



Programme des Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère 2021

La convection atmosphérique

Lundi 8 mars 2021

Convection peu profonde

Analyse orientée processus d'AROME-OM Antilles avec un focus sur la convection peu profonde

F. Beucher, F. Couvreur, D. Bouniol, F. Favot, G. Faure, Y. Brunet, A. Guillemot, O. Tessiot, G. Kerdraon

Since February 2016, the AROME-OM model is operational over the Caribbean area at a 2.5 km horizontal resolution. Availability of these operational forecasts raises several scientific questions : i) to what extent this new generation of models significantly improves the forecast in the Overseas ii) does this huge ensemble of simulated data represent an opportunity to study the processes that govern the shallow convection in a wide range of thermodynamical situations and its spatial organization (Stevens, 2020).

This study is conducted for the January-February 2020 period that corresponds to the period of the EUREC4a international measurement campaign (<http://eurec4a.eu/>) that took place East off the island of Barbados (13N, 57W) providing additional observational data sets. During the EUREC4a campaign, the AROME-OM was also run at 1.3 km offering an opportunity to evaluate the added value by this increase in resolution.

Comparisons at the Barbados site shows the good skill of the AROME-Antilles model to represent the double peak of cloud fraction with one peak located at the base of the cumulus and the other at the trade-wind inversion ; those two peaks are associated with the presence of very shallow cumulus and much thicker cumulus that reach 3 km with a frequent occurrence of anvil at this altitude.

The two versions of AROME (2.5 km and 1.3 km) show a very skill in representing the 4 different cloud organizations during the EUREC4A campaign and, with four cases-study, we show how the large-scale environment (PW, vertical velocity, stability, wind surface) drives these cloud organizations.



Utilisation de simulation LES pour élaborer une stratégie d'échantillonnage adaptatif avec des drones pour caractériser les hétérogénéités des cumulus.

N. Maury, F. Couvreur, G. Roberts, N. Villefranque, T. Verdu, Pierre Narvor, Simon Lacroix, Gautier Hattenberger

Les cumulus d'alizés ont un impact significatif sur le bilan radiatif de la Terre, en raison de leur forte présence ainsi que leur couverture importante dans les régions océaniques subtropicales.

Une meilleure compréhension des propriétés thermodynamiques et macroscopiques des cumulus a été obtenue grâce à la télédétection au sol et par satellite ainsi que via les observations in situ. Les mesures aéroportées ont apporté une contribution significative, mais leur résolution reste limitée par des transects rectilignes et des données temporelles discontinues pour les nuages individuels. Pour fournir une résolution spatiale et temporelle plus élevée, les drones (RPA en anglais pour Remotely Piloted Aircrafts) peuvent désormais être utilisés, ce qui est le cas dans le projet Nephelae, pour des observations directes, en utilisant de nombreuses avancées technologiques, par exemple: cartographier la structure microphysique des nuages pour étudier le mélange nuageux.

Nous utilisons ici une simulation LES de cumulus océaniques dérivée du cas BOMEX avec le modèle Méso-NH pour concevoir des stratégies d'échantillonnage adaptatif. Une implémentation du simulateur de vol de drones dans les sorties LES haute fréquence (toutes les 5 s) et haute résolution (25m) permet de suivre les nuages individuellement. Une stratégie d'échantillonnage adaptatif avec les trajectoires Rosette et Trinity (définies dans Verdu et al., 2019) sont utilisées pour explorer des nuages de différentes tailles, statiques dans le temps et dans l'espace. L'échantillonnage

adaptatif réalisé par ces explorations est optimisé à l'aide d'un ou deux drones et avec ou sans cartographie utilisant une régression de processus gaussien (GPR).

Nous comparons les résultats obtenus par l'échantillonnage avec ceux de la simulation de référence, en particulier la teneur totale en eau liquide (LWC) et ses distributions dans une section transversale horizontale. L'échantillonnage avec un seul drone utilisant la cartographie GPR améliore la représentation des variables thermodynamiques dans le nuage en moins de temps. En outre, un test de sensibilité sur l'échelle de longueur pour la cartographie GPR est effectué. Les résultats de l'exploration d'un nuage statique sont ensuite étendus à un cas dynamique d'un nuage évoluant dans le temps, pour ainsi évaluer l'application de cette stratégie d'exploration pour étudier l'évolution des hétérogénéités des nuages.



Effets turbulents et dynamique de l'interface nuage-environnement pour une LES d'un cumulus congestus en phase de croissance.

C. Strauss, D. Ricard, C. Lac

Une simulation LES (Large Eddy Simulation) d'un cumulus congestus a été effectuée en utilisant le modèle Méso-NH avec une résolution de 5 m afin d'étudier la dynamique de petite échelle et le mélange sur ses bords. La circulation toroïdale au sommet du cumulus et l'enveloppe subsidente entourant le nuage ainsi simulées sont proches de celles obtenues dans des études observationnelles et numériques récentes. Les tourbillons de circulation toroïdale ont une forte signature sur les flux turbulents résolus ce qui montre leur importance dans les échanges entre le nuage et son environnement. L'enveloppe subsidente est constituée d'une enveloppe locale due aux subsidences situées aux bords du nuage et une circulation de plus grande échelle causée par la perturbation de l'environnement par l'ascension du nuage.

