

AMACS

Les missions de l'équipe AMACS (Analyse et Modélisation de l'Atmosphère, du Climat et de sa Sensibilité) 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 (DAAC) dont elle assure le pilotage.

Activité 1 : Développement et évaluation d'ARPEGE-Climat

Thèmes concernés : Étude du climat et du changement climatique, Prévision saisonnière (indirectement dans les deux cas car en amont)

Description générale :

La version climat d'ARPEGE (ARPEGE-Climat) est développée à partir du modèle de prévision de Météo-France, avec une volonté de conserver autant que possible un code et une physique commune. Elle constitue la composante atmosphérique du système de prévision saisonnière et 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 sont également développées et maintenues (version uni-colonne, aquaplanète, guidage vers des réanalyses atmosphériques, etc...). Une version à aire limitée, ALADIN-Climat, est développée par l'équipe MOSCA pour des études régionales et partage la même physique atmosphérique. 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. 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 2016, la priorité a été la finalisation, la documentation et l'évaluation de la version 6 (T127L91) du modèle ARPEGE-Climat qui constituera la composante atmosphérique des modèles CNRM-CM et CNRM-ESM devant contribuer à CMIP6. Ce travail de longue haleine a permis la quasi convergence des physiques atmosphériques des versions climat et PNT et a vu la mise à jour de la majorité des paramétrisations physiques. La finalisation a plus spécifiquement visé l'obtention d'un modèle plus stable numériquement, l'introduction et la validation de quelques développements récents, la réduction de certains biais et la calibration de certains paramètres afin d'obtenir un bilan énergétique permettant le couplage à un modèle d'océan. Malgré leur importance, l'ensemble de ces travaux ne peut être détaillé ici, et seules quelques actions complémentaires sont décrites ci-dessous.

La réalisation et l'analyse de simulations atmosphériques permettant d'anticiper la sensibilité climatique de CNRM-CM6 a montré que le fort excès de nuages hauts simulé en climat présent induisait une sensibilité climatique particulièrement élevée. Un certain nombre de développements et de nouveaux réglages (dans le schéma de convection et la microphysique notamment) ont permis de réduire ce biais. Néanmoins, CNRM-CM6 sera probablement un modèle à forte sensibilité, en tout cas plus sensible que son prédécesseur.

Une configuration T359 (~50 km) a été testée en parallèle de la configuration standard. Du point de vue climatologique, elle montre un comportement globalement similaire à ce qui est obtenu en T127. Les développements et réglages réalisés en T127 améliorent là aussi la stabilité numérique du modèle, la distribution des précipitations et les nuages, si bien que l'expertise acquise en T127 sera très utile pour finaliser cette configuration, en vue de son utilisation pour étudier les phénomènes cycloniques et de sa mise en œuvre dans certains sous-projets de CMIP6.

Dans le cadre de la thèse de A.L. Ahmat-Younous, le comportement de la nouvelle physique a été évalué sur la campagne Cindy-Dynamo (Océan Indien) en configuration 1D (un article en préparation). Une sous-estimation des flux turbulents à la surface est diagnostiquée et suggère la nécessité de prendre mieux en compte la variabilité sous-maille du vent. L'excès de nuages hauts est reproduit et partiellement réduit avec les nouveaux réglages évoqués précédemment. Toujours sous les tropiques, la mousson africaine apparaît dégradée dans la version 6, en lien avec la définition d'albédos de surface pourtant plus réalistes sur le Sahel et le Sahara. Enfin, une comparaison avec les observations haute-fréquence de la station ARM (Niamey) suggère que l'excès de nuages hauts est associé à un manque de turbulence en régime convectif.

L'analyse du comportement d'ARPEGE-Climat dans la stratosphère et la mésosphère a suscité l'introduction de sources non-orographiques d'ondes de gravité qui améliore nettement la simulation de la QBO¹ (ANR STRADYVARIUS) et d'une source de vapeur d'eau liée à l'oxydation du méthane qui conduit à un état moyen dynamique, thermodynamique et chimique (ozone) de meilleure qualité. Afin de veiller à la cohérence entre CNRM-CM et CNRM-ESM, une nouvelle climatologie des paramètres utilisés dans le schéma linéaire d'ozone est en cours de finalisation. Les premiers tests montrent une amélioration de la colonne d'ozone ainsi qu'une meilleure reproduction de son évolution multi-décennale. Une simulation T127L91 avec chimie interactive au dessus de 560hPa (et relaxation de nombreuses espèces sous ce niveau) a été réalisée et comparée avec des simulations similaires déjà réalisées avec une version 6 préliminaire en configuration T63L60. Le comportement du modèle a été jugé globalement satisfaisant. Les développements pour la prise en compte des émissions d'avion (projets TC2 et IMPACT) ont été validés.

