

PROGRAMME NATIONAL  
"d'ETUDE de la DYNAMIQUE du CLIMAT "

**DEMANDE DE FINANCEMENT 2001**  
**formulaire détaillé**

Rappel : **une demande de financement comprend la fiche abrégée et le formulaire détaillé**  
Si vous envoyez votre demande de financement par courrier électronique l'envoyer en format RTF ou PDF, en document attaché, à : pnedc@cnrs-dir.fr.  
Le document attaché doit être nommé avec les informations minimum suivantes : nom du responsable scientifique-titre du projet, **(un exemplaire détaillé doit être adressé par courrier postal revêtu de la signature du directeur du laboratoire proposant)**  
si vous choisissez le courrier postal : envoyer **la fiche abrégée en 1 exemplaire et le formulaire détaillé en 15 exemplaires** à Martine Révillon INSU -BP 287-16-75766 Paris cedex 16

**THEME (S) CONCERNÉ(S) :** **Thème 2 : Variabilité climatique dans l'Atlantique Nord**  
**action 1 (modèles), action 2 (observations)**

**RESPONSABLE SCIENTIFIQUE DU PROJET :** **Alain Colin de Verdière**  
Professeur, Université de Bretagne Occidentale

**LABORATOIRE DU PROPOSANT :**

Laboratoire de Physique des Océans - Université de Bretagne Occidentale  
UFR Sciences, 6 avenue Le Gorgeu, BP 809 - 29285 Brest cedex  
Tél. : 02 98 01 62 24 - Fax : 02 98 01 64 68 - e-mail : acolindv@univ-brest.fr

Indiquer explicitement les nom et prénom du Directeur du Laboratoire, les références de la formation CNRS de rattachement (n° UMR ou UPR, etc...) :

Xavier CARTON, Laboratoire de Physique des Océans (UMR 6523 CNRS / IFREMER / UBO)

**Titre du projet : NAO.5 (Mécanismes de variabilité climatique dans l'Atlantique)**

**Résumé du projet :**

Nous cherchons à mettre en évidence la structure dynamique des modes de variabilité à l'échelle décennale dans des modèles conceptuels idéalisés dont le réalisme est progressivement accru, et dans les données des 150 dernières années dans l'Atlantique Nord.

Liste des personnes collaborant au projet (avec indication de leur unité CNRS de rattachement) :

Alain Colin de Verdière	Professeur UBO	UMR 6523
Thierry Huck	CR2 CNRS	UMR 6523
Eduardo da Costa	postdoc	UMR 6523
Olivier Arzel	doctorant MENRT	UMR 6523

**Durée du contrat demandé : 3 ans**

**Montant demandé : 80 kF/an**

**Projet nouveau**

**Projet déjà engagé : X**

Visa *obligatoire* du Directeur de formation  
par interim pour Xavier Carton,  
Richard Schopp

Signature du demandeur :  
Alain Colin de Verdière

## DOSSIER SCIENTIFIQUE

### 1. Intérêt scientifique :

Nous ne reprenons pas ici la présentation de l'ensemble du dossier qui a été fourni les 2 dernières années pour ce projet sur 3 ans, seul le travail prévu pour l'année 2001 est indiqué.

Il existe aujourd'hui dans l'Atlantique Nord un ensemble d'informations sur la variabilité basse fréquence (périodes de quelques années à quelques dizaines d'années) qui indique :

(i) l'existence dans l'atmosphère d'un mode stationnaire ayant la forme d'un dipôle méridien dont les centres d'action sur l'Atlantique Central sont proches de 30°N et 55°N. La variabilité temporelle de ce mode mesuré par l'index NAO (Pression aux Açores - Pression en Islande) se concentre aux périodes interannuelles décennales et interdécennales. Cet index est bien corrélé avec la douceur des hivers de l'Europe de l'Ouest.