Une partition du nuage et de son environnement est utilisée afin de caractériser la dynamique, la flottabilité et la turbulence près des bords du nuage. Les subsidences causées par des tourbillons y coexistent avec une inversion de la flottabilité tandis que l'intérieur du nuage est principalement ascendant et à flottabilité positive. La turbulence sur les bords est de plus fine échelle que celle située à l'intérieur du nuage. A 5 mètres de résolution, la production dynamique de turbulence sous-maille domine largement sur la production thermique. Cette dernière est plus forte sur les bords qu'à l'intérieur du nuage.

Une simulation alternative où les effets de refroidissement évaporatif sont supprimés indique que ceux-ci sont principalement présents près des bords du nuage et qu'ils contribuent à atténuer la circulation convective. Le refroidissement évaporatif a aussi un impact sur l'inversion de la flottabilité et sur le parcours de l'air entraîné mais il ne modifie pas significativement la dynamique des grands tourbillons.



Une nouvelle formulation de la "force de l'inversion" dans le modèle IFS pour l'entraînement en sommet de couche limite et pour le contrôle des régimes Strato-Cumulus versus Cumulus.

P. Marquet (Météo-France/CNRM) et P. Bechtold (ECMWF)

La formulation de Woods et Bretherton (J. Climate, 2006) est utilisée actuellement dans le modèle IFS du CEPMMT pour calculer l'EIS (Estimated Inversion Strength). La valeur de cet EIS est comparée localement à un certain seuil pour fournir un critère qui sert à deux choses : 1) autoriser ou bloquer le déclenchement du schéma de convection peu-profonde ; 2) activer ou pas la modification du coefficient d'échange turbulent en sommet de couche limite via une paramétrisation de l'entraînement sommital des strato-cumulus.

La formulation de Woods et Bretherton pour l'EIS est assez complexe numériquement, au sens où elle dépend non-seulement de la simple différence de la température potentielle entre 700 hPa et le sol, mais aussi d'un autre terme qui est fonction du gradient adiabatique humide à 850 hPa.

Dans le cadre de la préparation des modifications des paramétrisations en vue de la version "post-Bologne" de l'IFS, il est apparu souhaitable : 1) de ne plus utiliser un tel critère pour empêcher le déclenchement de la convection peu-profonde, avec une activation partout où c'est nécessaire ; 2) de maintenir la modification du coefficient d'échange turbulent en sommet de couche limite ; 3) mais en modifiant l'EIS actuel pour avoir une formulation qui soit moins complexe que celle de Woods et Bretherton, en vue d'avoir une meilleure prise en compte dans la physique simplifiée/linéarisée.

Pour ce faire, Peter Bechtold a testé en 2019 au CEPMMT le remplacement de l'EIS actuel par une différence entre deux niveaux verticaux d'une variable du type Moist Static Energy (MSE) qui correspond à l'entropie absolue de l'air humide (Marquet, QJRMS, 2011). La motivation physique est de prendre en compte une des propriétés de cette entropie absolue : la transition entre les régimes de strato-cumulus et cumulus semble se produire précisément pour les sauts nuls en entropie au sommet de la couche limite (homogénéisation sur la verticale entre les valeurs de la couche limite et celles de l'air libre au dessus). Il apparaît qu'un nouveau critère, plus simple et plus robuste, basé sur la différence

de la "MSE entropique" entre deux niveaux du modèle, donne les résultats espérés. On montrera les premiers résultats de l'utilisation dans IFS de cette nouvelle formulation de l'EIS-entropique.



Amélioration des nuages bas dans ARPEGE-Climat.

O. Geoffroy

Modifications dans le schéma de convection peu profonde d'AROME pour la représentation des nuages bas (cumulus et stratocumulus) dans ARPEGE-Climat. Validation en 1D et en 3D (mode amip). Tests préliminaires avec un schéma de downdrafts



Approche physique de la représentation des erreurs-modèle en prévision d'ensemble : application à la convection peu profonde.

A. Fleury, F. Bouttier, F. Couvreux

L'incertitude associée aux paramétrisations physiques des modèles de prévision numérique du temps est une des sources d'"erreurs-modèle" que les systèmes de prévision d'ensemble cherchent à représenter. Pour cela, ils utilisent des méthodes de perturbations stochastiques, qui consistent à introduire du bruit à certaines étapes de calcul du modèle. Dans le cas du système de prévision d'ensemble Arome de Météo-France (PEARO), ce sont les tendances produites par les schémas de paramétrisations physiques qui sont perturbées, au travers de la méthode SPPT (Stochastically Perturbed Parametrization Tendencies). Malgré l'efficacité de cette méthode, l'ensemble PEARO, comme la majorité des systèmes de prévision d'ensemble actuels, offre encore une représentation partielle des erreurs-modèle, ce qui motive la recherche de nouvelles méthodes de perturbation.

En s'inspirant de schémas de convection stochastique proposés dans la littérature, une méthode de perturbation du schéma de convection peu profonde de Pergaud et al. dans Arome est testée dans un cadre simplifié. Des simulations d'un cas de cumulus idéalisé utilisant une version uni-colonne du modèle Arome sont réalisées, pour lesquelles la fermeture du schéma de convection peu profonde est issue d'un tirage aléatoire. Les caractéristiques de la distribution statistique de ce tirage sont déduites d'une simulation LES du même cas d'étude. On regarde notamment les résultats obtenus en terme de dispersion de l'ensemble produit, qui est comparée à celle d'un ensemble utilisant SPPT.