Concernant les aérosols, et toujours par souci de cohérence entre CNRM-CM et CNRM-ESM, une nouvelle climatologie des aérosols a été produite et validée sur la base du schéma interactif TACTIC qui sera activé dans CNRM-ESM. Par ailleurs, la paramétrisation de l'effet indirect a été revue et calibrée. Enfin, le projet Copernicus CAMS43 (coll. avec MOSCA, COMETS et PLASMA, recrutement d'un CDD pour 2 ans) a démarré et verra le développement du module d'aérosols en parallèle dans les modèles ARPEGE-Climat et C-IFS. Les premiers travaux ont concerné l'implémentation d'une nouvelle paramétrisation d'émissions des sels marins.

¹ Quasi-Biennial Oscillation, oscillation du vent zonal dans la stratosphère équatoriale

Liste des personnels impliqués (par ordre alphabétique) et chiffrage des ETP réalisés: A.L. Ahmat-Younous (thésard, 100%), J. Cattiaux (5%), F. Chauvin (15%), H. Douville (5%), M. Michou (0.9x60%), R. Roehrig (70%), D. Saint-Martin (70%), S. Tyteca (20%). *Total ETP : 3.39 auxquels on peut ajouter 0.3 ETP d'E. Paul (ex. CARMA) dans le cadre de ses activités de soutien sur ARPEGE-Climat et AEROCOM.*

Objectifs année à venir

Concernant la version 6 d'ARPEGE-Climat, la fin de l'année 2016 verra les réglages finaux en mode couplé (coll. avec IOGA et PASTEL) et quelques développements techniques supplémentaires pour introduire certains diagnostics originaux demandés par CMIP6 et/ou importants pour l'évaluation des futures versions du modèle (e.g., simulateur d'observations des nuages). Outre la réalisation et l'analyse préliminaire des simulations CMIP6 (dont la référence en mode purement atmosphérique), la version 6 sera valorisée sous la forme d'articles la documentant et l'évaluant en configurations multiples.

Si une page se tourne avec CMIP6, le développement de la physique ARPEGE-Climat se poursuivra dès 2017. Cette année de transition permettra de définir une nouvelle stratégie de développement pour les années à venir, notamment en identifiant les développements prioritaires et en privilégiant autant que possible une approche « sans couture » via la convergence entre les codes PNT et climat selon une périodicité qui reste à définir (coll. DAAC, coll. GMAP/PROC). La fin du projet LEFE-DEPHY2, et son éventuelle suite (à définir) contribuera à ces réflexions. D'ores et déjà, certains tests et développements commenceront, comme la mise en œuvre du schéma de transfert radiatif RRTM_SW (projet tuteuré ENM) ou la prise en compte d'effets sous-maille liés au vent pour le calcul des flux de surface (ANR-COCHOA). Les travaux autour du couplage entre la paramétrisation des courants de densité convectifs et le schéma de convection PCMT seront finalisés afin d'effectuer des premiers tests en 3D (coll. GMME, GMAP, coll. LMD).

Un certain nombre d'évaluations permettront d'alimenter cette stratégie et de construire des pistes pour les futurs développements de la physique. L'Afrique de l'Ouest (mousson d'été, vague de chaleur au printemps – ANR-ACASIS), l'excès de nuages hauts (coll. GMME/MOANA, TOSCA-EECLAT, GEWEX-PROES) et les biais chauds en été sur l'Amérique du Nord (GASS-CAUSES) recevront une attention particulière. Dans le cadre du projet FP7-PREFACE (postdoc F. Brient, coll. IOGA), l'analyse de l'origine des biais dans l'Atlantique tropical sera poursuivie et étendue à la version 6. La dernière année de thèse d'A.L. Ahmat Younous sera consacrée à l'analyse de simulations atmosphériques Transpose-AMIP (initialisées via ERA-Interim), couvrant la période de la campagne Cindy-Dynamo, avec pour objectif de quantifier les liens entre cycle de vie de la convection, propriétés des profils diabatiques et dynamique de grande échelle. Il s'agira notamment d'évaluer dans quelle mesure les résultats obtenus en 3D reflètent les erreurs constatées dans le cadre 1D et d'analyser l'impact de ces erreurs sur la prévision des épisodes MJO² observés durant la campagne.