(ii) l'existence d'anomalies de SST de quelques degrés de très grande échelle qui sont intensifiées sur le bord Ouest, qui se propagent lentement à des vitesses qui ne sont pas celles de la circulation générale océanique. Très grossièrement pour les plus longues périodes, aux événements chauds de SST correspond un faible index de NAO et vice-versa.

L'objectif du présent projet sur 3 ans est de tester si la dynamique mise en évidence au sein des OGCMs (modèle de circulation générale de l'océan) couplés à des modèles d'atmosphère de faible complexité peut aider à comprendre les liens de couplage océan - atmosphère qui existent pour expliquer les relations entre (i) et (ii). Puisque aux longues périodes de ces phénomènes sont associés des modes d'oscillations naturels dans l'océan, notre hypothèse de travail est que ces modes vont fournir de la mémoire à l'atmosphère pour passer d'un hiver à l'autre et sont au cœur de la régularité et de l'organisation du système couplé dont les retombées pour la prévision des climats d'hiver de l'Europe de l'Ouest sont potentiellement si importantes.

Ayant acquis maintenant une certaine expérience sur les processus responsables des oscillations décennales, nous voulons tester ces idées sur les observations de l'Atlantique Nord et dans les modèles de climat de plus forte complexité.

Notre objectif est de documenter les modes de variabilité de l'océan et du système couplé océan - atmosphère - glace sur des périodes interannuelles à interdécennales pour les comparer aux observations et aux modèles les plus réalistes. Notre démarche consiste à chercher des mécanismes conceptuels 'simples' et à les tester dans des configurations de plus en plus réalistes, jusqu'à pouvoir les comparer aux observations. Cette approche inverse se justifie par la difficulté de comprendre ou interpréter les modes de variabilité observés ou modélisés par les systèmes couplés réalistes. Connaissant la signature des modes recherchés peut-être est-il plus aisé de déterminer lesquels s'expriment dans les observations ou les simulations.

### 2. Plan de recherche et calendrier

#### a) **Résultats acquis** (identique à la fiche bilan)

##### *1. Analyse des observations dans l'Atlantique Nord et interprétation (EC, ACdV)*

Une nouvelle méthode d'analyse des données a été appliquée aux variables SST-SLP de l'ensemble des 136 ans de données KAPLAN sur l'Atlantique Nord. A l'aide de cette méthode les modes d'oscillation océan-atmosphère les plus corrélés ont été mis en évidence. Une période de 7,7 ans émerge au cours de laquelle les tourbillons atmosphériques oscillent de façon stationnaire alors que la SST se propage vers l'ouest aux basses latitudes (comme un front d'ondes de Rossby) et vers

le Nord le long des côtes américaines (advection par le Gulf Stream). Les observations sont grossièrement consistantes avec un forçage de l'océan par le rotationnel de vent aux basses latitudes et à un forçage de l'atmosphère par l'Océan aux latitudes de bifurcation du Gulf Stream (Costa et Colin de Verdière 2000).

### *2. Modélisation de la circulation thermohaline et de sa stabilité (TH,GKV)*

Une méthode numérique d'analyse de stabilité linéaire de modèles océaniques grande échelle a été développée et testée. Facile à mettre en œuvre, elle a permis de montrer que l'émergence de variabilité inter-décennale dans les modèles forcés par des flux de chaleur constants est due à un mode linéaire instable de mêmes caractéristiques : période, taux de croissance, structure spatiale (Huck et Vallis 2000). La méthode a ainsi été validée, ses contraintes et limites ont été estimées, elle a été implémentée de manière optimale sur la machine vectorielle de l'IDRIS afin de pouvoir traiter des problèmes de dimensions plus importantes. Il ne reste plus qu'à la mettre en œuvre pour une configuration réaliste de l'Atlantique Nord dans un modèle aux équations primitives.

