



DEPHY2

Développement et Evaluation des PHYsiques des modèles atmosphériques

Convention de subvention:

13-MCGOT-Copernicus-1-CVS-034-2013

Rapport final
(Octobre 2018)



Récapitulatif du projet:

Titre du projet: DEPHY2, Développement et Evaluation des PHYsiques des modèles atmosphériques

Durée du projet: 36 mois à compter du 1/1/2014 + 12 mois d'extension

Mots clés: modélisation de l'atmosphère, paramétrisations physiques, processus atmosphériques, couche limite, convection, nuage, haute résolution, modèle de climat, prévision numérique du temps, observation de l'atmosphère

Thème: Coordonner la recherche nationale pour le développement et l'évaluation des paramétrisations physiques utilisées dans les modèles de prévision et de climat; promouvoir des collaborations entre les communautés de la modélisation et de l'observation dans ce domaine.

Responsables scientifiques:

- **Catherine RIO**, chargée de recherche au CNRS
Meteo-France/CNRM/GMME/MOANA
42, avenue G.Coriolis
31057 Toulouse Cedex 1
Tel: 05 61 07 94 75; Courriel: catherine.rio@lmd.jussieu.fr
- **Isabelle BEAU**, Ingénieure des Ponts, des Eaux et des Forêts à Météo-France
Ecole Nationale de la Météorologie
42, avenue G.Coriolis
31057 Toulouse Cedex 1
Tel: 05 61 07 9673; Courriel: isabelle.beau@meteo.fr
- **Marie-Pierre LEFEBVRE**, Ingénieure des Travaux à Météo-France
Mise à disposition au Laboratoire de Météorologie Dynamique
4, place Jussieu, case 99
75252 Paris Cedex 5
Tel: 01 44 27 27 99; Courriel: lefebvre@lmd.jussieu.fr

Gouvernance:

Un **comité de pilotage** a été constitué: il se réunit à peu près tous les trimestres et a pour rôle de suivre le bon déroulement du projet, de veiller à la coordination entre les différentes équipes impliquées et de réfléchir aux possibles contributions de DEPHY à des projets ANR ou européens.

Il est composé :

- des trois porteuses du projet (C. Rio, I. Beau et M. P. Lefebvre)
- de F. Hourdin et H. Gallée pour le volet " outils/méthodologie/algorithmie"
- de Y. Bouteloup, J. B. Madeleine pour le volet "paramétrisation des nuages et des précipitations"
- de F. Couvreux et F. Cheruy pour le volet "couplage atmosphère/surface"
- de R. Roehrig et J. Y. Grandpeix pour le volet " paramétrisation vers circulation- upscaling"
- de F. Bouyssel pour les modèles de prévision et de J. P. Chaboureau pour le modèle Més0-NH

Laboratoires impliqués dans le projet:

CNRM: Centre National de la Recherche Météorologique

LMD: Laboratoire de Météorologie Dynamique

GET: Geosciences Environnement Toulouse

IGE: Institut des Géosciences de l'Environnement

IPSL: Institut Pierre-Simon Laplace

LA: Laboratoire d'Aérodynamique

LadHyX: Laboratoire d'HYdrodynamique de l'école Polytechnique

LATMOS: Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales

LSCE: Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement

LEGOS: Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales

METIS: Milieux Environnementaux, Transferts et Interactions dans les hydrosystèmes et les Sols

Le projet regroupe une soixantaine de personnes soit au total **15 ETP**.

Organismes gestionnaires des crédits:

La gestion des crédits est faite à part égale par le CNRM et le LMD.

Subvention totale octroyée: 94400€ (LEFE + Copernicus)

Détail de l'aide accordée par Copernicus: (justification financière envoyée à DR04 contrats le 29/10/2018)

- 2014: 20000€
- 2015: 15000€
- 2016: 15000€
- 2017: 9400€

Cofinancement assuré: pas de cofinancement pour ce projet

Résumé:

Le projet DEPHY2 a pour vocation de structurer la communauté française autour de l'amélioration des paramétrisations physiques à l'œuvre dans les différents modèles atmosphériques développés dans les laboratoires nationaux. Il regroupe des spécialistes des observations et de la modélisation à fine échelle, des développeurs de paramétrisations, des chercheurs travaillant sur la prévision numérique du temps ou l'étude du climat, soit au total une cinquantaine de participants de neuf laboratoires différents (CNRM, LMD, IGE, LA, LSCE, GET, LEGOS, METIS, ATMOS). Les actions visent le développement et l'amélioration des modèles globaux ARPEGE et LMDZ, à aire limitée AROME et MAR, et du modèle non-hydrostatique MESO-NH. L'amélioration du contenu physique des modèles atmosphériques passe par la compréhension fine des processus que l'on souhaite représenter (turbulence, convection, nuages) à l'aide de modèles haute résolution les résolvant explicitement et par leur mise en équations sous forme de paramétrisations, objectifs qui étaient déjà au cœur du projet initial DEPHY. Le projet DEPHY2 s'attaque en plus aux questions relatives aux couplages entre les paramétrisations physiques et leur environnement: couplages entre la turbulence ou la convection et les nuages, couplages entre les processus de couche limite et la surface, couplages entre la convection profonde et la circulation de grande-échelle. Ceci avec deux objectifs à long terme: la réduction des biais/erreurs des modèles et une meilleure compréhension des interactions entre processus locaux à l'échelle sous-maille et le temps ou le climat simulé.

1- Contexte du projet DEPHY2

Le projet DEPHY2 a pour vocation de coordonner les efforts mis en œuvre dans des communautés parfois disjointes (observations, modélisation à méso-échelle, prévision du temps, climat) autour d'un même objectif : l'amélioration des paramétrisations physiques des modèles atmosphériques de climat et de prévision. **La réunion de lancement** du projet a eu lieu à Banyuls du 8 au 10 septembre 2014. Le rendez-vous annuel de toute la communauté DEPHY2 a lieu aux **Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère** à Toulouse pour une journée d'exposés et une journée de discussions. Des réunions plus ciblées thématiquement ont également été organisées par axe du projet : une réunion internationale sur les cas d'étude de couche limite stable **GABLS4 et DICE** en mai 2015 à Toulouse, une réunion sur la **convection et les flux de surface océaniques** en novembre 2015 à Toulouse et une réunion sur la **paramétrisation des nuages et des précipitations** en juin 2016 à Paris. Des groupes de travail plus petits se sont également constitués autour de la définition de forçages communs pour les versions unicolonne des modèles, l'intercomparaison des paramétrisations de microphysique à l'oeuvre dans les modèles et l'utilisation du cadre 1D/LES pour le tuning des paramètres incertains des modèles. La **réunion de fin de projet** intitulée « De DEPHY2 à DEPHY3 » s'est déroulée du 10 au 12 mai 2017 à Banyuls-sur-mer et a permis de faire le point sur les développements effectués et de dégager les termes émergents pour le futur.

Le projet DEPHY2 est avant tout un **forum de discussions** où les gens viennent échanger des bonnes pratiques, des questionnements et des solutions. C'est également un cadre d'où naissent de **nouvelles rencontres et collaborations** entre les communautés de l'observation, de l'étude des processus à partir de modèles haute résolution, de la prévision numérique du temps et de la modélisation du climat. Ces dernières années, cela a mené à des améliorations concrètes des paramétrisations physiques employées dans les modèles, que ce soit pour la représentation de l'hydrologie du sol, de la longueur de mélange et de la rugosité pour la représentation de la couche limite stable, la représentation du déclenchement et de l'intensité de la convection profonde précipitante ou la représentation de la couverture nuageuse. Un pas important a été franchi lorsque les développements initiés en mode unicolonne pendant DEPHY et DEPHY2 ont été implémentés dans les **versions opérationnelles des modèles**, avec pour effet une diminution de certains biais systématiques des modèles : phasage du cycle diurne des pluies continentales, augmentation de la couverture nuageuse basse, réduction du biais chaud des surfaces continentales aux moyennes latitudes et du biais chaud de SST sur les bords est des océans. Le projet DEPHY2 a également permis le partage d'outils entre différentes équipes, par la mise en place d'un format de forçages commun pour les versions unicolonne des modèles, la mise en place de comparaisons systématiques entre les sorties de modèles et les observations sur sites, ou encore l'échange de paramétrisations entre différents modèles. Les discussions lors des réunions DEPHY2 ont également mené à la rédaction de **plusieurs projets ANR** qui ont été récemment acceptés : APRES3 (sur les précipitations en Antarctique), COCOA (sur les flux air-mer), HIGH-TUNE (sur l'amélioration de la représentation des nuages de couche limite). De plus, le dernier **cas d'intercomparaison GASS** (GEWEX Atmospheric System Studies) GABLS4 qui repose sur les observations de Dôme C est piloté au niveau français et issu de discussions de DEPHY.

Ce rapport revient en détails sur les réalisations concrètes en lien avec le projet DEPHY2 sur la période 2014-2018 dans les quatre axes du projet :

- A. Outils/Méthodologies/Algorithmie
- B. Paramétrisation des nuages et des précipitations
- C. Couplage atmosphère/surface
- D. Paramétrisation vers circulation – Upscaling

2- Résultats obtenus

A. Outils/Méthodologies/Algorithmie

Coordination: Frédéric Hourdin, Hubert Gallée

Les enjeux identifiés dans cet axe concernent:

- le **partage des outils**,
- la généralisation de l'**approche 1D/LES** et la mise en place d'**outils automatiques pour l'optimisation des paramètres**,
- les comparaisons **modèles/données sur sites** pour l'évaluation et le développement de paramétrisations,
- le développement de **nouvelles méthodologies** pour l'étude des **interactions entre paramétrisations et circulation résolue**.

