

## **AMACS**

### **Analyse et Modélisation de l'Atmosphère, du Climat et de sa Sensibilité**

Les missions de l'équipe AMACS sont : (i) la coordination du développement et de l'évaluation du modèle atmosphérique ARPEGE-Climat ; (ii) la compréhension des mécanismes internes et des forçages externes des variations climatiques récentes, notamment via les études de détection-attribution ; (iii) la compréhension des mécanismes du changement climatique et des incertitudes associées, notamment via la participation aux exercices CMIP et à leur analyse. AMACS collabore avec les autres équipes du GMGEC, en particulier via une structure transverse de Développement d'ARPEGE-ALADIN-Climat (DACC) dont elle assure le pilotage.

#### **Activité 1 : Développement et évaluation d'ARPEGE-Climat**

##### **Thèmes concernés :**

##### **Description générale :**

Le modèle numérique ARPEGE est un modèle de circulation générale développé en collaboration avec le Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyen Terme (Reading, UK) pour la prévision du temps. La version ARPEGE-Climat, régulièrement dérivée du modèle de prévision, est la composante atmosphérique du modèle "système terre" du CNRM (CNRM-ESM). Elle hérite de la grille horizontale basculée et étirée qui permet si nécessaire de zoomer sur une région d'intérêt. Des configurations idéalisées ont également été développées telles qu'une version uni-colonne (MUSC), aquaplanète, ou guidée vers des réanalyses atmosphériques. Une version à aire limitée, ALADIN-Climat, est également disponible pour des études régionales. L'équipe AMACS ne peut assurer l'intégralité des tâches de développement et d'évaluation du modèle ARPEGE-Climat qui bénéficie à la plupart des équipes du GMGEC. Elle pilote pour ce faire la structure transverse DAAC (Développement d'ARPEGE-ALADIN-Climat). Par ailleurs, elle contribue au G3T « Paramétrisations physiques » et au maintien d'une « physique commune » en étroite collaboration avec les unités GMME et GMAP.

##### **Bilan année passée**

En 2017, les réglages finaux de la version 6 d'ARPEGE-Climat ont été évalués en mode couplé (coll. IOGA, EST et PASTEL). Au-delà des aspects scientifiques, un travail très important a été effectué pour optimiser la chaîne de post-traitement des sorties du modèle (collab. EST) et introduire de nouveaux diagnostics (dont la mise en œuvre on-line du simulateur d'observations nuageuses COSP) afin de répondre à nos propres besoins d'évaluation ainsi qu'aux nombreuses exigences des exercices d'inter-comparaison adossés à CMIP6. Une version 6.3 de référence (fichiers de configuration, code et binaire ARPEGE-ALADIN-Climat, namelists, et fichiers de forçages revisités) est désormais disponible et servira de base à la production CMIP6. En plus de la simulation pré-industrielle en cours, des simulations idéalisées préliminaires (forcées et couplées) ont été réalisées et analysées pour anticiper la sensibilité climatique de CNRM-CM6 (qui sera plus forte que celle de CNRM-CM5). Plusieurs articles sont en préparation, entre autres pour décrire le nouveau modèle atmosphérique, le modèle

couplé CNRM-CM6 et certains aspects du climat simulé par ces nouveaux modèles (coll. IOGA, EST, PASTEL et MOSCA).

En marge du projet ANR High-Tune, un stage IENM3 (O. Audoin) a porté sur la calibration de 21 paramètres incertains des paramétrisations physiques de la namelist du modèle ARPEGE-Climat, sur la base d'une petite série de métriques simples afin d'obtenir un bilan radiatif équilibré en surface et de réduire un fort biais positif des nuages hauts. Un ensemble de 200 simulations de 10 ans en mode AMIP a été réalisé pour échantillonner l'espace des phases du modèle. Pour chacune des métriques, un émulateur statistique a été généré. Ce travail exploratoire a permis de proposer une calibration assez proche des réglages effectués de manière plus empirique, confirmant ainsi l'intérêt de ce type d'approche pour accélérer la calibration de nos modèles tout en améliorant notre compréhension de la sensibilité du climat simulé aux paramètres incertains des paramétrisations physiques.