Dans le cadre du projet ANR-High-Tune, une réflexion sur les stratégies de calibration ou « tuning » des modèles de climat sera réalisée. Un projet tuteuré de l'ENM (si possible suivi d'un stage de fin d'étude) permettra de tester et d'analyser la méthode développée à l'université d'Exeter (UK), basée sur l'« history matching ». Une stratégie sera mise en place pour la calibration de paramétrisations (nuages, convection) dans un cadre 1D (coll. GMME/MOANA). Cette activité relativement nouvelle

² Madden-Julian Oscillation, principal mode de variabilité intra-saisonnière sous les tropiques

visé à systématiser la calibration des paramètres incertains dans les paramétrisations physiques et, ainsi, à distinguer les incertitudes « structurelles » (MME : Multi-Model Ensemble) des incertitudes « paramétriques » (PPE : Parameter Perturbation Ensemble) dans la modélisation climatique.

Dans le cadre de l'ANR STRADYVARIUS portant sur la stratosphère, une analyse détaillée des résultats obtenus avec la nouvelle paramétrisation des ondes de gravité non orographiques sera menée. Il sera également envisagé d'améliorer la représentation des sources de ces ondes de gravité, d'étudier notamment dans quelle mesure les sources non orographiques peuvent être reliées non plus à la précipitation ou à la vorticité potentielle mais directement au terme de chauffage diabatique.

Sur le chapitre des aérosols, les développements du schéma interactif TACTIC se poursuivront dans le cadre des projets CAMS43 (COPERNICUS) et CRESCENDO (H2020). Ils concerneront notamment la description de l'aérosol désertique (coll. MOSCA) et la formation des sulfates (post-doc J. Bock, coll. COMETS et PLASMA).

Projets concernés: LEFE DEPHY2, ANR STRADYVARIUS, FP7 PREFACE, CAMS43, ANR High-Tune, ANR COCOA, H2020 CRESCENDO.

Action faisant l'objet d'un suivi Oplana: Développement et évaluation d'une configuration haute résolution (T359) et étirée (zoom sur l'Atlantique tropical) de la version 6 d'ARPEGE-Climat en vue d'études sur l'activité cyclonique.

Liste des personnels impliqués (par ordre alphabétique) et chiffrage des ETP réalisés: A.L. Ahmat-Younous (thésard, 100%), J. Bock (Postdoc CAMS43, 100%), F. Brient (Postdoc H2020 PREFACE, 100%), J. Cattiaux (5%), F. Chauvin (15%), H. Douville (5%), M. Michou (0.9x60%), R. Roebrig (60%), D. Saint-Martin (50%), S. Tyteca (30%), X (100 %, Postdoc ANR STRADYVARIUS). *Total ETP : 6.19*

Activité 2 : Compréhension des variations climatiques récentes

Thème concerné : Etude du climat et du changement climatique (essentiellement), Prévision saisonnière (indirectement car en amont)

Description générale :

Comprendre les variations climatiques du passé, en particulier sur la période récente la mieux observée, est essentiel pour évaluer les modèles en terme de mécanismes, identifier les sources de prévisibilité   différentes échelles de temps (intra-saisonnière à multi-décennale), et isoler l'effet des activités humaines sur le climat. Sur ce dernier thème de la détection-attribution (D&A), AMACS contribue à la fois à des développements méthodologiques et à des applications originales. 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^{ me} siècle. Une part importante des analyses porte sur la météorologie et les événements extrêmes en raison de leurs forts impacts environnementaux et sociétaux. AMACS contribue ainsi activement aux G3T « Météorologie tropicale », « Météorologie et climat des moyennes latitudes » et «  v nements extrêmes », dont elle assure la co-animation.

Bilan année passée

Comme chaque année, les travaux menés en 2016 ont bénéficié de la mise à jour régulière d'une base de données observées, réanalysées et simulées (essentiellement CMIP), accessible à l'ensemble du CNRM.

