

2015-2021

- Pierre L'Hegaret, Dynamique des outflows persiques et de la Mer Rouge dans la Mer d'Arabie, à méso échelle
PhD thesis defended at UBO, March, 3, 2015 (contrat SHOM, co-direction with Remy Baraille),
Research assistant at LMD, ENS, Paris

- Clément Vic, Western Boundary Dynamics in the Arabian Sea
PhD thesis defended at UBO, November, 12, 2015 (bourse DGA, co-direction with Guillaume Roullet and Xavier Capet). Research assistant at LOPS

- Moussa Omar Youssouf, Etude de l'habitat epipelagique du golfe de Tadjourah (Djibouti)
PhD thesis defended at UBO, 23 March 2016 (co-direction with Laurent Memery), permanent
researcher at CERD, Djibouti

- Daniele Ciani, tourbillons oceaniques intensifies en subsurface : signature en surface et
interactions mutuelles
PhD thesis defended at UBO, 26 October 2016 (bourse DGA-UBO, co-direction with Bertrand
Chapron), research assistant at CNR Rome

- Tonia Astrid Capuano, Small-scale ocean dynamics in the Cape Basin and its impact on the
regional circulation
PhD thesis defended at UBO, 4 December 2017 (financement LMD ENS Paris, co-direction
with Sabrina Speich), post-doctoral fellow at Federal University of Recife, Bresil.

- Emeric Baquet, Ondes internes dans le Golfe de Guinee : cartographie et modelisation
PhD thesis defended at UBO, 22 February 2018 (Bourse CIFRE-SHOM-Actimar, co-direction
with Annick Pichon), post-doctoral fellow at IFREMER.

- Mathieu Morvan, Impacts des tourbillons meso et sous-meso-echelles dans les Golfes
d'Oman et d'Aden sur les outflows du golfe Persique et de la Mer Rouge (Contrat SHOM)
PhD thesis at UBO, defended October 19, 2020, Research Engineer at SHOM

- Adam Ayouche : Dynamique de fine échelle des panaches de la Loire et de la Gironde dans le Golfe de Gascogne (Bourse IFREMER, co-direction with Guillaume Charria and Nadia Ayoub),
PhD thesis at UBO to be defended March 2021

- Charly De Marez, Dynamique des tourbillons de la mer d'Arabie (Bourse 100 % DGA, co-direction with Thomas Meunier),
PhD thesis at UBO to be defended June 2021

Theses en cours

- Morgane Dessert, Modélisation et détection SAR des ondes internes dans le détroit de Gibraltar. PhD thesis to be defended at UBO, January 2022 (25% co-direction with Jean Marc Le Caillec and Christophe Messager). Bourse CIFRE-DGA-Exwexs

- Ashwita Chouksey, Submesoscale subsurface eddies in the Atlantic Ocean and their rôle in the global heat flux. PhD thesis to be defended at UBO, October 2022 (25% co-direction with Jonathan Gula). Bourse CNRS-contrat ANR

- Armand Vic, Couplage océan-atmosphère : rôle dans la dynamique de méso échelle, zone EUREC4A-OA. PhD thesis to be defended at UBO, September 2023 (50% co-direction with Jonathan Gula, Jim McWilliams, L. Renault) - Contrat Doctoral Scientifique Normalien

Co-directeur de thèse (HDR ou équivalent étranger) éventuel :
Jonathan GULA

Laboratoire de recherche : (nom + code U/UMR/USR/EA/JE/...) LOPS, UMR 6523

- e-mail : jonatha.gula@univ-brest.fr

- Téléphone : 02 9091 5539

- **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)

Pauline Tedesco (directeur 100%), Ashwita Chouksey (75 %, avec X Carton)

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

Financement du projet de thèse

En cas de financement à 50 %, le cofinancement est-il déjà identifié :
identifie oui (UBO) mais obtenu, non.

