

## DOSSIER DE CANDIDATURE

### 1. FICHE RÉCAPITULATIVE

Acronyme :	<b>COPS</b> - Courants Océaniques du Passé et dépôts Sédimentaires
Nom du porteur :	Thierry Huck et Camille Lique
Laboratoire du porteur :	LOPS - UMR 6523 CNRS IFREMER IRD UBO
Laboratoires du Labex concernés :	LOPS (IUEM), LDO (IUEM), LGS (IFREMER)
Nombre de participants du Labex:	6 - D. Aslanian, M. Moulin (LGS) ; O. Arzel, T. Huck, C. Lique (LOPS) ; M. Rabineau (LDO)
Collaborations externes:	Yannick Donnadieu (LSCE, Paris et Cerege, Aix) David Ferreira (Univ. Reading, UK)
Budget total du projet :	121 k€
Demande de financement au Labex:	50 k€

Nature du projet :

- Emergence de thématiques nouvelles
- Inter-axes

### 2. DESCRIPTION DU PROJET

#### 2.1 OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ET CONTEXTE

Les courants marins, qui s'expriment depuis les plateaux continentaux jusque dans les plaines abyssales, ont une influence essentielle sur le climat et les enregistrements sédimentaires. Une importante littérature explore ce dernier aspect depuis la description des courants de contour d'Heezen *et al.* (1966). L'importance de ces courants comme facteur d'érosion et de transport des sédiments dans les océans est majeure (Rebesco *et al.* 2014) et impacte fortement les bilans érosion-sédimentation de la marge à l'océan mondial (approche "source to sink"), justifiant des campagnes IODP spécifiques (Courant du Benguela, Golfe de Cadix). Mais le lien avec les courants de l'époque s'il est proposé n'est que très rarement basé sur de véritables données paléocéanographiques.

Les paléo-courants océaniques sont très mal connus. Ils dépendent fortement de la bathymétrie des fonds marins, qui varie au cours du temps en liaison avec la subsidence thermique, et la mise en place des reliefs sous-marins, mais aussi des paléo-emplacements des plaques lithosphériques sur le globe et de leur paléorelief qui vont affecter les régimes de vents et les courants (Penven *et al.* 2006, Halo *et al.* 2014 sur l'exemple de Madagascar). Les passages, les détroits, les connexions entre masses océaniques varient grandement au cours du temps géologique

(Fig. 1) et on ne peut pas raisonner sur les structures sédimentaires anciennes avec les schémas de courants actuels. Ainsi la fermeture des passages Est-Ouest présents à l'Yprésien (55 Ma) impacte grandement la circulation océanique mondiale et le flux sédimentaire global (Potter et Szatmari 2009) et correspond aussi à des conditions climatiques extrêmes : le Maximum thermique PETM, avec apport massif de gaz carbonique dans l'atmosphère et l'océan (Zachos *et al.* 2008, Cope et Winguth 2011).

Un certain nombre d'études utilisant des modèles océaniques ou climatiques ont été réalisées (Lunt *et al.* 2010, Cope et Winguth 2011 pour l'Yprésien, Sijp et England 2004 pour l'ouverture du passage de Drake il y a 43 Ma...). Ces modèles ciblés sur une seule époque prennent en compte les variations de paléogéographie et paléobathymétrie de manière très idéalisée (e.g. Dera et Donnadieu 2012, Pohl *et al.* 2014, 2016). Or les courants océaniques sont contraints au premier ordre par la bathymétrie (courants de bord ouest profonds, Eau Antarctique de Fond...).

Nous proposons d'aborder ce sujet en associant les efforts des océanographes, des sédimentologues et des géodynamiciens, et de réaliser le premier modèle d'ordre global sur une période de temps allant de 200 Ma à l'actuel, sur des périodes clefs (changements de phases cinématiques par exemple ou ouverture/fermeture des passages). Les reconstructions cinématiques détaillées sont d'ores et déjà réalisées (Moulin *et al.* 2010, Labails *et al.* 2010, Moulin et Aslanian 2010, Aslanian *et al.* en préparation). Le logiciel PLACA 4D fournira les reconstructions paléobathymétriques sur lesquelles nous injecterons les connaissances de la topographie dynamique des continents. La méthodologie sera d'abord mise au point sur la période clef de l'Yprésien, puis appliquée à plusieurs étapes de l'évolution depuis la cassure de la Pangée. Nous validerons les résultats du modèle grâce aux connaissances que nous avons des grandes séquences sédimentaires et des structures associées issues de la bibliographie et des données sismiques disponibles (Rebesco *et al.* 2014).

