



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 final
Avril 2014





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 10 Avril 2014

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/ Christelle Bakhache

42, Rue Sheffer

75116 PARIS

Objet : Rapport final 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 final 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

Coordinateur d'EPIDOM

Récapitulatif du projet

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

Durée du projet : 30 mois à partir de Janvier 2011 + 6 mois d'extension

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

Thème : Estimation de la prévisibilité climatique aux échelles décennales, des mécanismes à son origine et de ses sources d'incertitude.

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 visait 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. Il inscrivait dans le cadre du 5^{ème} exercice d'international Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) qui a servi de base au 5^{ème} rapport (AR5) du Groupe Intergouvernemental d'experts de l'Évolution du Climat (GIEC) dont la publication s'étale sur 2013-2014.

La première phase du projet a été consacrée à la réalisation, en tant que telle, des simulations du « volet décennal » de CMIP5 et à leurs mises à disposition pour la communauté (conformité des standards, publications etc.) sur les serveurs Earth System Grids (ESG). La plupart des études actuelles d'intercomparaison des modèles en mode prévision décennale inclut ainsi les modèles CNRM-Cerfacs et IPSL dans leurs analyses. Ces simulations ou prévisions rétrospectives, réalisées sous la bannière EPIDOM, correspondent à la contribution française à CMIP5 et sont référencées dans le chapitre 11 de l'AR5 parmi les 15 groupes ayant participé à l'exercice. Les forces de travail additionnelles obtenues par EPIDOM ont été essentielles pour assurer une contribution sérieuse et significative de la communauté française au volet décennal de CMIP5. Au delà de ce soutien appréciable, EPIDOM a grandement contribué à la coordination des forces nationales entre les deux pôles de modélisation climatique à Paris et Toulouse, à d'intenses échanges et discussions scientifiques très stimulantes et aux renforcements des actions et positions communes dans l'arène des comités internationaux.

La deuxième phase du projet a porté sur l'étude de la prévisibilité décennale en tant que telle et des mécanismes physiques associés. Les résultats montrent qu'à l'échelle globale, une grande part de la prévisibilité est expliquée par les forçages 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 ou du continent, 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. Cette approche s'est avérée très pertinente pour aller au delà des scores de prévisibilité classiques à partir desquels il est très difficile de comprendre le comportement physique des modèles. Enfin, des simulations additionnelles ont été produites avec CNRM-CM5 pour quantifier proprement le rôle de la stratosphère sur la prévisibilité ; leurs analyses ne suggèrent pas de valeur ajoutée significative dans ce modèle. En revanche, l'introduction de la biogéochimie marine testée dans IPSL-CM5A s'avère prometteuse en terme de prévisibilité.

Les résultats d'EPIDOM confirment le fait que la prévision décennale reste un sujet de recherche fondamentale. Des questions essentielles de méthodologie, de physique et de statistique, 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.). Ces questions sont telles qu'il semble prématuré d'utiliser les simulations actuelles de prévision décennale pour des études d'impacts poussées sur la ou les 2 prochaines décennies aux échelles régionales. Les conclusions d'EPIDOM, en ligne avec les principales synthèses développées dans le chapitre 11 de l'AR5, plaident pour la mise en place d'approches mécanistiques afin de mieux comprendre la nature même de la variabilité décennale et son interaction avec les forçages externes, et *in fine* augmenter la prévisibilité. Dans ce cadre, EPIDOM a réussi à fédérer la communauté scientifique nationale sur ce sujet et à servir de fondation pour un nouveau projet (MORDICUS) accepté dans l'appel « SOCIété & ENVironnement » de l'Agence Nationale de la recherche (ANR) et centré sur ces problématiques.

Summary

EPIDOM aimed at estimating, on one hand, the previsibility of the climate system 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. EPIDOM took place within the 5th edition of the international Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) on which the 5th IPCC assessment report (AR5) was largely based.

The first part of EPIDOM was devoted to the completion of the CMIP decadal forecast experiments and to the transfer of outputs on Earth System Grids (ESG) for international access. Most of the current model intercomparison studies now include both CNRM-Cerfacs and IPSL models in their analyses. The retrospective forecasts produced within the EPIDOM umbrella correspond to the French contribution to CMIP5 and have been referenced in Chapter 11 of the AR5 among the 15 modeling groups that provided simulations data. The additional human resources provided to Cerfacs and IPSL by EPIDOM have been crucial to secure and ease the contribution of the French community to “decadal CMIP”. Beyond this welcomed support, EPIDOM acted as a catalyst for coordination between the modeling centers of Toulouse and Paris as well as for emergence of very stimulating and challenging scientific discussions. Lastly, EPIDOM helped reinforcing common actions and opinions in the international panels where some EPIDOM scientists are involved.

The second part of EPIDOM was devoted to the evaluation of the decadal predictability by itself and to the understanding of the physical processes at its origin. 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 western side of the basin. Fundamental studies in « perfect model » framework have been tackled in order to better understand both CNRM-Cerfacs and IPSL models behaviour and the associated sources of predictability. This approach appeared to be extremely relevant to go beyond the classical skill scores from which it is difficult to really understand what is going on. Finally, additional simulations have been integrated to estimate the role of the stratosphere on the predictability skill scores in CNRM-CM5; findings are still inconclusive with no significant added-value in the latter runs. However, the introduction of biogeochemistry in IPSL-CM5A appears to be promising for predictability purpose.

Results from EPIDOM overall confirm that the decadal forecast initiative is still an academic and fundamental, but promising, type of research. Basic questions on methodologies, physics and statistics are still open because the decadal timescale concentrates the difficulties in both modelling (impact/estimation of coupled model drifts and biases on variability and predictive skill, *etc.*) and observations that are crucial for the initialisation step (scarcity of the observations, assimilation techniques, *etc.*). The level of knowledge is such that it appears to be premature to use the actual decadal forecasts for impacts studies for the next one or two decades leadtime. Conclusions from EPIDOM, in line with the main outcomes from Chap. 11 of the AR5, support for the use of process-oriented approaches to better understand the true nature of the decadal variability and its interaction with the on-going external forcings, in order to enhance *in fine* the level of predictability. Within this framework, EPIDOM acted as a seed for the emergence of a new project called MORDICUS, which has been funded by the National Agency for Research (SOC&ENV call) and which follows the main lessons and recommendations drawn from CMIP5 and EPIDOM.

1. Contexte du projet EPIDOM

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. Il s'inscrit dans le cadre du 5^{ème} exercice d'intercomparaison Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) qui sert de support au 5^{ème} rapport du Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat (GIEC) dont la publication s'étale sur 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 MEDDE. 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 constitue 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). Elle correspond à des attentes fortes de par son fort potentiel applicatif mais est encore un véritable sujet de recherche fondamentale.

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 obtenus

Les principaux résultats obtenus dans le cadre d'EPIDOM sont présentés ci-dessous en faisant référence aux livrables listés dans la proposition initiale et en les complétant par les enseignements tirés tout au long du projet dans la catégorie : à **retenir**. En **vert**, les livrables accomplis, en **orange** ceux partiellement respectés. Le canevas du rapport suit la structure temporelle et thématique du projet.

2.1 Phase 1 : Complétude de l'exercice décennal CMIP5

Durant la première partie d'EPIDOM (15 premiers mois), l'IPSL et le Cerfacs ont réalisé l'ensemble des simulations requises comme ticket d'entrée (prévisions rétrospectives, expériences CORE) pour le volet décennal de CMIP5 qui sert de base au chapitre 11 de l'AR5. Réflexions et analyses sur les stratégies d'initialisation des prévisions ont été menées dans les deux laboratoires. Comme anticipé, le jeu CORE a été complété par des simulations additionnelles conformément aux recommandations du workshop d'Aspen de Juin 2011, qui a rassemblé les groupes participant à l'exercice décennal de CMIP5, et qui a permis de faire un point scientifique et technique à mi-parcours (http://www.agci.org/programs/past_scientist_workshops/sciSess_results.php).

2.1.1 L'initialisation océanique

L'initialisation océanique est un des « nerfs de la guerre » de la prévision climatique : elle est potentiellement la principale source de prévisibilité. Deux techniques d'initialisation très différentes ont été adoptées par l'IPSL et le Cerfacs correspondant à des approches et philosophies très contrastées entre les deux groupes. Toutes deux ont fait l'objet d'analyses assez poussées dans les laboratoires respectifs au cours d'EPIDOM, conformément au **livrable 1.1.2**.