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

Juillet 2021 (decision conseil EDSML)

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) ? non

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 : non

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

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

merci de respecter ce format maxi compatible avec extranet région

Résumé du projet (4000 caractères maxi espaces compris) :

La mer d'Arabie est un domaine très riche pour la dynamique océanique ainsi que pour la biologie et la biogéochimie marines. Dans cette thèse, nous proposons d'étudier le couplage entre circulation côtière (en particulier un upwelling intense de sud Oman) et le champ de tourbillons environnant, d'une part, et d'autre part entre ces tourbillons, la topographie environnante et les ondes océaniques.

Cette thèse s'appuiera d'abord sur une modélisation idéalisée, puis sur la modélisation réaliste et sur des données in-situ et satellite. Les données in-situ ont été acquises en 2019 lors d'une campagne synoptique dédiée. Les conclusions des études plus analytiques menées en premier seront génériques et donc largement applicables.

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 Mer d'Arabie est un domaine riche pour la dynamique et la biologie marines (Carton et al., 2012; Vic et al., 2014; L'Hegaret et al., 2015; Piontkovski and Queste, 2016). Pour la dynamique, de très nombreux effets coexistent et interagissent (voir figure 1). La Mer d'Arabie est donc un laboratoire particulièrement intéressant pour les interactions non linéaires entre échelles et entre processus dans l'océan.

Cette dynamique est d'abord dominée par le forçage du vent de mousson, qui s'inverse en direction deux fois par an, et par une forte évaporation contribuant à la présence d'eaux salées proches de la surface. De plus, les mers marginales (Golfe Persique, Mer Rouge) déversent aussi en mer d'Arabie des eaux très salées qui se stabilisent en profondeur pour y former des courants, panaches et tourbillons profonds (à 300-700m de profondeur; Pous et al., 2004; Bower and Furey, 2012; Morvan et al., 2019; L'Hegaret et al., 2013, 2015). Enfin des eaux beaucoup moins salées (influencées par des fleuves) proviennent du golfe du Bengale.

Les vents sont aussi responsables de la remontée d'eaux froides profondes, le long des côtes de la Somalie et d'Oman. Ces eaux contrastent avec les eaux chaudes du large, dont elle sont séparées par un front thermique (voir figure 2). Ce front peut être instable et déferler en tourbillons et en filaments, qui exportent des eaux riches en nutriments (et en activité biologique) vers le large.

Surface Currents over Speed (cm/s)
NRL global NCOM glb8_3b
02-01-2013 00Z analysis 0000 m

