

Projet LEFE/INSU
Section “Océan-Atmosphère”
Rapport annuel 2015

Référence du projet: AO2014-863318-DEPHY2

Noms des porteurs du projet: Catherine Rio (LMD/IPSL), Isabelle Beau (Météo-France/CNRM/GAME), Marie-Pierre Lefebvre (Météo-France/IPSL)

Titre du projet: Développement et Evaluation des PHYSIQUES atmosphériques

Introduction

En 2015, le projet DEPHY2 a permis de favoriser les interactions autour du développement et de l'évaluation des physiques des modèles atmosphériques entre les communautés de l'observation, de la modélisation à méso-échelle et de la prévision du temps et du climat.

Plusieurs réunions ont jalonné cette année 2015, avec pour commencer le rendez-vous annuel du projet DEPHY aux Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère à Météo-France en janvier à Toulouse. Suite aux enjeux identifiés lors de la réunion de lancement du projet, plusieurs sessions d'exposés et des groupes de travail ont été organisés autour de la question des couplages entre les paramétrisations physiques et leur environnement. Le couplage entre les paramétrisations de la couche limite et les schémas de sol a été abordé par des exposés sur la paramétrisation des rafales de vent et la représentation des bilans d'eau et d'énergie à la surface ainsi que dans un groupe de discussions sur l'importance des valeurs utilisées pour les caractéristiques de la surface (rugosité, albédo, inertie thermique). Le couplage de la convection avec le rayonnement a été abordé lors d'une session d'exposés sur l'utilisation de l'approche de l'équilibre radiatif-convectif dans toute une hiérarchie de modèles (CRM, 1D, aqua-planètes) et celui de la convection avec la circulation grande-échelle dans un groupe de discussions sur les méthodologies à mettre en oeuvre pour identifier l'effet des hypothèses des paramétrisations de la convection sur le climat tropical (moussons, MJO, ITCZ, etc...). Un atelier a également eu lieu pour lancer la comparaison des schémas de microphysique utilisés dans les différents modèles français. Anton Beljaars, scientifique à la tête de la section développement des paramétrisations physiques de l'ECMWF nous a fait l'honneur d'accepter notre invitation à donner un exposé sur la paramétrisation des flux de chaleur et de moment à la surface et à participer aux discussions.

Au cours de l'année, les interactions autour de l'évaluation et du développement des paramétrisations physiques ont continué dans le cadre de deux réunions:

- Une réunion internationale organisée à Météo-France au printemps par des acteurs de DEPHY2 sur les cas d'intercomparaison DICE et GABLS4 pour l'étude des couches limites stables auxquels plusieurs modèles français ont participé (<http://www.meteo.fr/cic/meetings/2015/DICE-GABLS4/>). Un article est paru dans la newsletter GEWEX d'août 2015 sur l'atelier (http://www.gewex.org/gewex-content/files_mf/1438893730Aug2015.pdf).

- Une réunion nationale sur la paramétrisation de la convection et des flux de surface océaniques organisée au CNRM à l'automne. Il y a été question en particulier des rétroactions à l'oeuvre entre descentes précipitantes, poches froides et ascendances convectives et de la prise en compte de leurs effets sur les flux de surface océaniques.

Par ailleurs, des groupes de travail se sont réunis en petit comité pour avancer sur des tâches spécifiques:

- un groupe “microphysique”: comparaison des schémas microphysiques des différents modèles autour de cas d'étude communs.

- un groupe “format de forçages communs”: définition d'un format commun de forçages à appliquer à tous les cas d'étude 1D existant dans les différents modèles.

- un groupe “Tuning” : mise en place de méthodes automatiques pour ajuster les paramètres internes aux paramétrisations physiques à partir de simulations LES. Une demande de projet ANR a été déposée sur cette thématique en octobre 2015.

Le projet DEPHY2 a été également représenté par plusieurs intervenants à la réunion du groupe international PROES (Process Evaluation Studies, GEWEX) à Paris en novembre 2015 dont le but est de mettre à disposition des données observationnelles pour une meilleure compréhension des processus physiques impliqués dans la formation des nuages de haute troposphère issus de la convection.

L'organisation des réunions est discutée par le comité de pilotage qui s'est réuni trois fois dans l'année. L'ensemble des documents relatifs à DEPHY2 (exposés, compte-rendus de réunions) sont disponibles sur <http://www.lmd.jussieu.fr/~mlefevre/dephy2.html>

Les parties suivantes reviennent plus en détails sur les avancées de 2015 et les actions à venir de 2016 dans les quatre axes du projet: Outils/méthodologies/Algorithmie, Paramétrisation des nuages et des précipitations, Couplages atmosphère/surface, Paramétrisation vers circulation – Upscaling.

A. Outils/Méthodologies/Algorithmie

Coordination : Frédéric Hourdin, Hubert Gallée

Les enjeux identifiés dans cet axe concernent: i/ le partage des outils, ii/ la généralisation de l'approche 1D/LES et la mise en place d'outils automatiques pour l'optimisation des paramètres, iii/ les comparaisons modèles/données sur sites pour l'évaluation et le développement de paramétrisations, iv/ le développement de nouvelles méthodologies pour l'étude des interactions entre paramétrisations et circulation résolue.

