AO INSU 2013
Section « Océan-Atmosphère »

Dossier scientifique

Nom du porteur du projet : **Anne Marie Treguier et Bernard Barnier**

Titre du projet :

DRAKKAR: Coordination of high resolution global ocean simulations using the NEMO modelling framework

Ce projet de coordination fait suite au projet DRAKKAR retenu à l'appel d'offres 2010 pour 3 ans. Titre du projet précédent: **DRAKKAR, 2010-2012,** voir le rapport d'activités sur le site web du projet **http://www.drakkar-ocean.eu** à la rubrique "publications/reports": http://www.drakkar-ocean.eu/publications/reports/activity-reports/report-of-the-drakkar-french-insu-lefe-project-2010-2012

Cette demande concerne les actions de coordination. Une demande adressée à l'INSU pour un contrat de longue durée pour un ingénieur (3 ans) sera déposée dans ce cadre dans la base DIALOG du LGGE.

Le porteur a-t-il obtenu un financement LEFE au cours des 3 dernières années ?

Oui, le projet DRAKKAR, AO 2010, financement pour 3 ans 2010-2012, et prolongation pour un an en 2013.

1. Présentation et objectifs généraux

1.1. Contexte scientifique général et motivations

La circulation océanique globale contrôle en grande partie la biomasse et les cycles biogéochimiques marins, l'absorption et la séquestration du CO2 de l'océan et son acidification, ainsi que les structures régionales du niveau de la mer. Aussi, la variabilité de la circulation océanique et ses changements actuels induits par les activités humaines ont-ils potentiellement d'énormes conséquences. Les courants océaniques varient à des échelles spatiales bien inférieures à la taille des bassins. La turbulence de mésoéchelle (méandres et tourbillons de taille allant de 10 km à 100 km) et les courants de bord s'écoulant le long des talus et sur les plateaux continentaux contribuent pour une part importante du transport de chaleur et d'eau douce entre les latitudes subtropicales et les latitudes polaires. Ces tourbillons de fine échelle, ces étroits courants de bord et leur contribution aux circulations de plus grande échelle par le biais d'interactions non-linéaires ne sont pas résolus dans les modèles de prévision climatiques utilisés dans le contexte du GIEC. En Europe, dans le cadre de GMES (Global Monitoring for Environmental Security), les modèles d'océan sont développés pour la prédiction de ces fines échelles en raison de leur pertinence pour les principaux services maritimes (Marine Core Services). Pour le climat comme pour les applications opérationnelles, de grandes questions restent largement ouvertes. Avec quelle précision pouvons-nous cartographier et quantifier les processus de génération et de dissipation des tourbillons? Comment les paramétrisations de ces processus de fine échelle dans les modèles de climat affectent-elles la

dynamique simulée du système océan/atmosphère et quelles sont les incertitudes qu'elles induisent sur les prévisions du climat futur?

Nous manquons actuellement d'un cadre d'étude cohérent dans lequel les interactions entre les fines échelles critiques et la variabilité multi-décennale de la circulation de grande échelle puissent être quantifiées, permettant une évaluation et une amélioration véritables de leurs paramétrisations dans les modèles de prévision climatique. Les observations de la méso-échelle sont trop rares et trop éparses dans le domaine de l'*in-situ*, soit trop limitées à la surface dans le domaine du spatial, et ne couvrent pas des périodes suffisamment longues pour permettre d'aborder ces questions d'interactions multi-échelles de façon pertinente. La simulation de l'océan par des modèles numériques de très haute résolution apparaît comme une approche particulièrement pertinente pour progresser dans ce domaine.

C'est ce type d'approche que la coordination DRAKKAR privilégie, en construisant progressivement un cadre de simulation numérique de l'océan qui permette d'adresser ces questions. Les modèles numériques de la circulation générale océanique ont des capacités à simuler la variabilité interannuelle observée des décennies récentes car une fraction substantielle de la variabilité océanique à ces échelles est forcée par l'atmosphère, et que la variabilité atmosphérique est bien capturée dans les réanalyses météorologiques telles que ERAinterim, ERA40 ou NCEP/NCAR. Ce n'est pas le cas des simulations couplées océan/atmosphère qui simulent les statistiques de la variabilité climatique mais dont la phase n'est pas contrainte par de véritables observations météorologiques. Les réanalyses océaniques ne sont pas (encore) bien adaptées à ce type d'études sur les interactions d'échelles sur des périodes de plusieurs décennies car les observations historiques (avant l'ère de l'observation spatiale) sont trop éparses (en temps et espace) pour contraindre la mésoéchelle océanique, et parce que les méthodes d'assimilation de données produisent une dynamique modifiée lors de longues périodes d'intégration. De plus, les simulations forcées des périodes récentes et leur comparaison aux observations réelles sont une étape clé pour l'évaluation de la robustesse (et pour l'amélioration) des modèles physiques qui sont au cœur des applications opérationnelles (y compris en mode couplé avec des modèles de biogéochimie).

1.2. Présentation du projet

DRAKKAR est un projet de coordination scientifique et technique entre des équipes de recherche françaises et MERCATOR-océan, et des équipes de recherche au Royaume Uni, en Allemagne et au Canada. Il entretien des coopérations étroites avec de nombreuses autres équipes utilisatrices de NEMO (Russie, Mexique, Suède, Hollande, Australie, ...). Son objectif à long terme de développer et maintenir dans cette communauté un cadre de simulation numérique de l'océan global qui permette d'adresser les questions d'interactions d'échelles (processus, impacts et paramétrisations) pertinentes pour les études de prévision climatiques et les applications opérationnelles.

Dans la pratique, DRAKKAR conçoit, réalise et évalue des simulations numériques de l'océan global et de la banquise (et à l'avenir la biogéochimie marine) à très haute résolution, couvrant de longues périodes (50 à 300 ans) dont certaines représentatives des dernières décennies (1960-présent). Il distribue également les résultats de ces simulations à une communauté large, entre autres à des équipes ou des chercheurs n'ayant pas à leur disposition les moyens ou les expertises pour les réaliser. Ainsi DRAKKAR développe et améliore constamment une hiérarchie de configurations de modèles océan-glace (avec en option les traceurs CFC) basées sur le code Européen NEMO, pour les applications de recherche et opérationnelles. Cet effort répond au besoin de disposer de simulations physiquement cohérentes et réalistes de l'état de l'océan et de sa variabilité sur les dernières décennies ("rejeux" ou "hindcasts") afin de répondre à des questions fondamentales telles que:

- quels sont les mécanismes générateurs de la variabilité interannuelle à décennale de l'océan?
- quelles sont les relations entre la variabilité des masses d'eau et celle de la circulation océanique?
- quel est l'impact des courants de bord et des processus de fine échelle sur la circulation de grande échelle et sa variabilité?

Cet effort répond également à la nécessité d'accroître la résolution (pour résoudre explicitement une plus grande variété de processus) et d'améliorer les paramétrisations dans la composante océanique des modèles du système Terre (les ESMs - Earth System Models) utilisés par la communauté « climat » et par les configurations de modèle d'océan de la communauté « opérationnel ».

Les simulations DRAKKAR bénéficient à une large communauté (voir liste des publications 2012 et 2013 utilisant ces simulations, section 3). Elles apportent un complément important aux observations (dispersées dans le temps et l'espace), aux simulations faites avec les ESMs à plus basse résolution, ou encore aux études plus théoriques et idéalisées de la variabilité océanique. DRAKKAR est une interface entre les communautés travaillant sur la variabilité climatique de l'océan hauturier et la plateforme NEMO de simulation de l'océan. DRAKKAR fournit le cadre dans lequel les évolutions majeures de NEMO sont testées/évaluées dans un contexte réaliste global eddy-permitting/resolving sur des périodes multi-décennales pertinentes pour le climat, ce qui permet d'accélérer considérablement les cycles d'innovation. Les expertises scientifiques et techniques rassemblées au sein de la coordination ont également un fort effet de levier dans la création de projets nouveaux.

1.3. Objectifs

Les quatre dernières années, l'enjeu était d'effectuer la transition entre les simulations globales longue durée « admettant » les tourbillons océaniques (1/4°), et celles qui résolvent correctement ces tourbillons (1/12°). Cette étape a été réalisée, puisque deux simulations de longue durée basées sur la configuration globale ORCA12 au 1/12° ont été terminées en 2013: une simulation "frontière" dans le cadre d'un grand défi GENCI, longue de 85 ans forcée par un cycle saisonnier répété, et une simulation de 54 ans (1958-2012) forcée par les réanalyses atmosphériques. Ces simulations servent déjà de support à plusieurs travaux de recherche sur la variabilité océanique (par exemple une étude de la stabilité de la circulation méridienne Atlantique, Deshayes et al, Geophys. Res. Lets. 2013; d'autres publications sont en préparation).

Pendant cette même période, la configuration globale ORCA025 au 1/4° a été utilisée de manière intensive (l'article de référence, Barnier et al, 2006, a 170 citations - *source scopus*). Cette configuration commence à être couplée avec l'atmosphère et a été choisie par plusieurs groupes en Europe pour les prochains scénarios du GIEC (du moins pour les scénarios de prévision décennale), en particulier par l'IPSL et le CNRM-CERFACS en France (et par le UK Met-Office, ECMWF, par le consortium EC-EARTH en Europe). Enfin, cette configuration (ou son adaptation régionale à l'Atlantique nord NATL025) est celle choisie pour les approches de simulations probabilistes à visées opérationnelles ou climatiques (projet ANR OCCIPUT, projet FP7 SANGOMA, projet NERC MESO-Clip du NOC Southampton).

Enfin, DRAKKAR a produits des jeux de forçages atmosphériques globaux sur des périodes multi-décennales (1958-présent) sur la bases des réanalyses ERA40 et ERAinterim qui sont très largement utilisés par la communauté pour un spectre large d'applications (l'article de référence, Brodeau et al., 2010, a 82 citations – *source scopus*).

