



EPIDOM

Evaluation de la Prévisibilité Interannuelle à Décennale à partir des Observations et des Modèles

Convention de subvention:
10-MCGOT-GICC-7-CVS-131

Rapport mi-parcours
Avril 2012





Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en
Calcul Scientifique –CERFACS

Centre National de Recherche Scientifique –CNRS

42 Avenue Gaspard Coriolis 31057 Toulouse – France

Tél. : + 33 (0) 5 61 19 30 49

Fax : + 33 (0) 5 61 19 30 00

Messagerie : christophe.cassou@cerfacs.fr

Site : www.cerfacs.fr

Toulouse, le 06 Avril 2012

Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, du Transport et du logement (MEDDTL)
Commissariat Général au Développement Durable
Service de la recherche/ Maurice Imbart

Tour Voltaire
1, place des Degrés
92055 LA DEFENSE

GIP ECOFOR
Coordinateur du Projet GICC/ Natacha MASSU
42, Rue Sheffer
75116 PARIS

Objet : Rapport mi parcours EPIDOM

Madame, Monsieur,

Je vous prie de trouver ci-joint, conformément à la convention numéro 10-NCGOT-GICC-7-CVS-131 signée le 07 Janvier 2011 par les différentes parties, le rapport mi-parcours du projet "Estimation de la Prévisibilité Interannuelle à Décennale à partir des Observations et des Modèles", ci-après EPIDOM, soutenu dans le cadre du programme GICC.

En espérant que ce rapport répondra à vos attentes, je reste à votre disposition pour toute demande d'information complémentaire.

Bien cordialement.

Christophe Cassou
Chargé de Recherche au CNRS-Cerfacs

Récapitulatif du projet

Titre du projet : EPIDOM : Evaluation de la Prévisibilité Interannuelle à Décennales à partir des observations et des Modèles

Durée du projet : 30 mois à partir du 06 Janvier 2011

Mots clés : Prévisibilité décennale : sources, estimation, mécanismes physiques, incertitudes ; variabilité climatique basse fréquence; exercice d'intercomparaison CMIP5/GIEC AR5

Thème : La nécessaire estimation de la prévisibilité aux échelles décennales, des mécanismes à son origine, et de son incertitude à ces échelles.

Responsable scientifique:

Dr. Christophe Cassou

Chargé de Recherche au CNRS

CERFACS, 42 Avenue G. Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 1

Tel : 05 61 19 30 40 ; Fax : 05 61 19 30 00 ; Courriel : christophe.cassou@cerfacs.fr

Organismes impliqués dans le projet:

Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (Cerfacs)	P1
Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)	P2
Centre National de Recherche Météorologique – Météo-France (CNRM-MF)	P3

Partenaire impliqué dans le projet:

Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyenne Terme (CEPMMT)

Organismes gestionnaires des crédits:

Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (Cerfacs)

Centre National de Recherche Scientifique, Délégation Paris B (DR2)

Centre National de Recherche Scientifique, Délégation Midi-Pyrénées (DR14)

Subvention octroyée : 489 758,80 €

Détail de l'aide accordée par le GICC :

Cerfacs + partenariat CEPMMT: 242 516,80 € + 5000 € = 247 516,80 €

IPSL : 150 592 €

CNRM-GAME : 91 650 €

Cofinancement assuré : Pas de cofinancement pour ce projet

Résumé

Le projet EPIDOM vise d'une part à estimer la prévisibilité décennale, ses sources, ses signatures régionales et son niveau d'incertitude, et d'autre part à mieux comprendre les mécanismes fondamentaux de la variabilité climatique à ces échelles de temps et d'espace.

La première phase d'EPIDOM a été consacrée à la réalisation des simulations du « volet décennal » de l'exercice international Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) et à leurs mises à disposition pour la communauté sur les serveurs Earth System Grids (ESG). Ces simulations, ou prévisions rétrospectives, correspondent à la contribution française à CMIP5 qui servira de base au prochain rapport (Chapitre 11, volet décennal) du Groupe Intergouvernemental d'experts de l'Evolution du Climat (GIEC) en 2013. La plupart des études actuelles d'intercomparaison des modèles en mode prévision décennale inclut ainsi les modèles CNRM-Cerfacs et IPSL dans leurs analyses.

La deuxième phase repose sur l'étude de la prévisibilité décennale en tant que telle et des mécanismes physiques associés. Cette phase est en cours et constituera la plus grosse partie de la suite du projet. Les résultats préliminaires montrent qu'à l'échelle globale, une grande part de la prévisibilité est expliquée par les forcages externes (volcan, aérosols, gaz à effet de serre), et est bien capturée par les systèmes de prévisions rétrospectives. Régionalement, c'est à dire à l'échelle du bassin océanique, la valeur ajoutée de l'initialisation océanique, au cœur des simulations décennales, est sensible sur l'Atlantique (en particulier le gyre subpolaire) et sur l'Indien. Elle est faible sur le Pacifique sauf à l'ouest du bassin. Des études en modèle parfait ont été engagées afin de mieux comprendre les comportements des modèles et les sources mêmes de leur prévisibilité décennale. Enfin des nouvelles simulations pour quantifier proprement le rôle sur la prévisibilité de la stratosphère, de la biogéochimie marine, respectivement dans CNRM-CM5 et IPSL-CM5, ont été engagées.