Importance du transport convectif de couche limite pour la modélisation du climat.

F. Hourdin

L'impossibilité pour les formulations diffuses de la turbulence de représenter correctement le transport vertical dans la couche limite convective, qu'elle soit nuageuse ou non, est reconnue depuis les débuts de la modélisation du climat. Cependant, il a longtemps été considéré que des réponses approchées ou partielles à ce problème comme l'utilisation de longueurs de mélange non locales ou l'ajout d'un contre gradient dans le calcul des flux turbulents pouvaient suffire pour la prévision du temps ou la modélisation du climat. L'introduction dans le modèle atmosphérique LMDZ du "modèle du thermique", représentation en flux de masse des structures organisées de cette couche limite convective, a révélé l'importance d'une bonne paramétrisation de ce transport pour la bonne représentation de nombreux processus météorologiques ou climatiques: représentation des cumulus, contrôle du déclenchement de la convection orageuse, assèchement de la couche limite de surface, contrôle de l'entraînement d'air troposphérique en sommet de couche limite, contrôle des biais de températures océaniques dans les modèles couplés, transport vertical de quantité de mouvement, transport de traceurs, soulèvement de poussières. L'exposé visera à synthétiser ce que nous avons compris, grâce au modèle du thermique, du fonctionnement de la couche limite convective et de son rôle dans le système climatique



Caractérisation orientée-objet des structures cohérentes de couches limites dans des simulations haute-résolution.

F. Brient (1), F. Couvreur (2), R. Honnert (2), C. Rio(2)

(1) LMD/IPSL, Sorbonne Université, Paris, France, (2) CNRM/CNRS, Toulouse, France

Une méthodologie a récemment été proposée pour caractériser les structures cohérentes dans des simulations aux tourbillons résolus (LES). Basée sur deux traceurs passifs émis respectivement à la surface et au sommet des nuages, l'approche orientée-objet permet de caractériser individuellement et de manière tridimensionnelle les panaches cohérents dans la couche limite. Cette méthode, appliquée à une simulation reproduisant le cycle diurne d'une couche limite de stratocumulus océanique, a montré que ces structures cohérentes couvrent qu'une petite fraction du domaine mais contribuent significativement aux transports turbulents de chaleur et d'humidité (Brient et. al 19). De plus, nous avons montré que les panaches descendants contribuent autant aux transports que les panaches ascendants. Cela suggère qu'une paramétrisation de descentes organisées aux échelles sous-maille semble nécessaire pour représenter les transports dans les modèles de climat pour des situations de stratocumulus.

Dans cette nouvelle étude, nous caractériserons les structures cohérentes ascendantes et descendantes pour diverses conditions de couches limites convectives. Dans un premier temps, nous utilisons le modèle Méso-NH pour reproduire différentes couches limites: conditions de ciel clair (AYOTTE, IHOP), cumulus océaniques (BOMEX, RICO), cumulus continentaux (ARMCu) et transitions St-to-Cu (ASTEX, CONSTRAIN). En appliquant l'approche objet, cette diversité de simulations nous permettra de quantifier l'évolution des contributions respectives des structures ascendantes et descendantes.

Grâce à l'utilisation d'un troisième traceur passif émis au-dessus de la base des nuages, nous nous focaliserons particulièrement sur les structures descendantes entraînées dans la couche sous-nuageuse. Ceci nous permettra de quantifier l'importance des structures descendantes et de mieux comprendre l'importance relative des différents processus physiques contrôlant le déclenchement de ces structures: mélange de masses d'air de différentes densités (buoyancy reversal), divergence au sommet des structures ascendantes (cellules convectives)... Des perspectives sur l'analyse des organisations spatiales nuageuses et le développement de paramétrisations de couche limite seront discutées.



La campagne EUREC4A : premières leçons.

S. Bony

Mardi 9 mars 2021

Cycle de vie des systèmes convectifs

La future mission C3IEL (Cluster for Cloud evolution, Climate and Lightning) dédiée à l'étude des nuages convectifs.

C. Cornet, D. Rosenfeld, S. Aviad, R. Binet, P. Crebassol, P. Dandini, E. Defer, L. Fenouil, A. Frid, V. Holodovsky, A. Kaidar, G. Penide, R. Peroni, C. Pierangelo, C. Price, O. Pujol, D. Ricard, Y. Schechner, P. Tabary, Y. Yair

Le projet de mission spatiale franco-israélien C3IEL (Cluster for Cloud evolution, Climate and Lightning) est dédié aux nuages convectifs en phase de développement. La mission prévoit, sur une durée d'environ 200s, la mesure de la vitesse de développement des nuages convectifs, de l'activité électrique et du contenu en vapeur d'eau autour et au-dessus des nuages. La mission sera constituée d'un train de 2 à 3 nano satellites identiques. Chaque nano satellite embarquera un imageur visible à haute résolution spatiale (environ 20m), des imageurs proche-infrarouges pour la mesure du contenu en vapeur d'eau ainsi qu'un imageur et un photomètre pour la caractérisation de l'activité électrique. Le principe, les objectifs scientifiques et les observations prévues seront présentés.