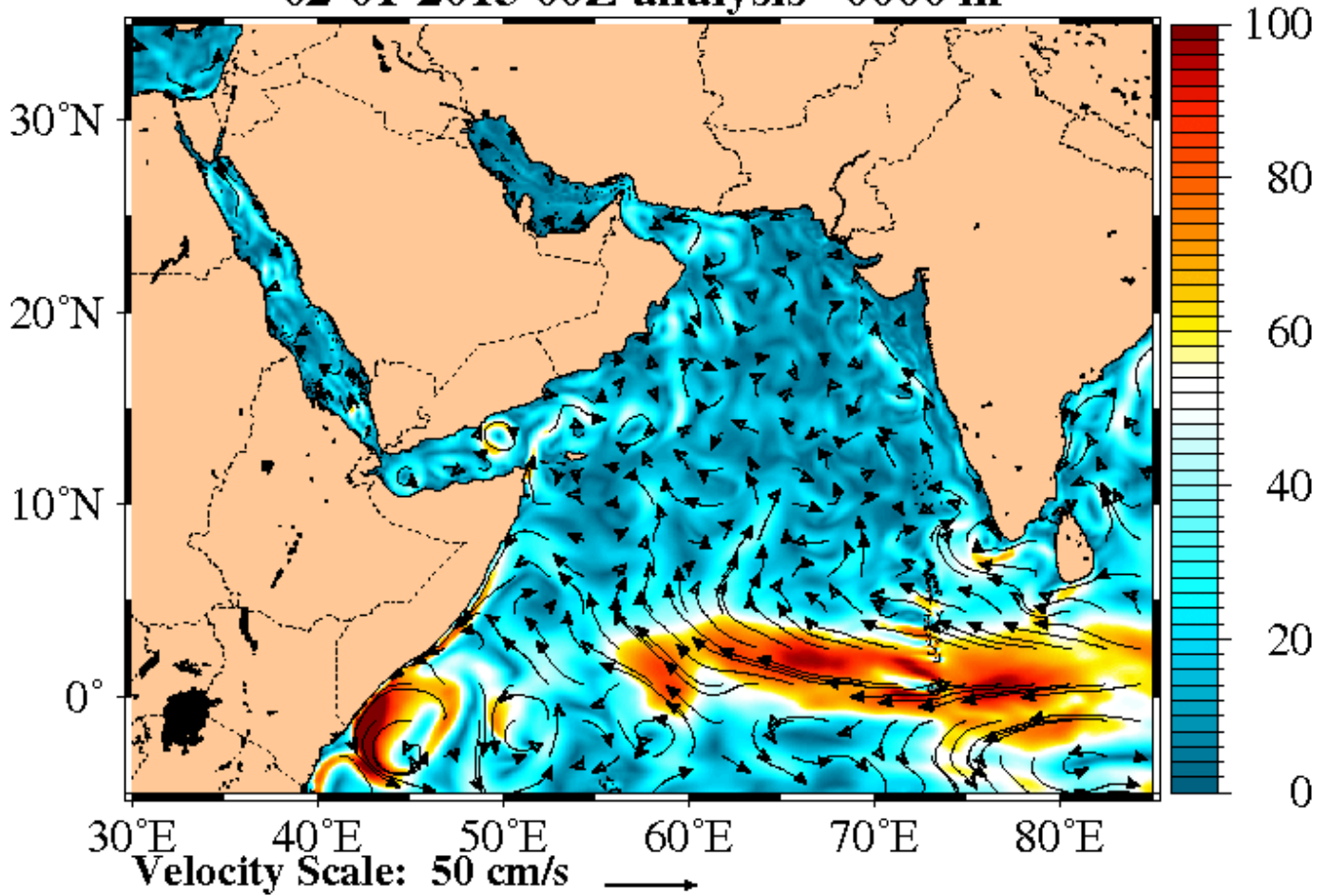


Figure 1 : courants dans la mer d'Arabie et dans l'océan Indien NW

Les variations de densité génèrent des ondes d'ajustement (ondes de Kelvin) le long des côtes et des ondes de Rossby, qui partent du bord est du domaine, vers l'ouest. Ces ondes de Rossby peuvent déferler elles mêmes en tourbillons. Les courants côtiers, forces par le vent et les gradients de densité, sur les talus continentaux, peuvent aussi être instables et former des tourbillons (Vic et al., 2015; L'Hegaret et al., 2015, 2016).