Les premiers résultats d'EPIDOM confirment le fait que la prévision décennale reste un sujet de recherche fondamentale. Des questions essentielles de méthodologie et de physique se posent, l'échelle décennale concentrant les difficultés de la modélisation climatique (impact/estimation des dérives et des biais des modèles couplés sur la variabilité et sa prévisibilité etc.) avec celles des observations nécessaires à l'initialisation, en particulier océanique (disponibilité spatio-temporelle des mesures, techniques d'assimilation etc.)

Summary

EPIDOM aims at estimating, on one hand, the previsibility at decadal timescale, its origins, its regional signature as well as its level of uncertainties, and on the other hand, at better understanding the fundamental mechanisms of the climate variability at such a temporal timescale.

The first part of EPIDOM was devoted to the completion of the CMIP decadal forecast experiments and to the transfert of outputs on Earth System Grids (ESG) for international access within the next IPCC report framework. Most of the current model intercomparison studies include both CNRM-Cerfacs and IPSL model in their analyses.

The second part of EPIDOM is devoted to the understanding of decadal variability in terms of processes. This ongoing part will cover the rest of the project. Preliminary results show that at global scale, a large fraction of the predictability is explained by external forcings (volcanoes, aerosols and greenhouse gases), and is well captured by the forecast systems. At ocean basin-scale, the added-value of the ocean initialization, at the core of the decadal hindcasts, is significant in both the Atlantic (especially in the subpolar gyre) and the Indian Oceans. The added-value is much lower in the Pacific except in the West. Fundamental studies in « perfect model » framework have been tackled in order to better understand both CNRM-Cerfacs and IPSL models behavior and the sources of predictability. Finally new simulations have been integrated to estimate the role of the stratosphere and the biogeochemistry on the predictability skill scores.

Results overall confirm that the decadal forecast initiative is still an « academic-type » of research. Fundamental questions on both methodologies and physics are still open because the decadal timescale concentrates difficulties in both modeling (impact/estimation of coupled model drifts and biases on variability and predictive skill etc.) and observations that are crucial for the initialisation step (sparsity of the observations, assimilation techniques etc.).

1. Contexte et objectifs du projet

La proposition EPIDOM vise d'une part à estimer la prévisibilité décennale, ses sources, ses signatures régionales et son niveau d'incertitude, et d'autre part à mieux comprendre les mécanismes fondamentaux de la variabilité climatique à ces échelles de temps et d'espace. La plupart des études s'appuie sur l'exercice d'intercomparaison Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) réalisé dans le cadre du prochain rapport du Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat (GIEC) dont la publication est prévue en 2013-2014. EPIDOM repose sur trois piliers :

- **Soutien** : EPIDOM sert de soutien à la communauté française pour assurer une contribution sérieuse et significative au volet décennal de CMIP5.
- **Coordination** : EPIDOM sert de coordination à la communauté française associée au CEPMMT, pour évaluer la prévisibilité décennale en termes de processus, d'incertitudes et d'applications au travers de CMIP5 et des observations ou de leurs estimations via les réanalyses. La proposition EPIDOM s'intègre dans une tradition de coopération des acteurs français de modélisation climatique.
- **Exploratoire** : EPIDOM est une étape exploratoire, un véritable pré-requis pour préparer les études d'impacts au sens usuel du terme (régionalisation, extrême etc.). L'échelle décennale semble concentrer toutes les limitations des études climatiques, à savoir : la couverture observationnelle limitée dans le temps et dans l'espace qui rend l'estimation des fluctuations décennales et la validation même de leur prévision difficile, l'interaction entre les biais/dérives des modèles et la variabilité/prévisibilité à ces échelles de temps, la coexistence de différentes sources (interne, naturelle, anthropique) de variabilité/prévisibilité qui interagissent etc.

EPIDOM s'inscrit naturellement dans le panorama français de suivi des effets du réchauffement climatique, ses impacts et l'adaptation dont la maîtrise d'ouvrage interministérielle est confiée au MEDDTL. Il vise à établir les bases scientifiques et méthodologiques qui sont indispensables à toutes les applications aval multidisciplinaires et essentielles dans un contexte d'adaptation au changement climatique. La prévision décennale est encore un sujet de recherche fondamentale ; elle constitue ainsi un véritable défi pour la communauté des climatologues (communauté amont en tant que fournisseurs d'informations climatiques) mais aussi pour la communauté des impacts/décideurs/acteurs socio-économiques/citoyens (communauté aval en tant qu'utilisateur/client de cette information).

L'action EPIDOM se situe ainsi dans le périmètre « développement des connaissances utiles pour aider à la décision en matière de réduction des impacts et d'adaptation au changement climatique » de l'APR GICC 2010.