Un certain nombre d'évaluations plus spécifiques du modèle ARPEGE-Climat ont par ailleurs été conduites. La version 5 a notamment contribué à une analyse multi-modèle des biais chauds en été sur l'Amérique du Nord dans le cadre d'une initiative GEWEX (GASS-CAUSES, 3 articles soumis). Les biais radiatifs des versions 5 et 6 sur l'Atlantique tropical ont été comparés et disséqués dans le cadre du projet FP7-PREFACE (postdoc F. Brient, coll. IOGA, 1 article en préparation). Les biais de la version 6 ont fait l'objet de tests en modes uni-colonne et transpose-AMIP, en lien avec différentes phases de la MJO et le cycle de vie de la convection observé sur l'Océan Indien pendant la campagne Cindy-Dynamo (thèse A-L. Ahmat-Younous, 1 article soumis).

Une configuration à plus haute résolution horizontale (T359L91, 50 km) du modèle ARPEGE-Climat a également été testée et évaluée. L'état moyen étant proche de celui simulé par la version standard (T127L91, 150 km), le travail de calibration pour préparer CNRM-CM6-HR sera probablement plus rapide. Par ailleurs, une configuration basculé-étirée avec zoom sur l'Atlantique tropical a été développée, notamment en vue de mieux simuler l'activité cyclonique sur ce bassin.

Des travaux spécifiques ont également porté sur la représentation de la stratosphère dans le modèle ARPEGE-Climat. Ils concernent le réglage de la paramétrisation des ondes de gravité non orographiques (projet ANR STRADYVARIUS), l'introduction d'une paramétrisation de l'oxydation du méthane et la mise à jour de la paramétrisation décrivant l'évolution temporelle de l'ozone atmosphérique (1 article en préparation). D'autres travaux ont porté sur l'introduction d'une paramétrisation de la sursaturation et d'une paramétrisation de traînées de condensation (à partir d'un cadastre d'émissions par les avions). Ils permettent d'estimer le forçage radiatif induit par le trafic aérien sans hypothèses ad-hoc (1 article en préparation).

Dans le cadre de l'ANR MORDICUS, différents tests de sensibilité à la manière de représenter les charges en aérosols (prescrits ou interactifs via le schéma TACTIC) ont été réalisés en mode couplé océan-atmosphère sur la période 1980-2009 (postdoc L. Watson, collab. MOSCA). Les résultats montrent des effets régionaux significatifs de la distribution verticale et des propriétés optiques des aérosols, mais c'est la non prise en compte des aérosols marins et organiques dans le calcul de l'effet indirect qui a l'impact le plus important sur la température de surface à l'échelle globale (un article en révision). Par ailleurs, le développement du schéma TACTIC (coll. MOSCA et COMETS) a été poursuivi dans le cadre du projet Copernicus CAMS43, concernant notamment la description des aérosols désertiques et la formation des sulfates (postdoc J. Bock).

Enfin, au-delà de la version 6 d'ARPEGE-Climat, de nouveaux développements ont été proposés et testés de manière très préliminaire. Ils concernent notamment le schéma de transfert radiatif RRTM\_SW (encadrement d'un projet tuteuré ENM), certains réglages du schéma de convection PCMT (coll. GMME, GMAP), ainsi qu'une réflexion sur la prise en compte d'effets sous-maille liés au vent pour le calcul des flux de surface (ANR COCOA).

Liste des personnels impliqués (par ordre alphabétique) et chiffrage des ETP réalisés: A.L. Ahmat-Younous (thésard, 100%), J. Bock (CDD Copernicus CAMS43, 100%), F. Brient (CDD FP7 PREFACE, 50%), J. Cattiaux (5%), F. Chauvin (15%), H. Douville (5%), M. Michou (0,9x50%), O. Audouin (stage IENM3), A. Ribes (5%), R. Roehrig (60%), D. Saint-Martin (60%), S. Tyteca (30%), L. Watson (CDD ANR MORDICUS, 30%). *Total ETP : 5,05*

### **Objectifs année à venir**

L'année 2018 verra notamment la valorisation des efforts de développement et d'évaluation de la version 6 du modèle ARPEGE-Climat (plusieurs articles en préparation). La simulation AMIP de référence pour CMIP6 sera réalisée avant la fin de l'année 2017. Des analyses préliminaires seront également réalisées sur les premières simulations couplées (DECK et runs historiques) des différentes configurations du modèle CNRM-CM6 (résolutions standard et haute, avec et sans activation des composantes spécifiques au système Terre, collab. IOGA et EST). Ces analyses préliminaires porteront essentiellement sur la climatologie (état moyen et variabilité) du modèle au regard des observations et réanalyses disponibles sur la période historique (la sensibilité au CO2 faisant l'objet d'analyses spécifiques relevant du thème 3).