Au niveau du **partage des outils**, les synergies autour des **cas d'étude 1D** ont progressé avec la mise en place de nouveaux cas dans les modèles du LMD et du CNRM : cas issus d'observations (GABLS4 en Antarctique, Cindy-Dynamo dans l'Océan Indien, DICE dans les grandes plaines américaines, AMMA au Sahel) ; cas idéalisés (simulations à l'équilibre radiatif/convectif sur océan et continent, hypothèse du faible gradient de température horizontale dans les Tropiques ou WTG pour la paramétrisation des vitesses verticales de grande-échelle). Les cas 1D continentaux peuvent être forcés en flux ou couplés à un schéma de sol pour les études des interactions atmosphère/surface.

Les discussions ont abouti à la définition d'**un format de forçage et d'output commun** applicable à tous les cas 1D et à tous les modèles du CNRM et du LMD. Un **site internet** développé au CNRM permet de comparer les résultats des différents modèles pour la plupart des cas 1D. Des **simulations haute résolution** avec MESO-NH ont également été mises à disposition sur de nouveaux cas (GABLS4 pour l'étude des couches limites stables en Antarctique, Hector pour l'étude de la convection tropicale très profonde, Ayotte pour l'étude des couches limites sèches, AMMA pour l'étude de la transition entre convection peu profonde et profonde au Sahel...).

Un pas supplémentaire dans le partage des outils a été franchi par l'**échange de paramétrisations ou sous-parties de modèles**. La physique du modèle régional MAR a été implémentée dans l'architecture du modèle LMDZ. Des paramétrisations ont pu être échangées entre modèles: tests des hypothèses du modèle du thermique de LMDZ dans le schéma de convection peu profonde d'AROME (EDKF), couplage de la paramétrisation des poches froides de LMDZ avec le schéma de convection profonde d'ARPEGE (PCMT).

L'approche **1D/LES** est un outil central de l'évaluation des développements de paramétrisations. Des comparaisons entre les simulations 1D et des simulations haute résolution LES/CRM ont été réalisées sur divers cas d'étude, et tous les modèles français ont été inter-comparés sur certains d'entre eux (AMMA, GABLS4). Différentes **méthodes d'échantillonnage** ont été appliquées aux simulations LES/CRM pour l'étude des structures : utilisation de traceurs pour suivre le transport par les thermiques de couche limite, application d'un outil de tracking pour suivre le cycle de vie des poches froides convectives, algorithme de détection 3D des ascendances dans les systèmes convectifs, outil de détection 3D des nuages.

Par ailleurs, l'utilisation de l'approche 1D/LES s'est étendue à la question de l'**ajustement des paramètres libres** des paramétrisations en lien avec l'**ANR High-Tune** (débutée début 2017). L'idée est d'utiliser une exploration systématique des comparaisons 1D/LES pour estimer les plages de paramètres acceptables à l'échelle des processus avant de procéder au réglage final du modèle global visant à assurer une bonne représentation d'éléments clés du bilan radiatif (moyenne globale, séparation entre flux ciel clair et nuageux, répartition latitudinale de ces forçages, ...). Ces travaux se font en collaboration avec des collègues statisticiens de l'université d'Exeter qui proposent 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 optimales de paramètres). Ce type de méthode est une piste prometteuse pour identifier de manière plus rigoureuse et systématique les erreurs qui relèvent d'un problème structurel des paramétrisations physiques de celles associées à la calibration de leurs paramètres. Un **outil est développé conjointement** entre le LMD et le CNRM pour permettre l'exploration automatique des paramètres de chaque modèle sur tous les cas d'étude disponibles.

Les **comparaisons modèles/données sur sites** ont connu un bel essor pendant cette phase du projet. Différentes configurations des modèles ont été mises en œuvre pour permettre les comparaisons aux données dans différentes régions du globe : des simulations initialisées ou guidées en vent, des simulations zoomées et guidées à l'extérieur du zoom, et des simulations 1D.

Les modèles ARPEGE et LMDZ ont participé à l'intercomparaison internationale Causes dédiée à l'étude du **biais chaud continental sur les grandes plaines américaines**. Des simulations en mode initialisé ou guidé ont été réalisées. Les simulations en mode initialisé ont donné lieu à trois papiers.

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** et ont permis d'identifier un certain nombre d'erreurs dans le schéma de surface ORCHIDEE, des paramètres mal ajustés, mais aussi les processus responsables de la mauvaise représentation du bilan énergétique en surface (Diallo et al., 2017). Des simulations 3D guidées et zoomées avec LMDZ, ou à aire limitée pour MAR, ont également été réalisées pour une comparaison directe avec les mesures de l'IGE à **Dôme C** en Antarctique (thèse d'Etienne Vignon). Une période de canicule a été identifiée début juillet 2015, pour comparer les modèles ARPEGE, AROME et LMDZ et les évaluer par rapport aux données du **SIRTA** à Palaiseau. Les simulations ont été réalisées et sont en cours d'analyse (postdoctorat de Yanfeng Zhao).

Par ailleurs, le projet **COSY** (COMparaison SYstématique) permet de comparer des observations du SIRTA aux prévisions "J+1" des modèles LMDZ, ARPEGE et AROME en mode zoomé. Des quick-look sont automatiquement disponibles sur le site du SIRTA (<http://observations.ipsl.fr/espri/cosydata/>) pour certaines données thermodynamiques et de rayonnement. Des tests de sensibilité sont aussi possibles avec LMDZ. Des comparaisons systématiques analogues sont aussi effectuées sur le site **Météopole Flux** avec les différents modèles du CNRM. D'autre part, les données modèles sont comparées aux observations de différents sites : extraction de la colonne d'ARPEGE sur les sites du SIRTA, Cabauw, Toulouse, Lindenberg, Lannemezan et DomeC au format netcdf pour les profils verticaux et ascii pour les séries temporelles ; extraction de la colonne d'AROME sur les sites SIRTA, Cabauw, Lindenberg, Col de Porte, Lac Blanc depuis 2015 puis de 16 points autour de Sodankyla, SIRTA, Toulouse, Cabauw, Lannemezan ; extraction de la colonne de LMDZ sur le SIRTA.

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 (GWD) 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). 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).

Plusieurs types de simulations ont été utilisés pour mieux comprendre l'effet des paramétrisations sur la variabilité des pluies simulée : **simulations zoomées guidées ou initialisées**. Plusieurs **outils simplifiés** ont également été développés pour étudier l'effet de la convection et des nuages sur la mousson ouest-africaine : un **modèle méridien-vertical sec** forcé par les sources apparentes de chauffage et de quantité de mouvement des GCMs, un **modèle 2D humide** de mousson, un **modèle conceptuel** des interactions rayonnement/turbulence dans la couche limite.

Notons enfin que l'évaluation des nuages dans les modèles globaux est réalisée à l'aide de **simulateurs d'observables** permettant de simuler les nuages que verrait le satellite si il volait au-dessus des modèles (simulateurs COSP, IASI).

B. Paramétrisation des nuages et des précipitations

Coordination : Yves Bouteloup, Jean-Baptiste Madeleine

Les objectifs, enjeux et réalisations autour de ce thème s'articulent principalement autour de 3 axes :

- la représentation dans les modèles **des fractions et propriétés radiatives des nuages**,
- l'amélioration de la **microphysique** des nuages,
- la représentation de la **précipitation** liquide et solide.

Concernant le calcul **des fractions nuageuses et des propriétés radiatives des nuages**, des développements ont été effectués concernant une large variété de nuages : brouillards, nuages bas, nuages convectifs et nuages stratiformes.

La prévision des **brouillards radiatifs** a été améliorée dans AROME par l'introduction d'un ajustement à la saturation dans le schéma de CLS CANOPY dans le but de paramétrer une forte résolution verticale sous le dernier niveau du modèle. Cependant, d'autres processus manquants ont été mis en évidence : l'absence d'un processus important près du sol dans les brouillards conduisant à de trop fortes valeurs du contenu en eau liquide, l'augmentation de l'hétérogénéité horizontale associée à des circulations de basses couches lors de l'utilisation d'une très forte résolution verticale sur des cas de brouillard radiatif et la très grande difficulté à prévoir les brouillards d'affaissement de stratus (Philip et al 2016).

L'évaluation de la représentation des **nuages bas** dans AROME s'est effectuée par la mise en place de nombreux « petits » AROME, scientifiquement équivalents à l'opérationnel, autour de sites instrumentés (SIRTA, Cabauw, Sodankyla, ...) afin de produire plus de diagnostics sur des cas d'étude sélectionnés (cas de nuage bas sur le nord de la France, cas de stratus hivernal sur la Hongrie en collaboration avec des collègues Hongrois). Concernant les modèles grande-échelle, une nouvelle paramétrisation permettant de prendre en compte la variabilité sous-maille verticale de la couverture nuageuse a été développée et implémentée dans le modèle LMDZ dans le cadre de la thèse de Jean Jouhaud (Jouhaud et al., 2018). Ces développements ont été guidés par l'analyse de simulations LES de plusieurs cas d'étude réalisées dans le cadre du projet ANR High-Tune et de la thèse de Najda Villefranque (CNRM). L'analyse de ces simulations permet également d'étudier l'impact radiatif 3D de la distribution sous-maille des nuages bas et les hypothèses de recouvrement utilisées dans les modèles grande-échelle.

L'effet thermodynamique de la glace a été introduit dans les schémas de **convection et de condensation grande-échelle** du modèle LMDz, et la plage de température de la phase mixte a été mise à jour au regard d'observations récentes et unifiée pour le rayonnement et la physique. 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. DEPHY2 est également en lien avec le 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.