## **2.2 DESCRIPTION DU PROJET**

L'objectif du projet est de reconstituer les courants océaniques à plusieurs périodes clefs du passé où des événements tectoniques ont modifié des passages potentiellement critiques pour la circulation générale : ouverture de la voie maritime d'Amérique Centrale (~130 Ma), ouverture du passage de Drake (~43 Ma)... Le choix d'un modèle couplé océan-atmosphère-glace de mer permet de s'affranchir de la connaissance des forçages à la surface de l'océan (vent, flux de chaleur et d'eau douce). L'originalité du projet réside dans la prescription d'une bathymétrie océanique reconstituée à partir du logiciel PLACA4D (Aslanian *et al.* 2009), qu'il faudra corriger des dépôts sédimentaires et de l'érosion. Le gros du travail consistera à compiler les données bibliographiques permettant de reconstituer l'altitude et la couverture de glace continentales, le niveau de la mer, et les caractéristiques radiatives de l'atmosphère pour chaque période. Une première étape pour la prise en main du MITGCM sera la validation du modèle sur l'époque actuelle et l'étude de sa sensibilité à différents choix, comme la résolution horizontale  $O(1^\circ \text{ à } 4^\circ)$  ou le routage de l'eau douce continentale (runoff). Le modèle sera ensuite configuré pour une première époque d'intérêt, l'Yprésien (55 Ma). Les résultats seront analysés au regard des données paléoclimatiques. Une attention particulière sera portée aux implications des courants océaniques sur la sédimentation et les structures particulières qu'elle peut générer (contourites, muscles sédimentaires) : même si la résolution du modèle reste limitée pour aborder ces questions, cette première étape globale est indispensable pour aborder des études à l'échelle régionale.