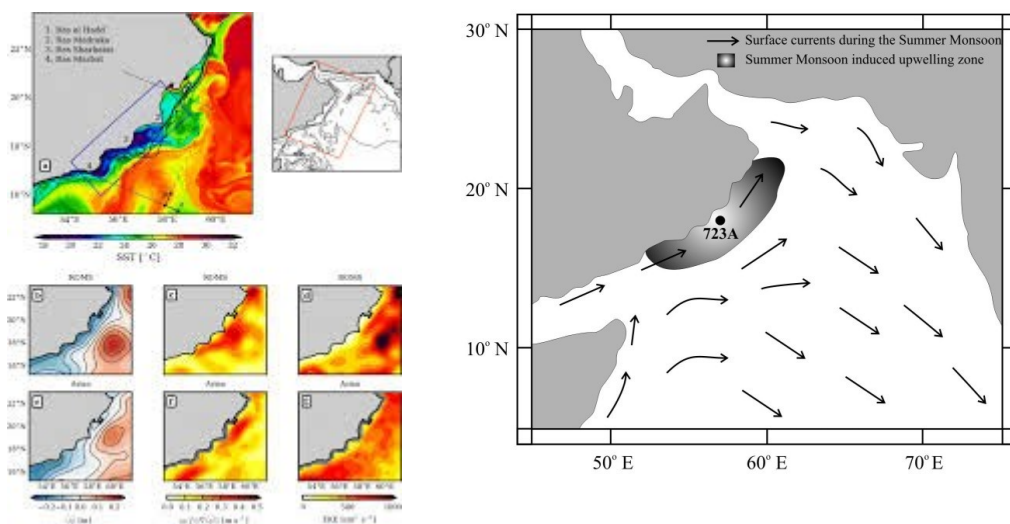


Figure 2 : gauche : température de surface de l'upwelling de Sud Oman, filaments et

tourbillons associés ; droite : représentation schématique de l'upwelling de Sud Oman et des courants environnants

Enfin, la topographie de la région est complexe en raison de la séparation des plaques continentales, et donc elle est marquée par des rides (Murray, Sheba, Chain), des fissures profondes (Tadjoura, Owen) et des dépressions (grands fonds) entourées de remontées bathymétriques (plaine abyssale d'Oman, plaine abyssale de Somalie).

Parmi les tourbillons, nombre d'entre eux se déplacent au cours du temps et interagissent avec leurs proches voisins. Cependant deux structures, le Great Whirl et le dipôle de Ras al Hadd (voir figure 3), sont stationnaires et de longue durée de vie (6 mois par an; Vic et al., 2014). Ces deux structures tourbillonnaires partagent des caractéristiques : durée de vie, position sur une dépression bathymétrique, maintien via l'absorption d'autres tourbillons ou d'ondes de Rossby, proximité avec un upwelling, interaction avec la dynamique côtière.

Si la génération de tourbillons par l'instabilité d'un front d'upwelling a déjà été étudiée, l'interaction d'un upwelling avec des tourbillons générés (et maintenus) par d'autres mécanismes n'a pas été analysée en détail.

En particulier l'impact de ces tourbillons extérieurs sur la stabilité du front d'upwelling, et sur l'export des eaux côtières vers le large doit être quantifié.

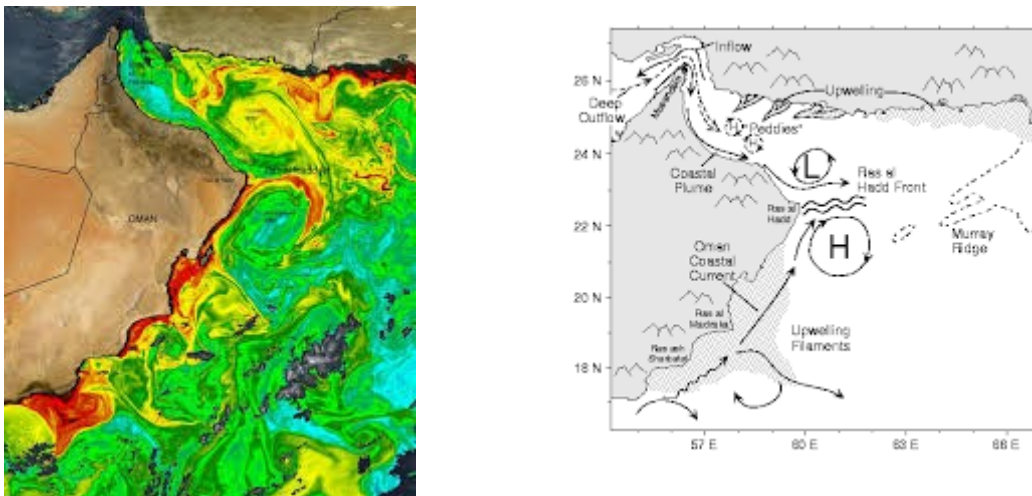


Figure 3 : le dipôle tourbillonnaire de Ras al Hadd au SW de la péninsule arabe : image de Chlorophylle a (gauche) et schéma de la circulation régionale (droite)