A l'IPSL, l'initialisation océanique pour générer les conditions initiales des prévisions rétrospectives est basée sur la réalisation d'un ensemble de simulations historiques (1850-2005) incluant un rappel uniquement en *surface* aux anomalies de température océaniques observées à partir de 1949. Cet ensemble tire profit des simulations réalisées dans le cadre de l'exercice « long term » de CMIP5. La robustesse de la stratégie d'initialisation a été tout d'abord testée en « modèle parfait ». Selon ce protocole, une période de 150 ans de la simulation de contrôle de 1000 ans du modèle couplé produite dans le cadre de CMIP5, a été 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 alors 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 ont été testées pour l'application du rappel, afin de contraindre au mieux le modèle tout en évitant les possibles problèmes dans les zones de bords de glace qui s'avèrent être très sensibles. Les mécanismes qui propagent le signal de surface alors initialisé vers les profondeurs de l'océan ont été étudiés en détail dans tous les bassins du globe et dans toutes les configurations de rappel, en distinguant les tropiques des moyennes et hautes latitudes. Il est montré que l'ajout d'un rappel en sel, en plus de la température, est crucial pour reconstruire l'état océanique en dessous de la thermocline saisonnière, ainsi que les variations principales de la circulation thermohaline.

Au delà du modèle parfait, l'initialisation par la surface a été étudiée dans les simulations rétrospectives réalisées pour CMIP5 dans deux configurations du modèle IPSL-CM5A qui diffèrent par la résolution océanique horizontale. L'augmentation de la résolution permet d'améliorer la reconstruction de la subsurface en particulier dans l'Atlantique Nord via la convection profonde. L'initialisation, dans ce cadre, a été validée en se basant sur différents jeux de réanalyses océaniques. Il est ainsi montré que les réanalyses sont en général en désaccord au delà de 500m de profondeur, cette limite pouvant varier avec la latitude et selon les bassins. Ce constat justifie *a posteriori* la technique d'initialisation uniquement par la *surface* car il suggère que l'état de l'océan profond en deçà de cette limite est peu contraint par les observations disponibles alors que l'incertitude est faible sur les premières couches superficielles océaniques. Cette étude confirme également les ordres de grandeur et les mécanismes mis en évidence dans le cadre du modèle parfait. L'ensemble de ces deux analyses (modèle parfait et prévisions rétrospectives) fait l'objet de deux papiers (respectivement Servonnat et al 2014, en révision, et Ray et al 2014, en révision) qui synthétisent et justifient les choix adoptés par l'IPSL pour la réalisation de l'exercice décennal CMIP5 en tant que tel.

Au Cerfacs, l'initialisation du système de prévision 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 en forte collaboration avec le groupe « Assimilation » du Cerfacs. HISTNUD est donc une simulation couplée avec un rappel tridimensionnel océanique, les autres composantes du système climatique (atmosphère, glace de mer etc.) étant libres ; elle sert de conditions initiales aux ensembles de prévisions, les perturbations entre les 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 finale pour les prévisions rétrospectives de 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 ainsi menés avec, dans un cas, un rappel global hors rail équatorial (1°N-1°S), 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 tropicale dans le Pacifique avec un impact fort sur la dynamique de l'ENSO (El Nino Southern Oscillation) générant un choc initial marqué et néfaste pour le modèle. Un article (Sanchez-Gomez et al 2014, soumis) propose une description détaillée de ce choc et des caractéristiques dynamiques de la dérive du modèle CNRM-CM5 en fonction de l'échéance, lorsque celui-ci est initialisé en global ou hors-tropiques.

Que retenir ? Les deux laboratoires ont adopté les techniques d'initialisation océanique les plus contrastées parmi les systèmes de prévision ayant participé à l'exercice décennal de CMIP5. Le groupe CNRM-Cerfacs a opté pour une initialisation tridimensionnelle de l'océan (champs bruts) alors que l'IPSL choisit l'initialisation par anomalies et uniquement en surface. En dépit de ces différences et leurs implications en terme de choc initial et dérives, le comportement des deux modèles en matière de scores de prévision est assez semblable au premier ordre ; seules quelques différences apparaissent régionalement, en particulier dans l'Atlantique.

2.1.2 Le débiaisage et l'échantillonnage statistique

Le débiaisage des prévisions décennales est un problème majeur qui semble avoir été sous-estimé par la communauté scientifique. Les techniques classiques de type « prévision saisonnière » ont été recommandées par CMIP5 mais trouvent rapidement leur limite de par la coexistence de dérives ou croissances d'erreurs systématiques d'échelles de temps caractéristiques et mécanismes très différents (e.g. choc initial versus ajustement lent océanique etc.). L'interaction entre la dérive et les forçages externes est aussi une spécificité des prévisions décennales à laquelle il faut prêter une attention toute particulière. Deux exemples : l'un, bloquant, est lié au caractère épisodique des éruptions volcaniques qui biaise l'estimation vraie de la dérive du modèle lorsque l'échantillonnage temporel est limité, tel celui du protocole CORE de CMIP5 (2 prévisions au 0 et 5 de chaque décennie, i.e, 1960, 1965, ..., 2000, 2005). L'autre, en revanche ajustable *a posteriori*, lié à l'estimation de la sensibilité climatique (réponse intrinsèque des modèles à l'augmentation des gaz à effet de serre –GES) qui peut biaiser les prévisions aux longues échéances lorsque celle-ci ne correspond pas à celle des observations. Au delà de ces deux aspects précis, l'estimation du biais et des dérives à l'échelle régionale (échelle du continent et bassin océanique), en particulier pour les champs de circulation atmosphérique, les précipitations et variables continentales en général, requiert un très grand nombre de membres par dates de prévision. La contrainte de 3 membres par date pour le CORE s'est avérée très insuffisante.

Pour palier à toutes ces limitations, conformément au **livrable 1.1.1**, 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. A l'IPSL, selon le protocole décrit ci-dessous pour générer les conditions initiales, 3 séries de 3 ensembles de prévision basés sur 3 simulations historiques rappelées en surface ont été lancées pour chaque date de prévision du CORE, portant le nombre de membres exploitables à 9 au total.

Que retenir ? Un grand nombre de dates de prévisions rétrospectives et un grand nombre de membres pour chaque date sont nécessaires pour estimer la prévisibilité décennale du système et son débiaisage dans les modèles, et fournir des prévisions exploitables pour le climat de la prochaine décennie. Considérant les moyens de calcul et de stockage et les moyens humains disponibles pour CMIP5, ni le Cerfacs, ni l'IPSL n'ont pu produire des prévisions initialisées tous les ans (contre tous les 5 ans pour le CORE) pour suivre la nouvelle recommandation de CMIP5 donnée à l'issue du workshop d'Aspen de 2011. Ce workshop international (http://www.agci.org/programs/past_scientist_workshops/sciSess_results.php) auquel Juliette MIGNOT –IPSL et Christophe CASSOU –Cerfacs ont participé. Ce workshop fut l'occasion pour la communauté EPIDOM de se confronter et se positionner par rapport aux autres groupes engagés dans l'aventure décennale de CMIP5. Alors que les bouillonnements et questionnements scientifiques de la communauté française sont tout à fait comparables à ceux des autres laboratoires (avec un enclin et une expertise reconnue sur les aspects processus plutôt que prévision pré-opérationnelle et estimation des scores), la faiblesse des moyens humains mis à disposition par les instituts nationaux/laboratoires aux regards des enjeux et réalisations pratiques à fournir et en comparaison avec les autres groupes, s'est révélée de manière indiscutable. De même, la faiblesse en ressources informatiques à la fois en terme de CPU et de stockage est clairement apparue, et ce en dépit d'une mobilisation et d'un effort très conséquents de la part de la Direction des Services Informatiques (DSI) de Météo-France et du CCRT/TGCC, sans lesquels la réalisation de l'exercice CMIP5 en lui-même n'aurait pas été possible. Des enseignements doivent être tirés pour CMIP6 pour mettre en adéquation les objectifs avec les moyens. Il est important que le GICC d'une manière ou d'une autre, continue de soutenir la communauté climat auprès de GENCI.

2.1.3 Alimentation de la base de données CMIP5

Conformément au **livrable 1.2.1**, les sorties brutes des modèles CNRM-Cerfacs et IPSL ont été mises au format CMOR, le standard international adopté pour CMIP5, avant d'être publiées sur les serveurs ESG. Au 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 2 étapes : le CORE étendu à 10 membres en Juillet 2011, puis les dates additionnelles en Septembre 2011. A l'IPSL, l'ensemble des prévisions CORE (3 membres) + les 2 ensembles additionnels de 3 membres chacun, ont été mis à disposition en Janvier 2012 sur le serveur ESG mis en place par l'IPSL dans le cadre de PRODIGUER.