Les résultats scientifiques et techniques du projet sur les années 2010 à 2012 sont présentés dans un rapport d'activité (disponible sur le site www.drakkar-ocean.eu). La qualité des simulations numériques est attestée par leur utilisation dans un grand nombre de publications de rang A (plus de 44 en 2010-2012) et communications dans des colloques internationaux (44 sur cette même

période). DRAKKAR a consacré environ 3.5 million d'heures de calcul GENCI chaque année à la réalisation des simulations.

Les nouveaux objectifs de DRAKKAR pour la période 2014-2017 sont les suivants:

Objectif 1: Développement de la composante océanique ORCA025 pour son utilisation dans les ESM français et les réanalyses océaniques.

Les équipes françaises impliquées dans les scénarios couplés CMIP6 utiliseront ORCA025 comme composante océan de leur ESM. Ce modèle sera également utilisé par MERCATOR-Océan pour la réalisation de réanalyses océaniques. Il faut donc poursuivre l'amélioration de cette configuration. Ceci implique un travail sur les schémas numériques et sur l'amélioration des paramétrisations de certains processus physiques, ainsi que la réalisation de simulations physiques et couplées physiques/biogéochimie forcées par l'atmosphère (ce qui nécessite la construction de forçages adaptés). En préalable à des expériences couplées avec l'atmosphère, il faudra aussi travailler sur les processus ayant une influence sur les champs physiques échangés aux différentes interfaces des Earth System Models (par exemple le mélange océanique et la paramétrisation des flux de surface atmosphériques). Au sein de la communauté Française, ce travail se fera en lien étroit avec le projet de coordination MISSTERRE. Au niveau Européen, DRAKKAR prévoit la mise en place d'un consortium dans le cadre d'un GDRI (groupement de recherche international) qui permettra de coordonner l'évolution des différentes versions de ORCA025 en lien avec la NEMO system team.

Objectif 2: Simulations "eddy-resolving" de la variabilité de l'océan global.

Il s'agit de l'amélioration de la configuration ORCA12 (pour ses applications opérationnelles et ses applications climatiques), et de la coordination des simulations globales "eddy resolving" et de leurs analyses scientifiques. Ceci implique la réalisation des simulations de sensibilité paramétriques ainsi que des nouvelles simulations multi-décennales coordonnées au niveau Européen et leur distribution. ORCA12 étant la configuration phare de MERCATOR-Océan, les enjeux opérationnels de ces travaux sont particulièrement importants.

Objectif 3: Développement et distribution d'outils communautaires.

Il s'agit de poursuivre le développement de l'environnement logiciel pour la réalisation des simulations, leur suivi, leurs diagnostiques et leurs comparaisons aux observations.

La présente demande[1] concerne le **financement des activités de coordination Françaises, en complément du financement demandé dans le cadre du Groupement de recherches international** (GDRI) qui concerne uniquement les aspects internationaux des volets 1) et 2) ci-dessus (le texte du GDRI est présenté en annexe).

Cette demande concerne aussi le soutien nécessaire pour la réalisation et la mise à disposition des simulations communautaires. Deux ingénieurs CNRS permanents contribuent à temps partiel au projet (J.M. Molines, I.R. au LGGE, et C. Talandier, I.E. au LPO). Sur les 4 dernières années, ils ont été secondés pour la réalisation des simulations et le développement d'ORCA12 par Albanne Lecointre (CDD INSU[2]) et pour les forçages et outils communautaires par Raphael Dussin[3] (CDD financé sur 3 ans par les projets MyOcean et Glorys).

[1] La demande est faite pour 3 ans + 1 an de renouvellement prévu pour être en phase avec la durée de 4 ans du GDRI.

[2] A. Lecointre a intégré le CNRS sur un poste IR à ISTERRE après 2 ans de travail sur le projet DRAKKAR. Le CDD n'a pas été renouvelé après son départ et la mission initialement prévues pour 3 ans n'aura duré que 2 ans.

[3] R. Dussin a quitté le groupe DRAKKAR en Mars 2013 pour un poste d'IR dans le département des Sciences Marines à Rutgers University, U.S.A.

Nous demandons la labellisation par LEFE de notre demande auprès de l'INSU d'un soutien CDD ingénieur (3 ans) pour l'équipe MEOM au LGGE. Les ingénieurs des équipes ont de lourdes charges au sein de leurs équipes respectives, ce soutien technique supplémentaire est indispensable pour conserver notre position de leader dans le consortium Européen et pour pouvoir répondre efficacement aux sollicitations induites par la coordination.

2. Plan de recherche et calendrier

Nous présentons ici le plan de recherche relatif aux trois objectifs majeurs de la coordination résumés dans l'encadré précédent.

2.1. Développement de la composante océanique ORCA025

2.1.1. Questions scientifiques et enjeux pour le développement du modèle

Les questions scientifiques motivant les simulations multi-décennales avec ORCA025 sont traitées dans des projets scientifiques ciblés dans lesquels les chercheurs de DRAKKAR sont impliqués (Table 1, rassemblant les projets ORCA025 et ORCA12, les deux configurations étant souvent utilisées conjointement). Le développement de la composante océanique ORCA025 pour son utilisation dans les ESM français et les réanalyses océaniques se focalisera sur les points suivants (liste non exhaustive et qui sera affinée lors des réunions annuelles avec le groupe MISSTERRE et les paretnaires européens):

Algorithmes:

Il s'agira de tirer profit des avancées du projet ANR de modélisation océanique COMODO dont un des objectifs majeurs est **l'amélioration des méthodes numériques dans les modèles de future génération**. Un objectif prioritaire est d'améliorer la représentation des vitesses verticales et les interactions courant-topographie par un travail sur les schémas d'advection de quantité de mouvement et les conditions limites latérales. Les avancées du projet COMODO, principalement établies dans un contexte de simulations idéalisées propice à la compréhension des formulations mathématiques et numériques, seront testées et évaluées dans le contexte DRAKKAR de simulations réalistes de l'océan global eddy-permitting forcé par l'atmosphère.

Paramétrisations des couches de surface:

La paramétrisation du mélange vertical GLS récemment implémentée dans NEMO a été intensivement évaluée par MERCATOR dans un contexte régional (Golfe de Gascogne, en présence de marées). Son évaluation/réglage en configuration globale (incluant donc les océans tropicaux et les océans polaire couvert périodiquement par la banquise) devra être menée avec des intégrations de longue durée avec traceurs CFC (ou autres traceurs biogéochimiques). Les résultats du projet anglais OSMOSIS (Ocean Surface Mixing, Ocean Sub-mesoscale Interaction Study) devront être pris en compte.

Formation des eaux profondes:

Un des défauts majeurs persistant à la résolution du 1/4° propre à ORCA025 est la représentation des overflows. Une des conséquences majeures est la disparition lente des eaux Antarctiques de fond (AABW). Les solutions utilisées par DRAKKAR pour pallier à ce défaut (basée sur un terme de relaxation) ont été développées pour des simulations de type *hindcast* mais ne sont pas adaptées à des intégrations dédiées à des prévisions climatique longues comme celles réalisée dans le cadre de CMIP6. L'apport de l'utilisation de la coordonnée 'z-sigma' de NEMO et la représentation des "under ice cavities" pour améliorer la représentation du processus de formation des AABW seront explorés dans le cadre de DRAKKAR (projet CAVITY).

Table 1 : liste de projets en cours ou prévus utilisant les simulations ORCA025 et ORCA12

Scientific Project	**P.I.**	**Description**	**Duration**	**Support**
BIOCOSM	J. Le Sommer, M Levy	observer, modéliser et comprendre les interactions physico-biogéochimiques dans l'océan austral	2011-2013	CNES
IECAS	J. Deshayes (Cape Town)	Interactions d'echelles dans le carrefour Atlantique Sud: Intercomparaison de modeles de climat et implications pour les projections climat futur	2013-2014	IRD
PREFACE	M. Rouault (Cape Town)	Etudes du front Benguela-Angola et des "Benguela Ninos"	2013-2017	FP7
CHAOCEAN	T. Penduff	low-frequency intrinsic variability in the eddying ocean : observations, simulations and processes	2013-2016	OST/ST (CNES-NASA)
ANSEA	A.M. Treguier J. Deshayes	Simulations de l'Atlantique Nord subpolaire et de ses échanges avec l'Arctique	soumis 2014-2016	Ifremer, MeteoFrance
MyOcean 2	B. Barnier J. Le Sommer	Operational oceanography Coarsening de la biogéochimie	2012-2014	FP7 GMES
EMBRACE	G. Madec A.M. Treguier	Earth system model bias reduction and assessing abrupt climate change	2011-2014	FP7
PPR ENIGME	G. Charria	Réanalyses régionales dans le Golfe de gascogne	soumis	LEFE/ GMMC
SANGOMA	P. Brasseur	Nouvelles méthodes d'assimilation non-linéaires pour la prévision océanographique opérationnelle.		FP7/GMES
PPR Arctique	C. Provost G. Garric	Réanalyses de l'océan Arctique	soumis	LEFE/ GMMC
OCCIPUT	T. Penduff L. Terray	OCeanic Chaos; ImPacts, strUcture, predicTability	2014-2017	ANR
SOSMOD (contribution à SPICE)	J. Verron L. Gourdeau	Eddy resolving modelling of the Salomon Sea	2011-2014	OST/ST (CNES-NASA)
CAVITY	G. Durand J. Le Sommer	Couplage glace continentale/océan et conséquence sur la formation des masses d'eaux antarctiques	2013-2016	Thèse MENR au LGGE
Marée interne	G Madec, C. de Lavergne, P Klein	Mélange associé aux ondes internes de marée dans l'océan global	2013-2017	Thèse LOCEAN
RREX	V. Thierry	Etude de la circulation sur la ride de Reykjanes	soumis	LEFE/IMAGO, ANR
GAMBA	C. Herbaut	Variabilité de la glace en Mer de Barents et lien avec le transport de chaleur vers l'Arctique	soumis	LEFE/IMAGO

Couplage océan-glace:

La nouvelle version du modèle de glace, LIM3, a été utilisée dans des simulations globales basse résolution mais devra être validée dans ORCA025. La conservation exacte du sel avec salinité variable dans la glace nécessite l'utilisation de la surface libre non-linéaire avec glace de mer incluse dans l'océan. La représentation explicite de la dérive des icebergs améliorera la distribution de glace de mer.