Des évaluations plus ciblées seront également effectuées. La fin de l'année 2017 verra la soutenance de la thèse d'A.L. Ahmat Younous, dont les derniers mois auront pour principal objectif de mieux comprendre les différences constatées dans les biais du modèle ARPEGE-Climat entre les configurations uni-colonne et transpose-AMIP. La fin du postdoc de F. Brient (FP7 PREFACE) verra la valorisation des tests de sensibilité effectués pour mieux comprendre les biais nuageux sur l'Atlantique tropical. Le démarrage de la FCPLR d'O. Audouin sera l'occasion de s'intéresser aux erreurs de modélisation liées au couplage entre la cryosphère et l'atmosphère sur l'Antarctique (collab. EST), via la réalisation d'une étude de cas 1D sur Dôme C (GABLS4) et de simulations 3D guidées vers la réanalyse ERA-Interim.

Avec la réalisation de CMIP6, une page se tourne dans le développement du modèle ARPEGE-Climat. Cette tâche essentielle se poursuivra néanmoins dès 2018 via la structure transverse DAAC et toujours selon une approche « sans couture » visant à unifier autant que possible les physiques atmosphériques utilisées en PNT et en Climat (collab. GMME et GMAP). Parmi les développements prioritaires, on notera un effort particulier sur la paramétrisation des nuages de couche limite (ANR High-Tune), la formulation des flux à l'interface océan-atmosphère (ANR COCOA), la paramétrisation des ondes de gravité (ANR BOOST3R), et la représentation des aérosols (collab. MOSCA, COMETS, Copernicus CAMS43 et H2020 CRESCENDO). Enfin, une attention particulière sera portée à l'amélioration et l'évaluation de la paramétrisation de la convection profonde et peu profonde (schéma PCMT) à l'occasion de l'affectation d'O. Geoffroy au 1<sup>er</sup> décembre 2017 (recrutement CRDD).

Projets concernés: GdR DEPHY, ANR High-Tune, COCOA et BOOST3R, FP7 PREFACE, H2020 CRESCENDO, Copernicus CAMS43 ...

Liste des personnels impliqués (par ordre alphabétique) et chiffrage des ETP réalisés: A.L. Ahmat-Younous (fin de thèse, 25%), A. Audouin (FCPLR, 100%), J. Bock (prolongement CDD CAMS43, 100%), F. Brient (CDD FP7 PREFACE puis ANR COCOA, 50%), J. Cattiaux (5%), F. Chauvin (15%), H. Douville (5%), O. Geoffroy (80%), M. Michou (0,9x50%), R. Roehrig (70%), D. Saint-Martin (60%), R. Stchepounoff (30%). *Total ETP : 5,95*

## **Activité 2 : Compréhension des variations climatiques récentes**

**Thème concerné :** Étude du climat et du changement climatique

### **Description générale :**

Comprendre les variations climatiques du passé, en particulier sur la période récente la mieux observée, est essentiel pour évaluer les modèles en termes de mécanismes, identifier les sources de prévisibilité, et isoler l'effet des activités humaines sur le climat. Sur ce dernier thème de la détection-attribution (D&A), AMACS est à l'avant-garde des développements méthodologiques aussi bien sur le plan national qu'international. Le volet statistique de cette thématique doit cependant être adossé à une interprétation physique de la variabilité climatique, d'autant plus que les tendances observées liées aux émissions de gaz à effet de serre représentent des contraintes potentielles pour les projections climatiques du 21<sup>e</sup> siècle. La compréhension de la variabilité intra-saisonnière à multi-décennale, et l'évaluation de la capacité des modèles à reproduire ces modes de variabilité, sont aussi indispensables à l'amélioration de la prévision atmosphérique à longue échéance et des scénarios climatiques. Une part importante des analyses porte sur les événements climatiques extrêmes en raison de leurs forts impacts environnementaux et sociétaux.

### **Bilan année passée**

Les travaux menés en 2017 ont comme chaque année bénéficié de la mise à jour régulière d'une base de données observées et réanalysées, ainsi que d'une base de données simulées issues des inter-comparaisons CMIP5, accessibles à l'ensemble du CNRM. Cette tâche de fond essentielle a été interrompue par le départ à la retraite de S. Tyteca (en juillet 2017) et reprendra dès septembre 2017 avec l'arrivée de R. Stchepounoff.