Concernant la météorologie tropicale, l'étude du climat de l'Afrique de l'Ouest a été abordée sous de multiples aspects (coll. GMME/MOANA). Le bilan radiatif des simulations AMIP de l'ensemble CMIP5 a été analysé afin de mieux documenter les contributions de l'albédo de surface, de la colonne d'eau et des nuages à la dispersion de ce bilan. La poursuite de la valorisation des résultats du projet FP7-EMBRACE, a donné lieu à la soumission d'un article (en révision) sur la documentation et l'analyse des tendances des paramétrisations physiques des modèles du projet. Dans le cadre d'un projet LEFE-EC2CO (coll. LTHE), la caractérisation des extrêmes de précipitation sur le Sahel et de leur environnement grande échelle a été poursuivi et une première analyse de ces événements dans CNRM-CM5 a été réalisée. Dans le cadre de l'ANR-ACASIS et de la thèse de J. Barbier (coll. GMME/MOANA), une méthode de détection des vagues de chaleur au Sahel (printemps) a été mise en place et utilisée pour documenter ces événements. Une analyse multi-échelle de la vague ayant eu lieu en avril 2010 a été réalisée (cet événement sert de base à une intercomparaison de modèles de climat). Dans le cadre du projet TRACMIP, un cadre idéalisé de modélisation de la ZCIT³ et des moussons (aquaplanète avec océan « slab » et éventuellement un continent idéalisé) a été développé et un jeu de simulations réalisé. Enfin, l'intercomparaison de la MJO simulée en mode aquaplanète avec « warm pool », initiée par le CNRM à l'occasion du projet FP7 EMBRACE, a été valorisée (Leroux et al., accepté).

Concernant la météorologie des moyennes latitudes, les travaux menés sur un critère objectif de saisonnalité du climat européen et sur un critère de sinuosité du « jet stream » (2 articles publiés) ont été appliqués aux simulations historiques CMIP5, mais aussi aux projections (cf. bilan Activité 3). Quelques diagnostics ont été proposés et appliqués à la version 6 du modèle ARPEGE-Climat en cours d'élaboration, suggérant des résultats en net progrès par rapport à la version 5 (par exemple sur la simulation des blocages). Le logiciel de tracking des tempêtes a été mis en œuvre dans le cadre de la thèse de T. Oudar (coll. CERFACS).

Sur le chapitre de la variabilité interannuelle, la téléconnexion entre la neige d'automne sur la Sibérie et la NAO⁴ en hiver a été revisitée sur la base des réanalyses du 20^{ème} siècle 20CRv2c et ERA20C (Douville et al., en préparation) dans le cadre de l'ANR STRADYVARIUS. Cette téléconnexion faisant potentiellement intervenir la stratosphère a par ailleurs fait l'objet d'expériences de sensibilité communes en mode AGCM avec l'Université d'Irvine (Peings et al., en préparation) consistant à perturber la neige d'Octobre à Novembre par rapport à une simulation de contrôle de 200 ans pilotée par des SST climatologiques et à analyser en quoi la réponse de la circulation hivernale à nos latitudes est modulée ou non par la phase de la QBO. Par ailleurs, la téléconnexion entre l'ENSO en hiver et les SST au nord de l'Atlantique tropical au printemps a été revisitée sur la base d'observations et de réanalyses (Garcia-Serrano et al., soumis) à l'occasion de la visite de J. Garcia-Serrano (BSC, bourse européenne M. Curie). Un nouveau mécanisme a été proposé et des analyses supplémentaires sont

³ Zone de Convergence Inter-Tropicale où convergent les alizés

⁴ North Atlantic Oscillation, mode de variabilité atmosphérique dominant sur l'Atlantique Nord

en cours sur la base des simulations couplées de type « pacemaker » réalisées avec CNRM-CM5 en 2015, afin notamment de mieux comprendre le rôle de la chronologie de l'ENSO.

Concernant la variabilité multi-décennale, 7 ensembles de simulations en mode AGCM ont été réalisés sur la période 1920-2014 dans le cadre de l'ANR MORDICUS. Elles visent d'une part à évaluer la contribution des forçages radiatifs externes (en particulier anthropiques) à la variabilité totale observée, d'autre part à isoler la contribution de l'Atlantique Nord et du Pacifique tropical à la variabilité interne ainsi isolée (Douville et al., en préparation). Par ailleurs, une analyse de la variabilité multi-décennale des densités de trajectoires des dépressions sur l'Atlantique Nord a été menée dans le cadre de la thèse de T. Oudar (coll. CERFACS).