Forçages:

DRAKKAR développe ses propres forçages atmosphériques (DFS, DRAKKAR Forcing Sets) sur la base des réanalyses ECMWF (ERA40, ERAinterim), cette approche permettant de couvrir les années les plus récentes car les réanalyses sont mises à jour régulièrement (ERAinterim est actuellement disponible jusqu'en Avril 2013). DRAKKAR continuera à développer un forçage basé sur les réanalyses ECMWF, en particulier avec la prochaine réanalyse ERAclim. Ces développements se feront en complémentarité avec le forçage CORE2 (Large et Yeager, 2010) qui est actuellement utilisé dans le protocole des simulations CMIP. Les travaux portant sur le forçage en sel, point délicat des modèles d'océan seront poursuivis.

Validation par les observations:

La validation des simulations par les observations in-situ et spatiale est un composant important de la coordination DRAKKAR, et des outils de co-localisation et d'analyse statistique (les JUZATOOLS) permettant d'évaluer les simulations *hindcast* face aux observations disponibles (base EN3) ont été développé avec le soutien du CNES. De nouveaux développements sont nécessaires, en particulier pour harmoniser les outils avec les opérateurs « observation » développés pour l'assimilation de données. Un soutien IR a été demandé au CNES pour 2014 mais n'a pas été obtenu, mais sera vraisemblablement resoumis l'an prochain.

Couplage avec la Biogéochimie :

Les outils de « coarsening » permettant de coupler la biogéochimie « on-line » avec le modèle physique par le biais d'un calcul de l'évolution des traceurs sur une grille plus lâche que la grille de la dynamique sont développés au LOCEAN et au LGGE dans le cadre des projet EMBRACE et MYOCEAN. Les tests de fonctionnalité de la méthode de « coarsening » dans le contexte de simulations globales réalistes multi-décennales seront réalisés dans le cadre de DRAKKAR avec le soutien de MYOCEAN2 au LGGE.

2.1.2. Stratégie

Les travaux de recherche et développement ci-dessus s'effectueront au sein de divers projets, dont certains restent à définir. DRAKKAR permet la coordination de ces travaux ainsi que la réalisation des tests et des simulations communautaires nécessaires à la validation des développements.

Coordination en France :

Un groupe de travail "ORCA025/France" sera mis en place, en synergie avec MISTERRE. Ce groupe se réunira une fois par an, en début d'automne et avant la clôture de l'appel d'offre GENCI, car en plus de la préparation de la composante océanique pour CMIP6, ce groupe s'assurera de la cohérence des simulations ORCA025 qui seront proposées par les équipes françaises.

Coordination au niveau Européen:

La coordination Européenne sera réalisée au sein du GDRI Drakkar et avec la contribution de la NEMO System Team pour la mise à disposition des configurations de référence, bathymétrie, etc.

Réalisation de simulations communautaires:

Durant les prochaines années, les ingénieurs DRAKKAR (Jean-Marc Molines au LGGE, Claude Talandier à Brest) poursuivront la réalisation et mise à disposition de simulations de références forcées avec ORCA025. En préparation à CMIP6 les simulations de longue durée sur le modèle du protocole CORE2 (5 cycles de NCEP, soit 300 ans de simulation au total) seront coordonnées avec GEOMAR qui a une grande expérience de ce forçage.

Les travaux sur les forçages atmosphériques ne pourront pas se poursuivre sans le renfort d'un ingénieur supplémentaire (ce qui pourrait être envisagé dans le cadre d'une collaboration renforcée avec les activités de réanalyse de Mercator-Océans).

2.1. Simulations "eddy resolving" de la variabilité de l'océan global

2.1.1. Questions scientifiques et enjeux pour le développement du modèle ORCA12

Les questions scientifiques motivant les simulations multi-décennales avec ORCA12 sont traitées dans des projets scientifiques ciblés dans lesquels les chercheurs de DRAKKAR sont impliqués (Table 1). Globalement ces questions concernent la variabilité des courants de bord, la dynamique des tourbillons, la variabilité basse fréquence induite, la paramétrisation de leur dissipation, La dissipation induite par la marée interne, la dynamique des hautes latitudes (en lien avec le PPR "Arctique"), etc..

L'enjeu majeur est de parvenir à une bonne coordination de la réalisation et de l'exploitation jointe des simulations au niveau européen, car chaque équipe ne peut réaliser qu'un nombre limité de simulations (entre 50 et 100 ans).

D'autres enjeux concernent l'amélioration des performances numériques de cette configuration (afin d'améliorer son exploitation opérationnelle et de permettre des simulations plus longues, ces dernières années les simulations DRAKKAR ont gagné en moyenne 20% par an en efficacité de calcul), et des stratégies d'exploitation scientifique des grosses simulations, (diagnostiques online/offline, etc.).

2.1.2. Stratégie

La coordination Européenne s'appuiera sur la réunion DRAKKAR annuelle (qui se tient fin janvier ou début février afin de coordonner le travail de l'année). Les discussions au niveau Européen permettront d'affiner la stratégie de réalisation des simulations ORCA12: les simulations réalisées au sein des différents groupes participants seront complémentaires (exploration de différents paramètres, forçages, etc).

Le calendrier des simulations est contraint par la disponibilité des heures de calcul, et par l'amélioration des performances de NEMO sur les machines de GENCI. En se fondant sur les années passées (entre 3.5 et 5 millions d'heures annuelles auxquelles il faut rajouter les opportunités offertes par les grands défis GENCI et PRACE), nous prévoyons entre 50 et 100 ans de simulation chaque année, avec une simulation de référence de 50 ans tous les deux ans.

2.2. Développement et distribution d'outils communautaires

2.2.1. Outils de pré/post traitement des simulations numériques

Le groupe DRAKKAR/France développe un environnement logiciel autour de NEMO. Ces outils, sous la responsabilité de Jean-Marc Molines (LGGE) forment maintenant un jeu cohérent et structuré de logiciels, documentés sur des pages wiki avec une version de contrôle. Ils sont sous licence CeCILL pour cohérence avec le code NEMO. Cette suite comporte 3 groupes d'outils. Le DCM (Drakkar Configuration Manager) qui permet la gestion de configurations de modèle, le développement de

modèle, et la production de simulations. Le CDFTOOLS pour le post-traitement, l'analyse et la visualisation des sorties modèles, et le DMONTOOLS (Drakkar Monitoring Tools) pour le monitoring des simulations en temps quasi-réel ou différé. Le développement de ces outils est continu afin d'être toujours en phase avec les récents développements de NEMO, et s'enrichir de nouvelles fonctionnalités demandées par les utilisateurs. Plus particulièrement, un certain nombre de tâches pour la maintenance de ces outils ont été identifiées.

2.2.2. Plan de travail/ tâches

Drakkar Configuration Manager (DCM): Une évolution est nécessaire dans les outils de production pour pouvoir pleinement utiliser le serveur d'I/O (XIOS) disponible et opérationnel dans la dernière version de NEMO (3.5). XIOS sera implémenté pour les configurations DRAKKAR sur les calculateurs HPC auxquels nous avons accès et ses performance seront vérifiées. XIOS permettant plus de souplesse sur la définition des sorties modèle (en particulier, permet de sortir différents champs à des fréquences différentes), la structure de la base de données des sorties devra être adaptée ainsi que tous les outils nécessaire à la gestion de cette base (accès, extraction, etc …)

CDFTOOLS: Cet outil est une collection de programmes pour l'analyse des sorties de modèle. Il est au coeur du système de monitoring des runs DRAKKAR. CDFTOOLS sera repris dans les chaînes de traitement CMIP6 (collaboration avec J. Servonnat, CEA).

Jusqu'à présent, les configurations DRAKKAR ont essentiellement utilisé une coordonnée verticale de type 'z-partial step', standard actuel de NEMO. A court et moyen terme, l'utilisation d'une coordonnée verticale de type 'z-tilde' (Arbitrary Lagrangian-Eulerian, ALE) est envisagée pour améliorer la physique verticale des simulations. Le passage à ce type de coordonnées verticales nécessitera une adaptation assez conséquente des CDFTOOLS, qu'il faut anticiper dès à présent.

Un effort de développement sera également fait pour les simulations couplées physique-biogéochimie. Il s'agira d'une part, de rassembler et de mettre aux normes les outils existants développés sur une base ancienne des CDFTOOLS et d'autre part de développer de nouveaux outils.

Enfin, au vu de l'augmentation de la taille des simulations, la parallélisation de certains CDFTOOLS est incontournable, pour garder des temps d'analyse raisonnables. Ce chantier de parallélisation (en mode OpenMP) est déjà ouvert et sera consolidé.

Drakkar MONitoring TOOLS (DMONTOOLS): Ces outils permettent le suivi en temps quasi réel des simulations, par le diagnostic de certains index de référence (e.g. Transport à travers certaines sections, intensité de la cellule 'd'overturning´, évolution des températures et salinités moyennes etc...) qui sont immédiatement disponibles sur un site web dédié. Ils permettent aussi la comparaison de ces index entre différentes simulations. Cet outil est incontournable pour accéder facilement à un jeu complet de simulations, facilitant la synthèse des résultats. Les DMONTOOLS sont construits autour des CDFTOOLS, et doivent suivre l'évolution de ceux-là. Nous voulons également ajouter des éléments manquants actuellement aux DMONTOOLS : (1) certains diagnostics définis dans le cadre de CMIP6, (2) des diagnostics sur les forçages utilisés (e.g. Moyennes zonales de différents flux de chaleur et d'eau douce).