Concernant la météorologie et la climatologie tropicale, les travaux menés dans le cadre de l'ANR ACASIS sur les vagues de chaleur au Sahel ont donné lieu à la soumission de deux articles (collab. GMME) : l'un documente une méthode de détection originale des vagues de chaleur en tant qu'objet ainsi que leur évolution depuis 1950 (en révision), et l'autre analyse les processus de couplage entre rayonnement, couche limite et humidité dans la vague de chaleur d'avril 2010 à l'aide d'un modèle simplifié. Les travaux sur l'environnement grande échelle des extrêmes de précipitation au Sahel ont également été repris (contribution à un chapitre d'ouvrage scientifique et article en préparation). Par ailleurs, l'influence de l'ENSO sur les SST de l'Atlantique au printemps a été revisitée sur la base d'observations et de réanalyses suggérant un pont atmosphérique via un mécanisme simple de type Gill-Matsuno (Garcia-Serrano et al., 2017). De nouvelles analyses sont en cours afin de mieux comprendre le rôle de la chronologie de l'ENSO sur la base des simulations couplées de type « pacemaker » réalisées avec CNRM-CM5 (collab. BSC et CERFACS).

Concernant les régions extratropicales de l'Hémisphère Nord, la téléconnexion entre la neige d'automne sur la Sibérie et l'AO (Arctic Oscillation) en hiver a fait l'objet d'expériences de sensibilité dans le cadre de l'ANR STRADYVARIUS (+ collab. UC Irvine). Elles consistent à perturber la neige d'Octobre à Novembre par rapport à une simulation de contrôle pilotée par des SSTs climatologiques. Les résultats obtenus ne corroborent pas l'hypothèse d'une téléconnexion, ni celle d'une interférence entre l'effet de la neige et de la stratosphère équatoriale (QBO) sur l'AO (Peings et al., 2017). Par ailleurs, des simulations atmosphériques plus idéalisées ont été réalisées, visant à mieux comprendre l'influence isolée et/ou combinée de l'AMV (Atlantic Multidecadal Variability) et de la PDO (Pacific Decadal Oscillation) sur la variabilité atmosphérique, indépendamment de toute rétroaction océanique (collab. Irvine Univ., analyses en cours).

Dans le cadre de l'ANR MORDICUS, la variabilité des SSTs mensuelles observées sur la période 1920-2014 a été séparée en une contribution interne et deux contributions forcées (naturelle et anthropique) sur la base de simulations CMIP5. Des simulations d'ensemble en mode AMIP ont ensuite été réalisées, visant notamment à évaluer l'influence de ces différentes contributions à la variabilité atmosphérique observée. Elles ont fait l'objet de différentes études d'attribution, portant notamment sur la variabilité multi-décennale de la NAO d'hiver (1 article révisé), l'assèchement estival récent des continents des moyennes latitudes de l'Hémisphère Nord (1 article accepté), la variabilité multi-décennale des extrêmes de précipitation sur l'Afrique de l'Ouest (un projet tuteuré) et la variabilité multi-décennale du transport méridien d'humidité vers 60 °N (stage IENM3). Enfin, 2017 a marqué le démarrage du projet H2020 APPLICATE et des travaux sur le développement de « métriques » (diagnostics) visant à caractériser la variabilité et les changements de la circulation des moyennes latitudes de l'Hémisphère Nord, et les liens avec les latitudes polaires (e.g. amplification Arctique). Quelques métriques ont déjà été développées (e.g. blocages basés sur la vortacité potentielle, collaboration ETH Zurich).

Toujours dans le cadre de l'ANR MORDICUS, deux ensembles de simulations couplées activant le schéma d'aérosols interactifs TACTIC ont été effectués sur la période 1980-2009, avec des émissions réalistes (évolutives) versus fixées à l'année 1980. Les résultats suggèrent notamment que les émissions plus élevées des années 1980 induisent un léger refroidissement de surface sur l'Arctique dans cette version préliminaire de CNRM-CM6 (postdoc L. Watson, 1 papier en révision également évoqué au thème 1, collab. MOSCA).