Concernant la D&A, plusieurs travaux initiés en 2015 ont été menés à terme, notamment : les travaux méthodologiques sur la prise en compte de l'incertitude de modélisation et l'introduction d'une alternative aux techniques de régression linéaire (Ribes et al., 2016 ; coll. Univ. Victoria, IMT, LSCE) ; la recherche d'un signal de changement séparable en espace et temps (Azaïs et Ribes, 2016) ; l'attribution du verdissement récent de la végétation des moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère nord aux forçages anthropiques (Mao et al., 2016 ; coll. Oak Ridge National Lab) ; le réchauffement observé en France au cours des 50 dernières années et l'incertitude associée (Ribes et al., 2016 ; coll. DCSC). Dans le cadre du projet GICC Extremoscope, un travail original a été mené afin d'estimer, pour des événements singuliers (e.g., la vague de chaleur 2003 en Europe), la fraction de risque attribuable à l'influence humaine sur la base des simulations CMIP5 et de techniques de statistiques non-stationnaires. Un projet ERC a été soumis (rejeté) sur la problématique de l'estimation du réchauffement passé induit par les gaz à effet de serre, et la réduction des incertitudes sur la sensibilité climatique. Une analyse statistique des précipitations extrêmes sur le Sud-Est de la France a été amorcée. Enfin, un stage M2 (A. Rigal) a porté sur le calcul des normales saisonnières en climat non stationnaire et a donné lieu à la rédaction d'un sujet de thèse.

Liste des personnels impliqués (par ordre alphabétique) et chiffrage des ETP réalisés : J. Cattiaux (35%), F. Chauvin (40%), H. Douville (40%), M. Michou (0.9x20%), T. Oudar (thèse CERFACS/Météo-France, 25%), A. Ribes (60%), R. Roehrig (20%), D. Saint-Martin (15%), A. Rigal (stage M2, 30%), S. Thao (postdoc Extremoscope, 50%), S. Tyteca (50%), L. Watson (Postdoc ANR MORDICUS, 100%).
Total ETP : 4.88

Objectifs année à venir

Avec le départ à la retraite de S. Tyteca, le maintien et la mise à jour d'une base de données observées, réanalysées et simulées au profit de l'ensemble du CNRM ne pourront être poursuivis sans renouvellement de ce poste (dont ce n'est que l'une des multiples fonctions indispensables au bon fonctionnement de l'équipe AMACS et à la qualité du service rendu par cette équipe à l'ensemble du GMGEC).

Concernant la météorologie tropicale, le climat de l'Afrique de l'Ouest continuera d'être étudié (coll. GMME/MOANA), notamment le rôle du bilan radiatif dans la mousson. La caractérisation de l'environnement grande échelle des extrêmes de précipitation sera valorisée. L'évaluation de ces extrêmes dans les modèles de climat, notamment leur variabilité multi-décennale sera poursuivie (projet tuteuré ENM). Dans le cadre de l'ANR-ACASIS les travaux réalisés jusqu'à présent seront valorisés et serviront de base à l'analyse des vagues de chaleur dans les modèles de climat (CMIP,

intercomparaison sur cas d'étude). Enfin, les simulations réalisées dans le cadre de TRACMIP seront analysées afin d'identifier les ingrédients nécessaires à la mise en place d'une mousson.

Concernant la météorologie des moyennes latitudes, le proposition BNP Paribas MAVERICC pourrait (sous couvert de financement) être l'occasion de poursuivre les travaux sur l'application des régimes de temps à la compréhension de la variabilité (et du changement) climatique, mais aussi de mettre en oeuvre de nouveaux diagnostics issus de la météorologie dynamique (coll. avec RECYF et LMD). Par ailleurs, le projet H2020 APPLICATE nous amènera probablement à contribuer à l'outil communautaire ESMValTool d'évaluation des modèles de climat.