Simulations d'ensemble: De nouveaux développements sont en cours dans le cadre de SANGOMA pour la réalisation de simulations d'ensemble avec la configuration NATL025 : génération de dispersion par paramétrisation stochastique, réalisation simultanée de N simulations distribuées sur N groupes de processeurs, calcul diagnostique de propriétés statistiques d'ensemble (moyennes, dispersions, covariances). Ces outils seront consolidés et adaptés (et portés si nécessaire sur une machine PRACE Tier-0) à la réalisation d'un ensemble d'une cinquantaine de runs ORCA025 de 50 ans (projet OCCIPUT en partenariat étroit entre DRAKKAR et le CERFACS).

Conseil: L'expertise technique du projet DRAKKAR sur la mise en place et l'exploitation de configurations, est mise à profit dans des activités de conseil auprès d'utilisateurs. Ces conseils

peuvent se limiter à des échanges de courriels pour aider à la mise en place d'une configuration, mais aussi aller jusqu´à accueillir dans notre équipe pendant quelques jours, les personnes nécessitant une aide plus approfondie (par exemple pour réaliser une configuration régionale utilisant les sorties DRAKKAR sur les frontières ouvertes, ou encore la mise en place d'une configuration sur un calculateur HPC). En 2013, nous avons par exemple accueilli dans l'équipe MEOM des chercheurs d'équipes de l'IRD/Dakkar et d'équipes Espagnoles, des chercheurs de l'université de Louvain la Neuve en Belgique, du British Antarctic Survey à Cambridge, du CICESE à Ensenada pour la mise en place de leurs configurations de NEMO, des chercheurs de l'UNSW (Sydney) pour l'implémentation d'ORCA025 sur le calculateur *vayu* en Australie. Ces activités de conseil sont consommatrices de temps ingénieur mais contribuent au rayonnement international du projet.

3. Ressources nécessaires à la réalisation du projet

Contributeurs aux simulations globales et à l'animation

Remarque: ce projet étant un projet de coordination, le % de temps se superpose naturellement avec celui d'autres projets (comme dans le cas de MISSTERRE)

Nom	Position	Laboratoire	Role	Temps (sur 4 ans)
Bernard Barnier	DR CNRS	LGGE Grenoble	Coordination, forçages, analyses scientifiques de ORCA12.	30%
Xavier Capet	CR CNRS	LOCEAN Paris	Amélioration des configurations (représentation de la turbulence, paramétrisations et schémas)	10%
Julie Deshayes	CR CNRS	LPO Brest	Analyse scientifique et validation des simulations globales	20%
Julien Le Sommer	CR CNRS	LGGE Grenoble	Analyse scientifique des simulations globales, paramétrisations, lien avec les projets de couplage physique-biogéochimie	30%
Gurvan Madec	DR CNRS	LOCEAN & NOCS	Simulations globales et lien avec l'équipe NEMO.	30%
Jean Marc Molines	IR CNRS	LGGE Grenoble	Coordination, développement des configurations, calcul haute performance, simulations ORCA12, outils de pré/post processing,	50%
Thierry Penduff	CR CNRS	LGGE Grenoble	analyse scientifique des simulations globales, évolution de la configuration ORCA025	30%
Claude Talandier	IE CNRS	LPO Brest	simulations globales ORCA025, nouvelles paramétrisations, distribution simulations ORCA12	40%
Anne Marie Treguier	DR CNRS	LPO Brest	Coordination, analyse scientifique des simulations globales.	30%
X	CDD (3ans) requested from INSU	LGGE Grenoble	Forcing, ORCA12 simulations, data base management & distribution, ... 100% sur 3 ans	100%
Y. Drillet		Mercator	Coordination	20%
R. Bourdallé Badie		Mercator	Développement de ORCA12 et simulations	50%
C. Bricaud		Mercator	Configurations ORCA025	20%
G. Garric		Mercator	Glace de mer et forçages dans ORCA025	20%
C. Calone	CDD MyOcean/ EMBRACE	LOCEAN Paris et LGGE Grenoble	Tests de l'implémentation "online" de la biogéochimie sur une grille grossière ("online coarsening")	30%
Casimir de Lavergne	Thèse	LOCEAN Paris	Représentation de la marée interne dans ORCA12	50%
Ignacio Merino	Thèse projet CAVITY	LGGE Grenoble	Tests d'amélioration de la formation des eaux denses	30%
X	Thèse projet RREX	LPO Brest	Intéractions courant-topographie (début fin 2015)	20%
Nicolas Ducousso	Postdoc COMODO	LGGE Grenoble	Tests de schémas numériques dans ORCA025	10%
Total				610%

Budget annuel sur 4 ans (2014-2017)

Le budget annuel de 50K€ par an est similaire à celui du projet précédent: le projet était soutenu par LEFE et par le GMMC à hauteur de 35-40K€ annuels, et indirectement par Ifremer (dans le cadre du projet RICCO) à hauteur de 15K€ par an. Le budget présenté ci-dessous comprend les ressources de la partie Française du GDRI. Ce budget sera géré pour moitié au LPO à Brest (responsable A.M. Treguier) et pour moitié au LGGE à Grenoble (responsable Bernard Barnier).

	LEFE	GDRI/CNRS	GDRI/Ifremer	TOTAL
Missions workshop annuel international		5		5
Missions en France (travaux en commun, workshops ORCA025, coordination Mercator...)	8			8
Missions à l'étranger		7	5	12
Equipement pour mise à disposition des résultats du modèle	10		10	20
Fonctionnement	2	3		5
Total	20	15	15	50

Demandes de label pour ressources complémentaires

- *Personnel temporaire*[4] *(doc, post-docs, cdd,…)* : nous demandons 3 ans de CDD INSU au LGGE (voir fiche de poste ci-jointe en section 5. annexe).
- *Temps calcul (AO GENCI, ..) :* Les simulations Drakkar, en particulier ORCA12, requièrent environ 3 à 5 million d'heures CPU chaque année sur les machines scalaires (centres GENCI IDRIS ou CINES).

4. Valorisation des simulations globales et des forçages DRAKKAR

Sont listées ci-dessous les publications (dont nous avons connaissance) parues ou sous presse en 2012 et 2013 utilisant les simulations globales réalisées par le groupe DRAKKAR/FRANCE, pour l'analyse scientifique et/ou les conditions aux frontières. Les publications utilisant uniquement les forçages (Drakkar forcing set) sont indiquées en italique.

---

4 AO spécifiques des organismes. Préciser : sujet, organisme(s) sollicité(s), durée, demandeur, références Dialog (si CNRS)

2012 (39 publications)

Becker, M., Meyssignac, B., Letetrel, C., Llovel, W., Cazenave, A., Delcroix, T. Sea level variations at tropical Pacific islands since 1950 (2012) Global and Planetary Change, 80-81, pp. 85-98.

Boisseson De, E., V. Thierry, H. Mercier, G. Caniaux and D. Desbruyères (2012) : Origin, formation and variability of the Subpolar Mode Water located over the Reykjanes Ridge, Journal of Geophysical Research - oceans, 117 (C12005) Doi : http://dx.doi.org/10.1029/2011JC007519 - Hal 00783568

Calafat, F.M., Jord, G., Marcos, M., Gomis, D. Comparison of Mediterranean sea level variability as given by three baroclinic models (2012) Journal of Geophysical Research C: Oceans, 117 (2), art. no. C02009,

Drobinski, P., Anav, A., Lebeaupin Brossier, C., Samson, G., Stéfanon, M., Bastin, S., Baklouti, M., Béranger, K., Beuvier, J., Bourdallé-Badie, R., Coquart, L., D'Andrea, F., de Noblet-Ducoudré N., Diaz, F., Dutay, J.-C., Ethe, C., Foujols, M.-A., Khvorostyanov, D., Madec, G., Mancip, M., Masson, S., Menut, L., Palmieri, J., Polcher, J., Turquety, S., Valcke, S., Viovy, N. : Model of the Regional Coupled Earth system (MORCE): Application to process and climate studies in vulnerable regions (2012) Environmental Modelling and Software, 35, pp. 1-18.

Döös, K., J. Nilsson, J. Nycander, L. Brodeau, and M. Ballarotta, 2012: The World Ocean Thermohaline Circulation. J. Phys. Oceanogr. doi:10.1175/JPO-D- 11-0163.1, 42 (9), pp. 1445-1460.

Dufour, C. O., J. Le Sommer, J. D. Zika, M. Gehlen, J. C. Orr, P. Mathiot, and B. Barnier, Standing and Transient Eddies in the response of the Southern Ocean Meridional Overturning to the Southern Annular Mode, Journal of Climate, 25, pages 6958-6974 DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00309.1

Freychet N., Cosme E., Brasseur P., Brankart J.-M. and Kpemlie E., 2012 : Obstacles and benefits of the implementation of a reduced-rank smoother with a high resolution model of the tropical Atlantic 0cean, Ocean Sci., doi:10.5194/os-8-797-2012, 8, 797-811.

Gimbert, F., N. C. Jourdain, D. Marsan, J. Weiss, and B. Barnier (2012), Recent mechanical weakening of the Arctic sea ice cover as revealed from larger inertial oscillations, J. Geophys. Res., 117, C00J12, doi:10.1029/2011JC007633.

Gimbert, F., D. Marsan, J. Weiss, N.C. Jourdain and B. Barnier. 2012. Sea ice inertial oscillations in the Arctic Basin. *Cryosphere*, 6(5), 1187–1201, doi:10.5194/tc-6-1187-2012.

Hasson, A., A. Koch-Larrouy, R. Morrow, M. Juza, and T. Penduff, 2012: The origin and fate of mode water in the Southern Pacific Ocean. Ocean Dynamics, 62:335–354, DOI 10.1007/s10236-011-0507-3.