Avancements :

Au niveau du partage des outils, les synergies autour des cas d'étude 1D ont progressé avec la mise en place de deux nouveaux cas dans les modèles du LMD et du CNRM (GABLS4 et CINDY-DYNAMO) et la mise au point d'un cas issu des travaux associés au programme HyMeX dans le modèle du CNRM. Les discussions ont repris activement sur la définition d'un format de forçage commun applicable à tous les cas 1D et à tous les modèles du CNRM et de l'IPSL. Le choix défini initialement dans le cadre du projet européen Embrace a été abandonné pour adopter un format inspiré des fichiers utilisés au KNMI dans le cadre du Testbed des paramétrisations physiques sur le site de Cabauw, et suivre la stratégie mise en oeuvre pour GABLS4. Des simulations haute résolution avec MESO-NH ont également été réalisées sur le cas GABLS4 au CNRM. Un pas supplémentaire dans le partage des outils a été franchi par l'échange de paramétrisations ou sous-parties de modèles. Le couplage de la physique MAR avec LMDZ a été repris en 2015 après une période où il avait été laissé un peu en suspens. Enfin la paramétrisation des poches froides à l'oeuvre dans LMDZ a été introduite et est en cours de test dans le modèle ARPEGE-climat.

L'aspect généralisation de l'approche 1D/LES a connu une orientation nouvelle en 2015. Suite au workshop international sur le tuning des modèles de climat, coorganisé en 2014 par Frédéric Hourdin, il est apparu qu'il y avait un enjeu à formaliser et systématiser l'ajustement (« tuning ») des paramètres libres à l'échelle des processus en utilisant l'approche 1D/LES. L'ajustement qui est fait in fine dans les modèles globaux pour garantir notamment la bonne représentation d'éléments clés du bilan radiatif (moyenne globale, séparation entre flux ciel clair et nuageux, répartition latitudinale de ces forçages, ...) porte en général sur les paramètres les plus incertains et les plus importants pour le rayonnement, à savoir ceux qui entrent en jeu dans les paramétrisations des nuages et de la convection. Cet ajustement nécessite en particulier de connaître la plage acceptable pour ces paramètres libres, qui sont souvent mal observés ou inobservables. D'où l'idée d'utiliser une exploration systématique des comparaisons 1D/LES pour estimer les plages de paramètres acceptables avant le réglage final.

Nous avons en particulier dans le cadre de DEPHY invité un chercheur statisticien d'Exeter (Daniel Williamson) qui propose des outils automatiques d'exploration des paramètres, avec des émulateurs de modèles (qui permettent d'explorer l'espace continu des résultats à partir d'un échantillon de quelques centaines de simulations de sensibilité aux paramètres) et une méthode dite « history matching » pour déterminer les gammes de paramètres admissibles (plutôt que de chercher des valeurs optimum de paramètres). Ces discussions ont abouti à la conception et à la soumission d'un projet ANR (High-Tune) sur le sujet en octobre 2015. En plus de l'intérêt de l'utilisation d'outils automatiques, ce projet met en avant l'importance pour le futur de disposer de simulations fiables des taux de chauffage et flux radiatifs pour l'ajustement des paramètres. Or les codes radiatifs actuels sont pensés dans des approximations plan-parallèle, très peu appropriées pour évaluer l'impact radiatif des nuages dans des simulations LES. Une collaboration a donc été initiée avec un laboratoire de sciences de l'ingénieur de Toulouse (le LAPLACE) pour effectuer des calculs radiatifs de référence tri-dimensionnels sur les champs produits par les LES, en profitant d'avancées conceptuelles récentes sur les méthodes Monte-Carlo.

Les données de plusieurs sites autour du globe ont été utilisées pour l'évaluation et le développement de paramétrisations. Pour permettre la comparaison du modèle avec un site de mesures, différentes configurations ont été mise en oeuvre: des simulations initialisées ou guidées en vent, des simulations zoomées et guidées à l'extérieur du zoom, et des simulations 1D.

Le CNRM et l'IPSL ont contribué en 2015 au projet international Causes portant sur l'intercomparaison de modèles de climat globaux et régionaux sur les grandes plaines étasuniennes. Des simulations LMDZ (guidées) et ARPEGE (PNT et Climat en mode initialisé) ont été réalisées pour ce projet. Les sorties de modèles sont en cours d'analyse en comparaison aux données du site ARM en Oklahoma pour l'étude des biais chauds continentaux en été.

D'autre part, une série de simulations guidées vers les vents des ré-analyses sont réalisées avec LMDZ. Elles permettent la comparaison des sorties de modèles avec les données des sites AMMA-Catch en Afrique de l'Ouest. La comparaison directe d'une maille de 300 km avec une mesure locale aux échelles diurnes et sub-diurnes s'avère tout à fait possible et pertinente. Cette approche permet d'identifier des plages de dysfonctionnement du modèle climatique, et les paramétrisations clés impliquées. Elle a déjà permis d'identifier un certain nombre d'erreurs dans le schéma de surface ORCHIDEE ainsi que des paramètres mal ajustés.

Une période de canicule a été identifiée début juillet 2015, pour intercomparer les modèles ARPEGE, AROME et LMDZ et les évaluer par rapport aux données du SIRTÀ à Palaiseau. Les simulations ont été réalisées en 2015 et seront analysées en 2016.

Enfin, en plus du cas GABLS 4 1D, des simulations 3D guidées et zoomées avec LMDZ, ou à aire limitée pour MAR, ont été réalisées pour une comparaison directe avec les mesures du LGGE à Dôme C en Antarctique.