Évaluation et amélioration de la microphysique d'AROME dans le cadre du givrage par petits cristaux de glace à partir de la campagne aéroportée HAIC.

J. Wurtz, D. Bouniol, B. Vié, C. Lac

Durant les dernières décennies, de multiples incidents de vols liés à la présence de fortes concentrations en petits cristaux de glace ont été révélés, en particulier dans les systèmes convectifs tropicaux de type Mesoscale Convective System. Ce type de givrage est un danger pour l'aéronautique, il est en effet très difficile pour les pilotes de percevoir et d'éviter ce type d'environnement à l'aide de leur instrumentation de bord. Ainsi, le givrage par cristaux de glace est devenu un thème de recherche pour améliorer l'assistance météorologique rendue à l'aéronautique.

Pour mieux comprendre le givrage par cristaux de glace dans les régions tropicales, Airbus a mené les campagnes de mesure High Altitude Ice Crystals (HAIC). Notre étude se concentre sur la campagne de 2015 qui a eu lieu en Guyane. Son objectif est de mieux comprendre le givrage par cristaux de glace dans les systèmes convectifs tropicaux tout en tentant de le relier à la dynamique du système ou son cycle de vie. De plus, à des fins d'application opérationnelle future, nous cherchons à évaluer et améliorer les capacités du modèle de fine échelle AROME à prévoir ce type de conditions de givrage par cristaux de glace.

En effet, le modèle à aire limitée AROME et sa résolution horizontale de 2.5 km en Outre-mer est capable de résoudre explicitement la dynamique des systèmes convectifs de méso-échelle. AROME est disponible avec deux schémas microphysiques : le schéma opérationnel à un moment ICE3 et le schéma à deux moments LIMA, toujours en phase de développement.

Cette campagne de mesures est une occasion unique d'évaluer les performances d'AROME et de ses deux schémas microphysiques pour la prévision du givrage par cristaux de glace.

Pour comparer AROME (dans sa version Guyane) et les observations in-situ nous procédons à une étude statistique sur les 17 vols de la campagne autour de Cayenne. En effet, il est difficile de faire une comparaison point à point à cause des erreurs de localisation des systèmes convectifs dans les prévisions numériques.

Les systèmes convectifs sont donc séparés en trois parties distinctes au regard de la dynamique (convective, stratiforme ou cirriforme) à l'aide d'une base de donnée d'observations satellites composée du canal 10,7 μm de GOES-13 et de canaux micro-ondes de la constellation GPM. L'analyse des observations permet de mettre en avant des tendances générales sur ces systèmes convectifs tropicaux comme une diminution de la concentration au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la partie convective ou que l'on monte en l'altitude, ou bien encore une forte corrélation entre contenu en glace et concentration en cristaux.

Une contextualisation analogue des systèmes simulés par AROME est faite en s'appuyant sur les vitesses verticales, le taux de précipitation et le contenu en glace intégré sur la colonne.

Les comparaisons effectuées mettent en avant des erreurs systématiques dans les deux schémas microphysiques. Il y a notamment des incohérences dans la paramétrisation de la neige. Par exemple, le diagnostic de concentration de la neige n'est pas en accord avec les observations car concentration en cristaux et contenu en glace y sont anti-corrélés.

Ainsi, des modifications des schémas microphysiques sont proposés en accord avec les observations de la campagne HAIC. Les résultats sont alors comparés avec ceux des schémas opérationnels et les observations afin de quantifier l'apport de ces modifications.



La convection profonde vue par le concept C2OMODO d'un tandem de radiomètres micro-ondes.

F. Auguste et J-P. Chaboureau

Sonder l'atmosphère depuis l'espace à l'aide de radiomètres est un moyen ardu pour améliorer nos connaissances sur la convection profonde. L'exploration des bandes d'absorption à 183 et 325 GHz est prometteuse en raison du rayonnement diffusé par les hydrométéores glacés. Nous étudions les propriétés de la convection profonde susceptibles d'être déduites du concept C2OMODO, un tandem de radiomètres à micro-ondes retardé de seulement 30 s. Deux événements de convection tropicale profonde (Hector le convecteur et un cas d'équilibre radiatif-convectif) sont simulés avec le modèle non hydrostatique Méso-NH, dont les sorties sont utilisées pour calculer les températures de brillance (BT) à l'aide du code de transfert radiatif RTTOV. Nous trouvons différentes relations entre la vitesse verticale de l'air, le contenu en glace et le flux de masse de glace et les différences temporelles en BT (delta BT). Ces relations dépendent de l'endroit où les delta BT sont effectuées, c'est-à-dire dans les cœurs convectifs ou leur environnement, en prenant un point de vue radiométrique. Les BT et delta BT dépendent fortement du contenu en glace. La pondération de ce dernier en fonction de l'altitude donne des résultats prometteurs. Le contenu en glace dépend de l'advection horizontale et verticale et des processus microphysiques. En examinant la convection profonde en général, nous trouvons que l'advection horizontale et les processus microphysiques sont les termes dominants qui expliquent le delta BT. Dans le cas spécifique du cœur des cellules convectives en phase de croissance, le delta BT peut se relier au flux de masse de glace et à la vitesse verticale. Un test en BT serait nécessaire pour identifier ces cas spécifiques.