Concernant le calcul des **propriétés microphysiques des nuages**, le schéma **LIMA à deux moments** (Vié et al. 2016) a été implémenté dans le modèle AROME, des tests avec aérosols prescrits ou issus du modèle de chimie MOCAGE ayant été réalisés. Le schéma a été testé particulièrement sur des cas de brouillard, l'impact des deux moments y étant beaucoup plus important que dans les cas simplement précipitants.

L'algorithmique du **schéma microphysique ICE3/4** a été profondément revue afin de réduire sa dépendance au pas de temps. Les processus simulés en sont profondément modifiés. Ceci a été possible notamment par le développement d'un cadre 0D puis 2D (dans Méso-NH) pour revisiter les formulations de processus particuliers et de modifier l'algorithme agrégeant les contributions de tous les processus. Le travail se poursuit avec l'adaptation à AROME et l'évaluation sur des cas réels (études de cas et scores). Suite à cette évaluation, les modifications pourront être reportées dans LIMA qui est construit sur le même modèle.

Des développements sont en cours pour prendre en compte un processus de dépôt sur le sol et la végétation dans les schémas de microphysique afin de corriger le problème des trop fortes valeurs du contenu en eau liquide près de la surface.

Concernant la représentation des **précipitations** liquide et solide, la micro-physique du modèle Arpege a été modernisée (introduction de graupel, vitesses de sédimentation variables, modification des processus de gel/fonte) mais ces modifications n'ont pas été proposées pour un passage en opérationnel car elles nécessitent des validations supplémentaires. Sur quelques études de cas on a pu montrer la **prévision de pluies verglaçantes** conformément aux observations alors que l'ancienne version produisait de la neige. En parallèle un diagnostic de "type de précipitation" (bruine, pluie, bruine verglaçante, pluie verglaçante, neige, neige mouillée, etc ...) a été développé et devrait passer dans la chaîne opérationnelle.

La comparaison des précipitations simulées par MAR et LMDz aux mesures à Dumont D'Urville d'un radar polarimétrique développé par l'équipe du LTE (Laboratoire de Télédéttection Environnementale, EPF de Lausanne, Suisse) dans le cadre de l'ANR APRES3 (Antarctic Precipitation : Remote Sensing from Surface and Space, débutée en Septembre 2015) a permis d'améliorer les **paramétrisations de conversion en**

précipitation solide et sublimation. Les précipitations simulées en Antarctique sont également évaluées à partir des données du CPR de CloudSat (thèse de Florentin Lemonnier dans le cadre de l'ANR APRES3). La collaboration entre Météo-France, le LMD et l'IGE au sein de DEPHY2 a motivé la meilleure exploitation des mesures réalisées à Dôme C (Antarctique) pour l'amélioration des paramétrisations de microphysique froide, notamment par l'analyse des données de **sursaturation** (Genthon et al. 2017) et de **précipitation**.

C. Couplages atmosphère/surface

Coordination: Fleur Couvreur/Frédérique Cheruy

Cette thématique s'articule autour de 4 enjeux:

- l'amélioration des schémas de sol,
- la formulation des flux de surface,
- l'étude des interactions entre surface et atmosphère,
- la représentation de la couche limite stable.

Les **schémas de sol** ont été revisités pour inclure de nouveaux processus ou ajuster certains paramètres clés. Un nouveau schéma de surface (MEB) qui revisite l'interface **végétation** dans ISBA et tient compte de la litière a été développé (Boone et al, 2017 ; Napoly et al, 2017). La version diffusive d'ISBA a été mise en œuvre dans ARPEGE-Climat avec une prise en compte des inondations et des aquifères. Des aquifères forcés ont été introduits dans ORCHIDEE.

Les **paramètres de surface** ont été mis à jour dans ORCHIDEE (albédos de sol nu à partir des observations MODIS) et dans SURFEX (notamment albédo). Les coefficients intervenant dans l'évaporation du sol nu et le stress hydrique de la végétation ont été réglés. La texture des sols est désormais prise en compte avec l'humidité pour calculer les propriétés thermiques des sols (Wang et al 2016). Dans LMDZ les longueurs de rugosité pour la chaleur et pour le moment sont désormais distinctes et elles sont évaluées dans ORCHIDEE et peuvent dépendre des caractéristiques de la végétation.

Un nouveau **schéma de neige et gel du sol** a été introduit dans ARPEGE-Climat et ORCHIDEE. La version 1D du modèle de banquise GELATO a été introduite dans ARPEGE-Climat (en version AMIP) et permet d'améliorer les températures de surface sur banquise.

Enfin, **un modèle de lac** a été inclus dans SURFEX (LeMoigne et al, 2016) et les lacs sont donc désormais représentés dans le modèle de climat du CNRM.

Concernant la **formulation des flux de surface**, un atelier "**convection et flux de surface**" s'est tenu en Novembre 2015 durant lequel ont été listées les formulations utilisées dans les modèles utilisés pour la méso-échelle, ceux utilisés pour les prévisions saisonnières ou les modèles climatiques. 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, l'introduction de l'effet de la salinité sur l'évaporation au-dessus des océans ainsi que la revisite de la paramétrisation ECUME dans le modèle du CNRM.

Une réflexion a été menée sur la formulation mathématique des formulations de type '**bulk**' avec l'utilisation de méthodes de Schwarz. L'interaction couche limite atmosphérique/océan et son alimentation en eau en fonction des formulations ont été analysées: importance relative du drag, des gradients thermodynamiques ou du vent (Torres et al, 2018). Une paramétrisation pour les **vents forts** avec une prise en compte de l'état de la mer a été testée dans le cadre du modèle IFS et une réflexion est en cours pour le rendre pré-opérationnel dans le modèle AROME. L'étude du **nombre de Lewis turbulent** à partir des observations de campagne (CATCH, FETCH, EQUALANT et POMME) pour l'océan et des observations de Météopole-Flux et Cabauw et d'une simulation LES (IHOP) pour le continent, a mis en évidence des valeurs différentes de l'unité et a souligné un meilleur ajustement pour le coefficient bulk « Ch » pour la « chaleur » si on l'exprime à l'aide de la température potentielle liée à l'entropie, « theta_s » (Marquet et al, 2017). Par ailleurs, une paramétrisation des flux de chaleur dus à la pluie à été introduite dans LMDZOR et leur impact sur le climat moyen présent évalué (Wang et al. 2016).

Plusieurs études sur les **interactions surface/atmosphère** ont montré l'importance des propriétés du sol d'une part et de la turbulence de couche limite d'autre part dans l'évolution de la température et de l'humidité à la surface.

En effet, une étude de sensibilité du climat à des nappes prescrites à différentes profondeurs du sol confirme que le degré d'**humidité des sols** module les climats régionaux dans les régions arides et semi-arides

(moussons, grandes Plaines des US, bassin méditerranéen) mais aussi dans les Tropiques. Elle permet de souligner la nécessité de coupler les nappes au système climatique pour assurer une représentation plus réaliste du bilan d'eau (Wang et al. 2017). Il a également été montré que le choix des longueurs de rugosité utilisées a un impact significatif sur la simulation de la mousson africaine.

A l'aide d'un modèle conceptuel et de simulations de sensibilité, nous avons montré que dans les régions où l'évaporation est faible ou bien fortement variable l'inertie thermique du sol et la stabilité de la couche limite contrôlent l'intensité du **refroidissement nocturne** et donc la température moyenne et sa variabilité haute fréquence. Cela nous a conduit à mettre en évidence une rétro-action positive de l'humidité du sol sur la température de surface; cette dernière est particulièrement active dans les régions de transition entre les zones où l'évaporation est contrôlée par l'humidité du sol et celles où elle est contrôlée par le rayonnement (thèse S. Ait-Mesbah, Ait-Mesbah et al. 2015, Cheruy et al., 2017). Combinés à l'analyse de biais en température dans les régions boréales (Cheruy et al. 2014) et une étude des couches limites très stables en Antarctique (These E. Vignon), ces travaux mettent en évidence la nécessité d'améliorer la représentation des couches limite nocturnes stables dans le modèle et d'être attentif à la représentation des propriétés thermiques des sols et de façon plus générale du bilan d'énergie en surface.

Par ailleurs, un diagnostic pour détecter séparément les vagues caractérisées par des **températures maximales élevées ou températures minimales élevées** a été mis au point (Barbier et al, 2018). Il est indépendant de l'évolution saisonnière et décennale. Un cas d'étude de **vague de chaleur** au Sahel (Avril 2010) a été plus particulièrement étudié. Il a été souligné la dégradation des simulations par une activation inopinée du schéma de convection profonde et le rôle de l'humidité dans les variations de la température minimale à l'aide d'un petit modèle conceptuel pour représenter les effets du rayonnement et de la turbulence sur le bilan de température.

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, Gainusa et al, 2018).

Concernant la représentation des **bilans d'énergie à la surface**, les modèles AROME, ARPEGE et LMDZ ont été évalués à partir des observations de différentes campagnes de mesures (BLLAST avec en particulier un focus sur l'énergie cinétique turbulente Couvreur et al, 2016, PASSY-2015 avec la mise en évidence d'un biais chaud dans AROME) ou de différents observatoires (SIRTA avec des diagnostics utilisant la télédétection active, simulateur lidar pour les nuages, site Météopole flux avec une comparaison temps réel des sorties aux observations du bilan d'énergie, analyse du bilan d'énergie et de l'évolution de la température au Sahel et à Dome C). Nous avons également participé à une intercomparaison des modèles de grande échelle sur le biais chaud des Grandes plaines américaines (GASS-CAUSES). L'évaluation des éléments du bilan d'énergie à la surface par comparaison aux climatologies existantes a été systématisée avec le développement de diagnostics dédiés lors de la phase de développement du modèle pour CMIP6. 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 de LMDZ couplé à ORCHIDEE sur l'Afrique de l'Ouest (Diallo et al 2017). 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.