Enfin, différents outils ont été mis en place pour permettre de mieux comprendre les interactions entre les paramétrisations physiques et la circulation résolue. L'enjeu ici est de s'appuyer sur d'autres approches que les cas 1D classiques pour lesquelles les forçages grande-échelle sont prescrits et ne répondent pas aux changements de paramétrisations. Des simulations dites en équilibre radiatif-convectif mais dans lesquelles la vitesse verticale de grande-échelle est paramétrisée en faisant l'hypothèse de faible gradient de température (WTG) ou d'onde de gravité linéaire (DWG) ont été réalisées avec les versions 1D de LMDZ et ARPEGE et avec MESO-NH en mode CRM, dans le cadre d'une intercomparaison internationale (Daleu et al., 2015). Des simulations globales en équilibre radiatif-convectif ont également été réalisées avec le modèle LMDZ, afin d'étudier l'agrégation spontanée de la convection. Une autre voie est d'étendre le cadre 1D/LES à la comparaison des modèles en mode régional ou zoomé guidé autour d'une région comprenant plusieurs mailles avec des simulations haute résolution réalisées sur de grands domaines équivalents. Ainsi, un cas de ligne de grain au Sahel a été simulé parallèlement avec ALADIN à des résolutions allant de 10 à 150km et avec

AROME à 5km. Un cas d'étude en juin 2006 en Afrique de l'Ouest a également été simulé avec MESO-NH à des résolutions de 2.5km (convection résolue) et 20km (convection paramétrisée). Des simulations zoomées guidées ont été réalisées avec LMDZ sur l'Océan Indien pendant la période de la campagne Cindy-Dynamo, pour lesquelles des simulations haute résolution sur un domaine équivalent seraient très utiles. De même, des simulations MESO-NH ont été réalisées sur l'île Tiwi au large de Darwin (100m de résolution sur un domaine de 250x200km) pour simuler l'orage Hector The Convecteur et pour lequel il serait très intéressant de réaliser des simulations 1D.

Enfin, un gros travail de cette année 2015 a également concerné l'implémentation et la mise en oeuvre des développements dans les modèles de climat en préparation pour CMIP6 et dans les modèles opérationnels de prévision. Cela passe par des tests dans une hiérarchie de configurations, allant des simulations 1D aux simulations 3D globales forcées et parfois couplées, en passant par des simulations guidées, initialisées (prévision du temps, Transpose-AMIP, prévisions saisonnières) et régionales, et mettant en jeu de multiples résolutions (de ~10 à ~200 km).

Actions à venir :

i/ Partage des outils

- Une priorité pratique pour 2016 sera de faire aboutir la définition du format de forçage commun et de basculer sur son utilisation systématique dans les cas 1D pour les différents modèles. Une fois cette étape réalisée, une priorité sera d'équiper chacun des cas d'un ensemble de diagnostics pertinents permettant de résumer automatiquement les performances du modèle testé sur ce cas particulier.
- Mise en place de nouveaux cas: cas 1D d'Hector the Convecteur, cas 1D idéalisés pour l'étude de la sensibilité de la convection à l'humidité troposphérique, cas 1D d'une dizaine de jours sur 4 régimes convectifs identifiés au Sahel, cas 0D pour l'évaluation des schémas de microphysique.
- Des simulations LES avec MESONH seront réalisées dans différents environnements convectifs (Sahel, Amazonie, océan tropical). Des simulations LES seront également réalisées dans un contexte idéalisé d'équilibre radiatif-convectif avec rayonnement forcé et idéalisé dans des conditions océaniques. Ces simulations incluront des tests de sensibilité à l'humidité troposphérique.
- La paramétrisation des poches froides de LMDZ couplée au schéma de convection PCMT sera testée dans ARPEGE.

ii/ Généralisation de l'approche 1D/LES et la mise en place d'outils automatiques pour l'optimisation des paramètres

En attendant de savoir si l'ANR High-Tune est acceptée ou en anticipation d'une possible re-soumission, des simulations LES avec traceurs seront réalisées. Des calculs radiatifs tri-dimensionnels précis seront réalisés sur les sorties de simulations LES pour l'évaluation des schémas de rayonnement utilisés et l'évaluation de l'importance des effets 3D. Enfin des premiers tests d'outils pour l'optimisation automatique des paramètres seront réalisées en collaboration avec Daniel Williamson.

iii/ Comparaisons modèles/données sur sites pour l'évaluation et le développement de paramétrisations

Des comparaisons modèles/données sur sites seront mises en place sur des cas d'étude particuliers ou des séries longues pour répondre à des questions scientifiques identifiées. Dans ce cadre, l'utilisation du produit ReObs développé au SIRTa et fournissant 50 paramètres (variables thermodynamiques et dynamiques, flux de surface, etc...) en continu sur les 13 dernières années au format netcdf permettra de confronter les sorties des modèles ARPEGE, AROME et LMDZ aux données observées sur ce site dans des conditions choisies pour répondre aux questions posées dans le cadre de DEPHY2, notamment autour des variations de température au cours de la journée et des valeurs extrêmes, de la formation des nuages et du brouillard. L'application de ces études sur d'autres sites sera facilitée si l'approche ReObs leur est étendue.

iv/ Développement de nouvelles méthodologies pour l'étude des interactions entre

paramétrisations et circulation résolue

- Finalisation des versions de paramétrisations mises en œuvre dans les modèles LMDZ et ARPEGE pour CMIP6.
- Utilisation de différentes configurations des modèles pour mieux comprendre et anticiper l'effet des nouveaux développements sur le climat simulé.

