

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT
D'ILE DE France N° 129
Proposition de sujet de thèse pour la rentrée 2020

Nom du Laboratoire d'accueil : LOCEAN-IPSL N° UMR : 7159
Nom du Directeur du laboratoire : Jean-Benoit CHARASSIN
Adresse complète du laboratoire : S.U., 4 pl. Jussieu, 75252 Paris cedex 05
Nom de l'Equipe d'accueil et adresse si différente de celle du laboratoire : VARCLIM et VOGUE
Nom du directeur de thèse HDR : Alban LAZAR ,
Téléphone : 0144277536
Mail : alban.lazar@upmc.fr

- **Titre de la thèse en Français :**
Estimation et Impact des vitesses verticales à grande échelle de l'océan global hauturier
- **Titre de la thèse en Anglais:**
Assessment and Impact of large scale vertical velocities of the global open ocean

- **Résumé Sujet en Français (1 page maximum) :**

La composante verticale des mouvements océaniques est un élément fondamental de notre compréhension des océans et de leurs interactions avec les autres compartiments du système terrestre. La vitesse verticale (w) explique en grande partie la distribution des variables-clés telles que la stratification, les courants, la ventilation des masses d'eau, les flux de nutriments, la séquestration du carbone dans les abysses, etc.

En général cependant, les vitesses verticales sont trop petites ($<10^{-5}$ m/s) pour être directement observables, ce qui signifie que la connaissance du mouvement vertical ne peut être déduite qu'en combinant des modèles théoriques avec des quantités plus facilement observables. Cependant, les estimations à l'échelle des bassins du mouvement vertical demandent encore à être développées et l'absence de telles estimations est préjudiciable à l'évaluation précise du fonctionnement de l'océan. Il s'agit donc d'un problème important à aborder, et des preuves récentes du haut degré de validité de l'équilibre de vorticité linéaire (LVB) aux grandes échelles spatio-temporelles suggèrent qu'une reconstruction de w est réalisable, dans une mesure qui reste à déterminer.

Des tentatives préliminaires utilisant un OGCM montrent que le LVB domine largement la circulation de la pycnocline en Atlantique, et souvent plus profondément, à toutes les latitudes loin des côtes. Ceci est cohérent avec les analyses qui soulignent la validité de l'équilibre de Sverdrup (Wunsch, 2011) ou sur des courants géostrophiques dérivés de la base ARGO (Gray et Riser 2014, Colin de Verdière et Ollitrault, 2016). Il reste alors à quantifier une condition limite inférieure ou supérieure pour que le profil de w dérivé du LVB soit calculable. Le fait que les flotteurs ARGO et les satellites fournissent des mesures en continu suggère que les estimations de w pourraient être réalisées non seulement en climatologie annuelle, saisonnière, et peut-être aussi en temps différé par décennies.

Nous proposons donc un sujet de doctorat consistant à étudier les possibilités de rationaliser le champ océanique mondial $w(z)$ climatologique et à le reconstruire en utilisant le champ de vitesse méridional bien contraint. Dans une première partie, la moyenne de la simulation interannuelle DRAKKAR sera considérée comme un état de référence de l'océan. Le candidat déterminera les zones, les échelles spatiales et temporelles pour lesquelles le LVB est valide et dans quelle mesure son intégration verticale avec les conditions aux limites appropriées fournit un $w(z)$ suffisamment précis. Les erreurs dans la reconstruction seront minimisées en choisissant les zones et les échelles spatiales et temporelles optimales. Les erreurs seront interprétées à la lumière des équations de la dynamique des fluides géophysiques et fourniront des indications pour la deuxième partie de l'étude.

La deuxième partie du travail sera consacrée à la reconstruction à partir des observations.

Le candidat étudiera les moyens indirects de valider le champ de vitesse verticale de l'OGCM et de la reconstruction. Il devra réaliser une estimations de $w(z)$ en utilisant les courants méridionaux dérivés des profileurs ARGO (produit existant SURCOUF3D), et les mesures satellites de hauteur de la surface de la mer et du de vent comme conditions aux limites supérieures. Pour la validation de la méthodologie et des reconstructions, il sera utile de rechercher des campagnes de mesures de courantomètres placés sur des faces de triangles ou de carrés, permettant le calcul des estimations de la divergence horizontale réelle (dw/dz). Les champs moyens globaux de profils de traceurs biogéochimiques et les mesures de stations fixes seront utilisés pour estimer les flux advectifs par $w(z)$. Les résultats seront comparés à ceux de simulations du modèle PISCES. En parallèle, l'étudiant devra développer des collaborations avec des groupes de scientifiques de diverses communautés intéressés par une meilleure connaissance de $w(z)$ à grande échelle, qui pourront, par leur connaissance des distribution de traceurs spécifiques, aider le candidat à valider indirectement les reconstructions.

Les principaux résultats attendus de ce travail seront les suivants: 1) l'élaboration d'une nouvelle approche pour la compréhension et l'estimation du champ de vitesse verticale de l'océan global; 2) la création de nouvelles données à partir d'observations permettant d'ajouter la 3^e dimension au données climatologiques existantes de mouvement des masses d'eau de la thermocline de l'océan mondial (ventilation), et l'ouverture de nouvelles pistes pour les recherches sur les traceurs, passif et actifs, qui dépendent fortement de w , en biogéochimie et en physique.