Ce livrable technique ne doit en aucun cas être considéré comme « secondaire » par rapport aux autres. Il a nécessité un travail ingénieur souvent peu gratifiant mais considérable et complexe de par la quantité énorme de données à traiter et le caractère immature des bibliothèques de conversion fournies par CMIP5 avec lequel il a fallu jongler. La mobilisation des forces en présence a été telle que nous avons cependant, non sans « souffrance », relevé le défi et il est important de souligner que lors de la première réunion CMIP5 à Hawaii (Mars 2012), la plupart des études multi-modèles sur le volet décennal incluaient à la fois les simulations de l'IPSL et du CNRM-Cerfacs alors disponibles.

Que retenir ? Ne pas sous-estimer la gestion/post-traitement des données produites par les modèles, non seulement sur un plan technique mais aussi en terme de moyen humain dédié à cette tâche ! Il est essentiel de mettre en place des procédures qui minimisent les transferts par réseau qui sont les points bloquants, et son corollaire, d'autoriser les traitements de données directement sur les supercalculateurs. Une deuxième remarque serait « Be first » pour la mise à disposition des données sur les bases internationales. Les laboratoires/chercheurs qui n'ont pas la charge de

produire les simulations en tant que telle, « dégainent » très rapidement. Fournir la donnée le plus tôt possible permet ainsi de participer aux premières analyses multi-modèles qui font souvent date pour la suite.

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

La phase 2 d'EPIDOM visait à comprendre les processus physiques et les incertitudes associées à la prévision décennale. La prévisibilité dite potentielle a d'abord été étudiée constituant un cadre simplifié pour mieux extraire les mécanismes de variabilité décennale et ses sources de prévisibilité. L'analyse des prévisions rétrospectives produites lors de la phase 1 a été menée en parallèle, de même l'extraction et la caractérisation dans les observations ou leurs estimations via les reanalyses des signatures de la variabilité décennale. Un focus particulier a été porté sur la décennie 2000.

2.2.1 La prévisibilité potentielle

La prévisibilité potentielle se place dans le cadre dit de *modèle parfait* où une réalisation du modèle (c'est à dire un membre dans l'approche ensembliste) est considéré comme l'observation. Etudier la prévisibilité dans ce cadre renseigne sur la prévisibilité intrinsèque au modèle et permet de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu sans être pollué par les dérives et biais. Elle est considérée par le consortium EPIDOM comme un pré requis pour avancer sur la compréhension à la fois de la variabilité décennale mais aussi de sa prévisibilité dans le monde réel. Un effort important a été porté sur le **livrable 2.2.1** correspondant.

Au Cerfacs, une analyses détaillée de la variabilité naturelle basse fréquence du modèle CNRM-CM5 a été menée à partir de la 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. L'accent a été mis sur l'AMV (Atlantic Multidecadal Variability). Deux fréquences privilégiées se dégagent: l'une « décennale » (~13 ans) correspondant à un couplage avec l'Oscillation Nord Atlantique (NAO) et l'advection des masses d'eau dans le gyre Subpolaire, l'autre « centennale » (~80 ans) contrôlée par des processus thermohalins faisant intervenir la circulation méridienne de retournement de l'Atlantique (AMOC). Le détail est disponible dans un article sous presse (Ruprich-Robert and Cassou 2014). Des expériences de prévisibilité potentielle ont été ensuite lancées pour 4 états représentatifs du mode centennal de la variabilité. Elles montrent une forte prévisibilité jusqu'à des échéances allant de 20 à 30 ans selon les états. Elles confirment également que la principale source de prévisibilité dans CNRM-CM5 est liée à l'évolution du contenu halin dans l'océan Atlantique. Elles montrent enfin que même si la prévisibilité est forte pour les variables océaniques, elle apparaît comme assez limitée sur les continents, et en particulier l'Europe, voire quasi inexistante pour les précipitations. Les analyses suggèrent la nécessité d'aborder les problématiques sous un angle saisonnier de par la nature des mécanismes mis en jeu et d'aller au delà des moyennes annuelles classiquement utilisées.

A l'IPSL, la prévisibilité potentielle de l'AMOC et des variables climatiques associées a été étudiée et quantifiée dans le modèle IPSL-CM5A. Comme au Cerfacs, l'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. Il est montré que la prévisibilité de l'AMOC dans IPSL-CM5A est en moyenne de l'ordre de la décennie mais ce résultat semble dépendre des conditions initiales de l'AMOC. Elle peut se prolonger sur presque 2 décennies pour des états extrêmes via des précurseurs identifiés dans les hautes latitudes. Une approche diagnostique basée sur le comportement statistique de la simulation de contrôle montre de manière cohérente que le maximum de prévisibilité de la température de surface océanique se trouve dans les moyennes et hautes latitudes de l'Atlantique Nord. 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 en adoptant une approche aval en deux temps de type statistique. Un article (Persechino et al. 2013) a été publié.

Que retenir ? Les études de prévisibilité potentielle dans les deux laboratoires montrent que le comportement intrinsèque des deux modèles CNRM-CM5 et IPSL-CM5A est très différent. Les fluctuations basse fréquence du premier s'expliquent au premier ordre par l'intégration océanique d'un forçage atmosphérique de type bruit blanc conduisant à des événements multi décennaux épisodiques de type AMV et dont la durée de vie est contrôlée par les temps caractéristiques des processus océaniques en particulier halin (advection, AMOC etc.). Les fluctuations décennales dans IPSL-CM5A sont largement dominées par un cycle à environ 20 ans qui correspond à un mode de variabilité couplé entre l'océan, l'atmosphère et la glace de mer dans l'Atlantique Nord. Un papier (Escudier et al. 2013) a été publié. Ce mode 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 le détroit du Danemark et assurant ainsi le caractère oscillant du mode. La confrontation entre les deux modèles montre bien qu'il est très difficile aux échelles de temps multidécennales de tirer des conclusions générales sur les mécanismes aux origines possibles de la variabilité observée. Ceux-ci sont très divers et tout aussi crédibles les uns que les autres dans la mesure où l'échantillonnage temporel des observations (au plus 100 ans pour la température de surface) est trop court pour en réfuter certains. D'autre part, la confrontation entre les modèles souligne le caractère potentiellement « dangereux » d'une approche multi modèle à l'aveugle. Les différences entre modèles sont tellement grandes que les combiner peut conduire à des interprétations incomplètes voire très approximatives, d'autant plus que les mécanismes décrits ci-dessus en mode parfait affecte bien évidemment la prévisibilité en mode réel, telle estimée à partir des prévisions rétrospectives de CMIP5.

Les résultats dans la plupart des modèles et dans EPIDOM soulignent le rôle essentiel de la salinité dans les processus décennaux et confirment, s'il en est encore besoin, la nécessité d'avoir des observations et des reanalyses de qualité pour ce champ là ; la fermeture et la compréhension du bilan d'eau doit être une priorité pour la communauté scientifique. Enfin, les études conduites sous le chapeau EPIDOM ont montré la valeur ajoutée de ce protocole « modèle parfait » pour aider à la compréhension des mécanismes. Ce cadre apparaît comme un pré-requis pour aller de l'avant, améliorer les prévisions etc. Une des leçons de CMIP5 est de « revenir aux fondamentaux » et à la compréhension intrinsèque de la variabilité décennale pour comprendre les résultats de prévisibilité. Il s'agit ainsi pour CMIP6, dans cette optique, de proposer des expériences coordonnées répondant à cette ambition. La manière d'aborder la problématique décennale et menée au cours d'EPIDOM est poussée auprès du Decadal Climate Prediction Project (DCPP/WCRP).

2.2.2 Estimation de la prévisibilité dans CNRM-CM5 et IPSL-CM5A : sources, mécanismes physiques et incertitudes

2.2.2.1 Niveau de prévisibilité décennale et identification des sources de prévisibilité

Conformément aux **livrables 2.2.2, 2.2.3, 2.3.1 et 2.3.2**, les études de prévisibilité conduites dans les deux laboratoires à partir des sorties brutes des modèles CNRM-CM5 et IPSL-CM5A, mais aussi à partir de l'ensemble des modèles CMIP5, montrent que la prévisibilité totale 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 et dans l'océan Indien; ils sont en revanche plus faibles (marginale­ment significatifs) dans le Pacifique. Ils sont généralement forts sur les continents en termes de température alors qu'ils sont très faibles pour d'autres variables telles les précipitations ou les champs de circulation atmosphérique.