2. Résultats à mi-parcours

Les principaux résultats obtenus à mi-parcours sont présentés ci-dessous en reprenant les livrables listés dans la proposition initiale.

2.1 Phase 1 : L'exercice décennal CMIP5

Durant les 15 premiers mois d'EPIDOM, l'IPSL et le CERFACS ont réalisé l'ensemble des simulations requises comme ticket d'entrée pour le volet décennal de la base de données d'intercomparaison CMIP5 (expériences CORE) en vue du prochain rapport du GIEC de 2013. Comme anticipé, le jeu CORE a été complété par des simulations additionnelles, dites TIER1, conformément aux recommandations du workshop d'Aspen qui insiste sur la faiblesse et le caractère trop minimaliste du CORE pour répondre correctement aux questions de prévisibilité décennales.

2.1.1 Augmentation du nombre de membres pour les différentes dates de prévision (de 3 à 10)

CERFACS : Le Cerfacs a porté le nombre de membres de 3 à 10 pour chaque date de prévision du CORE (1960, 1965, 1970... 2000, 2005). Une série de 10 dates supplémentaires (1959, 1964... 2004), avec également 10 membres pour chaque nouvelle date, a aussi été réalisée.

IPSL : L'IPSL a porté le nombre de membres de 3 à 6 pour chaque date de prévision du CORE. La stratégie d'initialisation des simulations de prévision décennale à l'IPSL est basée sur la réalisation d'un ensemble de simulations historiques incluant un rappel aux anomalies de température océaniques observées pour générer des conditions initiales pour les prévisions. Cet ensemble tire profit des simulations réalisées dans le cadre de CMIP5 « long term » et permet de tester la robustesse de la stratégie d'initialisation. 2 séries de 3 ensembles de prévision ont ainsi été lancées selon ce protocole. Une troisième est prévue au cours du deuxième semestre de 2012 pour porter le nombre final à 9.

2.1.2 Test de différentes stratégies d'initialisation

CERFACS : L'initialisation du système de prévision au Cerfacs repose sur la réalisation d'une unique simulation historique (dite HISTNUD) dans laquelle l'océan (température et salinité) est rappelé à la fois en surface et en profondeur aux champs bruts de la réanalyse NEMOVAR produite par le CEPMMT. HISTNUD est donc une simulation couplée avec un rappel tri-dimensionnel océanique vers les observations ou leurs estimations, les autres composantes du système climatique (atmosphère, glace de mer etc.) étant libres. HISTNUD sert de conditions initiales aux ensembles de prévisions, les perturbations entre les 10 membres se limitant à une perturbation aléatoire des conditions initiales atmosphériques du 1^{er} jour de prévision. Des tests sur la nature du rappel océanique ont été menés avant de figer la configuration pour CMIP5. Diverses constantes de rappel ont été testées (allant de 5 à 30 jours pour le rappel de l'océan de subsurface, et de -20 à -100 $W.m^{-2}.K^{-1}$ pour l'océan de surface. Le couple (10 jours, -40 $W.m^{-2}.K^{-1}$) a été retenu représentant un bon compromis. Des tests ont été aussi conduits pour évaluer l'impact du rappel en fonction des zones géographiques. Deux exercices CORE ont été menés avec, dans un cas, un rappel global, et dans l'autre, un rappel limité aux zones extratropicales (subsurface libre entre 20°N-20°S). La deuxième option a été retenue pour CMIP5 car un rappel global perturbe fortement la dynamique équatoriale dans le Pacifique avec un impact fort sur la dynamique et la prévision de l'ENSO (El Nino Southern Oscillation). Un article (Sanchez-Gomez et al) est en préparation.

IPSL : Comme indiqué plus haut, la stratégie d'initialisation adoptée à l'IPSL repose sur un rappel aux anomalies de température de surface observées au cours d'une simulation historique. Cette stratégie a été testée dans un cadre de modèle parfait : une période de 150 ans de la simulation de contrôle du

modèle couplé produite dans le cadre de CMIP5, est sélectionnée pour constituer une période d'observations de substitution (appelée « cible » ou pseudo-observations). En partant d'un état initial considéré comme indépendant de l'état initial de la cible, le but de l'initialisation est de reproduire une variabilité climatique comparable à la cible en rappelant la température et/ou la salinité de surface du modèle vers les anomalies de la cible. Différentes étendues géographiques sont testées pour l'application du rappel, afin de contraindre le modèle sur la plus grande surface possible tout en évitant les possibles problèmes dans les zones de bords de glace. Ces tests ont permis de mieux comprendre comment, et jusqu'où, les différentes stratégies d'initialisation sont capables de mettre le modèle couplé sur une trajectoire comparable à celle de la cible. Après une étude détaillée de la réponse du modèle à la surface de l'océan (là où le rappel est effectué), nous avons mis en évidence les mécanismes de l'influence de l'initialisation sur la température et la salinité en profondeur, dans différentes zones du globe (océans Pacifique, Atlantique, zones tropicales et moyennes latitudes, et Antarctique). Une étude est en cours de finalisation sur l'influence de l'initialisation, en modèle parfait, sur la circulation méridienne de retournement dans l'Atlantique. Ces tests ont permis de figer la configuration retenue au final pour les simulations de CMIP5. Un article (Servonnat et al) est en préparation.