Concernant les **vents**, 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 brassent 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 la campagne 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 dans le calcul des flux augmente la tension de vent et le flux de chaleur latente, et ce aussi pour les flux air-mer (Gainusa-Bogdan, 2015).

Le rôle des **hétérogénéités de surface sur l'initiation de la convection** a été étudié à partir de simulations LES montrant que, en zone semi-aride, les hétérogénéités de surface favorisent l'initiation de la convection et déterminent le lieu de cette initiation. Ces simulations ont également permis de détailler 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, 2017). On notera également le travail concernant l'étude de la **zone grise** de la turbulence avec l'étude des caractéristiques des thermiques dans cette zone (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.

Sur la thématique des **couches limites stables**, 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 (épaisseur ~ 300m) le jour et une couche limite extrêmement stable la nuit (gradient de 10°C en 15m). Trois ateliers ont été organisés pour présenter les résultats autour de cette exercice d'intercomparaison en Mai 2015 (lancement du cas d'intercomparaison), Mars 2017 (point intermédiaire lors de la conférence sur les couches limites stables organisée à Delft) et Septembre 2018 (clôture du projet). 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. L'intercomparaison de 10 simulations LES sur ce cas d'étude montre une dispersion importante des profils moyens quand les simulations utilisent une résolution horizontale de 5m et une résolution verticale de 2m mais cette dispersion est fortement réduite pour les simulations se focalisant sur la phase nocturne du cycle diurne et utilisant une résolution horizontale plus fine de 1m, soulignant la convergence des résultats dans les simulations LES à suffisamment fine résolution. Un travail en parallèle a été fait à partir des observations de Dôme C pour déterminer la longueur de rugosité qui est imposée pour les modèles dans ce cas d'intercomparaison (thèse de E Vignon et Vignon et al, 2017). Des modifications des caractéristiques de la surface et des paramètres du schéma de turbulence dans LMDZ ont également permis d'améliorer la représentation des couches limites stables dans le modèle (Vignon et al, 2017 ; Vignon et al, 2018). En lien avec l'amélioration de la représentation des couches limites stables, l'utilisation de l'énergie totale turbulente comme variable pronostique supplémentaire pour décrire la turbulence (en plus de l'énergie cinétique turbulente) a été introduite dans ARPEGE. D'autre part, la modification de la longueur de mélange pour tenir compte des termes de cisaillement de vent a été proposée (thèse de Q. Rodier ; Rodier et al. 2017). Un autre cas de couche limite stable observé sur les grandes plaines américaines (**DICE**) a aussi été utilisé pour explorer le couplage sol/atmosphère dans des cas stables et sans nuages, couplage simplifié avec un coefficient d'évapo-transpiration fixe (Ait-Mesbah et al. 2015).

D. Paramétrisation vers circulation – Upscaling

Coordination: Romain Roehrig et Jean-Yves Grandpeix

L'objectif majeur de ce groupe vise à parvenir à une représentation pertinente dans les modèles du cycle de vie de la convection et de ses interactions avec la circulation grande échelle. Les enjeux identifiés concernent :

- L'**amélioration des paramétrisations** de la convection,
- L'**évaluation** de la représentation du **caractère multi-échelle** de la convection,
- La meilleure compréhension des **interactions entre convection et circulation**.

Des travaux ont été menés pour **améliorer les paramétrisations** de la convection peu profonde, la convection profonde et des nuages associés ainsi que des poches froides créées sous les systèmes précipitant par l'évaporation des pluies.

Concernant les schémas de **convection peu profonde**, les hypothèses de mélange et de fermeture du modèle du thermique de LMDZ ont été testées dans le schéma EDKF d'AROME (Riette et al., 2017). La formulation du détrainement dans le modèle du thermique de LMDZ a été revue afin de prendre en compte le mélange au sommet des stratocumulus (Jam et al., en préparation).

Plusieurs améliorations ont été apportées aux paramétrisations de la **convection profonde** dans LMDZ et ARPEGE. Dans le schéma d'Emanuel de LMDZ, l'effet thermodynamique de la glace a été introduit dans les ascendances et les descentes convectives et la formulation du mélange convectif a été revisitée pour favoriser l'entraînement à la base des cumulonimbus plutôt qu'à leur sommet.

Une nouvelle paramétrisation **stochastique** du déclenchement du schéma de convection profonde a également été développée dans LMDZ, basée sur un calcul de probabilité qu'un thermique dans la maille dépasse une taille seuil à la base des nuages (Rochetin et al., 2014a et b).

Dans ARPEGE, une implication combinée turbulence-convection a été mise en oeuvre pour la représentation du transport convectif, et la turbulence minimale en présence d'enclumes convectives a été augmentée afin de réduire la fraction nuageuse associée.

Dans les deux modèles, la formulation de l'efficacité de précipitation a été revisitée.

A noter également le développement d'un toy model à deux colonnes permettant de mieux prendre en compte les effets non-hydrostatiques et les effets d'entraînement dans l'équation de la vitesse verticale des schémas de convection (Léger et al., soumis).

Les développements autour de la paramétrisation des **poches froides** se sont poursuivis avec le partitionnement de la couche limite diffuse et des thermiques dans et hors des poches et le développement d'une équation pronostique de la densité de poches froides. Dans PCMT, un couplage non-hydrostatique entre ascendances et downdrafts convectifs a été introduit tandis que les premiers tests de couplage entre la paramétrisation des poches froides utilisée dans LMDZ et le schéma de convection PCMT ont été réalisés.

Enfin, la représentation de la convection a également été améliorée aux échelles hectométriques avec l'introduction de la représentation de la **turbulence** au sein et au bord des nuages convectifs dans Meso-NH (Verrelle et al., 2015).

Les nouveaux développements ont été **évalués** notamment en comparant les modèles en **mode unicolonne** à des simulations haute résolution de type **LES et CRM** : cas AMMA de cycle diurne de la convection au Sahel (Couvreur et al., 2015), cas de convection océanique basé sur la campagne Cindy-Dynamo (Thèse A.-L. Ahmat Younous), cas d'orage cévenol, cas idéalisé d'équilibre radiatif/convectif. L'humidité relative simulée par les modèles LMDZ et ARPEGE a également été évaluée avec les données SAPHIR (Megha-Tropiques) sur le cas Cindy-Dynamo.

Plusieurs simulations haute résolution ont été réalisées afin de mieux comprendre les processus impliqués dans **le cycle de vie de la convection**, et qui pourront être utilisées pour évaluer plus finement les développements. Une simulation LES (Giga LES) de **Hector the convector**, système convectif récurrent au-dessus de l'île Tiwi a été réalisée pour étudier les échanges entre troposphère et stratosphère liés à la convection très profonde. L'étude des ascendances les plus fortes, notamment à l'aide d'une analyse isentropique, a mis en évidence l'importance du dégagement de chaleur latente liée à la formation de la glace dans les plus grandes ascendances (Dauhut et al. 2016, 2017). Un setup 1D est en cours de construction sur ce cas. A plus grande-échelle, une simulation CRM d'une quinzaine de jours a été réalisée sur l'**Afrique de l'Ouest** permettant de caractériser les systèmes convectifs de meso-échelle (MCS) simulés. Ces MCSs contribuent à 70 % des pluies. Les MCS simulés sous-estiment cependant la pluie la nuit et ont une propagation un peu trop zonale (Thèse de I. Reinares-Martinez). Les poches froides ont par ailleurs été caractérisées dans une simulation LES du cas AMMA (stage N. Villefranque).

Enfin, la **signature isotopique** des processus convectifs et nuageux au cours des événements MJO simulée par LMDZ a été évaluée à partir d'observations (Tuinenburg et al 2015).

L'impact de la **convection sur la circulation de plus grande échelle** a été étudié par le biais de simulations de différentes complexités .

Concernant la variabilité des pluies tropicales associée à l'**oscillation de Madden Julian (MJO)**, le rôle des processus d'échelle synoptique et convective a été étudié grâce à des **simulations CRM sur l'océan indien et le continent maritime** de deux épisodes MJO (thèse de D. Kunetsova). Une intercomparaison de la variabilité intrasaisonnière tropicale simulée par ARPEGE et LMDZ en mode **aquaplanète** avec ou sans warm pool a été menée (Leroux et al. 2016). Des simulations **guidées et en mode hindcast** ont été réalisées avec LMDZ sur des cas de MJO pour analyser les processus contribuant à l'amplification et à la propagation d'anomalies de précipitation dans l'océan indien. Toujours sur océan, les processus menant à l'agrégation de la convection ont été étudiés à partir de simulations globales avec LMDZ en **équilibre radiatif/convectif** (Coppin et al., 2015).

Concernant la **variabilité des pluies continentales**, le décalage des pluies du milieu à la fin d'après-midi permet d'améliorer la représentation du cycle diurne des gradients de pression entre la Côte Guinéenne et le Sahel d'une part, le Sahel et le Sahara d'autre part, favorisant **la montée du flux de mousson** vers le nord. Cet effet semble cependant faible par rapport à l'importance des systèmes convectifs propagatifs nocturnes et de leur couplage avec les ondes d'est (Birch et al., en préparation). Une intercomparaison des **taux de chauffage et d'humidification** associées à la mousson africaine tels que simulés par différents GCMs dont ARPEGE et LMDZ a permis de mettre en avant les liens locaux ou à distance avec certains aspects de la mousson (Martin et al. 2017, Chadwick et al. 2017). L'utilisation d'un **modèle 2D sec** forcé par ces mêmes taux de chauffage a permis d'analyser le lien entre processus de petite échelle et circulation ainsi que l'importance du rayonnement (Stages de modélisation ENM). Enfin, l'utilisation d'un **modèle 2D humide** de la mousson africaine montre l'impact des différents termes du bilan d'eau à la surface (runoff, évaporation) sur la grande échelle de la mousson (Peyrillé et al. 2016).