Une très grande partie de la prévisibilité décennale dans les systèmes CNRM-CM5 et IPSL-CM5A, en ligne avec les autres modèles, 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'AMV. Dans le Pacifique, son impact est en revanche perdu dès les échéances 2-3 ans. Ce dernier résultat pose un véritable challenge pour la communauté décennale car il implique une faible prévisibilité de l'Interdecadal Pacific Variability (IPV) dont le rôle est important pour expliquer les fluctuations basse fréquence de la température globale tel le « plateau » de température que nous vivons depuis le début de la décennie 2000. Enfin, il n'existe que très peu de prévisibilité sur les continents lorsque les forçages externes sont soustraits. Cette perte de prévisibilité pose un problème majeur à la communauté dans la mesure où les signatures décennales sur continents sont présentes dans les observations en lien avec les modes océaniques basse fréquence (Cf. section 2.3.1 ci-dessous), mais la connexion océan-continent reste faible dans les systèmes de prévision.

En complément des diagnostics dynamiques classiques, une étude de la prévisibilité potentielle de la productivité marine a été également menée à partir des résultats de simulations historiques d'IPSL-CM5A avec un focus sur le Pacifique tropical (30°N-30°S). Les produits d'observation utilisés dans cette étude sont issus de mesures satellites de la productivité primaire marine qui est observée en continue depuis 1997 (SeaWiFS, puis MERIS aujourd'hui). Les résultats suggèrent l'existence d'une prévisibilité de l'ordre de 3 ans pour la productivité primaire, ce qui est plus long que pour la température de surface (1 an) dans ces zones. Cette différence est expliquée par l'advection vers les pôles d'anomalies de nutriments (nitrates et fer en surface), correctement initialisé via l'upwelling lié aux événements ENSO (El Nino Southern Oscillation). L'advection de ces nutriments permet de soutenir la productivité du phytoplancton pendant plusieurs années le long de leur trajet avant d'être totalement consommé. Un article (Séféri­an et al. 2014) est en révision.

2.2.2.2 Réflexions méthodologiques sur le débiaisage des prévisions décennales

Le débiaisage est un point essentiel pour toutes prévisions climatiques (Cf. section 2.1.2). Dans le cadre d'un stage de fin d'étude co-encadré par le Cerfacs et l'Ecole Nationale de la Météorologie, nous avons décidé de revisiter le protocole de débiaisage préconisé par CMIP5 et d'appliquer aux prévisions décennales de CNRM-CM5, les techniques de correction de biais, dites MOS pour Model Output Statistics, utilisées dans les prévisions météorologiques opérationnelles de Météo-France. Cette approche est combinée à une analyse mécanistique détaillée de la mise en place des biais du modèle en fonction de l'échéance, ou dérive, tel décrite dans Sanchez et al (2014) soumis à Climate Dynamics. Nous montrons ainsi que le débiaisage MOS donne des meilleurs scores de prévisions à la fois pour la SST mais aussi pour les variables intégrées comme l'AMOC. Un article court sur ce point précis (Léauté et al 2014) est en court de rédaction. A l'IPSL, l'évaluation des scores de prévision est fortement polluée par la forte sensibilité climatique du modèle. Une méthode de débiaisage linéaire en fonction de l'échéance de prévision proposée dans la littérature a donc du être testée et appliquée aux données en amont e l'étude des scores de prévision. L'impact de ce biais et de cette méthode de débiaisage sur l'estimation des sores de prévisibilité est en cours.

2.2.2.3 Mécanismes physiques à l'origine de la prévisibilité décennale.

Dans CNRM-CM5, la bonne prévisibilité de l'AMV dans les expériences CMIP5 semble être associée aux mécanismes physiques mis en évidence dans les études de prévisibilité potentielle. Le modèle

ayant un mode de variabilité intrinsèque très basse fréquence (temps caractéristiques des événements AMV autour de 50-60 ans) arrive à maintenir la phase de ce mode présente dans les conditions initiales. La prévision des transitions de modes est difficile à évaluer à partir du jeu de données CMIP5 car il faudrait des prévisions rétrospectives lancées tous les ans et non tous les 5 ans, tel requis par le CORE.

Dans IPSL-CM5A, le cycle à 20 ans, mis en évidence en prévisibilité potentielle, semble avoir un impact fort pour expliquer la prévisibilité du modèle sur les 50 dernières années. Une étude (Swingedouw et al, 2013) sur l'AMOC semble indiquer que le forçage volcanique permet de stimuler et phaser ce cycle et serait ainsi une source de prévisibilité importante. Il permettrait d'expliquer les fluctuations observées de l'AMOC, en particulier les deux maxima locaux de 1978 et 1997. Ceux-ci seraient induits par l'éruption de l'Agung et El Chichon en 1963 et 1982 : ils se retrouvent ainsi dans les simulations historiques, c'est à dire non initialisées. L'initialisation apporte une valeur ajoutée pour le pic de 1997 car l'océan initial contient les anomalies de circulation et de densité liées aux NAO positives exceptionnelles de la fin des années 80 et début de la décennie 90. Les forts biais du modèle concernant l'état climatique moyen en Atlantique Nord nécessitent cependant de rester prudent quant aux mécanismes évoqués ci-dessus.

2.2.2.4 Rôle de la stratosphère

Conformément au **livrable 2.3.3**, le rôle de la stratosphère comme source potentielle de prévisibilité, a été estimé dans CNRM-CM5 par Météo-France et le renfort du Cerfacs. Deux expériences jumelles de CNRM-CM5 ont été conduites au centre de calcul de Météo-France en 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 14 dates de départ 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 telle HISTNUD (section 2.1.1) et rappelée en tourbillon vers les réanalyses du CEPMMT dans la stratosphère uniquement, la troposphère étant libre. Des expériences supplémentaires ont été réalisées dans les deux configurations LT et HT pour estimer l'impact des éruptions volcaniques sur la dynamique atmosphérique en fonction de la résolution verticale.

Les résultats de prévisibilité sont décevants et ne montrent pas de valeurs ajoutées significatives de la résolution verticale, contrairement à ce qui pouvait être attendu d'après la littérature récente. Les expériences de sensibilité visant à quantifier l'impact des aérosols volcaniques en fonction de la résolution ne donnent pas non plus des résultats probants et convaincants. Il aurait fallu aller plus loin dans l'analyse de ces simulations mais les forces de travail mis à la disposition de ce livrable et le niveau d'implication de ces forces n'ont pas été suffisante (rupture du contrat postdoctoral au Cerfacs pour prendre un emploi permanent) ou mal dimensionnées/mal gérées par les partenaires impliqués.

2.2.2.5 Sensibilité des scores du modèle CNRM-CM5 aux packages physiques activés dans ARPEGE

Correspondant au **livrable 2.3.4**, des expériences de prévisibilité décennale ont été conduites par Météo-France avec la version 6 d'ARPEGE-Climat qui inclut une nouvelle physique avec notamment le schéma de convection PCMT de Guérémy (2011) et le schéma d'ondes de gravité non orographiques de Lott et al. (2012). Une évaluation intensive de cette version en géométrie T1159I91 couplé a été tout d'abord réalisée et il est montré que le climat moyen simulé, sa variabilité et sa prévisibilité saisonnière sont significativement meilleurs que ceux de la version CNRM-CM5 utilisée pour l'exercice CMIP5. Des ensembles de 10 prévisions sur 10 ans à partir de 11 dates de départ sur

la période 1980 à 2005 (tous les 2 à 3 ans d'intervalle) ont été ensuite réalisées grâce aux ressources informatiques du CEPMMT obtenues dans le cadre d'un projet spécial. L'analyse des résultats reste encore à produire. De nouveau, la lourdeur de ce test et le travail nécessaire pour sa valorisation scientifique, ont, semble-t-il, été sous-estimés par le consortium EPIDOM.