Concernant plus particulièrement les événements météorologiques extrêmes, un travail méthodologique original a été mené dans le cadre du projet GICC Extremoscope, afin de définir de manière objective le caractère « rare » d'un événement singulier observé, en cherchant le domaine spatio-temporel sur lequel il est le plus rare / extrême (Cattiaux et Ribes, soumis). On peut ensuite chercher à estimer la fraction de risque attribuable à l'influence humaine sur la base de simulations CMIP5 (Cattiaux et Ribes, soumis). Sur le thème de la détection-attribution (D&A) des changements climatiques de long-terme, une analyse statistique des épisodes de fortes précipitations observés depuis 50 ans sur le Sud-Est de la France a permis d'identifier une tendance significative à l'intensification de ces événements (Ribes et al., soumis).

Enfin, le travail de thèse d'A. Rigal a permis de proposer une méthode statistique permettant d'estimer, au pas de temps quotidien, des normales climatiques tenant compte du changement climatique (et plus précises que les moyennes trentenaires habituellement utilisées).

Liste des personnels impliqués (par ordre alphabétique) et chiffrage des ETP réalisés : J. Cattiaux (40%), F. Chauvin (40%), H. Douville (45%), M. Michou (0,9x25%), M. Niang (stage IENM3), A. Ribes (75%), A. Rigal (thésard, 100%), R. Roehrig (20%), D. Saint-Martin (15%), S. Tyteca (30%), L. Watson (CDD ANR MORDICUS, 20%). *Total ETP : 4,07*

### **Objectifs année à venir**

L'année 2018 verra la poursuite de la valorisation des simulations réalisées dans le cadre du projet ANR MORDICUS (prolongé de 12 mois) et des simulations idéalisées visant à comparer les effets isolés ou combinés de la PDO/AMV sur la variabilité atmosphérique (collab. Univ. Irvine).

Concernant la météorologie et la climatologie tropicale, la valorisation des travaux autour des vagues de chaleur et des extrêmes de précipitation au Sahel sera finalisée (collab. GMME). En particulier, l'analyse de la représentation des vagues de chaleur au Sahel et de leur évolution passée sera poursuivie. Notre contribution au projet d'inter-comparaison GMMIP sera l'occasion de réaliser de nouveaux ensembles de simulations AMIP étendues afin de mieux comprendre la variabilité interannuelle à multi-décennale des climats de mousson. Enfin, un séjour sabbatique (5 à 6 mois) de G. Bellon (Univ. Auckland) sera l'occasion d'analyser l'influence des SST, mais aussi de la salinité océanique de surface, dans la Baie du Bengale sur le cycle annuel voire la variabilité intra-saisonnière de la mousson Sud Asiatique.

Pour ce qui est des régions extratropicales, le projet H2020 APPLICATE et les travaux sur la variabilité et les changements de la circulation des moyennes latitudes de l'Hémisphère Nord seront poursuivis : développement de métriques supplémentaires et application à certaines simulations CMIP6 (recrutement d'un CDD fin 2017).

Concernant la détection-attribution, l'année 2018 verra la réalisation et l'analyse préliminaire des simulations du projet d'inter-comparaison DAMIP (dans le cadre de CMIP6). La priorité sera non seulement la quantification de la contribution anthropique aux variations observées de température, mais aussi et surtout la distinction de l'effet radiatif et climatique des aérosols anthropiques de celui des gaz à effet de serre. Le but ultime est de contraindre les projections climatiques globales, dont la réponse à long-terme (fin du 21<sup>e</sup> siècle) est généralement dominée par l'accroissement des gaz à effet de serre. Cette activité s'inscrira en partie dans le cadre du projet H2020 EUCP (porté par le Met Office) et pourrait à plus long terme bénéficier d'un autre financement dans le cadre d'un projet H2020 (porté par P. Forster, Univ. Leeds) à soumettre au début de l'année 2018.

Sur le chapitre des événements météorologiques extrêmes, le projet ERA4CS EUPHEME et la « Convention Climat » signée avec notre ministère de tutelle (MTES) seront l'occasion de poursuivre les travaux initiés sur l'attribution des événements singuliers (recrutement d'un CDD). Le travail portera principalement sur la définition d'un événement singulier, la finalisation d'une méthode non-stationnaire permettant de quantifier la contribution humaine à un événement singulier, et éventuellement quelques études de cas sur la France. Par ailleurs, dans le cadre du projet FEDER C3AF, une partie des simulations atmosphériques à haute résolution étirées sur l'Atlantique tropical sera l'occasion de mieux comprendre la variabilité observée de l'activité cyclonique sur ce bassin.