3- Impact sur les performances des modèles

Une étape importante du développement de paramétrisations est leur **mise en œuvre dans un modèle opérationnel**. Un certain nombre de développements présentés dans ce rapport ont été implémentés et testés dans les versions opérationnelles des modèles de prévision **ARPEGE-PNT** et **AROME** et les versions CMIP6 des modèles de climat **CNRM-CM6** et **IPSL-CM6**. Pour ces dernières, 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). Pour le nouvel exercice CMIP6, le modèle du CNRM a fourni des simulations avec une physique profondément modifiée (PCMT) et le modèle de l'IPSL avec une version plus robuste de la physique atmosphérique.

Concernant la représentation des **nuages et des précipitations**, la représentation des **brouillards** a été améliorée dans AROME, même si des améliorations sont encore nécessaires. On note une amélioration de la prévision des **pluies verglaçantes** dans ARPEGE-PNT.

Côté climat, la représentation de la **couverture nuageuse basse** a été améliorée dans LMDZ, notamment dans les régions de stratocumulus, dont l'altitude et la réflectance sont nettement améliorés par le schéma statistique en distribution bi-gaussienne. Des problèmes persistent cependant dans les deux modèles français qui génèrent toujours des cumulus d'alizée de trop forte réflectance (problème du « too few too bright ») et ont des difficultés à représenter les nuages d'enclume tropicaux. Par rapport à l'exercice CMIP5, on peut noter de grands progrès dans les **méthodes de tuning** des paramètres nuageux.

En lien avec les **couplages surface/atmosphère**, on peut noter une diminution des biais de température de surface. L'étude des biais systématiques sur les bords Est des Océans a mis en avant des biais similaires en couplé et en forcé qui sont liés au rayonnement et aux flux de surface (Hourdin et al., 2016). Les **biais sur les bords Est des océans** ont pu être réduits dans LMDZ grâce à la présence du « modèle du thermique » qui modifie l'humidité relative proche de la surface. Les différentes paramétrisations de flux de surface sur océan dans CNRM-CM ont été évaluées mais ont souligné le besoin d'avoir plus de diagnostics pour comprendre les différences. Les biais de température continentaux ont été cartographiés (calottes, moyennes latitudes en hiver). La représentation du **cycle diurne** des variables de surface a été améliorée dans les Tropiques et en Antarctique.

Les développements autour de la **convection** ont permis un certain nombre d'amélioration dans le modèle LMDZ. La modification du mélange convectif de LMDZ5A à LMDZ5B domine la forte augmentation de la **variabilité des pluies tropicales**, en lien avec une sensibilité augmentée de la convection à l'humidité troposphérique, et à une plus forte contribution des pluies de grande-échelle. L'activation du déclenchement stochastique de la convection profonde permet d'éviter que le schéma de convection profonde s'active trop souvent dans les régions d'alizés et permet d'y maintenir la couverture nuageuse basse simulée par les thermiques. Il a permis aussi d'augmenter le caractère intermittent des pluies sur continent, en bien meilleur accord avec l'observation, et de limiter considérablement l'apparition d' « orages point de grille » quand on augmente la résolution horizontale, ce qui vient valider en un sens le caractère « scale aware » du déclenchement stochastique.

Le schéma PCMT est en cours de test dans ARPEGE-PNT mais ses performances doivent encore être améliorées pour un passage en opérationnel. Son activation dans la version d'ARPEGE-Climat pour CMIP6 a permis une nette amélioration de la représentation du **cycle diurne des pluies continentales**. Comme dans la version LMDZ5B de l'exercice CMIP5, cela est cependant associé à une dégradation de la représentation de la mousson ouest-africaine. L'effet du nouveau schéma de convection sur la variabilité des pluies dans les Tropiques va maintenant pouvoir être étudié plus avant.

4- Forces et faiblesses

La force principale du projet DEPHY2 est d'avoir initié ou renforcé de nombreuses collaborations entre les communautés du climat, de la prévision numérique du temps, des simulations haute résolution et des observations. Le projet a permis notamment :

1/ **Des avancées scientifiques**: via le développement de nouvelles paramétrisations qui ont été implémentées dans les modèles de prévision opérationnels ainsi que dans les modèles participant à l'exercice CMIP5 puis CMIP6 et qui ont conduit à plusieurs améliorations des modèles de prévision et de climat. DEPHY2 c'est

aussi une soixantaine d'articles entre 2014 et 2017, 20 thèses et de nombreuses communications aux Ateliers de Modélisation ainsi qu'à l'international.

2/ Des réalisations concrètes concernant le **partage des outils**: création de fichiers de forçage communs permettant de faire tourner différents modèles sur les mêmes cas d'étude, de fichiers de sorties communs, mise en place de comparaisons entre les sorties des modèles à différentes échelles et les données des observatoires, rapprochement entre les communautés de l'atmosphère et de la surface via en particulier des cas d'étude 1D couplés, développement de nouveaux cas d'étude 1D, échanges de paramétrisation et insertion de la physique du modèle MAR dans l'infrastructure de LMDZ.

3/ Une **animation scientifique et un incubateur de projets**: Une réunion plénière globale et une réunion thématique sont organisées chaque année lors des Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère.

Le projet DEPHY2 a permis de maintenir une dynamique entre plusieurs communautés disjointes travaillant sur les paramétrisations des modèles de climat, de prévision et des modèles à échelle fine ainsi que la communauté des observations. Plusieurs ANRs récemment acceptées ont été en partie ou totalement alimentés par des réflexions menées dans le cadre de DEPHY:

- CALVA¹ et APRES3² qui portent sur l'étude des nuages et des précipitations en Antarctique ;
- HIGH-TUNE³ portant sur l'amélioration de la représentation des nuages bas dans les modèles de prévision du temps et de climat ;
- COCOA⁴ consacré à la représentation des flux à l'interface air/mer

Ces interactions entre différentes communautés sont un formidable moteur du projet mais peuvent aussi être à l'origine de **difficultés à surmonter**: Comment faire parler sorties de modèles et observations ? Comment exploiter les simulations haute résolution pour le développement de paramétrisations ? Comment faire converger l'évaluation des modèles en mode prévision et climatique ? Les échanges d'idées et d'outils de développement auraient sans doute pu davantage se traduire en terme de développements communs ou d'**échanges de modules ou de bouts de paramétrisations**. D'autres difficultés rencontrées sont d'ordre **technique** : par exemple la lourdeur de l'exploitation de giga-LES et de CRM grand domaine pour l'étude fine des processus, ou un manque d'un cadre propre pour comparer les schémas de microphysique indépendamment des schémas de transport. Les liens entre les communautés des modèles et des observations des processus convectifs et microphysiques restent à renforcer. Une des faiblesses du projet est l'impossibilité d'utiliser les financements dédiés pour des **stages** qui auraient pu permettre des avancées ciblées sur certaines thématiques, notamment en co-encadrement entre différents laboratoires.

5- Vers un groupement de recherche (GDR) DEPHY

Plusieurs **initiatives internationales** récentes viennent confirmer l'importance d'améliorer la composante physique des modèles de climat et de prévision du temps. D'importants programmes de recherche ont en effet émergé récemment en Angleterre (PARACON pour la paramétrisation de la convection), en Allemagne (HD(CP)2 pour la modélisation et la prévision à l'échelle hectométrique) ou aux Etats-Unis (CAPT pour l'amélioration de la physique humide des modèles grande échelle). Ces dernières années également, de nombreuses conférences ont cherché à mobiliser et coordonner la communauté internationale autour de l'amélioration des modèles atmosphériques (e.g., « The physics of weather and climate models » à Pasadena, Californie, USA, en 2012, « Model Tuning » à Garmish-Partenkirchen, Allemagne, en 2014, « The future of cumulus parameterizations » à Delft, Pays-Bas en 2017, la seconde conférence « pan-GASS » à Melbourne en 2018, conférences WGNE tous les 4 ans sur les erreurs systématiques des modèles). La communauté française organisée autour du projet DEPHY est en phase avec ces initiatives et s'implique fortement au niveau international en participant à l'organisation de conférences et en coordonnant certaines études (inter-comparaison autour des cas AMMA et GABLS4 par exemple).

Les activités entreprises dans le cadre de DEPHY2 sont **de longue haleine** et la mise en place de nouvelles interactions entre différentes communautés comme de nouvelles avancées au sein de chacune d'elles prend du temps. Pour 2017, il nous a paru plus approprié de nous donner le temps de finaliser une partie des actions en cours dans le cadre de DEPHY2 et de se réunir au printemps (10-12 mai 2017 à l'Observatoire de Banyuls/Mer) pour une réunion scientifique ouverte de trois jours, centrée sur les résultats de DEPHY2, et

1 CALibration and VALidation of climate models and satellite retrievals

2 Antractic Precipitation, Remote Sensing from Surface and Space

3 HIGH-resolution simulations to improve and TUNE the boundary-layer clouds parameterizations

4 COverprehensive Coupling approach for the Ocean and the Atmospher

accompagnée d'une réflexion sur les nouveaux enjeux d'un projet DEPHY3 qui a été soumis à LEFE. Le programme LEFE qui soutient cette initiative depuis de nombreuses années déjà, insiste sur le fait que des alternatives de financement à longs termes (GdR par exemple) doivent être envisagées afin d'assurer la pérennité de ce groupe de recherche. C'est vers cette solution que nous nous sommes engagés et nous avons soumis à la section 19 un dossier scientifique pour la **création du GDR DEPHY à partir de 2019** (http://www.lmd.jussieu.fr/~mpllmd/gdr_dephy/GDR_DEPHY_soumis_20180323.pdf). Un avis très favorable a été rendu au printemps 2018.