Jahn, A., Y. Aksenov, B.A. de Cuevas, L de Steur, S Hakkinen, E. Hansen, C. Herbaut, M.N. Houssais, M. Karcher, F. Kauker, C Lique, A Nguyen, P Pemberton, D.W. Worthen, J Zhang, 2012: Arctic Ocean freshwater budget - How robust are model simulations? J. Geophys. Res., C00D16, DOI: 10.1029/2012JC007907.

Jouanno J., Sheinbaum J., Barnier B., Molines J.-M., Candela J., 2012: Seasonal and interannual modulation of the eddy kinetic energy in the Caribbean Sea. Journal of Physical Oceanography, 42, 2041-2055, DOI: 10.1175/JPO-D-12-048.1.

Jourdain N., Lengaigne M., J. Vialard, G. Madec, C. Menkes, E. Vincent, G. Samson, J Swen and B. Barnier, 2012: Observation based estimates of ocean mixing inhibition by heavy rainfall under tropical cyclones, Journal of Physical Oceanography, 43, 205-221, DOI: 10.1175/JPO-D-12-085.1.

Juza M., T. Penduff, B. Barnier, and J.-M. Brankart, 2012: Estimating the distortion of mixed layer property distributions induced by the Argo sampling. Journal of Operational Oceanography, 5, 45-56.

Lique, C., and M. Steele (2012), Where can we find a seasonal cycle of the Atlantic water temperature within the Arctic Basin?, J. Geophys. Res., 117, C03026, doi:10.1029/2011JC007612.

Mathiot P., N. Jourdain, B. Barnier, H. Gallée, J. M. Molines, J. Le Sommer, and T. Penduff, 2012: Sensitivity of Coastal Polynyas and High Salinity Shelf Water Production in the Ross Sea, Antarctica, to the Atmospheric Forcing. Ocean Dynamics, 62, 701-723. DOI: 10.1007/s10236-012-0531-y.

Penduff, T., 2012: L'océan : générateur de "bruit" climatique ? La Météorologie (Société Météorologique de France), 79, November 2012, pp 19-24.

Meyssignac, B., Becker, M., Llovel, W., Cazenave, A. An Assessment of Two-Dimensional Past Sea Level Reconstructions Over 1950-2009 Based on Tide-Gauge Data and Different Input Sea Level Grids (2012) Surveys in Geophysics, 33 (5), pp. 945-972.

Meyssignac, B., Salas Y Melia, D., Becker, M., Llovel, W., Cazenave, A. Tropical Pacific spatial trend patterns in observed sea level: Internal variability and/or anthropogenic signature? (2012) Climate of the Past, 8 (2), pp. 787-802.

Renner A.H.H., S.E. Thorpe, K.J. Heywood, E.J. Murphy, J.L. Watkins, M.P. Meredith, 2012: Advective pathways near the tip on the Antarctic peninsula: Trends, variability and ecosystem implications. Deep-Sea Research, 63, 91–101 doi:10.1016/j.dsr.2012.01.009.

Resplandy, L., Lévy, M., Bopp, L., Echevin, V., Pous, S., Sarma, V.V.S.S., Kumar, D.: Controlling factors of the oxygen balance in the Arabian Sea's OMZ. (2012) Biogeosciences, 9 (12), pp. 5095-5109.

Rouault, M. (2012), Bi-annual intrusion of tropical water in the northern Benguela upwelling, Geophys. Res. Lett., 39, L12606, doi:10.1029/2012GL052099.

Spence, P; O.A. Saenko, C.O. Dufour, J. Le Sommer and M. England, Mechanisms maintaining Southern Ocean heat transport under projected wind forcing. J. Phys. Oceanogr., 42, 1923-1931, DOI: 10.1175/JPO-D-12-03.1.

Scott R.B., N. Ferry, M. Drévillon, C.N. Barron, N. Jourdain, J.M. Lellouche, E.J. Metzger, M.H. Rio, O.L. Smedstad, 2012: Estimates of surface drifter trajectories in the equatorial Atlantic: a multi-model ensemble approach. Ocean Dynamics, 62:1091–1109. DOI10.1007/s10236-012-0548-2.

Storto A., Russo I., and Masina S., 2012: Interannual Response of Global Ocean Hindcasts to a Satellite-Based Correction of Precipitation Fluxes. Ocean Science, Submitted.

Treguier, A., B. Ferron, and R. Dussin, 2011: Buoyancy driven currents in eddying ocean models. In: Buoyancy driven flows, Cambridge University Press, E. Chassignet and C. Cenedese, Eds.

Treguier, A. M., J. Deshayes, C. Lique, R. Dussin, and J. M. Molines (2012), Eddy contributions to the meridional transport of salt in the North Atlantic, J. Geophys. Res., 117, C05010, doi:10.1029/2012JC007927.

Vidal-Vijande E., Pascual A., Barnier B., Molines J.M., N. Ferry and J. Tintore J., 2012: Multiparametric analysis and validation in the western Mediterranean of three global OGCM hindcasts. Scientia Marina, 76, 147-164, DOI: 10.3989/scimar.03613.19D.

Wang C., Wang K., 2012: Impact of increasing Arctic ice-shelf melting on Southern Ocean hydrography. Journal of Glaciology, Vol.58, No.212, 1191-1200. doi:10.3189/2012JoG12J009.

Blaker, A.T., Hirschi, J.J.-M., Sinha, B., de Cuevas, B., Alderson, S., Coward, A., Madec, G. Large near-inertial oscillations of the Atlantic meridional overturning circulation. (2012) Ocean Modelling, 42, pp. 50-56.

Du, H., Doblas-Reyes, F.J., Garci-a-Serrano, J., Guemas, V., Soufflet, Y., Wouters, B.: Sensitivity of decadal predictions to the initial atmospheric and oceanic perturbations (2012) Climate Dynamics, 39 (7-8), pp. 2013-2023

Fenoglio-Marc, L., Rietbroek, R., Grayek, S., Becker, M., Kusche, J., Stanev, E.: Water mass variation in the Mediterranean and Black Seas (2012) Journal of Geodynamics, 59-60, pp. 168-182.

Freychet, N., Cosme, E., Brasseur, P., Brankart, J.-M., Kpemlie, E. Obstacles and benefits of the implementation of a reduced-rank smoother with a high resolution model of the tropical Atlantic Ocean. (2012) Ocean Science, 8 (5), pp. 797-811.

Flocco, D., Schroeder, D., Feltham, D.L., Hunke, E.C. Impact of melt ponds on Arctic sea ice simulations from 1990 to 2007. (2012) Journal of Geophysical Research C: Oceans, 117 (9), art. no. C09032.

Guemas, V., Doblas-Reyes, F.J., Lienert, F., Soufflet, Y., Du, H.: Identifying the causes of the poor decadal climate prediction skill over the North Pacific (2012) Journal of Geophysical Research D: Atmospheres, 117 (20), art. no. D20111,

Grist, J.P., Josey, S.A., Marsh, R.: Surface estimates of the Atlantic overturning in density space in an eddy-permitting ocean model (2012) Journal of Geophysical Research C: Oceans, 117 (6), art. no. C06012

Haines, K., Valdivieso, M., Zuo, H., Stepanov, V.N. : Transports and budgets in a 1/4 global ocean reanalysis 1989-2010 (2012) Ocean Science, 8 (3), pp. 333-344.

Johnson, M., Proshutinsky, A., Aksenov, Y., Nguyen, A.T., Lindsay, R., Haas, C., Zhang, J., Diansky, N., Kwok, R., Maslowski, W., Hkkinen, S., Ashik, I., De Cuevas, B. Evaluation of Arctic sea ice thickness simulated by Arctic Ocean Model Intercomparison Project models (2012) Journal of Geophysical Research C: Oceans, 117 (3), art. no. C00D13.

Stepanov, V.N., Zuo, H., Haines, K.: The link between the Barents Sea and ENSO events simulated by NEMO model. (2012) Ocean Science, 8 (6), pp. 971-982.

2013 (25 publications au 1er septembre)

Barrier N., A.M. Treguier, C. Cassou and J Deshayes, 2013: Impact of the winter North-Atlantic Weather Regimes on subtropical Sea-Surface Height variability. Clim. Dyn., DOI 10.1007/s00382−012−1578−7.

Deshayes J., A.-M. Treguier, B. Barnier, A. Lecointre, J. Le Sommer, J.-M. Molines, T. Penduff, R. Bourdallé-Badie, Y. Drillet, G. Garric, R. Benshila, G. Madec, A. Biastoch, C. Böning, M. Scheinert, A. C. Coward, J. J.-M. Hirschi, 2013: Oceanic hindcast simulations at high resolution suggest that the Atlantic MOC is bistable. Geophys. Res. Lets., 40, 12, 3069-3073, DOI: 10.1002/grl.5053

Fontana C., Brasseur P., Brankart J.-M., 2013: Toward a multivariate reanalysis of the North Atlantic ocean biogeochemistry between 1998-2006 based on the assimilation of SeaWiFS data, Ocean Science, doi:10.5194/os-9-1-2013, 9, 1-21.

Hasson, A. E. A. Delcroix, T., Dussin, R.: 2013: An assessment of the mixed layer salinity budget in the tropical Pacific Ocean. Observations and modelling (1990-2009). Ocean dynamics, 63, 179-193, DOI 10.1007/s10236-013-0596-2

Jouanno, J., Marin, F., du Penhoat, Y., Molines, J-M, 2013: Intraseasonal Modulation of the Surface Cooling in the Gulf of Guinea. J. Phys. Oceanogr., 43, 382-401, DOI 10.1175/JPO-D-12-053.1

Andrade-Canto, F., Sheinbaum, J., Zavala Sanson, L. (2013): A Lagrangian approach to the Loop Current eddy separation. Nonlinear Processes in Geophysics, 20 (1), pp. 85-96.