Enfin, un des objectifs de l'analyse des simulations historiques coordonnées dans le cadre du projet H2020 CRESCENDO portera sur une meilleure appréciation de la représentation des aérosols naturels (poussières désertiques et sels marins) dans les ESM européens (collab. MOSCA).

Projets concernés : ANR ACASIS, ANR MORDICUS (prolongé), H2020 APPLICATE, ERA4CS EUPHEME, « Convention Climat », H2020 CRESCENDO

Liste des personnels impliqués (par ordre alphabétique) et chiffrage des ETP prévus : J. Cattiaux (30%), F. Chauvin (30%), H. Douville (25%), M. Michou (0,9x25%), A. Ribes (75%), A. Rigal (thésard, 100%), R. Roehrig (10%), D. Saint-Martin (10%), R. Stchepounoff (30%), CDD H2020 APPLICATE (70%), CDD ERACS EUPHEME (80%). *Total ETP : 4,82*

### **Activité 3 : Compréhension des projections climatiques**

**Thème concerné :** Étude du climat et du changement climatique

#### **Description générale :**

La production de projections climatiques aussi fiables que possible est l'une des priorités du GMGEC. Au-delà du développement de la composante atmosphérique de nos modèles de climat, l'équipe AMACS contribue fortement à la production et l'analyse des simulations réalisées dans le cadre du projet d'intercomparaison CMIP. Le but est de comprendre certains des mécanismes ou rétroactions qui sous-tendent les changements climatiques simulés, de quantifier les incertitudes associées, et de réduire ces incertitudes en identifiant des contraintes observationnelles. Les analyses portent essentiellement sur les projections globales et concernent les rétroactions liées aux nuages et aux surfaces continentales, les changements de circulation atmosphérique, le cycle hydrologique et les événements climatiques extrêmes (y compris les cyclones tropicaux et les tempêtes des moyennes latitudes). L'attention particulière accordée à la décomposition des sources d'incertitudes (effets radiatifs vs changements de SST ou de banquise) et à l'influence des biais de SST dans/sur la réponse des modèles justifie pleinement le recours à des simulations en mode AGCM.

#### **Bilan année passée**

Les analyses multi-modèles menées à AMACS et dans les autres équipes du GMGEC (notamment EST) ont encore nécessité en 2017 de télécharger certains résultats des inter-comparaisons CMIP5 (ex : GeoMIP). L'alimentation (à la demande des chercheurs) d'une archive CMIP locale, jusqu'ici réalisée par S. Tyteca (à la retraite depuis juillet 2017), sera reprise par R. Stchepounoff à l'occasion de CMIP6. Mais elle pourrait aussi s'appuyer sur un effort commun avec l'IPSL via le financement d'un espace national partagé de stockage et de diffusion des sorties de modèles de climat.

L'exploitation des simulations CMIP5 s'est ralentie en raison de la préparation de l'exercice CMIP6. Elle s'est néanmoins poursuivie sur quelques axes spécifiques, comme la réponse de la circulation des moyennes latitudes au réchauffement global (étude du « pincement » du jet stream nord-atlantique lors de la visite de Yannick Peings [UC Irvine] au CNRM). D'autre part, la réponse incertaine de l'humidité continentale simulée en été aux moyennes latitudes par une vingtaine de modèles CMIP5 dans le scénario RCP8.5 a été contrainte par le biais des tendances récentes d'humidité issues des

réanalyses ERAI-Land et ERAI. Cette contrainte observationnelle est justifiée d'une part par le lien statistique qui existe entre l'évolution récente et future de l'humidité dans les modèles CMIP5, d'autre part par l'origine essentiellement anthropique des tendances observées (un article accepté). Enfin, les simulations G4 (perturbation des aérosols stratosphériques afin de limiter le rayonnement solaire en surface) ont été comparées aux scénarios RCP4.5 (sans injection d'aérosols stratosphériques) d'une dizaine de modèles et la réponse incertaine du refroidissement induit en surface a été contrainte via la réponse des températures aux éruptions volcaniques simulées et observées sur la période historique (thèse M. Plazzotta, collab. EST, un article soumis).