Année 2014

- Bazile**, E. (2014). GABLS4: An Intercomparison Case to Study the Stable Boundary Layer Over the Antarctic Plateau. *Gewex_newsletter* Vol. 24 n04, November 2014, page 4
- F. Cheruy**, J. L. Dufresne, F. Hourdin, and A. Ducharne. Role of clouds and land-atmosphere coupling in midlatitude continental summer warm biases and climate change amplification in CMIP5 simulations. *Geophysical Research Letters*, 41:6493-6500, September 2014.
- Couvreur**, F., F. Guichard, A. Gounou, D. Bouniol, P. Peyrillé and M. Köhler, 2014 : Modelling of the Thermodynamical Diurnal Cycle in the Lower Atmosphere : A Joint Evaluation of Four Contrasted Regimes in the Tropics Over Land. *BOUNDARY-LAYER METEOROLOGY*, Volume: 150, Issue: 2, Pages: 185-214, Doi : 10.1007/s10546-013-9862-6. Published: FEB 2014.
- Dione**, C., M. Lothon, D. Badiane, B. Campistron, F. Couvreur, F. Guichard et S. M. Salla, 2013 : Phenomenology of Sahelian convection observed in Niamey during the early monsoon. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Volume: 140, Issue: 679, Pages: 500-516, Part: B, Doi:10.1002/qj.2149. Published: JAN 2014.
- Rochetin** N., F. Couvreur, J-Y Grandpeix, and C. Rio, 2014 : Deep Convection Triggering by Boundary Layer Thermals. Part I: LES Analysis and Stochastic Triggering Formulation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Volume: 71, Issue: 2, Pages: 496-514, Doi: 10.1175/JAS-D-12-0336.1. Published: FEB 2014.
- Rochetin** N., J-Y Grandpeix, C. Rio, and F. Couvreur, 2014 : Deep Convection Triggering by Boundary Layer Thermals. Part II: Stochastic Triggering Parameterization for the LMDZ GCM. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Volume: 71, Issue: 2, Pages: 515-538, Doi: 10.1175/JAS-D-12-0337.1. Published: FEB 2014.

Année 2015

- S. Ait-Mesbah**, J. L. Dufresne, F. Cheruy, and F. Hourdin. The role of thermal inertia in the representation of mean and diurnal range of surface temperature in semiarid and arid regions. *Geophysical Research Letters*, 42:7572-7580, September 2015.
- S. Ait-Mesbah**, J.L. **Dufresne**, **F. Cheruy**, **F. Hourdin**, On the representation of surface temperature in semi-arid and arid regions. *Geophysical Research Letters*, 42:7572-7580, September 2015
- F. Cheruy**, J. L. **Dufresne**, **F. Hourdin**, and A. **Ducharne**. Role of clouds and land-atmosphere coupling in midlatitude continental summer warm biases and climate change amplification in CMIP5 simulations. *Geophysical Research Letters*, 41:6493-6500, September 2014
- D. Coppin** and S. Bony. Physical mechanisms controlling the initiation of convective self-aggregation in a General Circulation Model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 7:2060-2078, December 2015.
- F. Couvreur**, R. Roehrig, C. Rio, M.-P. Lefebvre, M. Caian, T. Komori, S. Derbyshire, F. Guichard, F. Favot, F. D'Andrea, P. Bechtold, and P. Gentine. Representation of daytime moist convection over the semi-arid Tropics by parametrizations used in climate and meteorological models. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141:2220-2236, July 2015.
- C. L. Daleu, R. S. Plant, S. J. Woolnough, S. Sessions, M. J. Herman, A. Sobel, S. Wang, D. Kim, A. Cheng, G. Bellon, P. **Peyrille**, F. Ferry, P. Siebesma, L. van Ulft: Intercomparison of methods of coupling between convection and large-scale circulation: 2. Comparison over nonuniform surface conditions. *J Adv Model Earth Syst.* 2016 Mar; 8(1): 387-405. Published online 2016 Mar 18. doi: 10.1002/2015MS000570
- Dauhut**, T., J.-P. Chaboureau, J. Escobar, and P. Mascart, Large-eddy simulation of Hector the convective making the stratosphere wetter, *Atmos. Sci. Lett.*, 16, 135-140, 2015.
- Găinușă-Bogdan**, A., P. Braconnot, and J. Servonnat (2015), Using an ensemble data set of turbulent air-sea fluxes to evaluate the IPSL climate model in tropical regions, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 4483-4505. doi: .
- F. Hourdin**, A. Gainusa-Bogdan, P. Braconnot, J.-L. Dufresne, A.-K. Traore, and C. Rio. Air moisture control on ocean surface temperature, hidden key to the warm bias enigma. *Geophysical Research Letters*, 42:10, December 2015.
- F. Hourdin**, M. Gueye, B. Diallo, J.-L. Dufresne, J. Escribano, L. Menut, B. Marticorãna, G. Siour, and F. Guichard. Parameterization of convective transport in the boundary layer and its impact on the representation of the diurnal cycle of wind and dust emissions. *Atmospheric Chemistry & Physics*, 15:6775-6788, June 2015.
- Largeroy Y., **F. Guichard**, **D. Bouniol**, **F. Couvreur**, **L. Kergoat**, B Marticorena, 2015: On the importance of wind fields for dust emission over the Sahel, *GRL*, 42, 2490-2499. Doi:10.1002/2014GL062938
- R. Locatelli**, P. Bousquet, F. Hourdin, M. Saunoy, A. Cozic, F. Couvreur, J.-Y. Grandpeix, M.-P. Lefebvre, C. Rio, P. Bergamaschi, S. D. Chambers, U. Karstens, V. Kazan, S. van der Laan, H. A. J. Meijer, J. Moncrieff, M. Ramonet, H. A. Scheeren, C. Schlosser, M. Schmidt, A. Vermeulen, and A. G. Williams. Atmospheric transport and chemistry of trace gases in LMDz5B: evaluation and implications for inverse modelling. *Geoscientific Model Development*, 8:129-150, February 2015.

- Machado**, L. A. T., and J.-P. Chaboureau, Effect of turbulence parameterization on assessment of cloud organization, *Mon. Weather Rev.*, 143, 3246-3262, 2015 C. Muller and S. Bony. What favors convective aggregation and why? *Geophysical Research Letters*, 42:5626-5634, July 2015.
- R. Pilon**, J.-Y. Grandpeix, and P. Heinrich. Representation of transport and scavenging of trace particles in the Emanuel moist convection scheme. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141:1244-1258, April 2015.
- Verrelle, A., **Ricard**, D., et **Lac**, C (2015) : Sensitivity of high-resolution idealized simulations of thunderstorms to horizontal resolution and turbulence parameterization, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 141, no 687, p. 433-448.
- J.-F. Rysman**, S. Verrier, A. Lahellec, and C. Genthon. Analysis of Boundary-Layer Statistical Properties at Dome C, Antarctica. *Boundary-Layer Meteorology*, 156:145-155, July 2015.
- Tuinenburg, O. A., et al. (2015), Moist processes during MJO events as diagnosed from water isotopic measurements from the IASI satellite, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 10,619–10,636, doi: .
- Verrelle**, A., D. Ricard, and C. Lac, Sensitivity of high-resolution idealized simulations of thunderstorms to horizontal resolution and turbulence parameterization, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 141, 433-448, 2015