Keerthi, M. G., Lengaigne, M., Vialard, J., Montegut, C. de Boyer, 2013: Interannual variability of the Tropical Indian Ocean mixed layer depth. Climate dynamics, 40, 743-759, DOI 10.1007/s00382-012-1295-2

Kurian, N., Lengaigne, M., Vissa, G.V., Vialard, J., Pous, S., Peter, A.-C., Durand, F., Naik, S. (2013): Processes of India's offshore summer intraseasonal sea surface temperature variability. Ocean Dynamics, 63 (4), pp. 329-346.

Lique, C., Steele, M. (2013): Seasonal to decadal variability of Arctic Ocean heat content: A model-based analysis and implications for autonomous observing systems. Journal of Geophysical Research C: Oceans, 118 (4), pp. 1673-1695.

Maze, G., J Deshayes, J Marshall, A.M. Treguier, A. Chronis, L. Vollner, 2013: Surface vertical PV fluxes and subtropical mode water formation in an eddy-resolving numerical simulation. Deep Sea Research II, http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.02.026,

Meinvielle M., Brankart J.-M., Brasseur P., Barnier B., Dussin R. and Verron J., 2013: Optimal adjustment of the atmospheric forcing parameters of ocean models using sea surface temperature data assimilation, Ocean Sci. Discuss., 9, 2493-2533 (in revision).

Nidheesh, A.G., Lengaigne, M., Vialard, J., Unnikrishnan, A.S., Dayan, H. (2013): Decadal and long-term sea level variability in the tropical Indo-Pacific Ocean. Climate Dynamics, 41 (2), pp. 381-402.

Zika, J.D., J. Le Sommer, C.O. Dufour, J.-M. Molines, B. Barnier, P. Brasseur, R. Dussin, T. Penduff, D. Iudicone, A. Lenton, G. Madec, P. Mathiot, E. Shuckburgh, and F. Vivier, 2011: Vertical Eddy Fluxes in the Southern Ocean, J. Phys. Oceanogr., 43, 941-955, DOI 10.1175/JPO-D-12-0178.1.

Ballarotta, M., Drijfhout, S., Kuhlbrodt, T., Döös, K. (2013): The residual circulation of the Southern Ocean: Which spatio-temporal scales are needed? Ocean Modelling, 64, pp. 46-55.

Chevallier, M., Mélia, D.D.Y., Voldoire, A., Déqué M., Garric, G. (2013): Seasonal forecasts of the pan-arctic sea ice extent using a GCM-based seasonal prediction system. Journal of Climate, 26 (16), pp. 6092-6104.

Guemas, V., Doblas-Reyes, F.J., Andreu-Burillo, I., Asif, M. (2013): Retrospective prediction of the global warming slowdown in the past decade. Nature Climate Change, 3 (7), pp. 649-653.

Hazeleger, W., Wouters, B., Van Oldenborgh, G.J., Corti, S., Palmer, T., Smith, D., Dunstone, N., Krüger, J., Pohlmann, H., Von Storch, J.-S. (2013): Predicting multiyear North Atlantic Ocean variability. Journal of Geophysical Research C: Oceans, 118 (3), pp. 1087-1098

Hazeleger, W., Guemas, V., Wouters, B., Corti, S., Andreu-Burillo, I., Doblas-Reyes, F.J., Wyser, K., Caian, M. (2013): Multiyear climate predictions using two initialization strategies. Geophysical Research Letters, 40 (9), pp. 1794-1798.

Hieronymus, M., Nycander, J. (2013): The buoyancy budget with a nonlinear equation of state. Journal of Physical Oceanography, 43 (1), pp. 176-186.

Hieronymus, M., Nycander, J. (2013): The budgets of heat and salinity in NEMO. Ocean Modelling, 67, pp. 28-38.

Popova, E.E., Yool, A., Aksenov, Y., Coward, A.C. (2013): Role of advection in Arctic Ocean lower trophic dynamics: A modeling perspective. Journal of Geophysical Research C: Oceans, 118 (3), pp. 1571-1586.

Quartly, G.D., de Cuevas, B.A., Coward, A.C. (2013): Mozambique Channel eddies in GCMs: A question of resolution and slippage. Ocean Modelling, 63, pp. 56-67.

Tsamados, M., Feltham, D.L., Wilchinsky, A.V. (2013): Impact of a new anisotropic rheology on simulations of Arctic Sea ice. Journal of Geophysical Research C: Oceans, 118 (1), pp. 91-107.

Vannière, B., Guilyardi, E., Madec, G., Doblas-Reyes, F.J., Woolnough, S. (2013): Using seasonal hindcasts to understand the origin of the equatorial cold tongue bias in CGCMs and its impact on ENSO. Climate Dynamics, 40 (3-4), pp. 963-981

Voldoire, A., Sanchez-Gomez, E., Salas y Mélia, D., Decharme, B., Cassou, C., Sénési, S., Valcke, S., Beau, I., Alias, A., Chevallier, M., Déqué, M., Deshayes, J., Douville, H., Fernandez, E., Madec, G., Maisonnave, E., Moine,

M.-P., Planton, S., Saint-Martin, D., Szopa, S., Tyteca, S., Alkama, R., Belamari, S., Braun, A., Coquart, L., Chauvin, F. (2013): The CNRM-CM5.1 global climate model: Description and basic evaluation. Climate Dynamics, 40 (9-10), pp. 2091-2121.

5. Annexe: Poste ITA - contrat longue durée

Laboratoire: LGGE (Grenoble)
Niveau : Ingénieur de recherche
BAP : E-Informatique, statistique et calcul scientifique
Durée : 36 mois
Thématique : Soutien à la modélisation de l'océan global à haute résolution
Commentaire / Justification : Poste d'ingénieur expert en calcule scientifique à l'équipe MEOM du LGGE pour apporter un soutien au projet DRAKKAR pour la modélisation globale à haute résolution de l'océan (1/12°), utilisant la plateforme de modélisation NEMO (www.nemo-ocean.eu). L'ingénieur fait évoluer la configuration de modèle (développements numériques, algorithmes, forçages), en évalue les performances sur des calculateurs massivement parallèles, effectue des simulations numériques et participe à leur validation et à la mise en œuvre des stratégies d'exploitation des grosses simulations. L'ingénieur participe également à la définition et à l'implémentation d'une nouvelle stratégie de stockage des résultats et de post-traitement adaptée aux simulations haute résolution. Il/elle documente les développements effectués et participe à l'animation technique du projet DRAKKAR (site web, circulation des informations). Le travail s'effectue dans le cadre d'une collaboration étroite avec MERCATOR-Océan et avec les partenaires Européens du projet DRAKKAR (en particulier NOCS Southampton et IFM-Geomar Kiel).
Compétences requises: Formation d'ingénieur en mécanique des fluides et modélisation numérique. Des connaissances de base en océanographie physique ou météorologie dynamique, ainsi qu'une expérience dans la simulation numérique de ces milieux seront appréciées. Langages de programmation (Fortran en particulier), parallélisme (MPI), outils de visualisation et de calcul (matlab, Python, ...). Bonne capacité de communication en anglais à l'oral et à l'écrit, goût pour le travail en équipe, rigueur et organisation.

6. Annexe: projet de Groupement de Recherche International

Project of Memorandum for an International scientific coordination network

Submitted to CNRS, Ifremer, NOC and GEOMAR
September 4th, 2013

"Drakkar: Coordination of high resolution global ocean simulations using the NEMO modelling framework"

Memorandum between:

CNRS, France
Ifremer, France
NERC (U.K.)
GEOMAR (Germany)

Proposed correspondents from participating labs:

Bernard Barnier (LGGE, Grenoble)
Anne Marie Treguier (LPO, Laboratoire de physique des océans, Brest)
Claus Böning (GEOMAR, Kiel)
Adrian New (NOC, Southampton)

Duration: 4 years (2014-2017)

Project description

Context and motivation

The variability of the ocean circulation and its ongoing changes due to anthropogenic influences have huge consequences. The ocean circulation controls to a large extent the ocean biomass and biogeochemical cycles, the ocean acidification, its uptake and sequestration of CO_2, and the patterns of regional sea level. Ocean currents vary on spatial scales that are much smaller than the size of the ocean basins: mesoscale turbulence (meanders and eddies of 10 km to 100 km size) and boundary currents flowing along continental slopes and shelves contribute to a large part of the oceanic transports of heat and freshwater between the subtropics and the polar latitudes. These fine-scale eddies, narrow boundary currents, and their associated non-linear contributions on larger scales are not resolved in the climate prediction models used for the IPCC assessment. In Europe, within GMES (Global Monitoring for Environmental Security), ocean models are developed to forecast these fine scales for the Marine Core Services. For both climate and operational applications, important questions are still open. How well can we map and quantify the processes of generation and decay of ocean eddies? How do the crude parameterizations of these fine-scale processes in coarse-resolution climate models affect the simulated dynamics and the uncertainties of future climate predictions?

Presently, we lack a consistent framework in which the interactions between critical fine scale processes and multidecadal variability of the large-scale ocean circulation can be quantified, allowing a true assessment and improvement of their parameterization in climate prediction models. Since observations at eddy scales are much too sparse to address these complex issues, high-resolution ocean simulations are the only possible way to proceed. Atmospherically-driven (forced) ocean model simulations have skill in representing the past interannual to decadal variability, because a substantial fraction of the oceanic variability is driven by the atmosphere and because the atmospheric variability is well captured in meteorological reanalyses such as ERA40 or NCEP. Such is not the case for ocean-atmosphere coupled models, which simulate the statistics of climatic variability but whose phase is not constrained by actual (atmospheric) observations. Oceanic reanalyses are not well suited either for such studies of scale interactions over many decades because historical observations (before the satellite era) are too sparse to fully constrain the eddy scales in the ocean, and because data assimilation algorithms result in modified dynamics over long integration periods. Moreover, non-assimilative hindcasts and their subsequent assessment against observations are a key step required to evaluate the robustness of (and eventually improve) the physical models at the core of operational applications (including coupling with biogeochemistry models).