Au delà de CMIP5, une analyse approfondie de la rétroaction des nuages bas tropicaux a été conduite par J. Vial (coll. LMD, un article accepté) dans le cadre idéalisé CGILS. Une analyse de la réponse de la circulation atmosphérique des moyennes latitudes a été réalisée sur la base d'un grand ensemble de simulations couplées réalisées avec le modèle CESM du NCAR (collab. Univ. Irvine). La mise en œuvre de différentes métriques suggère des réponses variables selon la région et la saison, pilotées à la fois par des changements tropicaux et polaires et dont l'amplitude reste généralement faible par rapport à la variabilité interne du climat (Peings et al. 2017). D'autres analyses ont porté sur la réponse des pluies cycloniques dans une configuration étirée sur l'Atlantique tropical de CNRM-CM5. Les résultats suggèrent une réponse différenciée selon l'intensité des précipitations et la taille du domaine (Chauvin et al., 2017). Dans le cadre d'un projet FEDER, de nouveaux ensembles de simulations étirées ont été réalisés en mode forcé sur la base d'une version 6 préliminaire d'ARPEGE-Climat, afin d'analyser les changements de trajectoire des cyclones sur la Guadeloupe (postdoc R. Pilon, analyses en cours). Les trajectoires obtenues devraient servir d'entrée aux autres WP du projet.

L'analyse des simulations du projet DGAC IMPACT, prolongé de 6 mois jusqu'au 31/08/2017, est en cours de finalisation. Les simulations couplées CNRM-CERFACS (1950-2050), dans une configuration proche de la configuration de CNRM-CM6 mais avec activation du schéma chimique REPROBUS et des paramétrisations de sursaturation et des trainées de condensation dues à l'aviation (« contrails »), et les simulations forcées ARPEGE-Climat v6.2.5 (autour de 2000 et de 2050) ont des réponses très comparables : l'impact de l'aviation sur les oxydes d'azote et sur la couverture des contrails est conforme à la littérature tandis que son forçage radiatif est inférieur, d'un facteur 5, avec toutefois une très forte sensibilité aux propriétés optiques des trainées de condensation.

Concernant CMIP6, l'équipe AMACS a contribué à la définition du protocole de certaines simulations planifiées dans le cadre des inter-comparaisons CFMIP (Webb et al., 2017) et LS3MIP (Van den Hurk et al. 2017). Elle a notamment participé à une étude pilote (collaboration avec le Met Office et le NCAR) visant à reproduire puis décomposer la réponse des modèles couplés à un accroissement abrupt du CO<sub>2</sub> atmosphérique via la réalisation de quelques simulations en mode AGCM (Chadwick et al., 2017).

Enfin, si l'équipe AMACS a renoncé à participer à l'inter-comparaison HappiMIP visant à comparer la réponse des événements extrêmes à un réchauffement global imposé (mode AMIP) de 1,5°C versus 2°C par rapport à la période préindustrielle, un protocole alternatif (en mode couplé) a été testé pour réaliser à moindre coût des simulations stabilisées à un niveau de réchauffement donné. Ces simulations représentent ainsi une solution élégante et plus physique (couplée) pour tester (la linéarité de) la réponse des extrêmes à l'amplitude du réchauffement global (Saint-Martin et al., en préparation).

Liste des personnels impliqués (par ordre alphabétique) et chiffrage des ETP réalisés: J. Cattiaux (10%), F. Chauvin (40%), H. Douville (25%), M. Michou (0,9x25%), R. Pilon (CDD C3AF, 25%), R. Roehrig (5%), D. Saint-Martin (25%), S. Tyteca (30%). *Total ETP : 2,08*

### **Objectifs année à venir**

L'année 2018 verra essentiellement la réalisation d'une grande partie des simulations CMIP6 auxquelles s'est engagée l'équipe AMACS. En plus de la réalisation d'un ensemble de simulations de type AMIP dans le cadre du DECK (et de GMMIP), les principaux efforts de production et d'analyse porteront sur les inter-comparaisons CFMIP, DAMIP, RFMIP et AerChemMIP visant à mieux documenter/comprendre les incertitudes de modélisation sur la réponse du climat aux forçages anthropiques et sur l'amplitude même de ces forçages (notamment en lien avec l'effet très incertain des aérosols anthropiques).

Dans le cadre du projet H2020 APPLICATE, les métriques développées sur la variabilité des moyennes latitudes et les téléconnexions associées (cf. thème 2) seront appliquées aux sorties des modèles CMIP5 et CMIP6 disponibles et testées comme contraintes émergentes de la réponse des modèles dans les projections climatiques. Bien que le projet se focalise essentiellement sur l'Arctique et son influence supposée sur la circulation des moyennes latitudes, les téléconnexions des hautes latitudes (liées à l'extension de banquise ou à la couverture neigeuse) pourront être comparées à certaines téléconnexions tropicales (liées à des anomalies de SST et/ou de précipitation) et l'effet éventuel de ces téléconnexions sur l'état moyen pourra être évalué simplement via une technique de régression linéaire.