B. Paramétrisation des nuages et des précipitations

Coordination : Yves Bouteloup, Jean-Baptiste Madeleine

Les enjeux identifiés dans cet axe concernent: i/ l'amélioration des paramétrisations des nuages et de la microphysique et de leur interaction avec le rayonnement, ii/ l'intercomparaison des schémas microphysiques utilisés dans les différents modèles haute résolution et grande-échelle, iii/ l'évaluation globale des propriétés nuageuses simulées à partir de données satellite ou par rapport à des sites de mesures.

Avancements :

Concernant l'amélioration des paramétrisations des nuages et de la microphysique et de leur interaction avec le rayonnement, plusieurs développements ont été menés indépendamment dans les modèles du LMD et du CNRM. Dans le modèle LMDZ, il est désormais possible de coupler le schéma de convection avec un schéma de nuages basé sur une bi-gaussienne de l'humidité totale. Par rapport à la lognormale jusque là utilisée, cela augmente nettement la couverture nuageuse moyenne, notamment sur continent. Des développements sont également en cours pour la prise en compte de la distribution sous-maille verticale de la couverture nuageuse. Concernant la représentation des nuages mixtes, une nouvelle relation phase-température en meilleur accord avec les observations a été implémentée dans le schéma de condensation grande-échelle. De plus, l'effet thermodynamique de la glace trop longtemps négligé a enfin été introduit dans le schéma de convection et le schéma de condensation grande-échelle. Côté CNRM, un important travail de compréhension de la dépendance au pas de temps du schéma de micro-physique ICE3 a commencé en utilisant un cadre 0D. Cela a permis de tester de nouvelles formulations algorithmiques et aussi de trouver des faiblesses dans la description de certains processus comme la transformation de graupel en grêle (dans la version ICE4). Cette dernière modification permet d'améliorer les cumuls de grêles par rapport aux mesures du réseau de grêlimètres de l'ANELFA. L'étude de l'impact des aérosols dans le schéma microphysique ICE3 d'AROME s'est également poursuivi. Des simulations à 1.3km en utilisant des aérosols issus de MACC et MOCAGE sur un cas de brouillard ont permis de mettre en évidence des différences sur la formation et la dissipation.

L'intercomparaison des schémas microphysiques utilisés dans les modèles ARPEGE, LMDZ, et MESO-NH a débuté sur le cas RICO de petits cumulus océaniques précipitant : une première analyse des résultats a été faite lors de l'atelier microphysique des AMA 2015. Afin de rendre cette comparaison plus significative, les simulations ont été refaites en ajoutant des champs dérivés dans les fichiers et en interpolant les sorties sur des niveaux communs. L'analyse des résultats est en cours. Les modèles MAR et LMDZ ont quant à eux été confrontés aux données de Dôme C pour l'évaluation des nuages et de la précipitation en Antarctique (lien avec l'ANR APRES3).

L'évaluation globale des propriétés nuageuses simulées à partir de données satellite a continué via l'utilisation de simulateurs d'observables comme COSP. Un petit groupe a également participé à la réunion du groupe international PROES (Process Evaluation Studies, GEWEX) afin de discuter des données observationnelles nécessaires pour une meilleure compréhension des processus physiques impliqués dans la formation des nuages de haute troposphère issus de la convection.

En ce qui concerne l'utilisation des données sur sites, une comparaison aux observations des paramètres

nuageux (q_l, q_i) des modèles ARPEGE, ALADIN et AROME a été effectuée par Lisa Bengtsson (SMHI) sur le site de Chibolton. Cela a permis de tester une version différente de la dépendance en température du rapport q_l/q_i dans AROME qui semble donner de meilleurs résultats. Il serait instructif d'étendre cette analyse à d'autres sites.

Actions à venir :

i/ Amélioration des paramétrisations des nuages et de la microphysique et de leur interaction avec le rayonnement

- Développements dans LMDZ: couplage du schéma de convection au schéma de nuages de grande-échelle pour mieux représenter les nuages hauts issus de la convection profonde, prise en compte de la variabilité verticale sous-maille des nuages dans LMDZ et implémentation de la sursaturation pour les nuages froids.
- Modernisation de la micro-physique d'ARPEGE, qui est également utilisée par le schéma de convection profonde PCMT. L'introduction d'une phase glace type « graupel » va être étudiée en se basant sur les travaux algorithmiques de dépendance au pas de temps réalisés sur ICE3.
- Premiers tests du schéma à deux moments LIMA dans AROME et poursuite des modifications de l'algorithmique de la microphysique ICE3/ICE4 pour supprimer complètement la dépendance au pas de temps hors ajustement et sédimentation. Il faudra alors peut-être explorer également la sédimentation.

ii/ Intercomparaison des schémas microphysiques utilisés dans les différents modèles haute résolution et grande-échelle

- Développement d'un cas 0D avec la physique nuageuse LMDZ pour comparaison avec ICE3/ICE4, poursuite de l'intercomparaison sur le cas RICO et simplification du cas RICO pour simulations avec Kz et flux de masse imposés.
- Poursuite de la comparaison de LMDZ et MAR aux observations réalisées en Antarctique (notamment pendant la campagne 2015-2016).

iii/ Evaluation globale des propriétés nuageuses simulées à partir de données satellite ou par rapport à des sites de mesures

Organisation d'une réunion « Paramétrisation des nuages et des précipitations » à Paris en 2016 pour discuter en particulier des développements en cours et des liens avec la communauté des observations sur sites et satellite pour l'évaluation.