Concernant la variabilité interannuelle à multi-décennale, l'année 2017 verra la poursuite de la valorisation des simulations atmosphériques réalisées dans le cadre des ANR STRADYVARIUS et MORDICUS. Ce dernier projet verra également la finalisation de simulations visant à évaluer le rôle des aérosols dans la variabilité climatique observée sur la période 1980-2010. L'analyse portera spécifiquement sur la quantification de l'incertitude du forçage radiatif des aérosols associée à leur représentation dans le modèle CNRM-CM (en lien avec les propriétés optiques et la paramétrisation de l'effet indirect). Le démarrage du projet H2020 APPLICATE sera l'occasion de prolonger les travaux sur la variabilité et les changements de la circulation des moyennes latitudes de l'Hémisphère Nord en mettant l'accent sur l'analyse des liens avec les latitudes polaires. Des métriques seront proposées pour évaluer la capacité des modèles CMIP5/6 à reproduire ces liens en climat récent, afin *in fine* de contraindre les projections climatiques. Dans le cadre de l'intercomparaison GMMIP, des simulations AMIP étendues (au moins 3) seront à nouveau réalisées en vue de mieux comprendre la variabilité des moussons.

Concernant plus directement la D&A, l'année 2017 verra la réalisation de l'essentiel des simulations CMIP6 dédiées à cette thématique (DAMIP). L'axe de recherche principal restera la réduction des incertitudes sur le réchauffement passé induit par les gaz à effet de serre, via en particulier l'application de la nouvelle méthodologie proposée en 2016, et éventuellement le début de l'exploitation des simulations CMIP6. Sous réserve de financement, le projet ERA4CS EUPHEME permettra de poursuivre l'effort débuté dans Extremoscope sur l'attribution d'événements, i.e. l'évaluation du changement de probabilité d'occurrence associé aux activités humaines (coll. DCSC). L'analyse statistique des épisodes de fortes précipitations observés depuis 50 ans sur le Sud-Est de la France sera poursuivie, afin d'identifier une éventuelle tendance à l'intensification de ces événements.

Enfin, en marge de la D&A et concernant le développement d'outils statistiques, le travail sur l'estimation des normales climatiques non-stationnaires sera poursuivi (thèse A. Rigal), avec des retombées attendues pour le suivi climatique, l'attribution d'événements, et le calcul d'analogues climatiques (pour illustrer par exemple les changements climatiques attendus dans les principales villes de France métropolitaine).

Projets concernés : ANR MORDICUS, ANR STRADYVARIUS, H2020 APPLICATE, BNP Paribas MAVERICC (soumis), ERA4CS EUPHEME (soumis).

Action faisant l'objet d'un suivi Oplana : Analyse de l'évolution multi-décennale des épisodes de fortes précipitations observés depuis 50 ans sur le Sud-Est de la France.

Liste des personnels impliqués (par ordre alphabétique) et chiffrage des ETP prévus : J. Cattiaux (25%), F. Chauvin (40%), H. Douville (25%), M. Michou (0.9x20%), A. Ribes (80%), R. Roehrig (20%), D. Saint-Martin (25%), A. Rigal (thèse Météo-France, 100%), S. Tyteca (30%). *Total ETP : 3.63*

Activité 3 : Compréhension des projections climatiques

Thème concerné : Etude 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, AMACS contribue à la production et l'analyse des simulations réalisées dans le cadre du projet d'intercomparaison CMIP (coll. IOGA et EST). Le but est de développer ou d'appliquer de nouveaux diagnostics, de comprendre certains des mécanismes ou rétroactions qui sous-tendent les changements climatiques, de quantifier les incertitudes associées et si possible de les réduire en identifiant des contraintes observationnelles. Les analyses portent essentiellement sur les projections globales et concernent les rétroactions liées aux nuages et aux surfaces continentales (coll. EST), les changements de circulation atmosphérique, le cycle de l'eau, mais aussi les événements extrêmes en synergie avec les autres équipes et unités du CNRM travaillant sur ce thème (G3T dédié). L'attention accordée à la compréhension des incertitudes et à l'influence des biais de SST dans/sur la réponse des modèles justifie pleinement le recours à des simulations en partie en mode AGCM.

Bilan année passée

Les analyses menées à AMACS et dans d'autres équipes du GMGEC ont encore nécessité de télécharger de nombreux résultats des intercomparaisons CMIP5, même si cette tâche fut moins importante que les années précédentes en raison de la préparation de CMIP6.