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

Conformément au **livrable 2.3.5**, le Cerfacs a réalisé toute une série d'expériences de sensibilité pour évaluer l'impact des différents forçages externes 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 supprime tout cycle solaire à 11 ans et maintient le minimum solaire record observé en 2009 sur toute la période de prévision 2010-2030. Pour chaque ensemble, 10 membres ont été réalisés. Les analyses suggèrent que, dans CNRM-CM5, le forçage volcanique joue sur le phasage des grandes oscillations climatiques, telles la NAO et l'AMOC assurant ainsi une certaine prévisibilité *a posteriori*. Une éruption volcanique au cours des prochaines années aurait donc un impact significatif sur le climat des années 2010 ; dans CNRM-CM5, son empreinte pour une éruption de type Pinatubo est évaluée à 3 ou 4 ans. Il semblerait qu'une telle réponse dans CNRM-CM5 soit cependant moins marquée que dans IPSL-CM5A car elle n'entre pas en résonance ou ne joue pas le rôle d'excitateur et de pacemaker de mode de variabilité interne basse fréquence tel le mode à 20 ans dans IPSL-CM5A (cf. supra). Les expériences de sensibilité montre également que le forçage solaire est d'un ordre de grandeur inférieur aux autres, tandis que le forçage par les gaz à effet de serre dominant tous les autres (même le volcanisme) à partir de 2025-2030. Les analyses de ces expériences de sensibilité ont été conduites dans le cadre d'un stage de Master II mais n'ont pas été poursuivis plus avant. En effet, au delà de 2015, le débiaisage des prévisions initialisées en 2006 est sujet à caution dans la mesure où l'échantillon statistique disponible à cet effet est trop petit (Cf. sections 2.1.2 et 2.2.2.2). Rappelons que seules deux dates de prévisions de 10 ans (1960 et 1980) ont été prolongées sur 30 ans selon le protocole CMIP5 et sont disponibles pour le débiaisage ; la pertinence même de ces deux simulations a été remis en questions un peu trop tardivement par la communauté. En conséquence, il aurait mieux valu conduire les expériences de sensibilité du Cerfacs à partir des simulations non-initialisées et non à partir des prévisions décennales.

Coté IPSL, à la suite de l'étude de Swingedouw et al. (2013) sur l'impact des trois principales éruptions volcaniques des 50 dernières années sur la variabilité récente de l'AMOC, l'impact potentiel de l'éruption du Pinatubo en 1991 sur la variabilité présente et future proche a été exploré de manière plus systématique. L'hypothèse d'interférences destructives a été analysée à partir de simulations de sensibilité commençant en 1990 et se prolongeant sur 20 ans, où l'éruption volcanique du Pinatubo a été artificiellement enlevée dans les forçages historiques. Cette hypothèse semble bien être confirmée grâce à ce protocole et un modèle conceptuel est proposé pour la représenter. Celle-ci a été également évaluée à partir d'observations récentes notamment de salinité et de proxys, mais aussi de simulations du dernier millénaire. Une publication est soumise (Swingedouw et al. 2014)

Enfin, il était prévu initialement dans EPIDOM pour le Cerfacs, d'enrichir la décennie 2000 en produisant un jeu de prévision tous les ans et non en 2000 et 2005 uniquement. Cette tâche a été abandonnée et nous avons préféré compléter nos expériences par de nouvelles dates de prévision sur l'ensemble de la période 1960-2005 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 sont biaisées quand la répartition des dates n'est pas uniforme sur l'ensemble des 45 ans de prévisions rétrospectives.

Que retenir ?

- Une grande part de la prévisibilité aux échéances 1-10 ans est expliquée par les forçages

externes aux échelles aussi bien globale que régionale. L'initialisation océanique constitue une valeur ajoutée pour l'Océan Atlantique Nord alors qu'elle n'apporte rien voire dégrade les prévisions sur le Pacifique au delà de 2-3 ans d'échéance. En d'autres termes et pour simplifier, l'AMV semble bien prévisible dans la plupart des modèles alors que la IPV ne l'est pas. Il est bien évidemment nécessaire d'aller plus loin et de comprendre physiquement la bonne prévisibilité sur l'Atlantique par le design d'expériences de sensibilité. On peut penser à une initialisation océanique dépendante de la profondeur pour tester le rôle de l'océan de surface versus subsurface dans la prévision de l'AMV (tout en prenant en compte l'incertitude des reanalyses et reconstructions) ou encore une initialisation dépendante des régions (gyre subpolaire versus tropicales), etc. Quant au Pacifique, toute la question est de savoir si l'absence de prévisibilité décennale correspond à une caractéristique intrinsèque de la dynamique du bassin ou bien si les modèles n'ont pas ou ne simulent pas correctement les mécanismes physiques qui sous-tendent la variabilité décennale. Des tests de sensibilité doivent être encouragés pour mieux comprendre la variabilité de type PDV, le rôle de l'ENSO dans cette variabilité basse fréquence, l'importance des gyres et des transferts tropiques/extratropiques etc. Il est essentiel de revenir aux fondamentaux car des scores négatifs de corrélations tels trouvés dans de nombreux modèles tendent à suggérer que quelque chose de crucial manque.

- La prévisibilité, en dehors de celle liée aux forçages externes, est très faible sur les continents. Ce constat s'applique également sur les terres adjacentes à l'Océan Atlantique Nord alors que l'océan lui-même est prévisible dans CMIP5 et que les relations océan-continent (Sahel, cycle hydrologique en Europe de l'Ouest) sont significatives dans les observations. La sous-estimation des connexions océan-continent doit être abordée de manière systématique afin de comprendre son origine (niveau trop fort de la variabilité interne des surfaces continentales liée à des processus de sol tels humidité, évapotranspiration etc. défailants, précipitations etc.). Des expériences de sensibilité peuvent être conduites dans ce cadre en forçant par exemple un modèle d'atmosphère à plus ou moins haute résolution spatiale, avec des structures décennales caractéristiques de type AMV, IPV etc.
- Les questions de débiaisage sont essentielles, de même la compréhension des dérives et biais qui se mettent progressivement en place dans les modèles. Ce sont des étapes nécessaires, souvent négligées par nos communautés et absentes des priorités de recherche établis par les organismes financeurs. Les simulations de prévisions décennales produites pour CMIP5 sont des formidables bases de données pour attaquer ces problématiques et progresser et, peut-être à terme, tordre le coup à de vieilles erreurs systématiques.
- Le « plug and play » est une illusion telle encore expérimentée dans EPIDOM avec la réalisation de l'exercice de prévision décennale avec la configuration High-Top du modèle CNRM-CM5. La validation des mécanismes de variabilité décennale d'origine interne, de même de la sensibilité climatique du modèle aux forçages externes est un pré requis mais était impossible à fournir de manière correcte avec les forces de travail Météo-France+Cerfacs mises en jeu. Cette validation ne doit pas se faire en mode prévision mais en mode « simulation longue » car au delà du score en lui-même, la physique à la source de prévisibilité doit être comprise sans quoi une prévision se trouve « déshabillée et vide de sens »

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

Conformément au [livrable 2.1.1](#), une étude a été menée au Cerfacs 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 [1870-2010], que l'AMV est fortement corrélée avec l'occurrence hivernale des régimes de temps associée à la NAO. Une AMV 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'AMV. Ainsi les régimes NAO- (NAO+) sont non seulement plus (moins) fréquents mais aussi plus intenses (mous) lorsque l'AMV 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 al 2014) est en préparation et les résultats ont été présentés au NCAR lors d'un séminaire en Février 2014. En parallèle, une étude (Boé and Habets 2014, soumis) conduite au Cerfacs a montré le lien très marqué entre l'AMV et le débit de certaines rivières en France, insistant ainsi sur le poids de la variabilité décennale sur le cycle hydrologique continental pour certains bassins versants.

Le livrable 2.1.2 correspondait à une étude plus fine des signatures décennales à l'échelle de l'Europe, voire de la France, à partir des longues séries d'observations disponibles. L'angle détection/attribution (D&A) avait été choisi par le CNRM-GAME. Malheureusement, l'analyse des simulations CMIP5 réalisée prioritairement à l'échelle globale, n'a laissé que peu de temps pour une analyse plus régionale. De plus, des questions fondamentales de méthodologie ont été abordées. Un premier travail a conduit ainsi à l'amélioration des méthodes utiles à la séparation des termes interne et forcé de la variabilité (Ribes et al, 2013a). Dans un second temps, l'application de ces méthodes a permis de mettre en évidence une relative incohérence entre observations et simulations aux échelles globales. Ainsi, dans les observations, la variabilité non expliquée par les différents forçages externes du système est significativement plus grande que la variabilité interne moyenne simulée par les modèles de climat. Cette incohérence peut être liée à une sous-estimation de la variabilité interne (en particulier décennale) par les modèles couplés ou à une mauvaise représentation de la réponse forcée (Ribes and Terray, 2013b). Même si le livrable en tant que tel n'a pas été rempli, les études aux échelles globales ont donné lieu à deux publications de Rang A telles mentionnées ci-dessus, et étaient des étapes préliminaires indispensables pour aborder ensuite les approches régionales.