2.1.3 Focus particuliers sur la décennie 2000 et identification des sources de prévisibilité sur la période 2010-2030

CERFACS : Quatre jeux d'expériences additionnels ont été conduits pour estimer les sources de prévisibilité sur la période 2010-2030. La première (Volc2010) consiste à simuler la réponse du système climatique à une éventuelle éruption volcanique type Pinatubo au début de la décennie 2010. La deuxième consiste à maintenir les gaz à effet de serre constant à leurs valeurs de 2010 sur la période de prévision 2010-2030. La troisième consiste à supprimer tout cycle solaire à 11 ans et à maintenir le minimum solaire record observé en 2009 sur toute la période de prévision 2010-2030. La dernière consiste à supprimer l'initialisation océanique. Pour chaque ensemble, 10 membres ont été réalisés et l'analyse de ces simulations est en cours (Cf. section 2.2.3.4).

CERFACS : Il était prévu initialement dans le projet, de compléter la décennie 2000 en produisant un jeu de prévision tous les ans. Cette tâche a été abandonnée et nous avons préféré compléter par de nouvelles dates de prévision sur l'ensemble de la période 1960-2005 (Cf 2.1.1) afin de mieux évaluer les dérives et corrections à appliquer aux modèles. En effet, ces dernières sont affectées par les gaz à effet de serre et seraient biaisées si la répartition des dates n'était pas uniforme sur l'ensemble des 45 ans de prévision rétrospectives ou « hindcasts ».

2.1.4 Alimentation de la base de données CMIP5

CERFACS : L'ensemble des simulations a été mis à disposition de la communauté sur le serveur ESG mis en place à Météo-France et partagé avec le CNRM pour toutes les simulations CNRM-Cerfacs de CMIP5 (volet « long-term » et volet « décennal »). L'alimentation s'est faite en 3 étapes : le CORE étendu à 10 membres en Juillet 2011, puis les dates additionnelles en Septembre 2011, et la simulation Volc2010 en Novembre 2011.

IPSL : En Janvier 2012, l'ensemble des prévisions CORE (3 membres) + les 3 membres additionnels a été mis à disposition de la communauté sur le serveur ESG mis en place par l'IPSL et partagé par les volets « long-term » et « décennal ».

Il est important de souligner que lors de la dernière réunion CMIP5 à Hawaii (Mars 2012), la plupart des études multi-modèles sur le volet décennal incluait à la fois les simulations de l'IPSL et du CNRM-Cerfacs.

2.2 Phase 2 : Etude de la prévisibilité décennale et des mécanismes associés.

Durant les 15 premiers mois d'EPIDOM, l'accent a été mis sur la phase 1 et la réalisation de l'exercice CMIP5 lui-même. La phase 2 est ainsi en cours et les résultats sont donc préliminaires.

2.2.1 Etude des oscillations décennales dans les observations ou leurs estimations via les réanalyses

2.2.1.1 Extraction des signatures décennales dans les observations/réanalyses à l'échelle globale ou du bassin océanique

CERFACS : Une étude est en cours sur la modulation de l'activité journalière des régimes de temps sur la région Nord Atlantique/Europe par les fluctuations décennales de l'océan Atlantique. Nous montrons, à partir de la réanalyse atmosphère 20CR de la NOAA couvrant la période [1870-2008], que l'Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) est fortement corrélée avec l'occurrence hivernale des régimes de temps associée à l'Oscillation Nord Atlantique (NAO). Une AMO positive (océan Nord Atlantique chaud dans son ensemble) privilégie l'excitation de régimes NAO- alors que les régimes NAO+ se font plus rares. D'autre part, nous montrons que la force des régimes est également corrélée aux phases de l'AMO. Ainsi les régimes NAO- (NAO+) sont non seulement plus (moins) fréquents mais aussi plus intenses (moins) lorsque l'AMO est en phase positive. Cette modulation des régimes de temps se traduit par une modification des extrêmes de températures sur l'Europe, une AMO positive favorisant des vagues de froid hivernales plus intenses. Un article (Minvielle et Cassou) est en préparation.

2.2.1.2 Analyse des longues séries d'observations sur l'Europe et sur la France

Météo-France : Cette analyse reposant sur une approche de « détection attribution » est en cours.