Lien entre propriétés des nuages opaques et dynamique atmosphérique dans les observations et les simulations du climat présent dans les tropiques et l'impact sur les prédictions futures.

M. Perpina, V. Noel, H. Chepfer, R. Guzman, A. Feofilov

Les modèles climatiques prédisent un affaiblissement de la circulation atmosphérique tropicale, plus précisément un ralentissement des circulations de Hadley et Walker. De nombreux modèles climatiques prédisent que le réchauffement climatique aura un impact majeur sur les propriétés des nuages, y compris leur distribution géographique et verticale. Les rétroactions climatiques des nuages, qui amplifient le réchauffement lorsqu'elles sont positives, sont aujourd'hui la principale source d'incertitude des prévisions climatiques. Les nuages tropicaux jouent un rôle clé dans la redistribution de l'énergie solaire et leur évolution affectera probablement le climat. Par conséquent, il est essentiel de mieux comprendre comment les nuages tropicaux évolueront dans un climat en évolution. Parmi les propriétés des nuages, la distribution verticale est sensible au changement climatique. Des capteurs actifs intégrés aux satellites, tels que CALIOP (Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization), permettent d'obtenir une distribution verticale détaillée des nuages. Les mesures et l'étalonnage CALIOP sont plus stables dans le temps et plus précis que les détecteurs satellites de télédétection passive. Les observations CALIOP peuvent être simulées dans les conditions atmosphériques prédites par des modèles climatiques à l'aide de simulateurs lidar tels que COSP (CFMIP Observation Simulator Package). De plus, les propriétés du cloud déterminent directement l'effet radiatif du cloud (CRE). Comprendre comment les modèles prédisent l'évolution de la distribution verticale des nuages à l'avenir a des implications sur la façon dont les modèles prédisent que l'effet radiatif des nuages (CRE) au sommet de l'atmosphère (TOA) évoluera dans le futur.

Le but de notre étude est de comparer, dans un premier temps, à partir d'observations satellitaires (GOCCP) et de réanalyses (ERA5), nous établissons la relation entre circulation dynamique atmosphérique, propriétés des nuages opaques et TOA CRE. Ensuite, nous comparerons cette relation observée avec celle trouvée dans les simulations de modèles climatiques des conditions climatiques actuelles (CESM1 et IPSL-CM6). Enfin, nous identifierons comment les biais des modèles dans les conditions climatiques actuelles influencent la rétroaction des nuages entre les modèles dans un climat plus chaud.



Revisite des courants de densité: une nouvelle méthodologie pour leur détection et leur caractérisation dans les modèles haute résolution

N. Rochetin, C. Hohenegger, L. Touzé-Peiffer et N. Villefranque

In this paper, a conceptual model to define density currents is proposed. Based on theory, observations and modelling studies, we define convective density currents as 3D coherent structures with an anomalously cold core, an adjacent wind gust and two vertical layers: a well-mixed one near the surface and a stratified one above. With this definition, a methodology to identify and label individual density currents in convection permitting simulations is designed. The method is illustrated through its application to four distinct cloud scenes issued from a convection-permitting simulation. From this methodology, new dynamic, thermodynamic and geometric features related to the density currents imprint on the Planetary Boundary Layer are revealed. The method is found to be i) robust in time, ii)

relevant in distinct convective regimes, iii) relevant in land and oceanic situations and iv) adapted to both Cloud Resolving Models and Large Eddy Simulations. It also provides proxies such as the number, the spatial coverage, the mean radius and the mean velocity of density currents, from which a detailed analysis of their role in convection life-cycle and spatial organization could be performed in the near future.



Comment la convection et son organisation affecte-t-elle la composition isotopique de l'eau?

C. Risi, C. Muller, P. Blossey, F. Vimeux

Le but de ce travail est de comprendre comment la convection affecte la composition isotopique de l'eau, c'est-à-dire la proportion relative des isotopes lourds (ex: HDO) et légers (H₂O). Les motivations sont :

- 1) mieux interpréter les archives paléo climatiques de composition isotopique de précipitation ;
- 2) évaluer la valeur ajoutée des mesures isotopiques pour l'étude des processus convectifs.

Notre approche est basée sur:

- 1) des observations, in-situ ou satellites, de composition isotopique, précipitation et organisation convective ;
- 2) des simulations avec des cloud-resolving models, en équilibre radiatif-convectif sur océan, avec ou sans ascendance ou subsidence de grande échelle, permettant de simuler différents états d'organisation de la convection: des cumulonimbi isolés, des lignes de grains (avec cisaillement de vent) ou des cyclones (avec rotation) ;
- 3) des modèles analytiques de bilans d'eau et d'isotopes.

Nos résultats clés sont:

- 1) Tandis que l'humidité relative peut être comprise au premier ordre par des considérations à chaque altitude, les isotopes de l'eau intègrent les processus verticalement. Ainsi, la composition isotopique de la vapeur d'eau dans la couche sous-nuageuse est cruciale pour comprendre la composition de la pluie et de la vapeur partout dans la troposphère.
- 2) Les panaches ascendants, en se situant préférentiellement dans les zones humides et enrichies du domaine, contribuent 2 fois plus que les panaches descendants à l'assèchement et à l'appauvrissement en isotopes lourds de la couche sous-nuageuse.
- 3) Plus la convection est intense, plus elle appauvrit la vapeur d'eau en moyenne sur le domaine. Ceci s'explique principalement par l'évaporation de la pluie, la fonte de la neige et l'humidité de l'air entraîné dans les nuages.
- 4) Quand la convection s'organise à méso-échelle, elle crée localement des régions très appauvries en isotopes lourds par le biais de l'évaporation de la pluie et la fonte de la neige. Mais en moyenne sur un grand domaine, pour une précipitation donnée, la convection organisée humidifie et appauvrit moins efficacement la troposphère que des cumulonimbi isolés.