C. Couplages atmosphère/surface

Coordination: Fleur Couvreur/Frédérique Cheruy

Quatre enjeux ont été identifiés dans cette thématique à savoir : i/ la représentation de la couche limite stable, ii/ la prise en compte des bourrasques de vents et notamment son impact sur les flux de surface, iii/ une réflexion sur la formulation des flux de surface et iv/ l'amélioration des schémas de sol.

Avancements:

Durant cette année, les différentes paramétrisations de turbulence des modèles français (AROME, ARPEGE, LMDZ, MAR, MESONH) ont été intercomparées sur le cas GABLS4. Ce cas présente un cycle diurne avec une couche limite convective (épaisse $\sim 300\text{m}$) le jour et une couche limite extrêmement stable (gradient de 10°C en 15m) la nuit. Un workshop international a été organisé en Mai 2015 pour faire le point sur les premiers résultats. On peut noter une forte variabilité dans les flux sensibles prédits par les différents schémas de surface (que ce soit en mode offline ou en mode couplé). Contraindre les paramètres de surface (albédo, émissivité) permet de réduire cette dispersion le jour mais celle-ci reste importante la nuit. Il a aussi été montré l'importance d'une résolution verticale

suffisamment fine près de la surface pour pouvoir résoudre le jet nocturne. Un travail en parallèle a été fait à partir des observations de Dome C pour déterminer la longueur de rugosité qui est imposée pour les modèles dans ce cas d'intercomparaison (thèse de E Vignon). En lien avec l'amélioration de la représentation des couches limites stables, l'utilisation de l'énergie totale turbulente (Zilintikevich et al, 2007) comme variable pronostique supplémentaire pour décrire la turbulence (en plus de l'énergie cinétique turbulente) a été introduite dans ARPEGE. D'autre part, des cas idéalisés de LES permettant d'explorer différentes stabilités (de peu à modérément stable) ont été réalisés afin de déterminer une expression physique typique de longueurs de mélange dans ces cas (thèse de Q Rodier).

Il existe des biais importants dans la représentation du vent près de la surface au Sahel dans les différentes analyses météorologiques (ECMWF, MERRA, NCEP2) en termes de cycle diurne et d'intensités reproduites (Larger et al, 2015) ; une correction de ces vents a été proposée afin de reproduire les distributions observées des vents à la surface. D'autre part, il a été montré que la représentation du cycle diurne du vent au Sahara, dans LMDZ, était fortement améliorée par l'augmentation du mélange par les thermiques qui brasse le jet nocturne le matin, induisant une nette amélioration du soulèvement de poussières sur cette zone (Hourdin et al 2015). On notera aussi l'aboutissement d'un travail d'intercomparaison de modèles sur la représentation des poussières pendant FENNEC (Chaboureau et al., 2016). Enfin, la prise en compte d'une vitesse effective tenant compte à la fois de la turbulence de couche limite et des bourrasques liées aux orages augmente la tension de vent et le flux de chaleur latente, et ce aussi pour les flux air-mer (Gainusa-Bogdan, 2015).

Concernant les différentes formulations des flux air/mer, un atelier s'est tenu en Novembre 2015 où ont été listées les formulations utilisées dans les modèles utilisés pour la méso-échelle, ceux utilisés pour les prévisions saisonnières ou les modèles climatiques. Par exemple, le calcul des flux de surface avec le flux d'enthalpie et non le flux latent a été testé en 1D et 3D dans ARPEGE. Une intercomparaison des formulations a été réalisée dans LMDz sur le cas Toga 1D. Un point a également été fait sur les observations disponibles pour valider ces formulations. Parmi les développements, on peut noter la séparation dans LMDz des calculs des coefficients d'échange neutres pour la température, l'humidité et la quantité de mouvement et l'effet de la salinité sur l'évaporation au-dessus des océans a été introduit et la revisite de la paramétrisation ECUME dans le modèle du CNRM. D'autre part, une paramétrisation est en cours de développement sur les cas de forts vents (Bouin). L'analyse des biais de température de surface des océans sur les bords Est des océans a permis de montrer le rôle important des biais des flux de surface océaniques et l'importance de l'humidité relative des basses couches (Hourdin et al, 2016). Un modèle de lac a été inclus dans SURFEX et les lacs sont donc désormais représentés dans le modèle de climat du CNRM. Concernant les flux sur les surfaces continentales, une évaluation des bilans énergétiques à la surface à partir des données des sites AMMA-Catch pour les flux et les champs de température et d'humidité de surface, a été réalisée pour des simulations guidées-zoomées sur l'Afrique de l'Ouest. Cette évaluation met en avant un certain nombre de biais dus à la représentation des nuages, au mélange de couche limite, à l'albédo et à l'inertie thermique du sol. La comparaison des sorties de modèles aux observations a commencé sur le site du SIRTa en se focalisant sur la période de canicule de début juillet 2015. Un autre cas 1D, issu de la canicule de 2003, a été mis au point et une intercomparaison des modèles ARPEGE, LMDZ et Meso-NH est en cours. Concernant l'analyse des biais de température, les modèles français ont réalisé des sorties spécifiques pour le projet CAUSES (Clouds above the United States and Errors at the Surface).