Année 2016

- S. Bony**, B. Stevens, D. Coppin, T. Becker, K. A. Reed, A. Voigt, and B. Medeiros. Thermodynamic control of anvil cloud amount. *Proceedings of the National Academy of Science*, 113:8927-8932, August 2016. Bouniol D., R. Roca, T. Fiolleau, and E. Poan, 2016 : Macrophysical, Microphysical, and Radiative Properties of Tropical Mesoscale Convective Systems over Their Life Cycle *Journal of Climate* May 2016, Vol. 29, No. 9
- Chaboureau**, J.-P., Flamant, C., **Dauhut**, T., Kocha, C., Lafore, J.-P., Lavaysse, C., Marnas, F., Mokhtari, M., Pelon, J., **Reinares Martínez**, I., Schepanski, K., and Tulet, P.: Fennec dust forecast intercomparison over the Sahara in June 2011, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 6977-6995, <https://doi.org/10.5194/acp-16-6977-2016>, 2016.
- Couvreur** F., E. Bazile, G. Canut, Y. Seity, M. Lothon, F. Lohou, F. Guichard, and E. Nilsson, 2016 : Boundary-layer turbulent processes and mesoscale variability represented by numerical weather prediction models during the BLLAST campaign. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 8983-9002, doi:10.5194/acp-16-8983-2016.
- Couvreur** F, E **Bazile**, G **Canut**, Y **Seity**, M **Lothon**, F **Lohou**, F **Guichard**, E Nilsson, 2016: Representation of the afternoon transition in Numerical Weather Prediction models: evaluation with BLLAST data, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 8983-9002, doi:10.5194/acp-16-8983-2016
- Dauhut**, T., J.-P. **Chaboureau**, J. Escobar, and P. Mascart, Giga-LES of Hector the Convecteur and its two tallest updrafts up to the stratosphere, *J. Atmos. Sci.*, 73, 5041-5060, 2016
- Honnert** R., V. Masson and F. Couvreur and D. Lancz., 2016 : Sampling of the structure of turbulence : Implications for parametrizations at sub-kilometric scales. *Bound.-Layer. Meteor.*, 160, 133-156, doi="10.1007/s10546-016-0130-4
- F. Hourdin**, Mauritsen, T., Gettelman, A., Golaz, J.-C., Balaji, V., Duan, Q., Folini, D., Ji, D., Klocke, D., Qian, Y., Rauser, F. Rio, C. Tomassini, L., Watanabe, M. and Williamson, D. 2016, The art and science of climate model tuning, accepted in BAMS
- D. Konsta**, J.-L. Dufresne, H. Chepfer, A. Idelkadi, and G. Cesana. Use of A-train satellite observations (CALIPSO-PARASOL) to evaluate tropical cloud properties in the LMDZ5 GCM. *Climate Dynamics*, 47:1263-1284, August 2016.
- Le Moigne**, **Patrick** & Colin, Jeanne & **Decharme**, **Bertrand**. (2016). Impact of lake surface temperatures simulated by the FLake scheme in the CNRM-CM5 climate model. *Tellus A*. 68. 10.3402/tellusa.v68.31274.
- Le Moigne**, P., J., **Colin**, and B. **Decharme**, 2016: Impact of lake surface temperatures simulated by the Flake scheme in the CNRM-CM5 climate model. *Tellus Series A-Dynamic Meteorology And Oceanography*, Volume : 68, Article Number : 31274, Doi : 10.3402/tellusa.v68.31274. Published : 2016.
- Leroux, S., G. Bellon, R. **Roehrig**, M. Caian, N. P. Klingaman, J.-P. **Lafore**, I. **Musat**, C. **Rio**, and S. Tyteca (2016), Inter-model comparison of subseasonal tropical variability in aquaplanet experiments: Effect of a warm pool, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 8, 1526–1551, doi: .
- Peyrillé**, P & **Lafore**, J.-P & **Boone**, A. (2016). The annual cycle of the West African Monsoon in a two-dimensional model: Mechanisms of the rain band migration. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 142. n/a-n/a. 10.1002/qj.2750.
- Philip**, A., T. Bergot, Y. **Bouteloup**, and F. **Bouysse**, 2016: The Impact of Vertical Resolution on Fog Forecasting in the Kilometric-Scale Model AROME: A Case Study and Statistics. *Wea. Forecasting*, 31, 1655–1671, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-16-0074.1>
- Riette** S. and C.Lac, 2016 : A New Framework to Compare Mass-Flux Schemes Within the AROME Numerical Weather Prediction Model. *Boundary-Layer Meteorology*, 160(2), 269-297, DOI:10.1007/s10546-016-0146-9.
- Tsushima, Y., M. A Ringer, T. Koshiro, H. Kawai, R. Roehrig, J. Cole, M. Watanabe, T. Yokohata, A. Bodas-Salcedo, K.
- Rochetin** N., **Couvreur** F. and **Guichard** F.: Morphology of breeze circulations induced by surface flux heterogeneities and their impact on convective initiation, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, 2017, 143, 463-478
- D. Williams** and . M. J. Webb, 2015: Robustness, uncertainties, and emergent constraints in the radiative response of stratocumulus cloud regimes to future warming. *Climate Dynamics*, Volume : 46, Issue : 9-10, Pages : 3025-3039, Doi:10.1007/s00382-015-2750-7. Published: MAY 2016 .
- Vié**, B., J.-P. Pinty, S. Berthet, and M. Leriche, LIMA (v1.0): A quasi two-moment microphysical scheme driven by a multimodal population of cloud condensation and ice freezing nuclei, *Geosci. Model Dev.*, 9, 567-586, 2016

-**F. Wang**, F. Cheruy, and J.-L. Dufresne. The improvement of soil thermodynamics and its effects on land surface meteorology in the IPSL climate model. *Geoscientific Model Development*, 9:363-381, January 2016.

Année 2017

- Barbier J, Guichard F, D Bouniol, F Couvreur, Roehrig R**, 2018: Sahelian heatwaves: detection, characteristics and historical trend, *Journal of Climate*, Vol 31, 1, 61-80, doi://10.1175/JCLI-D-17-0244.1
- Morcrette, Cyril, Weverberg, Kwinten, Ma, Hsi-Yen, Ahlgrimm, Maike, **Bazile, Eric**, K. Berg, L, Cheng, A, **Cheruy, F**, Cole, Jason, Forbes, Richard, I. Gustafson Jr, W, Huang, Maoyi, Lee, W.-S, Liu, Y, Mellul, L, Merryfield, W.J., Qian, Y, **Roehrig, R**, Wang, Yi-Chi, Petch, Jon. (2018). Introduction to CAUSES: Description of Weather and Climate Models and Their Near-Surface Temperature Errors in 5 day Hindcasts Near the Southern Great Plains. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 123. 10.1002/2017jd027199.
- Bellenger H**, K Drushka, W Asher, G Reverdin, M Katsumata, M Watanabe, 2017: Extension of the prognostic model of sea surface temperature to rain-induced cool and fresh lenses0 *Journal of Geophysical Research: Oceans* 122 (1), 484-507
- Boone, A.**, P. Samuelsson, S. Gollvik, A. Napoly, L. Jarlan, E. **Brun**, and B. **Decharme**, 2017 : The interactions between soil–biosphere–atmosphere land surface model with a multi-energy balance (ISBA-MEB) option in SURFEXv8 – Part 1 : Model description. *Geoscientific Model Development*, Volume : 10, Issue : 2, Pages: 843-872, Doi : 10.5194/gmd-10-843-2017. Published : FEB 21 2017.
- Bouniol D**, Roca R, Fiolleau T (2017) : Macrophysical, Microphysical, and Radiative Properties of Tropical Mesoscale Convective Systems over Their Life Cycle, *J Clim*, 29, <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0551.1>
- Ma, Hsi-Yen, A. Klein, S, Xie, Steven, Zhang, C, Tang, S, Tang, Q, Morcrette, Cyril, Weverberg, Kwinten, Petch, Jon, Ahlgrimm, Maike, K. Berg, L, **Cheruy, F**, Cole, Jason, Forbes, Richard, I. Gustafson, W, Huang, Maoyi, Liu, Y, Merryfield, W, Qian, Y, Wang, Yi-Chi. (2018). CAUSES: On the role of surface energy budget errors to the warm surface air temperature error over the Central U.S.. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 123. 10.1002/2017JD027194.
- Chadwick, R., G. M. Martin, D. Copey, G. Bellon, M. Caian, F. Codron, C. **Rio**, and R. **Roehrig** (2017), Examining the West African Monsoon circulation response to atmospheric heating in a GCM dynamical core, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 9, 149–167.
- Cheruy F.** , J.L. **Dufresne**, S. **Ait Mesbah**, JY **Grandpeix**, F **Wang**. Role of Soil Thermal Inertia in Surface Temperature and Soil Moisture-Temperature Feedback, 2017, *JAMES*; 9,8, 2906,2919 doi = {10.1002/2017MS001036}
- Dauhut, T.**, J.-P. **Chaboureau**, P. Mascart, and O. Pauluis, The atmospheric overturning induced by Hector the Convecton, *J. Atmos. Sci.*, 74, 3271-3284, 2017
- F. B. Diallo** , **F. Hourdin** , **C. Rio** , A.-K. Traore , L. Mellul , **F. Guichard** and **L. Kergoat** , The surface energy budget computed at the grid-scale of a climate model challenged by station data in West Africa, *James*, <https://doi.org/10.1002/2017MS001081>, 2017
- Alina **Găinușă-Bogdan**, **Frédéric Hourdin**, Abdoul Khadre Traore, Pascale Braconnot, Omens of coupled model biases in the CMIP5 AMIP simulations, *Clim Dyn.* <https://doi.org/10.1007/s00382-017-4057-3>, 2018
- Genthon, C.**, L. Piard, E. **Vignon**, J.-B. **Madeleine**, M. Casado, H. **Gallée**, 2017. Atmospheric moisture supersaturation in the near-surface atmosphere at Dome C, antarctic plateau, *Atm. Phys. Chem.*, 17, 691-704, doi:10.5194/acp-17-691-2017.
- Jouhaud, J.**, **Dufresne, J. L.**, **Madeleine, J. B.**, **Hourdin, F.**, **Couvreur, F.**, **Villefranche, N.**, & **Jam, A.** Accounting for vertical subgrid-scale heterogeneity in low-level cloud fraction parameterizations. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. 2018
- J. Grazioli, **J.-B. Madeleine**, **H. Gallée**, R. M. Forbes, **C. Genthon**, **G. Krinner**, A. Berne: Katabatic winds diminish precipitation contribution to the Antarctic ice mass balance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, doi: 10.1073/pnas.1707633114, September 2017
- Marquet P.** and Belamari S. (2017a). On new bulk formulas based on moist-air entropy. WGNE Blue Book publication. http://www.umr-cnrm.fr/IMG/pdf/04_marquet_belamari_lewis_2017.pdf
- Marquet P.** (2017b). The impacts of observed small turbulent Lewis number in stable stratification: changes in the thermal production ? WGNE Blue Book publication. http://www.umr-cnrm.fr/IMG/pdf/04_marquet_lewis_thermal_prod_2017.pdf
- Marquet P.**, Maurel W. and Honnert R. (2017c). On consequences of measurements of turbulent Lewis number from observations. WGNE Blue Book publication. <https://arxiv.org/abs/1705.00870>
- Napoly, A., **Boone, A.**, P. Samuelsson, S. Gollvik, E. **Martin**, R. Seferian, D. Carrer, B. **Decharme** and L. Jarlan, 2017 : The Interactions between Soil-Biosphere-Atmosphere (ISBA) land surface model Multi-Energy Balance (MEB) option in SURFEX - Part 2: Model evaluation for local scale forest sites. *Geoscientific Model Development*, Volume : 10, Issue : 4, Pages : 1621-1644, Doi : 10.5194/gmd-10-1621-2017. Published : APR 18 2017
- Martin, G. M., P. **Peyrillé**, **R. Roehrig**, **C. Rio**, M. Caian, G. Bellon, F. Codron, J.-P. **Lafore**, D. E. Poan, and A. Idelkadi (2017), Understanding the West African Monsoon from the analysis of diabatic heating distributions as simulated by climate models, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 9, 239–270, doi: .