Bilan sur les tropiques de l'hydratation de la stratosphère par la convection très profonde.

T. Dauhut et C. Hohenegger

La convection très profonde atteint la stratosphère et l'hydrate, mais sa contribution au bilan d'eau de la stratosphère reste incertain. L'humidification de la basse stratosphère tropicale entre le 1er août et le 9 septembre 2016 est analysée à partir de la simulation de l'atmosphère globale réalisée avec le modèle ICON (ICOsahedral Non-hydrostatic model) et une résolution de 2,5 km. La décomposition du bilan de vapeur d'eau indique que cette humidification est le résultat combiné du transport d'humidité depuis la troposphère et des tendances liées à la microphysique et au mélange, en partie compensé par l'advection horizontale d'humidité vers les latitudes plus élevées. Les systèmes convectifs très profonds, explicitement représentés, sont identifiés grâce à leur signature dans le rayonnement infra-rouge vers l'espace. Le bilan de vapeur d'eau révèle que le transport vertical, la sublimation et le mélange à leur sommet contribuent ensemble à 16 % de l'apport en vapeur d'eau dans la basse stratosphère tropicale.



Impact de la convection profonde sur le bilan de glace dans la TTL pendant un épisode MJO au-dessus de l'océan Indien

I. Dion et J.P. Chaboureau

La couche de tropopause tropicale (TTL) située entre 14 et 18 km d'altitude est une zone complexe dans laquelle ont lieu des échanges de masses d'air entre la troposphère et la stratosphère. Son contenu en vapeur d'eau et en glace est déterminante pour l'évolution du climat du fait de leur effet radiatif et pour la couche d'ozone via le transport de l'eau et sa transformation chimique dans la stratosphère.

Dans cette étude, l'impact de l'activité convective profonde sur le bilan hydrique dans la TTL est étudié lors du passage d'un épisode d'oscillation de Madden Julian (MJO), en novembre 2011, au-dessus de l'océan Indien oriental. Pour cela, la phase active de la MJO, composée d'une forte activité convective est comparée à sa phase supprimée, composée d'une activité convective inhibée.

L'activité convective est analysée à partir du produit TRMM 3B42 de précipitation tropicale et d'indicateurs de nuages convectifs atteignant la TTL et de percées nuageuses fournis par les observations Meteosat Second Generation. Le bilan hydrique dans la TTL est analysé à partir des mesures de température, de vapeur d'eau et de contenu en glace fournies par le sondeur à micro-ondes MLS. Une analyse comparative de ces données avec une simulation à haute résolution effectuée avec le modèle Méso-NH a montré la cohérence des différents jeux de données.

Plus particulièrement, les distributions du contenu en glace observées et simulées ont été montrées exponentielles et uni-modales à trois niveaux de la TTL, de 146 à 82 hPa. L'activité convective ainsi que la glace dans la TTL ont été montrées maximales l'après-midi durant la phase active de la MJO, et la nuit et le matin durant la phase supprimée de la MJO. L'impact des processus sur le bilan hydrique a été détaillé à l'aide du modèle et a montré que le bilan du contenu en glace dans la TTL est principalement piloté par deux termes : l'advection comme source et la sédimentation comme puits. En phase active de la MJO, l'advection domine tandis qu'en phase supprimée, la sédimentation est prépondérante.



Auto-agrégation de la convection dans CNRM-CM6 en RCE : modulation de la circulation grande-échelle en fonction de la SST et rôle du cycle diurne.

D. Coppin, R. Roehrig

La convection atmosphérique tropicale s'organise à différentes échelles spatio-temporelles, sous l'effet de processus variés. On s'intéresse ici au processus d'auto-agrégation de la convection qui apparaît dans le cadre de l'Équilibre Radiatif-Convectif dans le modèle de climat CNRM-CM6. Ce processus traduit la capacité de la convection tropicale à se regrouper spontanément malgré un forçage et des conditions aux limites homogènes.

Nous présentons ici des simulations pour 4 températures de surface océanique (SST) différentes (295K, 300K, 302K et 305K), analysons les mécanismes d'agrégation en jeu, notamment la manière dont ils dépendent de la SST. En particulier, l'auto-agrégation est nettement plus lente pour les SSTs les plus chaudes, en lien avec un changement progressif de la circulation grande-échelle observé entre les différentes SSTs : la circulation devient de plus en plus bottom-heavy à mesure que la SST augmente, induisant une rétroaction sur l'organisation de la convection. Le rôle des effets radiatifs des nuages dans cette transition est analysé. Enfin, dans une perspective de se rapprocher de l'atmosphère réelle, le cycle diurne est ajouté aux simulations, et son impact sur l'auto-agrégation de la convection et sur ces circulations grande échelle est analysé.