For the last ten years, the partners of DRAKKAR have contributed to the development and analysis of eddying global ocean simulations using the NEMO modelling framework (www.nemo-ocean.eu). The first generation of these simulations was based on the 1/4° resolution ORCA025 model. This model has become a reference worldwide and will be used as the ocean component of many European climate earth system models or seasonal forecasting systems (ECMWF, UKMO, Météo-France, Cerfacs). For example, it has been included in the seasonal forecasting systems of the UK Met Office, and through an improved representation of North Atlantic sea-surface temperature biases, has led to a step-jump in the skill of the forecasts for winter conditions for the UK. However, the 1/4° resolution is far from sufficient to represent accurately the ocean mesoscale dynamics, especially near eddying currents such as the Gulf Stream or Kuroshio. To tackle these resisting flaws, it is necessary to move towards truly eddy-resolving global ocean models. The teams involved in DRAKKAR have anticipated this need and have been developing the global 1/12° model ORCA12 since 2009. The high computational cost of this model makes it necessary to coordinate the efforts of different teams in order to perform and analyze multiple hindcasts without assimilation. Both ORCA025 and ORCA12 are being used operationally at Mercator-Ocean for oceanic reanalyses and prediction, respectively, taking full benefit from the expertise gained by the DRAKKAR partners. Furthermore, the UKMO and NOC are strongly considering the development of a climate model including the ORCA12 ocean and a high resolution atmosphere.

Network goal

The DRAKKAR partners propose

- to design, carry out, assess, and distribute high-resolution global ocean/sea-ice numerical simulations performed over long periods (typically five decades), and

- to improve and maintain state-of-the-art ocean/sea-ice model configurations suitable for research, climate scenarios and operational applications.

These global configurations make use of the NEMO modelling framework, an open-source code managed by a European consortium of research and operational institutions. Building on years of common experience, the DRAKKAR partners now wish

- to strengthen their leadership in global model development in Europe and worldwide.

Drakkar is motivated by the need for better numerical simulations of the ocean state and variability over the past decades, in order to address e.g. the following issues: what are the mechanisms that drive the short term, interannual and decadal oceanic variability? what are the relationships between the variability of water masses and the circulation? what is the impact of boundary currents, eddies and small scale processes on the large scale circulation and its variability? and what fraction of the low-frequency oceanic variance is directly constrained by the atmospheric forcing? Such simulations at the global scale complement and bridge gaps between sparse in-situ observations, surface-limited satellite observations, low resolution IPCC-like climate simulations, and idealized and theoretical studies, and thus benefit a wide scientific community. The Drakkar partners collectively support this research through the following objectives:

- Maintain a coherent hierarchy of global model configurations based on the NEMO modelling framework, and in particular, lead the development and improvement of the global 1/4° ORCA025 model and the 1/12° ORCA12 model;
- Perform and analyse coordinated global ocean hindcasts at eddy-resolving resolution and make the results available to a wide community;
- Develop atmospheric forcing fields suited for multi-decadal global ocean model simulations, and the tools and expertise necessary to run, evaluate and analyze these simulations;
- Utilize realistic ocean simulations as a testbed for new parameterizations, and to systematically evaluate the benefits of higher spatial resolution for earth system models.

Network functioning

DRAKKAR annual workshop
DRAKKAR will organize annual international workshops in winter in Grenoble to review progress and coordinate the numerical simulations performed by the different groups each year. This workshop has been held since 2004 and gathers between 60 to 70 scientists from Europe (France, Germany, UK, Netherlands, Sweden, Italy) and other countries (Canada, U.S.A., Mexico, Australia, Russia, South Africa, etc). The meeting report will provide the latest list of simulations to be performed and shared between the partners, and detail their characteristics (i.e. parameters, atmospheric forcing data, duration, etc) and the required diagnostic or intercomparison studies.

DRAKKAR topical workshops and participation in international meetings
The partners will organize topical workshops when closer coordination is required or regarding scientific issues that require special attention. Coordinated presentations or special sessions will be organized within larger meetings, such as the EGU General Assembly. Updates on the Drakkar project will be presented at the joint GEOMAR-Ifremer-NOC meetings.

DRAKKAR web sites and data exchanges
LPO will maintain a top level web site (www.drakkar-ocean.eu) to provide an overview of information about DRAKKAR. This web site will list the available model configurations, simulations, the relevant contact points and give access to relevant reports and publications. Each partner will make accessible to the other partners the information necessary to the coordination: lists of simulations, results, tools. For example, common code will be distributed using the SVN server maintained in Grenoble by the MEOM team. Exchange of model results will be performed through internet data servers or by exchanges of disks, depending on the dataset size.

Coordination with the development of NEMO
CNRS and NOC are partners in the European consortium developing the NEMO framework. They will ensure that the knowledge gained by analyzing the DRAKKAR global eddy resolving simulations benefits the NEMO system, though participation of DRAKKAR scientists at meetings and committees (for example, the NEMO developers committee).

Network outcome

By pooling the resources of the partners, a unique set of coordinated high resolution global simulations of the ocean and sea ice will be made available to DRAKKAR scientists,

to students, and to the scientific community at large, and make possible high profile joint publications such as Barnier et al, 2006, the reference for the global 1/4° model ORCA025.

Presentation and discussions of ongoing analyses of the set of simulations during the DRAKKAR workshops will allow coordinated development of the models, which will be made available to climate and operational centres. Improved model configurations and parameterizations will lead to a better representation and understanding of the effects of eddies and boundary currents on the global ocean circulation.

Gathering this community of ocean modelling experts within the same consortium will favour the emergence of best practices in the modelling community and will yield a significant shortening of innovation cycles.

Through the added visibility of the network, partners will strengthen their leadership in model development in Europe and worldwide.

Annex 1 : joint publications and meetings agenda

Joint publications of the partners (publications with co-authors of at least two DRAKKAR laboratories in two different countries):

Barnier, B., G. Madec, T. Penduff, J.M. Molines, A.M. Treguier, J. Le Sommer, A. Beckmann, A. Biastoch, C. Böning, J. Dengg, C. Derval, E. Durand, S. Gulev, E. Remy, C. Talandier, S. Theetten, M. Maltrud, J. McClean, B. De Cuevas 2006: Impact of partial steps and momentum advection schemes in a global ocean circulation model at eddy permitting resolution. Ocean Dynamics, 56, 543-567, DOI: 10.1007/s10236-006-0082-1. **(Reference publication for ORCA025, 152 citations; source: Thomson Reuters)**

Lique, C., Treguier, A.M., Scheinert, M., Penduff, T., 2009: A model-based study of ice and freshwater transport variabilities along both sides of Greenland. Climate Dynamics, DOI: 10.1007/s00382-008-0510-7.

Rattan, S.S., P. Myers, A.M. Treguier, S. Theetten, A. Biastoch, C. Boening, 2010: Towards an Understanding of Labrador Sea Salinity Drift in Eddy-Permitting Simulations. Ocean Modelling, 35, 1-2, 77-88. doi:10.1016/j.ocemod.2010.06.007

Treguier, A.M., J. Le Sommer, J.M. Molines, and B. de Cuevas, 2010: Response of the Southern Ocean to the Southern Annular Mode: interannual variability and multidecadal trend. J. Phys. Oceanogr., 40, 1659–1668.

Zika, J.D., J. Le Sommer, C.O. Dufour, J.-M. Molines, B. Barnier, P. Brasseur, R. Dussin, D. Iudicone, A. Lenton, G. Madec, P. Mathiot, J. Orr, T. Penduff, E. Shuckburgh and F. Vivier, (2013). Vertical Eddy Fluxes in the Southern Ocean. Journal of Physical Oceanography, in press.

Deshayes J, A.-M. Tréguier, B. Barnier, A. Lecointre, J. Le Sommer, J.-M. Molines, T. Penduff, R. Bourdallé−Badie, Y. Drillet, G. Garric, R. Benshila, G. Madec, A. Biastoch, C. Böning, M. Scheinert, A. C. Coward, J. J.-M. Hirschi, 2013: Oceanic hindcast simulations at high resolution suggest that the Atlantic MOC is bistable. Geophys. Res. Lets, in revision.

Provisional agenda for DRAKKAR meetings, 2014-2017

- Annual Drakkar workshop, January 2014, Grenoble (60 participants, 2/3 days): special focus on the future of the NEMO platform. A smaller group meeting will be held on the third day to identify of key processes and model biases that will be the subject of joint studies for the duration of the network.
- Spring 2014: Participation of DRAKKAR (5 scientists) in the workshop on "An eddying ocean in earth system models", to be organized in Kiel by the Working Group on model development (WCRP-CLIVAR),
- Annual Drakkar workshop, January 2015, Grenoble (60 participants, 3 days): special focus on data sharing and tools for model analysis.
- Dedicated workshop in September 2015 (20 participants, 2 days): joint analysis of numerical experiments and preparation of scientific papers.
- Annual Drakkar workshop, January 2016, Grenoble (60 participants, 3 days).
- Spring 2016: special DRAKKAR focus during the ocean modelling session at EGU (10 participants).
- Annual Drakkar workshop, January 2017, Grenoble (60 participants, 3 days).
- Dedicated workshop in fall 2017 (20 participants, 2 days): Finalization of joint papers and future outlook.

Annex 2: partners and budgets

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (LGGE), joint research unit (UMR5183) of **CNRS** and Université Joseph Fourier (UJF),
member of the Observatoire des Sciences de L'Univers de Grenoble (OSUG).