Le rôle de l'inertie thermique sur l'amplitude diurne de la température et sa moyenne et sa modulation par l'humidité ont été mis en évidence dans les régions sèches (Ait-Mesbah et al. 2015). La variabilité journalière de l'inertie thermique atténuée d'environ 40 % la variabilité de la température moyenne de l'air, et réduit donc l'effet de l'évaporation sur la température moyenne. La paramétrisation du transfert d'énergie dans le sol a été revue dans ORCHIDEE. La discrétisation verticale du modèle a été modifiée afin d'utiliser une grille commune et modulaire pour l'eau et la température. La texture des sols est désormais prise en compte avec l'humidité pour calculer les propriétés thermiques des sols

(Wang et al 2016). Ces modifications influent fortement sur le bilan d'énergie en surface. D'autre part, le module ISBA-DIF, implémenté dans Méso-NH, avec une initialisation de l'humidité du sol à partir de la réanalyse de la surface (Safran/Isba/Modcou) a été validé à partir des observations de Carbo-Europe.

En plus des travaux s'insérant dans les quatre enjeux identifiés on peut citer le travail sur le rôle des hétérogénéités de surface sur l'initiation de la convection qui est en lien avec le groupe D. Ces travaux montrent à partir de simulations LES, que, en zone semi-aride, les hétérogénéités de surface favorise l'initiation de la convection et détermine le lieu de cette initiation. Ces simulations ont également permis de décortiquer les rôles respectifs des structures de couche limite, de la circulation de brise créée par les hétérogénéités de surface et le vent synoptique (Rochetin et al, 2016). Concernant les interactions convection/flux de surface, des simulations d'un cas de vague de chaleur au Sahel réalisées avec Méso-NH montrent comment le schéma de convection dégrade la représentation de cette vague de chaleur car il s'active alors qu'aucune précipitation n'est observée. On notera également le travail concernant l'étude de la zone grise de la turbulence avec l'étude des caractéristiques des thermiques dans la zone grise (Honnert et al, 2016) et l'implémentation dans Méso-NH de modifications du schéma en flux de masse (EDKF) pour le faire dépendre de la résolution utilisée. Enfin, on notera les premiers résultats satisfaisants de l'utilisation d'un modèle en flux de masse pour la représentation de la convection océanique.

Actions à venir :

i/ Représentation de la couche limite stable

- Cas GABLS4 : compréhension des différences observées entre schémas de surface de neige, entre modèles 1D et entre LES.
- Test de la nouvelle paramétrisation de Zilitikevitch sur les différents régimes de stabilité.

ii/ Prise en compte des bourrasques de vents et de leur impact sur les flux de surface

- Développement d'une paramétrisation pour les vents forts avec une prise en compte de l'état de la mer.
- Réflexion sur la prise en compte de distributions de vent sous-maille que ce soit pour le soulèvement de poussières, de neige soufflée, pour le calcul des flux de surface.

iii/ Réflexion sur la formulation des flux de surface

- Réflexion sur la formulation mathématique des formulations de type 'bulk' pour les flux de surface (implémentation des méthodes de Schwarz)- thèse de C Pelletier.
- Analyse de l'interaction couche limite atmosphérique/océan et son alimentation en eau en fonction des formulations (thèse O Torres) : importance relative du drag, des gradients thermodynamiques ou du vent.
- Développement d'un cas 1D avec MésoNH sur le couplage océan/atmosphère.
- Test et évaluation de la prise en compte des nappes dans les schémas de sol à la fois dans SURFEX et dans ORCHIDEE.

iv/ Amélioration des schémas de sol

- Comparaison des modèles grande-échelle aux observations : notamment pour les formulations de flux de surface mais aussi sur le SIRTA pour un épisode de canicule.
- Réflexion sur les formulations de longueurs de rugosité et leur modification en lien avec les paramétrisations existantes dans la littérature.
- Implémentation et évaluation d'un schéma de surface avec un bilan d'énergie multi-couches dans ORCHIDEE.

v/ Comparaisons modèles/observations et zone grise

- Cas d'intercomparaison des modèles sur la représentation d'une vague de chaleur observée au Sahel en 2010.
- Etude des longueurs de mélange dans la zone grise.

D. Paramétrisation vers circulation – Upscaling

Coordination: Romain Roehrig/Jean-Yves Grandpeix

L'objectif majeur de ce groupe vise à parvenir à une représentation pertinente dans les modèles (de ~10 à ~100 km) du cycle de vie de la convection et de ses interactions avec la circulation grande échelle. Les enjeux identifiés concernent : (i) l'amélioration des paramétrisations de la convection, (ii) l'évaluation de la représentation du caractère multi-échelle de la convection, et (iii) la meilleure compréhension des interactions entre convection et circulation.

Avancements:

Au cours de cette année, les équipes de développement de LMDZ et d'ARPEGE se sont attachées à poursuivre les travaux pour l'amélioration de la paramétrisation de la convection, en particulier la fermeture (déterminant l'intensité de la convection), la représentation des ascendances convectives et celle des poches froides convectives.