Observation du cycle de vie des systèmes convectifs

R. Roca

Mercredi 10 mars 2021

Processus convectifs et extrêmes

Modélisation couplée des cyclones tropicaux du sud-ouest de l'océan Indien.

C. Barthe, S. Bielli, M. Claeys, J. Pianezze, J-P. Pinty, C. Thompson, et P. Tulet

Afin d'améliorer la modélisation des variations d'intensité et de structure des cyclones tropicaux, nous avons développé une configuration couplée océan-vagues-atmosphère pour la modélisation des systèmes convectifs du sud-ouest de l'océan Indien. Outre le couplage océan-atmosphère fondamental pour décrire la genèse et l'évolution des cyclones tropicaux, une attention particulière a été portée à la modélisation des vagues et des aérosols marins générés par les vagues et les vents forts, et à la représentation des cristaux de glace. En atmosphère propre, les aérosols marins sont la principale source de noyaux de condensation. Le couplage entre le schéma d'aérosol ORILAM et le schéma microphysique à 2 moments LIMA a été réalisé dans le modèle Meso-NH afin de représenter les interactions aérosol-microphysique-rayonnement au sein des cyclones tropicaux. Quant aux cristaux de glace, ils jouent un rôle essentiel dans la distribution de chaleur latente dans le système et dans les interactions nuage-rayonnement.

L'intérêt du couplage et sa modularité seront illustrés sur différents cas de cyclones tropicaux qui se sont développés dans le sud-ouest de l'océan Indien (Dumile, 2013 ; Bejisa, 2014 ; Fantala, 2016 ; Idai, 2019...).



Vers une amélioration du déclenchement de la convection dans un modèle climatique régional tenant compte des caractéristiques orographiques de petite échelle

M. Mazoyer, R. Roehrig, F. Duffourg, O. Nuissier

Most regional climate models (RCMs) face difficulties in representing a reasonable precipitation probability density function in the Mediterranean area and especially over land. Intensity of heavy precipitating events is underestimated and not well located by most state-of-the-art RCMs using parameterized convection (resolution from 10 to 42.5 km). Convective parameterization is a key point for the representation of such events and recently, the new physics implemented in the CNRM-RCM has been shown to remarkably improve it, even at a 50-km scale.

The present study seeks to further analyse the representation of heavy precipitating events by this new version of CNRM-RCM using a processes oriented approach. We focus on one particular event in the south-east of France, over the Cévennes. One hindcast experiment with the CNRM-RCM (42.5 km) is performed and compared with a simulation based on the convection-permitting model Méso-NH, which makes use of a very similar setup as CNRM-RCM hindcasts. The role of small-scale features of the regional topography and its interaction with the impinging large-scale flow in triggering the convective event are investigated and have been shown to be of importance. A diagnostic of pertinent subgrid-scale elements favourable to convection is suggested. This study provides guidance in the ongoing implementation and use of a specific parameterization dedicated to account for subgrid-scale orography in the triggering and closure conditions of the CNRM-RCM convection scheme.



Convection à mi-niveau dans une bande transporteuse d'air chaud.

N. Blanchard, F. Pantillon, J-P. Chaboureaud, J. Delanoë

Les bandes transporteuses d'air chaud (WCB) sont des courants d'air ascendants dans les tempêtes des moyennes latitudes. Elles transportent l'air chaud et humide des tropiques aux hautes latitudes et sont le lieu de la plupart des processus diabatiques nuageux. Ceux-ci modifient la dynamique d'altitude en injectant des anomalies négatives de tourbillon potentiel (PV) dans le flux de sortie des WCB qui renforcent le guide d'onde régissant la circulation générale. Leur représentation est une source d'erreurs de prévision en aval, en particulier en Europe. Alors que les WCB sont considérées comme des ascendances obliques lentes et continues, des études récentes ont révélé l'existence d'ascendances convectives rapides dans les WCB dont l'impact sur la dynamique d'altitude est encore débattu.

La réduction des incertitudes de prévision a motivé la campagne de mesure NAWDEX en Atlantique nord en automne 2016. Au cours de la campagne, la région d'ascendance et le flux de sortie de la WCB de la tempête Stalactite ont été observées par un radar Doppler aéroporté et des dropsondes. Ces observations sont reproduites par une simulation à convection explicite réalisée avec le modèle Méso-NH grâce à laquelle une analyse inédite combinant approches eulériennes et lagrangiennes a permis de caractériser la complexité des ascendances dans la WCB.

La région d'ascendance de la WCB est d'abord étudiée. Trois types d'ascendances convectives sont trouvées et se produisent de manière cohérente et organisée plutôt que sous forme de cellules isolées. Deux sont causés par la convection peu profonde liée à la dynamique du front froid et à celle d'un jet de basse couche. Le troisième est due à

la convection à mi niveau, située sur le bord ouest de la WCB entre le jet de basse couche et le courant-jet d'altitude. C'est cette dernière qui alimente la branche anticyclonique de la WCB.