2.2.2 Estimation de la prévisibilité décennale et de son incertitude à partir de la base CMIP5

2.2.2.1 La prévisibilité potentielle

CERFACS : Les expériences de prévisibilité potentielle viennent de commencer au Cerfacs (Février 2012) après avoir analysé de manière détaillée la variabilité naturelle basse fréquence du modèle CNRM-CM5 dans une simulation de 1000 ans, dite de contrôle (PICTL), réalisée pour CMIP5 par le CNRM, et dans laquelle tous les forçages externes (gaz à effet de serre, activité solaire, aérosols etc.) sont maintenus à leurs valeurs de 1850. Nous montrons que l'AMO dans CNRM-CM5 a deux fréquences privilégiées : l'une « centennale » (~80 ans) contrôlée par des processus thermohalins et d'advections océaniques, et une « décennale » (~15 ans) correspondant à un couplage avec la NAO, la zone de convergence intertropicale Atlantique, et la couche mélangée océanique. Un article (Ruprich-Robert et al) est en cours de rédaction. Des études préliminaires semblent suggérer une forte prévisibilité du mode « centennal » et l'origine de cette prévisibilité en mode parfait est en cours.

IPSL : La prévisibilité potentielle de la circulation méridienne de retournement de l'Atlantique (AMOC) et des variables climatiques associées a été étudiée et quantifiée dans le modèle de l'IPSL. Une approche pronostique, basée sur des simulations d'ensemble légèrement perturbées qui rejouent la simulation de contrôle afin de tester sa reproductibilité et donc sa prévisibilité, a tout d'abord été considérée. Une prévisibilité de l'AMOC jusqu'à 8 ans a été estimée dans certains cas, mais ce résultat semble dépendre

des conditions initiales de l'AMOC. Ainsi, dans le modèle, des anomalies extrêmes d'AMOC semblent être prévisibles jusqu'à une échéance de presque 2 décennies, notamment via des précurseurs identifiés dans les hautes latitudes.

Une approche diagnostique, basée sur le comportement statistique d'une simulation de contrôle suffisamment longue, a également permis d'identifier les régions les plus prévisibles dans le modèle. Les deux approches mettent clairement les mêmes zones en évidence. En général, la température de surface a une forte prévisibilité potentielle jusqu'à 2 décennies dans les moyennes et hautes latitudes de l'Atlantique Nord. Les signaux dans les zones tropicales et subtropicales sont faibles mais encourageants. Sur les continents, la prévisibilité est limitée aux zones adjacentes des régions océaniques prévisibles. En ce qui concerne les précipitations, il n'y a quasiment pas de prévisibilité au delà de l'échelle de temps interannuelle, malgré de faibles signaux identifiés dans les mers nordiques et la région de la gyre subpolaire. Plus généralement, toutes les régions identifiées comme potentiellement prévisibles sont fortement liées aux fluctuations décennales de l'AMOC, ce qui suggère que les impacts climatiques de l'AMOC seraient potentiellement prévisibles jusqu'à 2 décennies en avance dans ce modèle. Un article (Persechino et al.) est en révision).

Une analyse de la prévisibilité potentielle de la productivité marine est également en cours à partir des résultats de simulations historiques du modèle de l'IPSL. Les produits d'observation utilisés dans cette étude sont issues de mesures satellites de la productivité primaire marine qui est observée en continue depuis 1997 (SeaWiFS, puis MERIS aujourd'hui).

2.2.2.2 Quantification du niveau de prévisibilité décennale

CERFACS + IPSL : Les premières études de prévisibilité dans les deux modèles, mais aussi dans l'ensemble des modèles CMIP5, semble montrer que la prévisibilité est forte même pour des échéances longues (6 à 10 ans) pour les quantités très intégratrices (SST, contenu de chaleur océanique etc.). Un consensus semble se dégager à partir d'un grand nombre de modèles sur les particularités géographiques de la prévisibilité. Les scores de corrélation sont ainsi élevés dans l'Atlantique Nord avec une bonne prévisibilité de l'AMO, dans l'océan Indien et sont en revanche plus faibles (marginale) significatifs dans le Pacifique. Cependant, ces résultats sur les champs bruts doivent être pris avec précaution car il est indispensable de déconvoluer les diverses sources de prévisibilité et d'extraire les parts respectives des forcages externes (gaz à effet de serre, aérosols) et de l'initialisation océanique. Ces dernières constituent la valeur ajoutée du volet « décennal » par rapport aux expériences « long-term », toutes deux partageant le même forçage externe avec les expériences décennales.

2.2.2.3 Quantification de l'incertitude sur les prévisions décennales et analyse de l'origine de cette incertitude

CERFACS : Quelques tests méthodologiques ont été menés (sous échantillonnage etc.) et des analyses sur l'interaction entre les biais/dérives du modèle et les scores de prévision ont commencé dans le modèle CNRM-Cerfacs. Cette action sera poursuivie dans la deuxième phase d'EPIDOM, maintenant que la base CMIP5 « volet décennal » a été alimentée par les divers groupes internationaux.

IPSL : Une réflexion sur les scores de prévision a été amorcée dans le cadre de l'étude de prévisibilité potentielle décrite plus haut (Persechino et al.). Par ailleurs, l'influence de la forte sensibilité climatique (i.e. réponse du système climatique aux forcages externes) du modèle de l'IPSL sur la mesure et l'identification même de la prévisibilité a été amorcée : différentes techniques pour soustraire les tendances climatiques simulées sont testées, et leur impact sur la mesure de la prévisibilité est en cours d'étude.