Par ailleurs un certain nombre d'expériences préliminaires ont été lancées pour estimer le rôle de plusieurs facteurs nouveaux sur le mode thermique étudié jusqu'à présent : bassin bi-hémisphérique, avec et sans ouverture du courant antarctique circumpolaire, prise en compte de la salinité et de son forçage. Aucun n'a encore empêché l'émergence du mode instable.

### *3. Interaction Océan - atmosphère en canal périodique (ACdV,MLB)*

Parce qu'une géométrie de canal zonal permet une décomposition spectrale, les mécanismes d'interaction océan - atmosphère sont beaucoup plus faciles à extraire. Lorsque les anomalies dans le régime des vents d'ouest aux moyennes latitudes sont approximativement stationnaires, l'atmosphère fournit un feedback positif aux anomalies de SST et une instabilité émerge. Nous avons montré comment cette instabilité peut s'appliquer à l'onde Antarctique circumpolaire (Colin de Verdière et Blanc 2000). Les applications potentielles de ce mécanisme à l'Atlantique Nord sont en cours.

### *4. Interactions instables entre tourbillons océaniques et vent zonal (TH,OA)*

Un modèle couplé océan - atmosphère simplifié a été développé pour étudier les interactions instables entre les grands tourbillons océaniques et les vents zonaux. Il consiste en un océan bidimensionnel à une couche couplée via les flux de chaleur et de quantité de mouvement à une atmosphère unidimensionnelle en équilibre d'énergie incluant une paramétrisation des vents zonaux à la Green. Dans un régime de paramètres limité, ce modèle produit des oscillations de période décennale à inter-décennale, concentrées dans la région inter-gyre. Un mécanisme expliquant cette variabilité est proposé et décrit dans un article en préparation (Unstable interactions between ocean gyres and zonal winds, O. Arzel et T. Huck).

*Divers* : réalisation de pages web sur l'Oscillation Nord Atlantique et la variabilité climatique longue période pour Oceanopolis à Brest (EC, TH). <http://www.ifremer.fr/lpo/thuck/nao/nao.html>

## **b) Plan de recherche et calendrier**

### **Modélisation**

#### *Signature du mode thermique en configuration réaliste (TH)*

Une méthode d'estimation du modèle linéaire tangent océanique facile à mettre en œuvre a fait ses preuves dans une analyse de stabilité linéaire qui prédit les modes instables qui se développent lors de l'intégration temporelle du modèle planétaire géostrophique non-linéaire (Huck et Vallis 2000). Son application à un modèle aux équations primitives de type OPA pour une configuration réaliste de l'Atlantique Nord est en cours. Les contraintes de cette méthode sont la

nécessité d'un état initial stationnaire (équilibre), donc d'un forçage constant (annuel moyen). Dans une première étape, on ne s'intéressera qu'à une variable influençant la densité - la température - et on testera l'hypothèse planétaire géostrophique que les vitesses sont des variables diagnostiques du champ de densité. Ceci devrait déjà fournir une première ébauche de la structure spatiale et temporelle des modes grande échelle les plus instables dans l'Atlantique Nord. Puis on étendra cette analyse de stabilité linéaire à un modèle intégrant température et salinité afin de comprendre la structure des modes instables TS, d'abord en géométrie idéalisée puis en configuration réaliste. Finalement l'influence de la limitation spatiale de ces modes à un bassin océanique unihémisphérique sera testée dans des bassins bihémisphériques avec courant antarctique circumpolaire, puis globaux si possible.

#### *Interactions humidité - salinité dans les oscillations décennales (ACdV,OA)*

Si les modes de variabilité décennaux associés aux fluctuations de température avec flux de chaleur imposés commencent à être bien explorés, on ne peut en dire autant des modes qui impliquent la salinité. Une première étape est, bien entendu, de voir si les oscillations mixtes TS sont de même nature dynamique que les oscillations en T dans un océan non couplé. Pour préparer l'étape suivante d'exploration des mécanismes en mode couplé, il faut disposer d'un modèle atmosphérique incluant les transports méridiens d'humidité dans l'atmosphère 1) qui puisse reproduire à peu près correctement la dynamique grande échelle et 2) qui soit suffisamment économique pour pouvoir explorer une large gamme de paramètres sous mailles dans l'esprit de ce qui a été fait précédemment pour les oscillations en T (Huck, Weaver et Colin de Verdière, 1999).