Concernant les rétroactions et la compréhension des incertitudes, l'article sur l'importance de la rétroaction de l'humidité du sol pour comprendre la réponse des températures extrêmes a été révisé et publié fin 2015. La collaboration avec J. Vial (coll. LMD) a donné lieu à un article (en révision) sur l'analyse des rétroactions nuageuses dans le cadre idéalisé CGILS. L'étude montre l'équilibre complexe et fortement dépendant de la paramétrisation de la convection (fermeture) entre mélange convectif, évaporation de surface et effet radiatif des nuages. Par ailleurs, l'équipe AMACS a contribué à la définition du protocole de certaines simulations CMIP6 planifiées dans le cadre des intercomparaisons CFMIP (Webb et al., 2016) et LS3MIP (Van den Hurk et al., 2016) dédiées respectivement aux rétroactions des nuages et des surfaces continentales. 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 CMIP5 à un accroissement abrupt du CO₂ atmosphérique via la réalisation de quelques simulations en mode AGCM (Chadwick et al., en préparation).

Concernant la circulation et la météorologie des moyennes latitudes, des travaux originaux ont été menés sur les changements de saisonnalité en Europe (Cassou et Cattiaux 2016) sur la base d'un critère objectif consistant à analyser le signe des anomalies quotidiennes de température en surface en régime de blocage. Les résultats indiquent un été de plus en plus précoce au cours du 20^{ème} siècle,

tendance qui ne peut s'expliquer par la seule variabilité interne et qui s'amplifie dans les projections du 21^{ème} siècle sans atténuation des émissions. Par ailleurs, l'analyse (initiée en 2015 à l'occasion d'un stage M2) des changements récents et futurs de position, de forme et d'intensité du jet stream dans l'Hémisphère Nord ont été poursuivis et valorisés (Cattiaux et al., révisé). La réponse de la NAO dans les modèles CMIP5 et dans le grand ensemble du NCAR a également fait l'objet de nouvelles analyses dans le cadre de la visite de J. Cattiaux à l'Université d'Irvine (Peings et al., soumis).

Sur le chapitre de la réponse des événements extrêmes, l'exploitation des simulations transitoires réalisées avec une version couplé-étirée de CNRM-CM5 centrée sur l'Atlantique tropical s'est terminée avec la mise en évidence d'une réponse des pluies cycloniques au réchauffement global différenciée selon l'intensité des précipitations quotidiennes et la taille du domaine considérés (Chauvin et al., révisé). Par ailleurs, un article de vulgarisation sur la réponse des événements extrêmes (températures, précipitations, sécheresses, tempêtes et cyclones) au réchauffement global a été rédigé sur invitation de la revue La Recherche (Douville et al., à paraître).

Liste des personnels impliqués (par ordre alphabétique) et chiffrage des ETP réalisés: J. Cattiaux (35%), F. Chauvin (40%), H. Douville (20%), M. Michou (0.9x20%), R. Roehrig (10%), D. Saint-Martin (15%), S. Tyteca (20%). *Total ETP : 2.25*

Objectifs année à venir

Au delà des bases de données CMIP (au moins pour les variables atmosphériques) indispensables aux analyses multi-modèles, AMACS a vocation à centraliser les différents forçages radiatifs ou chimiques (anthropiques et naturels) recommandés par CMIP pour la réalisation de ces exercices d'intercomparaison.

L'année 2017 verra essentiellement la réalisation d'une bonne partie des simulations CMIP6 auxquelles s'est engagée l'équipe AMACS. Au delà du DECK (coll. IOGA), les principaux efforts de production et d'analyse porteront sur les intercomparaisons DAMIP (D&A, cf. Activité 2) et CFMIP (réponse des nuages, de la circulation ainsi que des précipitations), mais aussi dans une moindre mesure RFMIP (forçages radiatifs direct et indirect des aérosols) et AerChemMIP (aérosols et chimie, coll. MOSCA). Ce dernier MIP nécessitera un travail d'autant plus conséquent que les simulations utiliseront des schémas interactifs pour les espèces chimiques gazeuses et les aérosols (TACTIC).