Concernant le calcul de l'intensité convective, la fermeture a été rendue cohérente avec le déclenchement stochastique dans LMDZ, améliorant les aspects « scale-aware » de la paramétrisation de la convection. Une contribution de la convergence résolue a été introduite dans les fermetures utilisées dans LMDZ et ARPEGE, via la prise en compte d'un terme en convergence de masse dans le calcul de la puissance de soulèvement dans LMDZ, et d'un terme en convergence d'humidité dans le schéma PCMT. La partition convective/stratiforme des précipitations les plus intenses est ainsi plus satisfaisante dans ARPEGE. Pour la représentation des ascendances, l'épluchage de l'ascendance adiabatique du schéma d'Emanuel a été revisité, afin de favoriser les mélanges dans les nuages peu profonds. Un nouveau jeu d'équations décrivant l'évolution de la vitesse verticale des ascendances convectives est maintenant disponible dans PCMT et permet de mieux représenter certains effets non-hydrostatiques (thèse de Julien Léger). Les travaux sur le couplage non-hydrostatique entre downdrafts et ascendances convectives dans PCMT se sont poursuivis, permettant d'améliorer le cycle diurne de la convection continentale. De plus, une résolution simultanée de la turbulence et de la convection a été implémentée dans ARPEGE, aboutissant à une meilleure stabilité du modèle. Enfin, les développements autour de la paramétrisation des poches froides convectives se sont poursuivis dans LMDZ, avec un traitement différencié des effets de la couche limite diffusive et des thermiques à l'extérieur et à l'intérieur des poches. Les premiers tests de couplage entre la paramétrisation des poches froides développée au LMD et PCMT ont également été réalisés, et permettront de qualifier l'apport de cette complexité par rapport à l'approche actuellement utilisée dans PCMT.

D'autre part, plusieurs études se sont attachées à améliorer la compréhension des processus associés à la convection. Par exemple, l'analyse de l'orage « Hector The Convecteur » dans des Giga-LES a mis en évidence deux ascendances très profondes et très peu diluées, contribuant majoritairement au flux d'eau dans la stratosphère. Elles apparaissent au-dessus d'intenses lignes de convergence renforcées par les poches froides de la convection préexistante (Dauhut et al. 2016). Ces poches ont été également caractérisées de manière plus systématique dans les LES réalisées sur le cas AMMA du 10 juillet 2006 (stage INSA N. Villefranche). L'impact de la turbulence 3D intra-nuageuse sur les caractéristiques des structures convectives simulées dans des simulations avec une résolution de l'ordre du kilomètre a également été explorée en vue d'améliorer la prise en compte de cette turbulence dans les modèles de type Cloud Resolving Models (Machado et Chaboureau, 2015;).

Les cas 1D demeurent un cadre pertinent et utile pour analyser le comportement des paramétrisations, avec une tendance à l'utilisation de cas longs permettant d'accéder à une dimension plus statistique. Le cas 1D dérivé des observations de la campagne Cindy-Dynamo (2011) a été implémenté et utilisé dans LMDZ et ARPEGE-Climat. Le cycle de vie de la convection observé en a été dérivé, servant de base à une analyse de celui représenté par ARPEGE-Climat (Ahmat-Younous et al. 2016), et soulignant un certain nombre de défauts de la nouvelle physique d'ARPEGE-Climat (e.g., chauffage pas assez étendu

verticalement). Ce cadre a également donné lieu à une évaluation de l'humidité troposphérique simulée en phase active et inhibée de MJO par LMDZ et ARPEGE-Climat à l'aide des données SAPHIR de Megha-Tropiques. Sur la base d'une simulation CRM Meso-NH d'un cas d'événement précipitant intense sur les Cévennes, un cadre 1D a été développé et utilisé pour évaluer le comportement des physiques d'ARPEGE-Climat.

Concernant la compréhension des interactions entre paramétrisations et circulation, de nombreuses études se sont focalisées sur la mousson africaine, son état moyen et sa variabilité. En particulier, les sources apparentes de chaleur Q_1 et d'humidité Q_2 ont été plus systématiquement analysées montrant par exemple que la nouvelle physique d'ARPEGE-Climat, basée sur le schéma PCMT améliorait significativement la représentation des processus physiques le long du transect AMMA. Ces analyses ont aussi alimenté une étude du lien entre Q_1 et circulation méridienne de mousson, grâce à un modèle 2D (latitude-altitude) sec (stage EIENM de modélisation). Le couplage convection-onde d'est africaine a aussi reçu une attention particulière, avec par exemple l'utilisation du cas d'étude basé sur la période du 23-28 juillet 2006 de la campagne AMMA pour lequel l'utilisation d'une configuration régionale d'ARPEGE (ALADIN), comparée à des simulations AROME a montré une tendance à simuler des profils de Q_1 pas assez « top-heavy » (stage EIENM). Un nouveau cas d'étude (9-14 juin 2006) a été simulé sur un grand domaine avec le CRM Meso-NH (Thèse de Martines-Reinarez) et ouvre de nombreuses perspectives pour étudier le couplage onde-convection, les poches froides convectives, leur impact sur le flux de mousson et le soulèvement de poussières.

Concernant la convection océanique tropicale, l'analyse des profils de Q_1/Q_2 associés à la MJO menée dans le cadre du projet GASS MJO Diabatic Heating avec le modèle ARPEGE (Jiang et al. 2015, Xavier et al. 2015, Klingaman et al. 2015) a souligné un rôle important du profil d'humidification nette et de sa transition des régimes peu à fortement précipitants. Des cadres plus idéalisés (RCE 3D avec un modèle de climat ou un CRM) ont mis en évidence un effet important du refroidissement radiatif des nuages, des circulations associées et de la réponse des flux de surface dans l'agrégation de la convection (Coppin et Bony 2016, Müller et Bony 2015). Enfin, le cadre 1D avec paramétrisation de la vitesse verticale (WTG/DGW) a fourni une carte d'identité du couplage convection-dynamique des physiques LMDZ et ARPEGE (Daleu et al. 2015).