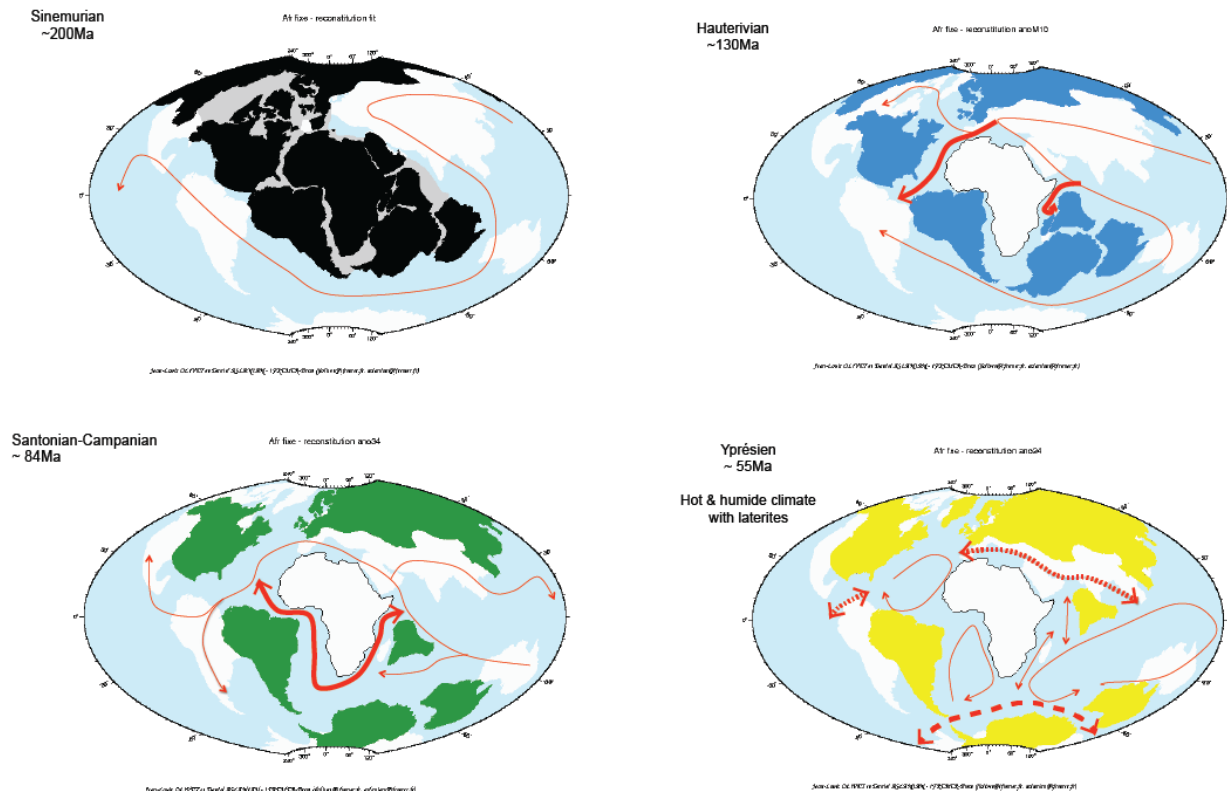


Figure 1 : Reconstructions palinospastiques à quatre périodes clés. Les traits et flèches rouges indiquent des courants potentiels en fonction de la position des plaques lithosphériques. En rouge gras, apparition de nouveaux passages. En pointillés serrés (lâches), les passages qui vont disparaître (apparaître, circum antarctique).

### 2.3 RÉSULTATS ATTENDUS

Au premier ordre, les courants océaniques sont contraints par la bathymétrie et les flux air-mer (vent, chaleur, eau douce). La détermination de courants sur une bathymétrie reconstruite aussi précisément que possible pour une époque donnée (l'Yprésien, ~55 Ma, dans un premier temps), par une approche de modélisation couplée cohérente satisfaisant l'équilibre du bilan radiatif de la Terre, sera une étape intéressante qui permettra la comparaison avec les autres reconstructions de la même époque, et la comparaison aux données paléoclimatiques : SST, intensité des courants de surface forcés par le vent, intensité de la ventilation et de la circulation profonde. Cette première étape permettrait d'ores et déjà une publication étant donné la nouveauté des résultats. L'objectif à terme est d'appliquer la même méthode et les mêmes outils de modélisation à différentes époques pour comparer les circulations océaniques et atmosphériques de manière cohérente sur les derniers 200 Ma .

## 3. PERTINENCE POUR LE LABEX

Le Labex Mer a pour objet principal **l'Océan** et plus particulièrement **l'Océan dans le Changement**. La thématique proposée permettra de mieux comprendre le fonctionnement de l'océan global sur de larges échelles de temps, elle s'inscrit donc pleinement dans la **problématique centrale** du Labex Mer.

Le projet est cependant **émergent** car il propose de s'intéresser à l'évolution des courants à l'échelle globale mais sur des périodes de temps géologiques (200 Ma). L'approche est résolument pluridisciplinaire : le projet rassemblera sur cette thématique des chercheurs Océanographes, Géodynamiciens et Sédimentologues. Les deux communautés (physiciens des océans et géologues) n'ont eu que peu d'interactions dans la première phase du Labex Mer. Le projet favorisera donc l'**interdisciplinarité** du Labex Mer.

Le projet rassemble 3 laboratoires impliqués dans le Labex Mer : LOPS, LDO et LGS c'est donc un projet **fédérateur** qui vise à développer une thématique non encore développée à Brest. Toutes les compétences et les moyens techniques existent à Brest pour le faire.

La problématique est actuelle et au centre de nombreuses recherches de pointe. Plusieurs chercheurs reconnus sur cette thématique en France (LSCE, Cerege) et à l'international (Univ. Reading) sont associés et participeront au développement du projet. Le projet favorisera donc aussi le côté **international** du Labex Mer.

Enfin, et d'un autre côté, les résultats du projet intéresseront fortement les acteurs de l'Axe 4 du Labex (Transferts de la côte aux Abysses, du manteau à la surface). Ce projet est aussi un bon complément de l'Axe 1 du Labex Mer centré, lui, sur l'océan global mais à une très fine résolution.