En parallèle, quelques actions seront menées visant à poursuivre/démarrer la valorisation de CMIP5/CMIP6. Dans le cadre de l'ANR-ACASIS, l'ensemble CMIP5 sera utilisé pour évaluer l'évolution future des vagues de chaleur au Sahel et les incertitudes associées. Le démarrage du projet H2020 APPLICATE verra de nouvelles analyses sur la réponse de la circulation des moyennes latitudes, mais aussi de ses liens avec la réponse Arctique et l'amplification polaire. En cas de financement, le projet BNP Paribas MAVERICC sera l'occasion de revisiter la réponse des régimes de temps sur l'Atlantique Nord (dans la nouvelle génération des modèles CMIP). Par ailleurs, la décomposition des incertitudes sur la réponse des modèles CMIP6 à un quadruplement abrupt du CO2 atmosphérique fera l'objet d'analyses préliminaires, notamment sur le rôle du « pattern » des anomalies de SST et du retrait de la banquise Arctique.

Au delà de CMIP, différentes activités seront menées nécessitant la réalisation de simulations globales dédiées. Les simulations finales avec les jeux d'émissions du projet IMPACT, en mode

atmosphère forcée récente et future, vont être réalisées et analysées afin de qualifier et de quantifier l'impact climatique lié à l'aviation, en collaboration avec le CERFACS qui utilisera ARPEGE-Climat en mode couplé avec l'océan. Dans le cadre d'un projet de la région Antilles-Guyane, des simulations à haute résolution (ARPEGE-Climat T359 étiré) seront réalisées et exploitées afin d'analyser les changements de trajectoire des cyclones sur la Guadeloupe en réponse au changement climatique.

Projets concernés : FEDER C3F, H2020 APPLICATE, BNP Paribas MAVERICC (sous réserve de financement)

Action faisant l'objet d'un suivi Oplana : Contribution à la réalisation (run AMIP) et à l'analyse des simulations du DECK CMIP6 (coll. IOGA et EST).

Liste des personnels impliqués (par ordre alphabétique) et chiffrage des ETP prévus : J. Cattiaux (25%), F. Chauvin (40%), H. Douville (40%), M. Michou (0.9x20%), R. Pilon (postdoc C3AF, 25%), R. Roehrig (5%), D. Saint-Martin (25%), S. Tyteca (30%). *Total ETP : 1.83*

Autres activités : Signalons enfin que (pour un total passant de 1.1 à 1.25 ETP) :

- Julien Cattiaux (notamment en charge d'un module de L3 et de M2, et co-animateur du G3T « Evénements extrêmes » et des « Jeudis du Climat ») estime à environ 25 % (en 2016) et 45 % (en 2017, montage de nouveaux cours pour l'ENM et le M2 SOAC) 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 environ 5% le temps qu'il consacre à la formation, l'animation et la vulgarisation scientifique ;
- 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, la vulgarisation, la communication et l'animation de façon pérenne, mais à 40% en 2016 en raison de sa participation au GT sur la réorganisation du GMGEC ;
- Romain Roehrig estime à environ 5% le temps qu'il consacre à co-animer le G3T « Météorologie tropicale » (2016-2017) et à environ 10% celui qu'il consacra à la responsabilité de DACC (à compter de 2017).
- Sophie Tyteca (dont le départ à la retraite se fera au plus tard en 2017) contribue pour environ 10% de son temps au soutien informatique de l'équipe, mais contribue également à de nombreuses tâches d'intérêt général comme le maintien et la mise à jour des bases de données ou l'amélioration des outils de post-traitement.

Tableaux récapitulatifs des % d'activités et total ETP

Bilan 2016	1	2	3	Autres
J. Cattiaux	5	35	35	25
F. Chauvin	15	40	40	5
H. Douville	5	45	20	30
M. Michou (x0.9)	60	20	20	0
A. Ribes	0	60	0	40
R. Roehrig	70	20	10	5
D. Saint-Martin	70	15	15	0
S. Tyteca	20	50	20	10
ETP permanent	2.39	2.83	1.58	1.10
ETP CDD	1.00	2.05	0.00	0.00
Total ETP 2016	3.39	4.88	1.58	1.10

Perspectives 2017	1	2	3	Autres
J. Cattiaux	5	25	25	45
F. Chauvin	15	40	40	5
H. Douville	5	25	40	30
M. Michou (x0.9)	60	20	20	0
A. Ribes	0	80	0	20
R. Roehrig	60	20	5	15
D. Saint-Martin	50	25	25	0
S. Tyteca (???)	30	30	30	10
ETP permanent	2.19	2.63	1.83	1.25
ETP CDD	4.00	1.00	0.25	0
Total ETP 2017	6.19	3.63	2.08	1.25