Que retenir ? Le besoin d'observation est un serpent de mer. De grands espoirs se portent sur les reanalyses couplées depuis le début du XX^{ième} siècle afin de mieux comprendre la variabilité décennale qui a une empreinte, au delà des moyennes, sur la statistique et les propriétés physiques de la variabilité haute fréquence (régimes de temps journaliers par exemple). Les initiatives de data-rescue sont également essentielles. En termes de modélisation, il est indispensable de réduire les incertitudes sur l'estimation de la réponse du système aux forçages externes et son corollaire, sur le niveau et la nature physique de la variabilité interne. Les études de D&A suggèrent que cette dernière serait sous-estimée expliquant ainsi, en partie, la piètre performance des simulations CMIP5 pour prévoir le ralentissement du réchauffement des années 2000 dont l'origine principale est attribuée au changement de phase de la IPV. Dans ce cadre et selon certains papiers de plus en plus convaincants (travaux de Clara Deser, NCAR entre autres), il semble essentiel d'encourager la production d'un très grand nombre de membres suivant l'approche ensembliste. A ressources informatiques contraintes, ce conseil devrait être « en pole position » dans la liste priorités pour CMIP6.

3. Valorisation

3.1 Publications de rang A (15)

Publiées ou sous presse :

1. Escudier R., Mignot J. and Swingedouw D. (2013): A 20-yr coupled ocean-sea ice-atmosphere variability mode in the North Atlantic in an AOGCM. *Climate Dynamics*. 40, 619-636, DOI: 10.1007/s00382-012-1402-4
2. Germe A., M. Chevallier, D. Salas y Melia, E. Sanchez-Gomez and C. Cassou (2014) : Interannual predictability of Arctic sea ice in a global climate model : regional contrast and temporal evolution. *Climate Dynamics*, DOI :10.1007/s00382-014-2071-2
3. Meehl, G. A., L. Goddard, G. Boer, R. Burgman, G. Branstator, C. Cassou, S. Corti, G. Danabasoglu, F. Doblas-Reyes, E. Hawkins, A. Karspeck, M. Kimoto, A. Kumar, D. Matei, J. Mignot, R. Msadek, A. Navarra, H. Pohlmann, M. Rienecker, T. Rosati, E. Schneider, D. Smith, R. Sutton, H. Teng, G. J. van Oldenborgh, G. Vecchi, S. Yeager (2013): Decadal climate prediction: An update from the trenches. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* DOI:10.1175/BAMS-D-12-00241.1
4. Persechino A., Mignot J., Swingedouw D., Labetoulle, S. and Guilyardi E. (2013): Decadal predictability of the Atlantic Meridional Overturning Circulation and Climate in the IPSLCM5A-LR model. *Climate Dynamics*. 40, 2359-2380. DOI: 10.1007/s00382-012-1466-1
5. Ribes A., S. Planton, L. Terray (2013) : Application of regularised optimal fingerprinting to attribution. Part I : method, properties, and idealised analysis, *Climate Dynamics*, 41(11-12), 2817-2836, doi :10.1007/s00382-013-1735-7.
6. Ribes A., L. Terray (2013) : Application of regularised optimal fingerprinting to attribution. Part II : application to global near-surface temperature based on CMIP5 simulations, *Climate Dynamics*, 41(11-12), 2837-2853, doi :10.1007/s00382-013-1736-6.
7. Ruprich-Robert Y. and C. Cassou (2014) : Combined influences of seasonal East Atlantic Pattern and North Atlantic Oscillation to excite Atlantic multidecadal variability in a climate model. *Climate Dynamics*, sous presse.
8. Séférian, R., Bopp, L., Swingedouw, D., & Servonnat, J. (2013). Dynamical and biogeochemical control on the decadal variability of ocean carbon fluxes. *Earth System Dynamics*, 4(1), 109–127. DOI:10.5194/esd-4-109-2013
9. Swingedouw D., Mignot J., Labetoulle S., Guilyardi E., Madec G. (2013): Initialisation and predictability of the AMOC over the last 50 years in a climate model, *Climate Dynamics*. 40, 2381-2399. DOI: 10.1007/s00382-012-1516-8, 2013
10. Terray L. (2012): Evidence for multiple drivers of North Atlantic multi-decadal climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L197-12, DOI:10.1029/2012 GL053046.

En révision :

11. Séférian R., Bopp L., Gehlen M., Swingedouw D., Mignot J., Guilyardi E., Servonnat J. (2014). The multi-year prediction of Tropical Pacific Marine Productivity, en révision dans *Proceeding of National Academy of Science*.
12. Servonnat J., J. Mignot, E. Guilyardi, D. Swingedouw, R. Séférian, S. Labetoulle (2014). Reconstructing the subsurface ocean decadal variability using surface nudging in a perfect model framework. En revision dans *Climate Dynamics*.

13. Ray S, Swingedouw D, Mignot J, Guilyardi E. (2014) : Effect of surface restoring on subsurface variability in a climate model during 1949-2005. En revision dans *Climate Dynamics*.

Soumis:

14. Bellucci, A., R. Haarsma, S. Gualdi, P. Athanasiadis, M. Caian, C. Cassou, E. Fernandez, A. Germe, J. Jungclaus, J. Kröger, D. Matei, W. Müller, H. Pohlmann, D. Salas y Melia, E. Sanchez, D. M. Smith, L. Terray, K. Wyser, S. Yang (2014): An Assessment of a multi-model ensemble of decadal climate predictions. Soumis dans *Climate Dynamics*.
15. Sanchez-Gomez E., C. Cassou, Y. Ruprich-Robert, E. Fernandez and L. Terray (2014): Drift Dynamics in a coupled model initialized for decadal forecasts. Soumis dans *Climate Dynamics*.

3.2 Publications de rang B/vulgarisation scientifique (4)

1. Cassou C. and J. Mignot (2013) : Enjeux, méthodes et fondamentaux de prévisibilité et prévision décennale. *La Météorologie*, 81, 23-31, DOI : 10.4267/2042/51099
2. Collectif MISSTERRE (2013): "Climat: modéliser pour comprendre et anticiper", sous la direction éditoriale de C. Cassou, D. Swingedouw et A. Voltaire, 44 pages, <http://www.insu.cnrs.fr/node/4511>
3. « Climat : établir des scénarios à 10 ou 20 ans : Le nouveau défi des chercheurs » dans Hors-Séries du Monde (2010) « Bilan Planète : les temps forts et les acteurs de l'année », M01545-1003H, p39.
4. « Prévoir le de temps qu'il fera dans 10 ans n'est plus un rêve » dans Sciences et Vie (2012), 1141,86-95.

3.3 Ouvrages (1)

1. « Météo et climat, ce n'est pas la même chose ! », C. Cassou, Eds. Le Pommier, Collection : Les Minipommes, ISSN : 170-7943, 58 pages.

3.4 Communications orales dans conférences et workshops (21)

3.4.1 CERFACS

1. Présentations au 1er *French-UK workshop on decadal predictions*, Reading (UK), June 2011. 3 interventions orales.
2. 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), http://www.agci.org/programs/past_scientist_workshops/about_the_workshop/sciSess_details.php?recordID=274, June 2011
3. Terray, L. (2012): Variabilité interne et forcée aux échelles décennales: analyse des modèles CMIP5, *Ateliers de Modélisation de l'atmosphère*, Toulouse (France), Janvier 2012
4. Ruprich-Robert Y., Cassou C. (2012): Mécanismes de la variabilité interne Multidécennale de l'Atlantique Nord/Europe dans le modèle CNRM-CM5. *Ateliers de Modélisation de l'atmosphère*, Toulouse (France), Janvier 2012

5. Cassou C. (2012) : La prévision du climat aux horizons décennaux : 1^{er} Forum ALLENVI, Saint Mandé (France), Mars 2012.
6. Présentations au 2ème *Extended French-UK workshop on decadal predictions/EPIDOM mid-term meeting*, Capbreton (France), Mai 2012. 3 interventions orales.
7. Sanchez-Gomez, E, C. Cassou and E. Fernandez (2013) : Analysis of model drift in a climate forecast system used for decadal predictions. International workshop on seasonal to decadal prediction, Toulouse (France) : <http://www.meteo.fr/cic/meetings/2013/s2d/>, Mai 2013
8. Ruprich-Robert, Y and C. Cassou (2013) : Importance of the seasonality of the ocean- atmosphere relationship to produce multidecadal natural AMV/AMOC variability, US AMOC/UK RAPID 2013 International Science Meeting: 'AMOC Variability: Dynamics and Impacts', Baltimore (USA) : <http://www.usclivar.org/meetings/amoc2013>, July 2013.
9. Cassou, C., B. Kirtman, G. Danabasoglu (2013) : Formulating CMIP6 : DCPD proposal. *Aspen Global Change Institute workshop « Next generation climate change experiments needed to advance knowledge and assessment of CMIP6 »*, Aspen (USA), http://www.agci.org/programs/past_scientist_workshops/about_the_workshop/sciSess_details.php?recordID=289, August 2013.