Une attention particulière sera portée au changement climatique en Europe dans le cadre du projet H2020 EUCP (European Climate Prediction system) porté par le Met Office. La contribution de l'équipe AMACS visera essentiellement à proposer des contraintes observationnelles directes (via la D&A) ou indirectes (contraintes « émergentes ») de la réponse climatique régionale dans les projections globales (CMIP5 puis CMIP6), voire régionales (simulations CORDEX forcées par les projections globales). La finalité du projet est notamment de combiner les différentes contraintes globales et régionales, afin de proposer des prévisions/scénarios probabilistes à 40 ans aussi fiables et objectifs que possible.

Concernant les changements climatiques tropicaux, les travaux porteront essentiellement sur la valorisation des ensembles de simulations réalisés avec la version haute résolution (T359) d'ARPEGE-Climat en mode étiré, zoomée sur l'Atlantique tropical (projet FEDER C3F). Il s'agira notamment de documenter l'effet du changement climatique sur les trajectoires des cyclones et leur intensité. L'actualité récente (cyclone IRMA notamment) montre à quel point nous sommes attendus sur ce thème, même si la question de la réponse des tempêtes extratropicales ne peut être totalement délaissée (co-animation du G3T moyennes latitudes). Dans le cadre du projet RenovRisk porté par O. Bousquet de la CRC (Lacy), des simulations proches de celles réalisées pour les Antilles devraient être lancées avec un pôle sur l'Océan Indien Sud. Les contours de ces simulations ne sont pas encore arrêtés, mais un prototype devrait être réalisé avant la fin de l'année 2017.

Enfin, l'équipe AMACS (collab. Avec EST et MOSCA) devrait participer au montage d'une nouvelle proposition H2020 (pour l'instant intitulée IMPROV) dans le cadre d'un appel d'offre devant paraître d'ici la fin de l'année 2017 et d'un consortium piloté par Piers Forster (Univ. Leeds). La thématique

principale devrait tourner autour de la sensibilité climatique et de ses possibles variations temporelles en raison de la dépendance de certaines rétroactions à l'état moyen et/ou du caractère hétérogène de certains forçages.

Projets concernés : FEDER C3F, H2020 APPLICATE et EUCP, proposition H2020 IMPROV

Liste des personnels impliqués (par ordre alphabétique) et chiffrage des ETP prévus : J. Cattiaux (30%), F. Chauvin (50%), H. Douville (45%), O. Geoffroy (20%), M. Michou (0,9x25%), R. Pilon (CDD C3AF, 25%), R. Roehrig (5%), D. Saint-Martin (30%), R. Stchepounoff (30%), CDD H2020 APPLICATE (25 %). *Total ETP : 2,83*

### **Autres activités**

Signalons enfin que :

- Julien Cattiaux (en charge de plusieurs cours et co-animateur du G3T « Événements extrêmes ») estime à 45 % en 2017 (mise en place de nouveaux cours pour l'ENM et le M2 SOAC) et 35 % en 2018 le temps qu'il consacre à la formation, l'animation et la vulgarisation scientifique ;
- Fabrice Chauvin (membre de la commission d'évaluation des chercheurs et co-animateur du G3T « Moyennes latitudes ») estime à 5 % le temps qu'il consacre à la formation, l'animation et la vulgarisation scientifique (forte implication dans la communication sur les événements cycloniques récents) ;
- Hervé Douville (chef d'équipe, membre du comité scientifique LEFE IMAGO et intervenant dans plusieurs formations internes ou externes) estime à environ 25 % le temps qu'il consacre à la formation, l'animation et la vulgarisation scientifique ;
- Aurélien Ribes estime à environ 20 % le temps qu'il consacre à la formation, l'animation et la vulgarisation scientifique ;
- Romain Roehrig (animateur de la structure transverse DAAC et co-animateur du G3T « Météorologie tropicale ») estime à 15 % en 2017 le temps qu'il consacre à l'animation scientifique et à la coordination du développement d'ARPEGE-ALADIN-Climat.
- Richard Stchepounoff contribue pour environ 10 % de son temps au soutien informatique de l'équipe.