Dans ce contexte, un modèle axisymétrique avec paramétrisation à la Green (1970) des transports tourbillonnaires aux moyennes latitudes et susceptible de simuler une cellule de Hadley dans de bonnes conditions nous paraît être un choix fructueux pour couplage postérieur aux modèles d'océans dont nous disposons déjà. Il n'est pas question de redévelopper les schémas complexes d'ajustement convectif - radiatif présents dans les modèles atmosphériques mais de coopérer avec les spécialistes de ces questions (coopération initiale avec L. Li du LMD) pour intégrer ces modules dans la géométrie axisymétrique choisie. Il est prévu de tester cette année la réponse du modèle aux distributions de SST imposées et de valider la réponse de la dynamique grande échelle aux paramétrisations des transports aux moyennes latitudes. Une expérience a déjà été acquise sur la dynamique grande échelle atmosphérique par A. Colin de Verdière alors que les paramétrisations souhaitées ont déjà été introduites dans un EBM par T. Huck.

#### *Interactions instables entre les grands tourbillons océaniques et le vent zonal (TH,OA)*

Un modèle océanique à une couche couplé via les flux de chaleur et de quantité de mouvement à un modèle atmosphérique unidimensionnel de type '*energy balance*', incluant une paramétrisation des vents zonaux à la Green (1970), produit des oscillations interdécennales dans un régime de paramètres limité (Cessi 2000, Gallego et Cessi 2000). Après avoir décrit ces oscillations et étendu le régime des configurations et paramètres donnant lieu à des oscillations (Arzel et Huck, manuscrit en préparation), on s'intéressera plus particulièrement au mécanisme et aux conditions d'émergence du mode instable. On cherchera alors une configuration et un régime de paramètres réalistes qui permettent de reproduire ces oscillations et de déterminer leur signature pour l'Atlantique Nord, afin de les comparer aux observations.

#### **Observations : niveau de la mer et altimétrie (EC,TH)**

L'objectif de cette partie est d'évaluer la possibilité de reconstruire par méthodes statistiques le champ de niveau de la mer au cours du dernier siècle en associant les longues séries temporelles marégraphiques, et la couverture spatiale globales des données altimétriques satellitaires (Topex/Poseidon).

Dans un premier temps, on analysera de manière indépendante les longues séries temporelles marégraphiques, ponctuelles, et les données altimétriques de couverture globale disponibles dans l'Atlantique Nord, afin d'estimer leur variabilité longue période. Le LEGOS

(Toulouse) ayant une expérience reconnue dans ces domaines, une collaboration sur ce sujet leur sera proposée pour 2001, principalement sur la correction des données marégraphiques et sur l'interprétation des données altimétriques en terme de contenu thermique ou de changements de circulation océanique. On cherchera ensuite les corrélations entre séries marégraphiques et composantes principales du niveau de la mer sur la période d'observation satellitaire, afin de reconstruire leur évolution historique sur la période des séries marégraphiques si possible. À plus long terme, on cherchera à interpoler ces données pour reconstruire l'historique du niveau de la mer dans l'Atlantique Nord durant le dernier siècle.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques du responsable et de l'équipe, en particulier sur le sujet de la demande (trois dernières années).

Huck, T., A. Colin de Verdière, et A. J. Weaver, 1999 : Interdecadal variability of the thermohaline circulation in box-ocean models forced by fixed surface fluxes. *J. Phys. Oceanogr.*, **29**, 865-892.