• **Résumé Sujet en Anglais (1 page maximum) :**

The vertical component of oceanic movements is a fundamental part of our understanding of the oceans and their interactions with other compartments of the Earth system. Vertical velocity (w) largely explains the distribution of key variables such as stratification, currents, water mass ventilation, nutrient fluxes, carbon sequestration in the abyss, and so on.

In general, however, vertical velocities are too small ($<10^{-5}$ m/s) to be directly observable, which means that knowledge of vertical motion can only be inferred by combining theoretical models with more easily observable quantities. However, basin-scale estimates of vertical movement still need to be developed and the absence of such estimates is detrimental to the accurate assessment of ocean functioning. This is therefore an important problem to be addressed, and recent evidence of the high degree of validity of the linear vorticity equilibrium (LVB) at large spatio-temporal scales suggests that a reconstruction of w is feasible, in a measure to be determined.

Preliminary attempts using an OGCM show that LVB largely dominates the circulation of the pycnocline and even more deeply. This is consistent with analyzes that emphasize the validity of the Sverdrup equilibrium, based on ocean reanalysis (Wunsch, 2011) or geostrophic currents derived from the ARGO base (Gray and Riser 2014, Colin de Verdière and Ollitrault, 2016). It then remains to quantify a lower or upper limit condition for the geostrophic w (derived from the geostrophic LVB) to be computable as a function of the vertical. The fact that ARGO floats and satellites provide continuous measurements suggests that estimates of w could be made not only in annual climatology, but perhaps also in deferred time by decades.

We therefore propose a Ph.D. subject to study the possibilities of rationalizing the global climatological $w(z)$ field and reconstructing it, using the well-constrained meridional velocity field. In a first part, the average of an reference OGCM simulation will be considered as a reference state of the ocean. The candidate will determine the areas, spatial and temporal scales for which the LVB is valid and to what extent its vertical integration with the appropriate boundary conditions provides a sufficiently accurate $w(z)$. Errors in the reconstruction will be minimized by choosing the optimal areas and spatial and temporal

scales. The errors will be interpreted in the light of geophysical fluid dynamics equations and will provide guidance for the second part of the study.

The second part of the work will be devoted to reconstruction from observations. The candidate will study the indirect means of validating the vertical velocity field of our reference OGCM and of the new reconstruction. He will have to make estimates of $w(z)$ using existing meridional currents climatologies (i.e. SURCOUF3D), and satellite measurements of changes in sea surface height and wind stress, as upper boundary conditions. For the validation of the methodology and the reconstructions, it will be useful to look for measurement campaigns of currentmeters placed on faces of triangles or squares, allowing the calculation of the estimates of dw/dz . Vertical advective fluxes of biogeochemical tracers (e.g ; N, CO₂, O₂) will be computed using mean global observed climatologies as well as and profiles from fixed stations. Results are to be compared with PISCES model simulations. In parallel, the student will have to develop collaborations with groups of scientists from various communities interested in a better knowledge of $w(z)$, who can, by their knowledge of the distribution of specific tracers, help the candidate to indirectly validate his reconstructions.

The main expected outcomes of this work will be : 1) the development of a new approach for the understanding and estimation of the vertical velocity field in the ocean; 2) to create new data from observations providing the 3d component to the climatological dataset of the thermocline water masses movements over the global ocean, and open new directions for researches on tracers or tracer-like quantities that depend strongly on w , in biogeochemistry and physics.

Collaborators of the study:

Dr. Diana Ruiz-Pino

Dr A. Colin de Verdière, Professeur émérite, LOPS, Université de Bretagne Occidentale

Dr. Remi Tailleux, Associate Professor in Physical Oceanography, Department of Meteorology, University of Reading

Dr G. Madec, CNRS, LOCEAN

Bibliography :

Colin de Verdière, A. and M. Ollitrault, 2016: A Direct Determination of the World Ocean Barotropic Circulation. *J. Phys. Oceanogr.*, 46, 255–273

Gray, A. R., and S. C. Riser, 2014: A Global Analysis of Sverdrup Balance Using Absolute Geostrophic Velocities from Argo. *J. Phys. Oceanogr.*, 44, 1213–1229.

Ndoye, S., P. Estrade, and A. Lazar, 2011: Estimation des vitesses verticales en Atlantique à l'aide de la géostrophie. Thèse de Master 2. Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal

Pedlosky, J. 1996. *Ocean Circulation Theory*. Springer.

Roquet, F., Wunsch, C., & Madec, G. (2011). On the patterns of wind-power input to the ocean circulation. *Journal of physical oceanography*, 41(12), 2328-2342.

Wunsch, C., 2011: The decadal mean ocean circulation and Sverdrup balance. *J. Mar. Res.*, 69, 417–434.

• Type de financement autre que ED 129, précisez si envisageable ou acquis (CNES, CEA, ADEME etc...) :

Financement du projet de recherche correspondant (OSTST-CNES) acquis pour 4 ans 2017-2020. Co-financement par une bourse CNES possible, et envisagé au titre de membre du groupe de recherche OSTST.

• Encadrement :

. Liste des autres doctorants que vous encadrez au 1er janvier 2020

Dahirou WANE, UCAD-Sénégal, co-financements divers, juin 2020.
Badara SANE, UCAD-SU, financement UMMISCO-IRD, septembre 2022