Nous souhaitons prendre l'upwelling sud Oman et le dipôle de Ras al Hadd comme cas d'étude. D'autres aspects dynamiques, liés à ce dipôle et à la circulation côtière, sont également mal connus : Comment la topographie, les ondes de Rossby ou la turbulence environnante contribuent-elles au maintien local et au renforcement du dipôle sur une durée de plusieurs mois? Comment le dipôle interagit-il avec la topographie proche (en particulier la ride de Murray) et comment cette interaction peut-elle générer des tourbillons de plus petite échelle, soit en surface, soit à la profondeur du panache d'eau persique? Comment ce dipôle interagit-il avec les ondes côtières et les ondes d'inertie (en particulier celles générées par le vent)?

Ces différents processus interagissent et contribuent au transfert d'énergie entre différentes échelles de mouvement, et entre la côte et le large.

Par exemple, l'instabilité libre ou forcée d'un front d'upwelling transfère l'énergie de la méso échelle (taille caractéristique de l'upwelling) à la sous-méso échelle (filaments et SCV). Pour ce qui concerne le sillage de monts sous-marins, des simulations à haute résolution ont déjà montré une turbulence très active avec ondes de sillage, instabilité centrifuge, génération de

tourbillons de sous méso échelle (SCV),. Il a aussi été observé dans des simulations que, dans des dépressions topographiques, les tourbillons quasi-permanents étaient forcés par des flux turbulents, sous forme de SCV, et impliquant des interactions entre modes verticaux très différents. Enfin les interactions entre tourbillons et ondes proches-inertielles sont intenses autour des fronts proches de la surface.

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

Cette thèse s'appuiera sur 3 sources de données :

-les données in situ avec une campagne dédiée a l'upwelling Sud Oman (Physindien 2019) ainsi qu'une base de données historique complète et re-traitée (incluant en particulier les campagnes JGOFS 1996-97 de Sud Oman).

- les données satellite (SSH, SST, couleur de l'eau) traitées pendant toute la campagne Physindien 2019 mais aussi disponibles sur plusieurs décennies.

- deux modèles numériques : un modèle HYCOM de l'océan Indien NW et des mers marginales à 1 km de résolution horizontale et un modèle local (ROMS-CROCO) de la mer d'Arabie à 0,5 km de résolution (avec zooms). Ce même modèle ROMS-CROCO sera utilisé pour des études de processus.

Nous proposons d'aborder cette étude

1) par l'analyse dans une configuration idéalisée de l'interaction d'un upwelling avec un ou plusieurs tourbillons extérieurs dans ROMS (fond plat puis topographie côtière), puis l'analyse de la stabilité (et de l'évolution) d'un dipôle près d'un cap (dans une plaine abyssale entourée de remontées bathymétriques). La sous méso échelle engendrée par ce dipôle sur les remontées bathymétriques environnantes sera analysée. Ensuite l'effet du dipôle stationnaire sur l'upwelling sera étudié.

2) la validation de cette première étude dans le cadre des modèles numériques réalistes régionaux avec un zoom à très haute résolution (< 250m) localement. Dans ce modèle, l'effet du vent et des ondes inertielles sur les tourbillons sera particulièrement évalué. Les ondes côtières seront identifiées et décrites et leur impact sur les tourbillons environnants sera quantifié. Cette analyse sera effectuée sur des runs pluri-annuels de façon a étudier la variabilité inter-annuelle des réponses océaniques aux forçages atmosphériques. L'export des eaux de l'upwelling vers le large par les filaments et tourbillons sera étudié dans HYCOM.