2.2.3 Analyse des mécanismes physiques responsables de la prévisibilité décennale et de son incertitude

2.2.3.1 Identification des sources de prévisibilité décennale et analyse physique.

CERFACS : Les premières études montrent qu'une très grande partie de la prévisibilité décennale dans le système CNRM-CM5 provient des forçages externes. En global, le rôle des gaz à effet de serre et des aérosols volcaniques est dominant. Localement sur l'Atlantique, l'initialisation de l'océan semble en revanche être essentielle pour reproduire et prévoir les fluctuations observées de l'AMOC.

IPSL : Un mode de variabilité couplé entre l'océan, l'atmosphère et la glace de mer a été mis en évidence dans l'Atlantique nord aux latitudes subpolaires dans le modèle de l'IPSL. Ce mode est associé à une périodicité bi-décennale de la plupart des variables océaniques et même atmosphériques dans la région de l'Atlantique Nord subpolaire. Le mécanisme à l'origine de cette variabilité fait intervenir l'advection d'anomalies de température et de salinité par la gyre subpolaire, la fonte de la glace de mer dans les mers nordiques, puis le forçage d'anomalies locales de circulation atmosphérique responsable de la création d'anomalies de température et de salinité de signe opposé dans la région subpolaire via la modulation du courant Est groenlandais à travers de détroit du Danemark. Ce cycle a de nombreuses applications et conséquences sur la prévisibilité décennale dans le modèle. Un papier (Escudier et al.) est en révision.

Par ailleurs, une étude de la variabilité basse fréquence des précipitations en Afrique de l'Ouest, en lien avec les modes dominants de températures de surface de mer (SST) dans les différents bassins océaniques, à l'échelle décennale, a été effectuée. L'objectif est de mieux comprendre la modulation basse fréquence de la mousson ouest africaine et d'envisager sa prévisibilité éventuelle. Dans la version standard du modèle IPSL-CM5A-LR participant à CMIP5, certains de ces modes ont un lien fort avec les précipitations simulées dans la zone Afrique de l'Ouest au regard de quelques indicateurs de précipitation (indice dynamique de la mousson Africaine et l'indice de précipitation moyen des pluies en Afrique de l'ouest). Une modélisation par régression multiple a permis de faire ressortir les dépendances linéaires existant :

- 1) entre le mode dominant décrivant le bassin océanique du Pacifique ou celui du bassin Indien et l'indice dynamique de la mousson en Afrique de l'Ouest.
- 2) entre la combinaison des modes dominant décrivant le bassin océanique de la Méditerranée et celui du bassin Atlantique tropical avec l'indice de précipitation moyen des pluies en Afrique de l'ouest.

Cependant, ces résultats ne sont pas unanimes au regard des autres versions de simulations disponibles au sein du modèle IPSL. Une étude plus approfondie est ainsi nécessaire.

Enfin, une analyse de la variabilité et de la prévisibilité décennale des flux de carbone océanique a été conduite sur la simulation de contrôle préindustriel de 1000 ans du modèle IPSL-CM5A-LR. Cette étude a montré que les flux de carbone océaniques présentent une variabilité décennale à multi-décennale dont les principaux modes sont des modes à 20 ans dans l'Atlantique Nord, 30-50 dans le Pacifique Nord et 80-120 ans dans l'Océan Austral. Ces modes de variabilité correspondent globalement aux modes connus tel que l'AMO et la PDO. Néanmoins, les mécanismes en jeu sont différents selon les régions : la température contrôle la variabilité des flux de carbone dans l'Atlantique Nord alors que le carbone inorganique dissous contrôle la variabilité de flux dans le Pacifique Nord et l'Océan Austral. Une extension à la biosphère terrestre et à pression partielle de CO₂ atmosphérique est en cours.

2.2.3.2 Rôle de la stratosphère

Météo-France : Deux expériences jumelles ont été conduites à l'aide du modèle CNRM-CM5 (Voldoire et al., 2012) utilisant une géométrie ARPEGE-Climat T163 (310km) avec pour la première, 62 niveaux verticaux (Low Top, LT, jusqu'à 5hPa) et pour la seconde, 91 niveaux verticaux (High Top HT, jusqu'à 0.01hPa). Les niveaux troposphériques de HT sont identiques à ceux de LT pour comparaison parfaite, les 29 niveaux supplémentaires se situant dans la stratosphère. La version horizontale du modèle ARPEGE dans les expériences stratosphériques a été dégradée par rapport aux simulations CMIP5 pour des raisons de cout de calcul ; les modèles océaniques, de glace de mer et de surface sont strictement identiques. Le même protocole que CMIP5 « volet décennal » a été suivi pour 4 dates de départ (1981, 1986, 1991, 1996) et pour la génération des 10 membres sur 10 ans. Les états initiaux proviennent d'une simulation couplée rappelée vers les réanalyses NEMOVAR dans l'océan (équivalent de HISTNUD, Cf section 2.1.2) et rappelée en tourbillon vers les réanalyses du CEPMMT dans la stratosphère uniquement, la troposphère étant libre.