Permanent personnel involved in DRAKKAR
(only those with more than 10% involvement are listed):

Bernard Barnier (CNRS scientist, coordinator)
Thierry Penduff (CNRS scientist)
Julien le Sommer (CNRS scientist)
Jean-Marc Molines (CNRS engineer)

Number of post-docs and PhD students: 3 to 4

Key expertise of the team
Organizing the annual Drakkar workshop (every year since 2003).
Managing the numerical code for DRAKKAR experiments, carrying out experiments on the GENCI super-computing centres, developing and distributing tools for model analysis and model-data comparison.
Scientific studies of all aspects of ocean seasonal to decadal variability, for example the ocean intrinsic variability at the global scale. Expertise in high resolution ocean models, numerical scheme development, Southern ocean dynamics and coupling with biogeochemistry.

Five most relevant DRAKKAR-related publications in 2011-2012

Penduff, T., M. Juza, B. Barnier, J. Zika, W.K.Dewar, A.-M. Treguier, J.-M. Molines, and N. Audiffren, 2011: Sea-level expression of intrinsic and forced ocean variabilities at interannual time scales. Journal of Climate, 24, 5652–5670. doi: 10.1175/ JCLI-D-11-00077.1.

Spence, P; O.A. Saenko, C.O. Dufour, J. Le Sommer and M. England, (2012). Mechanisms maintaining Southern Ocean heat transport under projected wind forcing. Journal of Physical Oceanography, 42, 1923–1931. [doi]

Dufour, C. O., J. Le Sommer, J. D. Zika, M. Gehlen, J. C. Orr, P. Mathiot, B. Barnier (2012). Standing and Transient Eddies in the Response of the Southern Ocean Meridional Overturning to the Southern Annular Mode. Journal of Climate, 25, 6958–6974.

Le Sommer, J., D'ovidio, F. and G Madec, 2011: Parameterization of subgrid stirring in eddy resolving ocean models. Part 1: Theory and diagnostics, Ocean Modelling, 39, 154-169.

Vidal-Vijande E., Pascual A., Barnier B., Molines J.M., N. Ferry and J. Tintore J., 2012: Multiparametric analysis and validation in the western Mediterranean of three global OGCM hindcasts. Scientia Marina, 76 (SUPPL.1) , pp. 147-164.

Laboratoire de Physique des Océans (LPO), joint research unit (UMR6523) of **CNRS, Ifremer**, IRD, Université de Bretagne Occidentale (UBO),
member of the Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM).

Permanent personnel involved in DRAKKAR
(only those with more than 10% involvement are listed):

Anne Marie Treguier (CNRS scientist, coordinator)
Julie Deshayes (CNRS scientist)
Claude Talandier (CNRS Engineer)

Number of post-docs and PhD students: 2 or 3

Key expertise of the team

Developing new parameterizations and testing them in global and regional model configurations.
Scientific studies about the role of mesoscale eddies and boundary currents in the ocean variability, focussed on the Atlantic ocean and the Arctic ocean. Development and evaluation of the ocean component of climate models.

Five most relevant DRAKKAR-related publications in 2011-2012

Barrier N., A.M. Treguier, C. Cassou and J Deshayes, 2012: Impact of the winter North-Atlantic Weather Regimes on subtropical Sea-Surface Height variability. Clim. Dyn., DOI: 10.1007/s00382-012-1578-7.

Lique C., Garric G., Treguier A.-M., Barnier B., Ferry N., Testut C.-E. and Girard-Ardhuin F., 2011: Evolution of the Arctic Ocean salinity, 2007-2008: Contrast between the Canadian and the Eurasian basins. Journal of Climate, 24(6), 1705-1717. DOI: 10.1175/2010JCLI3762.1

Maze, G., J Deshayes, J Marshall, A.M. Treguier, A. Chronis, L. Vollner, 2012: Surface vertical PV fluxes and subtropical mode water formation in an eddy-resolving numerical simulation. Deep Sea Research, DOI: 10.1016/j.dsr2.2013.02.026

Treguier, A. M., J. Deshayes, C. Lique, R. Dussin, and J. M. Molines (2012), Eddy contributions to the meridional transport of salt in the North Atlantic, J. Geophys. Res., 117, C05010, doi:10.1029/2012JC007927.

Treguier, A., B. Ferron, and R. Dussin, 2012: Buoyancy driven currents in eddying ocean models. In: Buoyancy driven flows, Cambridge University Press, E. Chassignet and C. Cenedese, Eds.

CNRS participants from other laboratories:

Gurvan Madec, LOCEAN, Paris and NOC, Southampton: link with the NEMO system team.
Xavier Capet, LOCEAN, Paris: developments of parameterizations

Budget contribution from CNRS: 15K€/year

This covers the organisation of the annual Drakkar meeting in Grenoble, and travel to the other Drakkar groups or to attend DRAKKAR sessions at international meetings.

Budget contribution from Ifremer: 15K€/year

This covers travel to the Drakkar workshops as well as servers and disk storage to make available Drakkar results to Ifremer scientists.

National Oceanography Centre (NOC), a research centre of the Natural Environment Research Council (NERC) co-located with the Universities of Southampton and Liverpool

Permanent personnel involved in DRAKKAR
(only those with more than 10% involvement are listed):

Adrian New (NERC, coordinator)
Joel Hirschi (NERC, lead scientist)
Yevgeny Aksenov (NERC, scientist)
Andrew Coward (NERC, Engineer)

Number of post-docs and PhD students: 2 to 3

Key expertise of the team

Undertaking high resolution simulations of global Drakkar and NEMO models on the HECTOR supercomputer and other HPC platforms. Developing new parameterisations and testing them in global and regional model configurations, including versions of NEMO especially adapted to shelf sea environments. Analysis of model output in terms of ocean variability at time-scales from inertial to interdecadal, with a focus on the Atlantic and Arctic oceans. Inclusion and analysis of marine biogeochemical models in NEMO. Development and evalution of the ocean component of climate models.

Five most relevant DRAKKAR-related publications in 2011-2012

Aksenov, Y., V. Ivanov, G. Nurser, S. Bacon, I. Polyakov, A. Coward, A. Naveira-Garabato, and A. Beszczynska-Möller, 2011: The Arctic Circumpolar Boundary Current, J. Geophys. Res., 116, C09017, doi:10.1029/2010JC006637

Blaker, A.T., Hirschi, J.J-M., Sinha, B., de Cuevas, B., Alderson, S., Coward, A. and Madec, G., 2012: Large near-inertial oscillations of the Atlantic meridional overturning circulation. *Ocean Modelling, 42, 50-56.*

Grist, J.P., Josey, S.A. and Marsh, R., 2012: Surface estimates of the Atlantic overturning in density space in an eddy-permitting ocean model. *Journal of Geophysical Research, 117, C06012. (doi:10.1029/2011JC007752)*

Johnson, M.A., Proshutinsky, A.Y., Aksenov, Y., Nguyen, A.T, Lindsay, R., Haas, C., Zhang, J., Diansky, N., Kwok, R., Maslowski, W., Hakkinen, S., Ashik, I. and de Cuevas, B., 2012: Evaluation of Arctic sea ice thickness simulated by Arctic Ocean Model Intercomparison Project models. *Journal of Geophysical Research, 117, C00D13. (doi:10.1029/2011JC007257)*

Lee, M-M. and Nurser, A.J.G., 2012: Eddy Subduction and the Vertical Transport Streamfunction. *Journal of Physical Oceanography, 42, 1762-1780.*

Budget contribution from NOC: 10K€/year

This covers travel and subsistence to Drakkar meetings, and purchase and maintenance of disk for Drakkar model runs.

GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel, Germany

Permanent personnel involved in DRAKKAR
(only those with more than 10% involvement are listed):

Claus Böning (Professor, Co-coordinator)
Arne Biastoch (Professor, Co-coordinator)
Markus Scheinert (Scientist, Model support)
Wonsun Park (Scientist, Model support)

Number of post-docs and PhD students: 5 to 7

Key expertise of the team
Setting up model configurations for ocean-only, coupled ocean-biogeochemistry, and coupled ocean-atmosphere simulations for multi-decadal and multi-century simulations;
Carrying out multi-decadal hindcasts at eddy-resolving resolution on high-performance computing platforms;
Scientific studies on the mechanisms of ocean variability and climate-related trends, with a focus on the tropical oceans, the subpolar North Atlantic, the Agulhas regime, and the Antarctic Circumpolar Current.

Five most relevant DRAKKAR-related publications in 2011-2012

Behrens, E., Schwarzkopf, F., Lübbecke, J. und Böning, C. W. (2012) *Model simulations on the long-term dispersal of137Cs released into the Pacific Ocean off Fukushima* Environmental Research Letters, 7 (3). 034004.

Biastoch, A., Treude, T., Rüpke, L. H., Riebesell, U., Roth, C., Burwicz, E. B., Park, W., Latif, M., Böning, C. W., Madec, G. und Wallmann, K. (2011) *Rising Arctic Ocean temperatures cause gas hydrate destabilization and ocean acidification* Geophysical Research Letters, 38 (8). L08602.

Gary, S. F., Lozier, S. M., Böning, C. W. und Biastoch, A. (2011) *Deciphering the pathways for the deep limb of the Meridional Overturning Circulation* Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography, 58 (17-18), 1781-1797.

Schwarzkopf, F. und Böning, C. W. (2011) *Contribution of Pacific wind stress to multi-decadal variations in upper-ocean heat content and sea level in the tropical south Indian Ocean* Geophysical Research Letters, 38, L12602 .

Swingedouw, D., Rodehacke, C. B., Behrens, E., Menary, M., Olsen, S. M., Gao, Y., Mikolajewicz, U., Mignot, J. und Biastoch, A. (2012) *Decadal fingerprints of freshwater discharge around Greenland in a multi-model ensemble* Climate Dynamics, 39, 1951-1968

Budget contribution from GEOMAR: 15 K€/year

This covers travel to Drakkar meetings, equipment for data storage from Drakkar model runs, and Drakkar-related publication fees.