3) l'analyse de l'export d'eau d'upwelling par un champ de tourbillons complexe via des données synoptiques recueillies pendant Physindien 2019 (et la comparaison avec JGOFS 1996) ; cette étape viendra en validation/comparaison des deux études précédentes.

L'écriture d'articles au moins sur les 2 premières parties du travail sera requise pendant la thèse.

Bibliographie

Bower A.S. and H.H. Furey, 2012: Mesoscale eddies in the Gulf of Aden and their impact on the spreading of Red Sea Outflow Water, *Prog. Oceanogr.*, **96**, 14-39.

Carton X., P. L'Hegaret and R. Baraille, 2012: Mesoscale variability of water masses in the Arabian Sea as revealed by ARGO floats. *Ocean Sci.*, **8**, 227-248.

L'Hegaret P. , 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.

L'Hegaret P., R. Duarte, X. Carton, C. Vic, D. Ciani, R. Barailleand 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.

L'Hegaret P., X. Carton, S. Louazel, G. Boutin, 2016: A submesoscale lens of Persian Gulf Water off the Omani coast in Spring 2011. *Ocean Sci.*, **12**, 687-701.

Morvan M., X. Carton, P. L'Hegaret, C. de Marez, 2019: Life cycle of mesoscale eddies in the Gulf of Aden. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.*, **114**, 4-5, 631-649.

[Piontkovski](#) S.A. and B. Queste, 2016: Decadal changes of the Western Arabian Sea ecosystem. *International Aquatic Research* **8**, 49-64

Pous, S., Carton, X., and Lazure, P., 2004 Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman—Results from the GOGP99 Experiment: 2. Gulf of Oman, *J. Geophys. Res.*, **109**, C12038.

Vic C., G. Roullet, X. Carton and 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.

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

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

Concernant le positionnement scientifique, il est essentiel d'étudier les upwellings qui sont des zones de forte activité biologique et concentrant les pêcheries. De plus, ces zones sont d'une part des indicateurs du changement climatique car à la fois les changements de courants et de vents affectent fortement les zones d'upwelling (par exemple avec El Nino). Et d'autre part, les upwellings interagissent fortement avec la dynamique océanique du large, en particulier la dynamique turbulente, amenant à la production de longs filaments d'eau froide riches en nutriments. Ces filaments permettent l'enrichissement biologique des eaux du large.

Il faut noter que le problème que nous proposons d'étudier ici (interaction entre un upwelling et une turbulence externe) est général et se retrouve aussi bien pour les upwellings de la façade portugaise ou marocaine que dans le golfe de Gascogne.

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

Le contexte scientifique a été rappelé ci dessus ; les éléments partenariaux sont indiqués ci dessous

Nationalement, ce projet s'inscrit dans une coopération avec le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) et avec la DGA (Délégation Générale à l'Armement) qui ont financé trois campagnes océanographiques et 3 thèses de doctorat sur la mer d'Arabie dans les 10 dernières années.

Internationalement, nous avons de plus des contacts scientifiques avec le Pr Seguey A. Piontkovsky et le Dr Adnan Al-Azri de l'Université Sultan Qaboos de Mascat, Sultanat d'Oman pour mener des études sur la région, en particulier sur des zones importantes pour la physique ET pour la biologie marines.

Le candidat

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

Le candidat/la candidate sera titulaire d'un master de physique des océans ou de l'atmosphère ou de mécanique théorique ou de mathématiques appliquées. Il/elle aura acquis pendant ses études une solide base en mathématiques appliquées et en physique. Si sa spécialité n'est pas l'océanographie, il/elle aura acquis des connaissances de base sur la dynamique océanique.

Il/elle aura une expérience et des compétences en programmation scientifique, de préférence en fortran et en python.

Des éléments factuels montrant sa motivation pour l'étude de la dynamique océanique et pour le travail de recherche sont indispensables. Ceci peut être avéré par des évaluations par le corps enseignant.