Huck, T., A. J. Weaver, et A. Colin de Verdière, 1999 : On the influence of the parameterization of lateral boundary layers on the thermohaline circulation in coarse-resolution ocean models. *J. Mar. Res.*, **57**, 387-426.

Colin de Verdière, A., et T. Huck, 1999 : Baroclinic instability: an oceanic wavemaker for interdecadal variability. *J. Phys. Oceanogr.*, **29**, 893-910.

Colin de Verdière, A., et T. Huck, 2000 : A 2 degree of freedom dynamical system for interdecadal oscillations of the ocean-atmosphere. *J. Climate*, **13**, 2801-2817.

Huck, T., G. K. Vallis, et A. Colin de Verdière, 2000 : On the robustness of the interdecadal modes of the thermohaline circulation. *J. Climate*, in press.

### Publications soumises

Colin de Verdière, A., et M. L. Blanc, 2000 : Thermal resonance of the atmosphere to SST anomalies. Implications for the Antarctic circumpolar wave. *Tellus*, soumis.

Costa, E. D., et A. Colin de Verdière, 2000 : Extended Canonical Correlation Analysis of North Atlantic SST and SLP. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, soumis.

Huck, T., et G. K. Vallis, 2000 : The use of tangent linear model for predicting oscillations of the three-dimensional thermohaline circulation. *Tellus*, soumis.

### Colloques

Colin de Verdière, A. : Wavenumber selection of the atmospheric response to SST. EGS, avril 2000, Nice.

Colin de Verdière, A., et E. Costa : The 7.7y North Atlantic Oscillation. Conférence NAO (AGU), novembre 2000, Université de Vigo, Orense, Espagne.

Huck, T., et O. Arzel : Oscillations in a Simplified Coupled Model Due to Unstable Interactions Between Zonal Winds and Ocean Gyres. Conférence NAO (AGU), novembre 2000, Université de Vigo, Orense, Espagne.

## MOYENS DONT DISPOSE LE PROPOSANT ET QUI SERONT AFFECTÉS À LA RÉALISATION DU PROJET

### 1. Chercheurs et laboratoires impliqués (établir une liste nominative avec indication précise du rôle de chacun et du pourcentage de temps qu'il consacra au projet)

Alain Colin de Verdière	50%	modèle atmosphérique idéalisé, couplage T et S
Thierry Huck	90%	modélisation et calcul de stabilité linéaire, analyses des données altimétriques
Eduardo da Costa	80%	(sous réserve de bourse portugaise) analyse des données marégraphiques et altimétriques
Olivier Arzel	100%	modélisation idéalisée avec température et salinité

### 2. Equipement disponible pour la réalisation du projet (préciser dans quel laboratoire)

stations de travail et PC/linux (LPO/UBO)  
calculateur SGI 8 processeurs (LPO/IFREMER)  
calculateur vectoriel NEC SX5 (IDRIS) : 1000 h demandées pour 2001

**Autres financements attribués (en cours) ou demandés dans le cadre des programmes INSU (Equipements mi-lourds INSU, autre Programme National). Bien préciser les financements obtenus dans le cadre européen.**

## **BUDGET**

### **1. FONCTIONNEMENT : 10 kF**

A détailler et justifier

Frais de publications : 10 kF

### **2. MISSIONS : 60 kF**

A détailler et justifier

mission pour collaboration avec LEGOS, Toulouse : 5 kF

EGS, mars 2001 (Nice) : 3 x 5 kF = 15 kF

AMS conference, juin 2001, USA : 15 kF

Climate Conference 2001, aout 2001, Utrecht (NL) : 2 x 5 kF = 10 kF

séjour aux USA pour collaboration avec G. Vallis (GFDL/Princeton) : 15 kF

### **3. ÉQUIPEMENT SPÉCIFIQUE : 10 kF**

A détailler et justifier

Consommables imprimantes : 10 kF

**TOTAL GÉNÉRAL DES CRÉDITS DEMANDÉS (HT) : 80 kF**