Les 2 expériences jumelles ont été réalisées en utilisant le centre de calcul de Météo-France. Les premiers résultats suggèrent une certaine sensibilité des prévisions à la prise en compte de la stratosphère, dans certaines régions des tropiques et des moyennes latitudes de l'hémisphère nord au nord de 50°. De plus, il apparaît que HT (par rapport à LT) donne des scores légèrement meilleurs sur l'Europe (notamment), de manière plus marquée pour l'échéance 6-9 ans par rapport à l'échéance plus proche 2-5 ans. Ces résultats restent à confirmer en termes de significativité, sensibilité à l'échantillon etc.

CERFACS : Le Cerfacs a décidé de renforcer et partager cette initiative portée initialement par Météo-France dans la mesure où les couts en terme de calcul sont très importants pour atteindre un nombre de prévisions rétrospectives suffisant pour en extraire des conclusions robustes. Un accent particulier sera porté sur la réponse des modèles LT et HT aux forcages volcaniques qui semblent essentiels pour la prévision décennale dans de nombreux modèles participants à CMIP5, dont CNRM-CM5 et IPSL-CM5.

2.2.3.3 Rôle de la physique atmosphérique

Météo-France : il est envisagé de réaliser un nouvel ensemble de prévisions incluant la stratosphère en utilisant une physique atmosphérique plus récente qui sera incluse dans la prochaine version d'ARPEGE, permettant ainsi d'étudier la sensibilité de le prévision décennale à la physique atmosphérique prise en compte.

2.2.3.4 Quid de la décennie 2000 et de la prévision 2010-2030 ?

CERFACS : Le Cerfacs a réalisé toute une série d'expériences de sensibilité pour évaluer l'impact des différents forcages externes sur la période 2010-2030 (Cf section 2.1.3). Des résultats préliminaires (à confirmer) suggèrent, dans CNRM-CM5, une très grande importance du forçage volcanique dans le phasage des grandes oscillations climatiques, telles la NAO et l'AMOC assurant ainsi une forte prévisibilité a posteriori. D'autres part, il est clair que le forçage solaire est d'un ordre de grandeur inférieur aux autres, tandis que le forçage par les gaz a effet de serre dominant tous les autres (même le volcanisme) à partir de 2030-2035. Les analyses se poursuivront durant la seconde partie d'EPIDOM.

3. Problèmes rencontrés

Autant pour le Cerfacs que pour l'IPSL, la réalisation des simulations CMIP5 (CORE et Tier 1) a été très éprouvante techniquement et humainement. Il est évident que, même avec l'aide appréciée et indispensable du GICC via EPIDOM, les deux laboratoires sont clairement sous dimensionnés pour ce genre d'exercice totalement nouveau pour notre communauté. Il est clair que la contribution française à

CMIP5, « volet décennal », a reposé sur la bonne volonté et la conscience professionnelle de quelques personnes assurant à la fois la science et la technique. Des enseignements devront être tirés pour l'éventuelle prochaine participation au futur exercice du GIEC.

Plus précisément pour l'IPSL, la chaîne de lancement du modèle couplé de l'IPSL, l'infrastructure du centre de calcul du CCRT, la chaîne de conversion du format des données au format du serveur ESG (CMOR) etc., étaient optimisées pour des simulations longues du type « historiques », et non pour des simulations d'ensemble plus courtes mais très nombreuses au cœur du volet décennal. Cet aspect technique a été un frein majeur, tant pour la réalisation d'un plus grand nombre de membres que pour l'élargissement des tests d'initialisation.

4. Les prochaines étapes d'EPIDOM

Le projet EPIDOM se déroule selon le calendrier annoncé dans la proposition.

La Phase 1 est terminée, la phase 2 en cours. L'accent va maintenant être mis sur les mécanismes physiques associés à la prévisibilité décennale, ainsi que sur les incertitudes estimées à partir de l'ensemble des simulations disponibles sur la base de données CMIP5. Les premiers résultats et les discussions dans les meetings internationaux (Workshop d'Aspen, WCRP Denver Open Science etc.) montrent qu'il est essentiel de « revenir aux fondamentaux » et mieux comprendre les sources de prévisibilité (rôle des aérosols en particulier etc.). L'accent sera mis sur les approches en modèle parfait. Un workshop international est organisé sous la bannière EPIDOM du 2 au 4 Mai 2012 à Capbreton. Il regroupera en plus de la communauté EPIDOM des chercheurs de l'University of Reading (UK), de l'UK Met-Office, de l'Institut Catala de Ciències del Clima (IC3, Espagne) et l'University of Toronto (Canada).

La phase 3 d'EPIDOM débutera en Sept. 2012 et s'étalera sur 9 mois. Un article de vulgarisation pour « La Météorologie » (Cassou et Mignot, 2012) est en cours d'écriture.