Actions à venir :

i. Amélioration des paramétrisations de la convection

- Prise en compte de l'effet des brises sur le déclenchement de la convection par l'intermédiaire du modèle du thermique dans LMDZ.
- Revisite des PDF de mélange du schéma d'Emanuel avec nouvel épluchage de l'ascendance adiabatique dans LMDZ.
- Implémentation et tests des nouvelles équations non-hydrostatiques de la vitesse verticale dans PCMT (Thèse de Julien Léger). Utilisation de variables pronostiques supplémentaires (température et humidité) pour décrire l'ascendance convective de PCMT.
- Développement d'un modèle d'évolution de densité des poches froides. Poursuite du couplage de la paramétrisation des poches froides avec PCMT.
- Amélioration de la représentation de la turbulence 3D intra-nuageuse dans MESONH en mode CRM.

ii. Evaluation de la représentation du caractère multi-échelle de la convection

- Evaluation intensive de la convection et de ses propriétés dans l'ensemble des modèles grande échelle (LMDZ, ARPEGE-PNT et ARPEGE-Climat) et de leurs configurations. Passage de PCMT en chaîne test pré-opérationnelle.
- Réalisation de simulations 1D/LES idéalisées pour l'étude de la sensibilité de la convection à l'humidité troposphérique.

- Poursuite de l'utilisation du cas Cindy-Dynamo pour étudier la représentation de la convection au cours des différentes phases de la MJO, notamment les interactions entre convection peu profonde et profonde, et entre convection profonde et flux de surface (Thèse d'Abdel-Lathif Ahmat Younous).
- Développement d'un cas 1D d'Hector The Convecton afin d'analyser la capacité des physiques à représenter le déclenchement et l'intensification d'un tel système (brises terre-mer, poches froides), conduisant à une injection d'humidité en basse stratosphère.

iii. Meilleure compréhension des interactions entre la convection et la circulation

- Poursuite de l'évaluation de la représentation de la mousson africaine et de sa variabilité, et plus largement du climat tropical et de sa variabilité (e.g. MJO).
- Analyse des tendances de guidage dans des simulations guidées sur l'Afrique de l'Ouest (Thèse de Binta Diallo). Utilisation de simulations Transpose-AMIP pour l'analyse de la mise en place des biais de la mousson africaine dans ARPEGE-Climat et de simulations zoomées guidées pour l'étude de l'impact des paramétrisations physiques sur la représentation de la mousson dans LMDZ.
- Etude de l'effet de l'agrégation de la convection sur la sensibilité climatique et la ZCIT (Thèse de David Coppin).
- Poursuite de la réflexion sur l'apport des configurations idéalisées type RCE (1D et 3D) et WTG/DGW pour comprendre le comportement des physiques et de leurs interactions avec la dynamique.

Conclusions

Le prochain grand rendez-vous du projet DEPHY2 aura lieu du 18 au 22 janvier 2016 lors des Ateliers de Modélisation de l'atmosphère à Toulouse dont le thème est « Données des observatoires et modélisation ». Ce thème recoupe plusieurs thématiques de DEPHY2 et les ateliers seront donc l'occasion d'exposés sur l'utilisation des données sur sites pour l'évaluation et le développement des paramétrisations physiques. Une discussion dédiée sur le sujet aura lieu le vendredi 22 janvier. Comme chaque année, une journée additionnelle sera de plus consacrée à DEPHY2. Elle sera l'occasion de revenir plus précisément sur les développements récents de paramétrisations et leur mise en oeuvre dans les modèles de prévision et de climat pour CMIP6. Les exposés aborderont notamment:

- l'amélioration des paramétrisations physiques de la couche limite, la convection et les nuages mises en oeuvre dans les modèles français de prévision et de climat.
- les aspects méthodologiques autour de l'implémentation de ces nouvelles paramétrisations dans les modèles de prévision et de climat (contraintes numériques, passage du 1D au 3D, ajustement des paramètres).
- les effets de ces nouveaux développements sur la prévision ou le climat simulé (améliorations et détériorations).

Une discussion dédiée aura également lieu le vendredi 22 au matin, tandis que l'après-midi sera consacrée à la restitution du bilan annuel de DEPHY2 et la présentation des actions à venir.

En plus des réunions en petits groupes de travail pour avancer sur toutes les questions présentées dans ce rapport, deux réunions de plusieurs jours sont envisagées en 2016:

- une réunion « Paramétrisation des nuages et des précipitations » au printemps 2016 à Paris pour discuter en particulier des développements en cours et des liens avec la communauté des observations sur sites et satellite pour l'évaluation.
- la réunion finale du projet à l'automne 2016 probablement à Banyuls comme la réunion de lancement, afin de faire le point sur les avancées pendant les trois années du projet et préparer la suite de DEPHY2.

Budget 2015

Au LMD:

Au CNRM:

	attribué en 2015	Dépendé en 2015	Reste		Attribué en 2015	Dépendé en 2015	Reste
LEFE	4500	4500	0	LEFE	4500	4500	0
MEDDE	7500+6300(report 2014)= 13800	4355	9445 (reportables)	MEDDE	7500+5166 (report 2014)= 12666	2153	10513 (reportables)