- Rochetin, N., Couvreur, F. and Guichard, F.** (2017), Morphology of breeze circulations induced by surface flux heterogeneities and their impact on convection initiation. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 143, 463–478.
- Rodier Q,** Masson V, Couvreur F, Paci A, 2017: Evaluation of a buoyancy and shear based mixing length for a turbulence scheme in revision for Frontiers, 5, 65. doi: 10.3389/feart.2017.00065
- Schäfer, S. A. K. and A. Voigt** (2018). Radiation weakens idealized mid-latitude cyclones, *Geophys. Res. Lett.*, doi: 10.1002/2017GL076726
- Torres O, Braconnot P,** Marti O, Gential L, 2018: Impact of air-sea drag coefficient for latent heat flux on large-scale climate in coupled and atmosphere stand-alone simulations, *Climate Dynamics*
- K. Van Weverberg, C. J. Morcrette, J. Petch, S. A. Klein, H.-Y. Ma, C. Zhang, S. Xie, Q. Tang, W. I. Gustafson, Y. Qian, L. K. Berg, Y. Liu, M. Huang, M. Ahlgrimm, R. Forbes, E. Bazile, R. Roehrig, J. Cole, W. Merryfield, W.-S. Lee, F. Cheruy, L. Mellul, Y.-C. Wang, K. Johnson, and M. M. Thieman.** CAUSES: Attribution of Surface Radiation Biases in NWP and Climate Models near the U.S. Southern Great Plains. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 123:3612-3644, April 2018.
- Verrelle, A., D. Ricard, and C. Lac** (2017): Evaluation and Improvement of Turbulence Parameterization inside Deep Convective Clouds at Kilometer-Scale Resolution. *Mon. Wea. Rev.*, 145, 3947–3967, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0404.1>
- Vignon E., Hourdin F., Genthon C., Gallée H., Bazile E., Lefebvre M.-P., Madeleine J.-B., van de Wiel B. J.H.** (2017a). Antarctic Boundary Layer parametrization in a General Circulation Model: 1D simulations facing summer observations at Dome C. *J Geophys Res*, 122 (13): 6818-6843. doi:10.1002/2017JD026802
- Vignon E., van de Wiel B. J. H., van Hooijdonk I. G. S., Genthon C., van der Linden S. J. A., van Hooft J. A., Baas P., Maurel W., Traullé O., Casasanta G.** (2017b). Stable boundary-layer regimes at Dome C, Antarctica: observation and analysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 2017, 143 (704), 1241-1253. doi:10.1002/qj.2998
- Vignon E., Hourdin F., Genthon C., van de Wiel B.J.H., Gallée H., Madeleine J.-B. and Beaumet J.** (2018). Modeling the dynamics of the Atmospheric Boundary Layer over the Antarctic Plateau with a General Circulation Model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10 (1): 98-125. doi:10.1002/2017MS001184
- Wang F, Ducharme A, Cheruy F, Lo MH, Grandpeix JY** (2017). Impact of a shallow groundwater table on the global water cycle in the IPSL land-atmosphere coupled model, *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-017-3820-9

Thèses:

LMD:

Sonia Ait-Mesbah : "Rôle de l'inertie thermique et du couplage surface-atmosphère sur la valeur moyenne et le cycle diurne de la température de surface"

Maxime Colin: "Convective memory, and the role of cold pools" (co-tutelle UNSW/Sorbonne Université, soutenance 15/11/2018)

David Coppin : "Agrégation de la convection dans un modèle de circulation générale : mécanismes physiques et rôle climatique"

Fatoumata Binta Diallo : "Simulations multi-échelles de la saisonnalité des vagues de chaleur et des pluies de mousson en Afrique de l'ouest"

Jean Jouhaud : Représentation des nuages dans LMDZ (soutenance 14/12/2018)

Florentin Lemonnier: Précipitations en Antarctique : Télédétection et paramétrisations dans un modèle de climat global (soutenance 2019)

IGE:

Etienne Vignon: "The extreme atmospheric boundary layer over the Antarctic Plateau and its representation in climate models"

LSCE:

Robin Locatelli : "Estimation des sources et puits de méthane : bilan planétaire et impacts de la modélisation du transport atmosphérique"

Olivier Torres: "Représentation des flux turbulents à l'interface air-mer et impact sur les transports de chaleurs et d'eau dans les changements de climat" (soutenance début 2019)

LA:

Thibaut Dauhut: "Hector the convective, archétype de l'orage tropical hydratant la stratosphère"

Daria Kuznetsova: "Modelling the Madden-Julian oscillation during its passage over the Indian Ocean and the Maritime Continent"

Irene Martinez-Reinares: "Les mécanismes de contrôle de la précipitation dans le nord de l'Afrique pendant un épisode poussiéreux"

CNRM:

A-L Ahmat Younous : "Représentation de la convection par CNRM-CM6 dans le cadre de la campagne CINDY2011/DYNAMO"

Jessica Barbier: "Extrêmes climatiques : les vagues de chaleur au printemps sahélien"

Julien Léger : "Un modèle d'ascendance convective simple prenant en compte explicitement le terme de pression non-hydrostatique" (soutenance décembre 2018)

Marie Mazoyer: "Impact du processus d'activation sur les propriétés microphysiques des brouillards et sur leur cycle de vie"

Alexandre Philip : "Apport d'une résolution verticale plus fine dans le calcul des tendances physiques pour la modélisation du brouillard dans le modèle AROME"

Quentin Rodier : « Paramétrisation de la turbulence atmosphérique dans la couche limite stable »

Najda Villefranque: Simulations LES & méthodes Monte-Carlo pour la compréhension et la représentation dans les modèles des interactions nuages-rayonnement (soutenance en 2019)

Réunions internes et groupes de travail:

+ **Participation annuelle aux Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère** (CIC de Météo-France à Toulouse): avec une session DEPHY comprenant des présentations, un bilan de l'année passée et le programme de l'année à venir).

Année	Thème(s) des AMA	Thème(s) de la session Dephy	Nb de présentations à la session Dephy
2014	Modélisation des aérosols et leurs impacts aux différentes échelles	Pas de session Dephy	-
2015	1/ Modélisation climatique régionale 2/ Les rails des dépressions et la variabilité climatique des moyennes latitudes	+ paramétrisation des rafales + représentation des bilans d'eau et d'énergie à la surface + l'équilibre radiatif/convectif (RCE) pour l'étude des interactions surface/convection/rayonnement dans les modèles explicites ou paramétrés. <u>Trois ateliers en parallèle:</u> * microphysique * convection * couplage atmosphère-surface	22
2016	Les données des observatoires et la modélisation	+ l'amélioration des paramétrisations physiques de la couche limite, la convection et les nuages mises en œuvre 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).	20
2017	Les couplages océan-atmosphère-vagues	+ le développement de paramétrisations + l'utilisation de cadres idéalisés pour aider ce développement (simulations explicites, aqua-planètes, cas 1D, etc...).	15

+ Réunion de lancement à Banyuls (8-10/9/2014)

Année	Type d'interventions	Thème	Nb de présentations
2014	Exposés de synthèse	<ul style="list-style-type: none"> • couche limite • convection • nuages et précipitations • flux de surface 	1 1 1 1
	Discussions parallèles	<ul style="list-style-type: none"> • microphysique nuageuse • représentation des vents pour le couplage couche limite/surface • Organisation de la convection et approches "scale-aware" • Approches et Méthodologies • Climat polaire • Bilans d'eau et d'énergie à la surface continentale • Variabilité tropicale 	

+ Réunion Convection et Flux de surface (2-3/11/2015)

Année	Type d'interventions	Thème	Nb de présentations
2015	Exposés	Downdrafts convectifs, courants de densité: observations et processus	6
	Exposés	Paramétrisations des downdrafts convectifs et des courants de densité	5
	Exposés	Théorie et observations des flux de surface océaniques	3
	Exposés	Paramétrisation et évaluation des flux de surface océaniques dans les modèles	4
	Exposés	Impact de la convection sur les flux de surface océaniques	2

+ Réunion Nuages (13-14/6/2016)

Année	Type d'interventions	Thème	Nb de présentations
2016	Exposés	Nuages froids et de phase mixte	4
	Exposés	Nuages bas et microphysique chaude	6
	Exposés	Nuages de convection profonde	6
	Exposés	Nuages considérés à l'échelle globale	3
	Discussions	<ul style="list-style-type: none"> • Modèles microphysiques fins et LES • Simulations explicites de nuages (CRM) et modèles méso-échelles • Modèles de climat globaux 	

+ Réunion de clôture à Banyuls (10-12/5/2017)

Année	Type d'interventions	Thème	Nb de présentations
2017	Exposés de synthèse	De DEPHY2 à DEPHY3 et retour sur les développements	4
	Exposés courts	Comment réduire les erreurs systématiques des modèles ?	11
	Discussions en sessions parallèles	<ul style="list-style-type: none"> • Couplage atmosphère/surfaces • Rôle du couplage convection/circulation sur l'état moyen et la variabilité dans les Tropiques • Dynamique et phase des nuages de moyennes et hautes latitudes 	
	Exposés courts	Comment la surface, la couche limite, la convection et les nuages interagissent-ils avec le rayonnement ?	11
	Discussions en sessions parallèles	<ul style="list-style-type: none"> • Rayonnement et couche limite stable • Rayonnement et couche limite convective • Rayonnement et convection profonde 	
	Exposés courts	Et si vous aviez carte blanche ? <ul style="list-style-type: none"> • Organisation multi-échelle de la convection • Flux de surface, couche limite et nuages bas 	9 7