5. Valorisation

5.1 Publications

5.1.1 CERFACS

En préparation :

1. Sanchez et al. (2012) : Impact of the ocean initialization on the CNRM-CM5 model drift and skill. *Climate Dynamics*
2. Terray, L. (2012): On the origin and patterns of interdecadal variability in the CMIP5 experiments. *Journal of Climate*,
3. Ruprich-Robert et al. (2012) : Mechanisms for natural multidecadal variability over the North-Atlantic/Europe in CNRM-CM5. *Climate Dynamics*

5.1.2 IPSL

Soumis ou en révision :

1. Persechino A., Mignot J., Swingedouw D., Labetoulle, S. and Guilyardi E. (2012): Decadal predictability of the Atlantic Meridional Overturning Circulation and Climate in the IPSL-CM5A-LR model. *Climate Dynamics*.

- Escudier R., Mignot J. and Swingedouw D. (2012): A 20-yr coupled ocean-sea ice-atmosphere variability mode in the North Atlantic in an AOGCM. *Climate Dynamics*.
- Swingedouw D., Mignot J., Labetoulle S., Guilyardi E., Madec G. (2012): Initialisation and predictability of the AMOC over the last 50 years in a climate model, *Climate Dynamics*.

5.2 Communications dans conférences

5.2.1 CERFACS

- Cassou. C, E. Sanchez-Gomez, E. Fernandez, Terray, L. (2011): Impact of the ocean initialization on the CNRM-CM5 model drift and skill. French-UK workshop on decadal predictions, Reading (UK), June 2011
- Ruprich-Robert Y., Cassou C. (2011): Internal variability of the 1000-year CNRM-CM5 Pre-industrial control simulation: the centennial timescale. French-UK workshop on decadal predictions, Reading (UK), June 2011
- Terray, L., et al. (2011): A few recent results on decadal variability and predictability. French-UK workshop on decadal predictions, Reading (UK), June 2011
- Cassou. C, E. Sanchez-Gomez, E. Fernandez, Terray, L. (2011): CMIP5 decadal experiments at CERFACS: Initialisation and preliminary results. Aspen Global Change Institute workshop "Making sense of the multi-model decadal prediction experiments from CMIP5.", Aspen (USA), June 2011
- Terray, L. (2012): Variabilité interne et forcée aux échelles décennales: analyse des modèles CMIP5, Ateliers de Modélisation de l'atmosphère 2012, Toulouse (France), Janvier 2012
- Ruprich-Robert Y., Cassou C. (2012) : Mécanismes de la variabilité interne multidecennale de l'Atlantique Nord/Europe dans le modèle CNRM-CM5. Ateliers de Modélisation de l'atmosphère 2012, Toulouse (France), Janvier 2012
- Cassou C. (2012) : La prévision du climat aux horizons décennaux : 1^{er} Forum ALLENVI, Saint Mandé (France), Mars 2012.

Posters

- E. Sanchez-Gomez, Cassou. C, E. Fernandez, Terray, L. (2011): Model drift dependence on the ocean initialization in the CNRM-CERFACS near-term forecast, WCRP Open Science Conference, Denver (USA), October 2011.

5.2.2 IPSL

- Mignot J., Swingedouw D., Labetoulle S. Guilyardi E., Persechino A., Servonnat J. (2011) : Decadal predictions at IPSL, Aspen Global Change Institute workshop "Making sense of the multi-model decadal prediction experiments from CMIP5.", Aspen (USA), June 2011
- Mignot J. (2011) : Variabilité et prévisibilité climatique dans le modèle de climat IPSL-CM5A-LR, LOSEC, Univ. Ziguinchor (Sénégal), 24 novembre 2011
- Mignot J. (2011) : Variabilité et prévisibilité climatique dans le modèle de climat IPSL-CM5A-LR, LPAOSF, UCAD, Dakar (Sénégal), 16 novembre 2011
- Mignot J. (2011) : Presentation of CMIP5 decadal experiments at IPSL. French-UK workshop on decadal predictions, Reading (UK), June 2011
- Servonnat J. (2011) : Testing different initialisation strategies with nudging of surface variables in a perfect model Framework. French-UK workshop on decadal predictions, Reading (UK), June 2011

Posters

6. Mignot J., Swingedouw D. Labetoulle S., Guilyardi E. (2011): First results of decadal predictability experiments at IPSL, Fr-Uk workshop on decadal predictability, Univ. of Reading (UK), June 2011

5.2.3 Météo-France

Posters

1. Guérémy J.-F., Laanaia N. (2012): Prévisions décennales avec CNRM-CM5. Sensibilité à la prise en compte de la stratosphère. Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère 2012, Toulouse (France), Janvier 2012

6. Bilan financier mi-parcours

CERFACS :

Personnel: 100 kEuros

Equipement - fonctionnement: 3125 Euros

Missions + fonctionnement: 1000 Euros

IPSL :

Personnel: 42 kEuros

Equipement - fonctionnement: 2 250 Euros

Missions + fonctionnement: 10 843 Euros

Météo-France :

Personnel: 68 kEuros

Equipement - fonctionnement: 5 kEuros