3.4.2 IPSL

1. Présentations au 1er *French-UK workshop on decadal predictions*, Reading (UK), June 2011. 3 interventions orales.
2. Mignot J., Swingedouw D., Labetoulle S. Guiyardi 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), http://www.agci.org/programs/past_scientist_workshops/about_the_workshop/sciSess_details.php?recordID=274, June 2011.
3. Mignot J. (2011) : Variabilité et prévisibilité climatique dans le modèle de climat IPSL-CM5A-LR, LOSEC, Univ. Ziguinchor (Sénégal), November 2011.
4. Mignot J. (2011) : Variabilité et prévisibilité climatique dans le modèle de climat IPSL-CM5A-LR, LPAOSF, UCAD, Dakar (Sénégal), November 2011.
5. Swingedouw D. (2011) : Initialisation, predictability and future of the AMOC. University of Madrid (Spain), invited Seminar.
6. Présentations au 2ème *French-UK workshop on decadal predictions/EPIDOM mid-term meeting*, Capbreton (France), Mai 2012. 6 interventions orales.
7. Mignot J (2013) : Decadal prediction system with the IPSL-CM5A model : impact of horizontal atmospheric resolution on the reconstruction of initial conditions. *DACA Davos* (Switzerland). http://www.daca-13.org/index_EN, July 2013
8. Swingedouw S, Mignot J (2013): Influence of volcanic eruptions on the bidecadal variability in the North Atlantic. *DACA Davos* (Switzerland), http://www.daca-13.org/index_EN, July 2013.
9. Ray et al (2013) " Impact of SST initialization on the ocean subsurface over the period 1949-2005. *European Geophysical Union*, Vienne (Autriche). <http://www.egu2013.eu/>, Avril 2013
10. Guilyardi E. (2013): Reconstructing the subsurface ocean decadal variability using surface nudging in a perfect model framework. Lawrence Berkeley National Laboratory (USA), *ESD seminar series*, Nov 2013

11. Swingedouw D (2013) : Influence of volcanic eruptions on the bi-decadal variability in the North Atlantic. International workshop on seasonal to decadal prediction, Toulouse (France) : <http://www.meteo.fr/cic/meetings/2013/s2d/>, Mai 2013

3.4.3 Météo-France

1. Présentations au 2ème *French-UK workshop on decadal predictions/EPIDOM mid-term meeting*, Capbreton (France), Mai 2012. 2 interventions orales.

3.5 Posters dans conférences et workshops (11)

3.5.1 CERFACS

1. 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), <http://conference2011.wcrp-climate.org/index.html>, October 2011.
2. C. Cassou, G. Nakoulma, F. Borchi, J. Boe, E. Sanchez-Gomez, and L. Terray (2012): Assessment of decadal predictability and associated mechanisms of the CNRM-Cerfacs forecast system. 3ICESM, Hamburg (Germany), <http://meetings.copernicus.org/3icesm/>, Sept. 2012.
3. Y. Ruprich-Robert, C. Cassou (2013) : Previsibility of the North Atlantic Multidecadal internal Variability in the CNRM-CM5 model. International workshop on seasonal to decadal prediction, Toulouse (France) : <http://www.meteo.fr/cic/meetings/2013/s2d/>, Mai 2013

3.5.2 IPSL

1. Mignot J., Swingedouw D. Labetoulle S., Guilyardi E. (2011): First results of decadal predictability experiments at IPSL, *France-UK workshop on decadal predictability*, Reading (UK), June 2011.
2. Swingedouw et al (2012) : Initialisation and predictability of the AMOC over the last 50 years in a climate model, 3ICESM, Hamburg (Germany), <http://meetings.copernicus.org/3icesm/>, Sept. 2012.
3. Ray et al (2013) : Impact of SST inialization of ocan subsurface during 1949-2005 : Do we initialize at all? *International workshop on seasonal to decadal prediction*, Toulouse (France) : <http://www.meteo.fr/cic/meetings/2013/s2d/>, Mai 2013.
4. Servonnat J, J. Mignot, E. Guilyardi, D. Swingedouw, R. Seferian and S. Labetoulle (2013) : Testing different initialization stratégies with surface variables for decadal predictions in a perfect model framework. *International workshop on seasonal to decadal prediction*, Toulouse (France) : <http://www.meteo.fr/cic/meetings/2013/s2d/>, Mai 2013.
5. Swingedouw D. (2013) : Influence of volcanic eruptions on the bi-decadal variability in the North Atlantic. *11th International Conference on Paleoclimatology (ICP)*, Sitges (Espagne) : <http://www.icp2013.cat/>, Sept. 2013.

3.5.3 Météo-France

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*, Toulouse (France), Janvier 2012

2. Germe A., D. Salas y Mélia, M. Chevallier, and S. Sénési (2012) : Assessing the impact of sea ice initialization on the decadal predictability of CNRM-CM5.1 AOGCM. 3ICESM, Hamburg (Germany), <http://meetings.copernicus.org/3icesm/>, Sept. 2012.
3. Germe A., M. Chevallier, D. Salas y Melia and E. Sanchez-Gomez (2013) : Assessing the decadal predictability of Arctic sea ice in CNRM-CM5.1 : A regional study. *International workshop on seasonal to decadal prediction*, Toulouse (France) : <http://www.meteo.fr/cic/meetings/2013/s2d/>, Mai 2013.

3.6 Diffusion du savoir

3.6.1 De la communauté scientifique...

Deux workshops internationaux dédiés à la communauté scientifique ont été organisés sous la bannière EPIDOM. Le premier en Mai 2012, à Capbreton (France), a regroupé l'University of Toronto (Canada), l'Institut Català de Ciències del Clima (IC3-Espagne) et les laboratoires anglais impliqués dans les activités de prévision, prévisibilité et variabilité décennale, à savoir le UK Metoffice, l'Université de Reading et le Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyen Terme (CEPMMT-ECMWF). La réunion « mi-parcours » d'EPIDOM fut combinée avec ce workshop qui a rassemblé 42 participants.

Le 2^{ème} workshop d'amplitude beaucoup plus grande (137 participants) a été organisé à Toulouse en Mai 2013 sous la bannière du WCRP (World Climate Research Program) et de ses groupes de travail (WGSIP – Working Group on Seasonal-to-Interannual Prediction, WGCM – Working Group on Climate Modelling et DCP – Decadal Climate Prediction Panel). Ce workshop fut un rendez-vous majeur pour la communauté internationale alors que les chapitres du 5^{ème} rapport du GIEC étaient en phase finale de rédaction et que les résultats d'intercomparaison regroupant un grand nombre de modèles étaient disponibles. Ce workshop fut l'occasion de dresser bilans et enseignements des activités de prévision et prévisibilité décennale dans le cadre de CMIP5, résumés dans la Section 4 du rapport (Cassou C. and F. Doblas-Reyes 2013, disponible sous http://www.meteo.fr/cic/meetings/2013/s2d/report_workshop_Toulouse_May2013.pdf).

L'organisation de ces deux workshops a concrètement montré l'insertion et l'implication forte au niveau international de la communauté EPIDOM dans les activités de prévision climatique aux échelles décennales, ainsi que sa reconnaissance. Nous considérons que les livrables d'EPIDOM portant sur les échanges et collaborations scientifiques ont été totalement remplis.

3.6.2 ... à la communauté des impacts et à un plus large public.