#### 4. DEMANDE FINANCIÈRE ET CO-FINANCEMENTS

La demande concerne principalement le financement d'un postdoctorant qui synthétisera, avec l'aide des différents spécialistes impliqués dans le projet, la bibliographie pour définir les forçages et réalisera les simulations numériques pour la première époque considérée (55 Ma). Un minimum de 18 mois paraît nécessaire pour arriver à des résultats publiables, soit  $1.5 \times 74 = 111 \text{k€}$ , des cofinancements ont été demandés du côté de l'Ifremer (LGS) et seront demandés à la région pour compléter le financement Labex. Le reste du financement concerne une station de travail pour l'équipement (2k€), des missions pour les collaborations à Aix, Paris et Reading ( $6 \times 700 = 4 \text{k€}$ ), deux conférences internationales (3k€), une publication (1k€). Soit un total de 121k€. Un soutien de l'Action concertée INSU « Action-Marges » sera aussi demandée en Septembre, dans ce programme un axe « courants » a été récemment créé (Bassetti & Rabineau).

#### 5. IMPLEMENTATION

- Prise en main d'une configuration réaliste actuelle du modèle couplé océan-atmosphère-glace du MIT, étude de sensibilité (résolution, runoff). [3 mois]
- Bibliographie et synthèse des forçages pour la première période d'étude. [3 mois]
- Mise en place d'une configuration du modèle pour l'Yprésien (55 Ma) : trait de côte, bathymétrie, topographie et glaces continentales, concentrations de gaz à effet de serre, insolation. [3 mois]
- Analyse des résultats et validation par rapport à la bibliographie. Etude des conséquences possibles sur la sédimentation. [3 mois]
- Rédaction d'une publication. [2 mois]
- Selon le temps disponible, étude d'autres périodes selon la même méthodologie.

NB Le modèle du MIT tourne en architecture parallèle (MPI) sur le centre de calcul régional PCIM à Ifremer (datarmor fin 2016). Pour 1000 ans de simulation, le temps

de calcul en couplé global est respectivement de 1/4/25 jours sur 25/61/61 processeurs à 4°/2°/1° de résolution (sphère cubique cs24, cs48 et cs96 – Jamet et al. 2016). Le modèle couplé arrive à l'équilibre en quelques milliers d'années.

## 6. PARTICIPANTS

Ce projet représente un nouvel axe de collaboration au sein du Labex Mer et associe des expertises très différentes (LOPS, LDO, LGS). Le groupe s'est constitué au cours de l'année pour rassembler les multiples compétences nécessaires à la définition et l'analyse d'expériences numériques sur les climats du passé (géologie, océanographie, climatologie, glaciologie, biogéochimie, écologie, modélisation numérique...), les collaborations extérieures complétant les expertises manquantes à l'IUEM. Cela nous semble une manière originale et intéressante de progresser.

Olivier Arzel	maître de conf. UBO, LOPS	modélisation (MITGCM) de la variabilité océanique et climatique décennale à millénaire
Daniel Aslanian	chercheur Ifremer responsable LGS	géodynamique, géophysique, géologie marine, spécialistes de la tectonique des plaques
Thierry Huck	chercheur CNRS LOPS	modélisation océanique et climatique, mécanisme de variabilité climatique décennale. OA et TH ont co-encadré une thèse avec le modèle couplé du MIT (Quentin Jamet, 2012-2015).
Camille Lique	chercheur Ifremer LOPS	modélisation globale (NEMO, projet Drakkar) et régionale (MITGCM), expert sur la glace de mer
Maryline Moulin	chercheur Ifremer LGS	géodynamique, géophysique, géologie marine, spécialistes de la tectonique des plaques
Marina Rabineau	chercheur CNRS LDO	sédimentologue, interaction sédiment-paléoclimat, HDR. Co-encadrement de plusieurs thèses sur le décryptage de séries sédimentaires et des facteurs forçants (tectonique, eustatique, climatique et hydrodynamique)
Yannick Donnadieu	chercheur CNRS LSCE/Cerege	paléoclimatologue, collaborateur expert en modélisation des climats du passé (modèles couplés FOAM, MITGCM, IPSL CM5, GEOCLIM, GRISLI), et validation
David Ferreira	Lecturer Dep. Meteorology Univ. Reading, UK	océanographe, climatologue, collaborateur expert du modèle couplé MITGCM, exploration paléocéanographique similaire dans des configurations idéalisées de type aquaplanète Double Drake