La phase 3 d'EPIDOM correspondait à cette volonté d'échanges avec la communauté des impacts, le but étant de mettre en meilleure adéquation possible la demande, l'attente et les besoins de cette communauté avec l'offre associée à la nature/niveau/incertitudes de la prévisibilité et prévision décennale. Ce contrat correspondant au **livrable 3.1** n'a été que partiellement rempli. Une partie des utilisateurs des prévisions climatiques étaient présents lors de la dernière journée du workshop de Toulouse, mais celle-ci ne rassemblait que des acteurs avertis (ex. EDF, organismes en charge des crues, etc.) et non la communauté aval strictement parlant qui « peuple » le GICC. Le workshop final qui avait été proposé dans EPIDOM n'a pas été organisé faute de temps à dédier à cette tâche, l'ampleur des autres livrables étant très grande au regard des moyens humains disponibles.

Il apparaît cependant que la formation de la communauté des impacts aux produits climatiques et en particulier aux prévisions décennales, est cruciale. Les diverses demandes ou études proposées par cette communauté et auxquelles les acteurs d'EPIDOM ont été confrontés, montrent qu'il existe des attentes parfois impossibles qui s'expliquent par la méconnaissance même des fondements de la variabilité climatique et des outils pour sa prévision. Déficit de pédagogie de la part de la communauté des climatologues, très certainement combiné à une forme de survente des activités de

prévisions décennales de la part de certains acteurs, mais aussi pressions plus ou moins fortes venant des décideurs/acteurs socio-économiques qui conduisent à « aller vite » et ne pas considérer le problème dans toute sa complexité (prise en compte des incertitudes de toute nature, des défauts dans les modèles nécessitant des corrections/calibration/débiaisage etc.) en particulier en matière de régionalisation, toutes ces aspects, entre autres, plaident pour une plus grande vigilance et pour un meilleur partage des connaissances à mettre aux regards des besoins. De manière concrète, ce constat s'est traduit dans le groupe CNRM-Cerfacs par la « dépublication » des sorties du modèle CNRM-CM5 de prévision décennale à haute fréquence (tri-horaires à journalières) dans les bases de données CMIP5, afin d'éviter leur utilisation brute pour des applications régionales et les modèles d'impacts. En effet, celles-ci requièrent un débiaisage et une calibration *a posteriori*, sans quoi les résultats n'ont aucun sens. Toutes ces discussions rentrent dans le contexte plus large des « services climatiques ». Il est essentiel que les porteurs de projets du GICC soient bien conscients de la problématique, ainsi que le MEDDE à tous les échelons qui doit mettre en place une stratégie solide pour répondre correctement à la demande.

Nous considérons que le deuxième volet de la phase 3 correspondant au [livrable 3.2 a](#), quant à lui, été respecté dans son contenu. Conformément à la proposition initiale, une brochure intitulée « Climat : modéliser pour comprendre et anticiper » et destinée à un public large, a été rédigée sous la bannière MISSTERRE. Deux des trois « rédacteurs en chef » (C. Cassou et D. Swingedouw) appartenaient au consortium EPIDOM. Tirée à 5000 exemplaires, cette plaquette est parue en Septembre 2013 en même temps que la publication du 1^{er} volet du 5^{ème} rapport du GIEC et a servi, à cette occasion, de support de communication à l'échelle nationale. En plus de cette plaquette, pour essayer de palier au déficit de compréhension sur la prévision décennale en tant que telle, et en particulier sur les méthodes et les incertitudes associées, nous avons écrit un article certes plus technique mais de vulgarisation et à visée grand public quand même, dans *La Météorologie* (Cassou et Mignot 2013). Enfin, un livre blanc sur le thème de la prévision décennale avec un focus particulier sur l'Europe, la France et les DOM-TOM avait été initialement prévu. Les résultats d'intercomparaison de modèles de CMIP5 ont montré la faible prévisibilité décennale sur les continents. De plus, le niveau et la nature physique de la prévisibilité sont tels qu'il est aujourd'hui impossible ou prématuré de granulariser les signaux bruts de prévision en dessous de l'échelle spatiale caractéristique du bassin océanique. Il nous apparaissait dès lors inutile de produire ce livre blanc qui n'aurait été que le simple résumé des conclusions du chapitre 11 de l'AR5.

En termes de visibilité, EPIDOM est apparu dans diverses interventions orales au cours de réunions et manifestations diverses. Des présentations dans le cadre du projet ont été données par le coordinateur devant le groupe de travail 5 de l'ALLENVI (Mars 2012) ou encore de l'OSU de Grenoble qui a organisé une journée thématique climat/hydrologie/biodiversité intitulée : « Possibilité et besoin pour la prévision régionale » (Octobre 2011). EPIDOM fut également présent dans les deux conférences de presse inter-organismes organisées en Février 2012 et Septembre 2013 à Paris pour marquer les différents rendez-vous de CMIP5/AR5, à savoir respectivement la mise à disposition des résultats des simulations CMIP5 et l'approbation du volet 1 de l'AR5. De manière plus événementielle, EPIDOM fut cité lors de manifestations grand public comme, entre autres, la soirée du 16 Mai 2013 organisée à Météo-France et intitulée « la prévision dans tous ses états ».

4. Forces et faiblesses d'EPIDOM

Le projet EPIDOM s'est parfaitement construit sur les trois piliers sur lesquels il reposait.

Son *soutien* au lancement (IPSL) et au renforcement (Cerfacs) de la thématique décennal a été essentiel. Même avec ce soutien précieux, il est important de souligner cependant que, autant pour le Cerfacs que pour l'IPSL, la réalisation des simulations CMIP5 a été très éprouvante techniquement et humainement. Les deux laboratoires étaient clairement sous dimensionnés pour ce genre

d'exercice 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 CMIP6.

L'espace de *coordination* qu'a procuré EPIDOM entre les acteurs français de la modélisation climatique fut un lieu d'échanges, de dialogues et de construction d'une très grande richesse. Même si des prémices de collaborations existaient, celles-ci se sont considérablement renforcées. EPIDOM nous a permis de mieux nous connaître, d'apprendre comment les laboratoires travaillent, d'appréhender leurs contraintes etc. Au delà de ces aspects, les échanges entre les partenaires d'EPIDOM permettent aujourd'hui d'aller « unis » et « sur la même longueur d'onde » dans les discussions au sein des panels internationaux liées à CMIP6 tel le DCP. EPIDOM a été un chapeau précieux pour assurer une meilleure visibilité des laboratoires autant au niveau international que national (représentation en tant qu'entité EPIDOM dans le projet LEFE-MISSTERRE).

Enfin, la nature *exploratoire* des analyses conduites dans le cadre d'EPIDOM s'est avérée extrêmement utile pour mieux comprendre la nature physique de la variabilité décennale mais aussi d'extraire et hiérarchiser les problématiques à aborder dans le futur. Certaines idées issues du consortium EPIDOM et certaines approches fondamentales sont en train de percoler à l'échelle internationale, marque d'un certain succès du brainstorming des épidomiens. EPIDOM a ainsi permis d'acquérir une expertise considérable à la fois sur les volets physique et statistique.

Une des meilleures preuves de la réussite d'EPIDOM repose sur le fait que la thématique décennale se poursuit et continue à se développer aujourd'hui, aussi bien à l'IPSL qu'au Cerfacs, via deux nouveaux projets complémentaires. L'un international : SPECS (FP7-EU) qui permet de poursuivre l'amélioration de l'initialisation du système couplé, la génération d'ensemble, l'évaluation des performances de prévision mais aussi la compréhension des mécanismes de prévisibilité, avec un focus sur la région Nord Atlantique – Europe. L'autre national : MORDICUS (ANR) qui vise, par des expériences numériques ciblées et des approches fondamentales, à mieux comprendre les mécanismes physiques des modes de variabilité décennales de type AMV, IPV. Ce dernier projet, porté par le même coordinateur d'EPIDOM et qui a débuté en Janvier 2014, apparaît comme la suite logique d'EPIDOM, véritable catalyseur ; MORDICUS a été construit sur les leçons tirées du projet et rassemble les mêmes partenaires avec une implication respectueuse encore plus forte de la part des trois laboratoires. Il était important que l'ANR prenne le relai du GICC.

Les faiblesses d'EPIDOM portent essentiellement sur la phase 3 du projet. Il aurait été bien d'organiser un workshop avec la communauté des impacts ou d'organiser des cycles de formation pour expliquer les bases même des prévisions climatiques, leurs limites et leurs incertitudes, ce que l'on peut faire et surtout, ce que l'on ne peut pas faire avec les « produits » mis à la disposition. Il est encore temps de monter ces initiatives qui se rapprochent des « services climatiques » mais il faudrait trouver un cadre efficace pour toucher le maximum d'utilisateurs. C'est un projet en soi.