## 7. BIBLIOGRAPHIE CITÉE

- Aslanian D., Moulin M., Olivet J.-L., Unternehr P., Matias L., Bache F., Rabineau M., Nouze H., Klingelhoefer F., Contrucci I., Labails C., 2009: Brazilian and African passive margins of the Central Segment of the South Atlantic Ocean: Kinematic constraints. *Tectonophysics*, 468, (1-4) 98-112, doi: 10.1016/j.tecto.2008.12.016 .
- Aslanian, D., A. Bronner, M. Moulin, M. Rabineau, When extra-terrestrial forces drive plate tectonic. to be submitted to *Nature*.
- Cope, J.T., A. Winguth, 2011: On the sensitivity of ocean circulation to arctic freshwater input during the Paleocene/Eocene Thermal Maximum. *Palaeo*<sup>3</sup>, 306, 82-94.
- Dera, G. Y. Donnadieu, 2012: Modeling evidences for global warming, Arctic seawater freshening, and sluggish oceanic circulation during the Early Toarcian anoxic event. *Paleoceanography*, 27, PA2211, doi:10.1029/2012PA002283.
- Halo, I., P. Penven, B. Backeberg, I. Ansorge, F. Shillington, R. Roman, 2014: Mesoscale eddy variability in the southern extension of the East Madagascar Current: Seasonal cycle, energy conversion terms, and eddy mean properties. *J. Geophys. Res. Oceans*, doi: 10.1002/2014JC009820 .
- Heezen, B.C.; Hollister, C.D.; Ruddiman, W.F., 1966: Shaping of the continental rise by deep geostrophic contour currents. *Science*, 152, 502-508.
- Jamet, Q., T. Huck, A. Colin de Verdière, O. Arzel, J.-M. Campin, 2016: Oceanic control of multidecadal variability in an idealized coupled GCM. *Climate Dynamics*, 46, (9) 3079-3095, DOI 10.1007/s00382-015-2754-3 .
- Labails, C., Olivet, J.L., Aslanian, D., Roest, W., 2010: An alternative early opening scenario for the Central Atlantic Ocean, *Earth and Planetary Science Letters*, 297, 355-368.
- Lunt, D.J., A.M. Haywood, G.A. Schmidt, U. Salzmann, P.J. Valdes, H.J. Dowsett, 2010: Earth system sensitivity inferred from Pliocene modelling and data. *Nature Geoscience* 3, 60-64, doi:10.1038/ngeo706 .
- Moulin, M., D. Aslanian, 2010: Corrigendum to "A new starting point for the South and Equatorial Atlantic Ocean". *Earth-Sciences Reviews*, 103, (3-4) 197-198.
- Moulin M., Aslanian D., Unternehr P., 2010: A new starting point for the history of the South Atlantic Ocean, *Earth-Science Reviews*, Earth Sci. Rev. 98, 1-37.
- Pohl, A., Y. Donnadieu, G. Le Hir, J.-F. Buoncristiani and E. Vennin, 2014, Effect of the Ordovician paleogeography on the (in)stability of the climate. *Climate of the Past*, 10, 2053-2066.
- Pohl, A., E. Nardin, T.R.A. Vandenbroucke and Y. Donnadieu, 2016: High dependence of Ordovician ocean surface circulation on atmospheric CO<sub>2</sub> levels, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, in press.
- Penven, P.; Lutjeharms, J. R. E.; Florenchie, P., 2006: Madagascar: A pacemaker for the Agulhas Current system? *Geophys. Res. Lett.*, 33, 17, L17609, doi:10.1029/2006GL026854 .
- Potter, P.E., P. Szatmari, 2009: Global Miocene tectonics and the modern world. *Earth-Science Reviews*, 96, 279-295.
- Rebesco, M., Hernández Molina J., Van Rooij, D., Wåhlin, A., 2014. Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: state-of-the-art and future considerations. *Marine Geology* 352, 111-154.
- Sijp, W. P., M. H. England, 2004: Effect of the Drake Passage Throughflow on Global Climate. *J. Phys. Oceanogr.*, 34, 1254-1266.
- Zachos, J.C., Dickens, G.R., Zeebe, R.E., 2008: An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. *Nature*, 451, doi:10.1038/nature06588 .