Le flux de sortie de la WCB et son alimentation par la convection à mi niveau sont ensuite étudiés. Une simulation supplémentaire est réalisée pour laquelle les échanges de chaleur issus des processus nuageux sont coupés afin de mettre en avant leur impact sur la dynamique d'altitude. La simulation de référence montre que la convection à mi niveau crée diabatement des dipôles horizontaux de PV dont le pôle orienté en direction du courant-jet atteint des valeurs négatives. Ces dipôles de PV sont ensuite advectés par la dynamique de grande échelle et persistent dans le temps. Des bandes allongées de PV négatif se retrouvent ainsi dans le flux de sortie de la WCB dix heures après. La comparaison des deux simulations montre que ces bandes de PV négatif renforcent le gradient horizontal de PV à la tropopause, accélérant localement le courant-jet.

Les résultats montrent la complexité de la convection que l'on peut trouver dans une WCB. Ils suggèrent que la convection à mi niveau impacte la dynamique d'altitude et que sa mauvaise représentation dans les modèles de grande échelle pourrait expliquer en partie les erreurs de prévision en aval.



Étude numérique des rôles de l'ex-ouragan Leslie, de l'orographie et du refroidissement lié à l'évaporation des précipitations lors de l'épisode méditerranéen d'octobre 2018 dans l'Aude.

M. Mandement, O. Caumont

Dans le sud-est de la France, le littoral méditerranéen est régulièrement touché par des épisodes de fortes précipitations. Dans la nuit du 14 au 15 octobre 2018, un système convectif de méso échelle à régénération rétrograde a déversé près de 300 mm de pluie en seulement 11 h sur le département de l'Aude. À l'échelle synoptique, l'activité convective a été pilotée par une dépression située en Méditerranée formée à partir des vestiges de l'ouragan Leslie. À méso échelle, les cellules convectives se sont concentrées à l'ouest d'un front froid quasi-stationnaire et en aval des reliefs de l'est des Pyrénées. Pour comprendre les rôles des vestiges de l'ouragan Leslie, de l'orographie et du refroidissement lié à l'évaporation des précipitations dans les processus qui ont engendré de telles précipitations, des simulations numériques ont été réalisées avec le modèle Meso-NH. Le réalisme des simulations aux premiers mètres de l'atmosphère a été évalué grâce à des analyses combinant des observations de stations conventionnelles et de stations personnelles connectées.

Les simulations réalisées montrent que dans une première partie de l'événement, les parcelles d'air conditionnellement instables soulevées dans les ascendances convectives les plus vigoureuses sont majoritairement originaires de Méditerranée tandis que dans une seconde partie, un nombre croissant de ces parcelles d'air viennent des vestiges de Leslie. Sur l'ensemble de l'événement, les masses d'air de Méditerranée apparaissent être la source principale d'humidité. Néanmoins, Leslie a contribué à humidifier de façon substantielle la moyenne troposphère au-dessus du département de l'Aude, diminuant l'évaporation dans la zone. De ce fait, le refroidissement lié à l'évaporation des précipitations ne semble pas jouer de rôle dans la stationnarité du front froid. Concernant les mécanismes de stationnarité des précipitations, la plupart des parcelles d'air situées à l'intérieur des ascendances les plus vigoureuses sont soulevées au niveau du front froid montrant le rôle majeur du front comme forçage de l'activité convective. D'autre part, en aval du massif des Albères, montagnes de l'est des Pyrénées bordant la Méditerranée, des cellules formées par forçage orographique semblent se maintenir grâce à de la convergence de basses couches sous le vent des reliefs, à l'action d'ondes orographiques et à un cisaillement vertical de vent favorable. Lorsque le massif des Albères est artificiellement aplati dans une simulation, on constate une réduction substantielle des précipitations en aval du massif. Par conséquent, la localisation des précipitations exceptionnelles de cet épisode semble en premier lieu liée à la position du front froid quasi-stationnaire, et en second lieu liée à la position de bandes convectives en aval de l'orographie.



Influence de la stratification en sel sur les variables de surface de l'océan Atlantique tropical.

M. Gévaudan, J. Jouanno, F. Durand, G. Morvan, L. Renault, G. Samson

L'océan Atlantique tropical reçoit une importante quantité d'eau douce provenant de fleuves et de précipitations dans la zone de convergence intertropicale. Il en résulte une forte stratification en sel qui peut influencer le mélange vertical, et donc la température de surface de la mer (TSM) et les flux air-mer. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de la stratification en sel sur les variables de surface de l'Atlantique tropical. Pour ce faire, nous avons comparé des simulations régionales couplées océan-atmosphère au 1/4° pour lesquelles la contribution de la stratification en sel dans le schéma de mélange vertical est incluse ou supprimée. L'analyse révèle que la forte stratification en sel dans l'Atlantique tropical du nord-ouest induit une augmentation significative de la TSM (0,2°C-0,5°C) et des précipitations (+20%) en été, malgré une rétroaction atmosphérique négative. En effet, l'atmosphère atténue la réponse océanique par la biais d'une augmentation de la perte de chaleur latente et d'une réduction du

rayonnement solaire atteignant la surface de l'océan. En hiver, les impacts de la stratification en sel sont beaucoup plus faibles, très probablement en raison d'une couche de mélange plus profonde en cette saison. Dans la région équatoriale, nous avons constaté que la stratification en sel induit une remontée de la thermocline tout au long de l'année, ce qui renforce la langue d'eau froide en été. Le concept de couche barrière n'a pas été identifié comme pertinent pour expliquer la réponse de la TSM à la stratification en sel dans notre région d'intérêt. En revanche, l'intensité de la stratification en sel des couches superficielles de l'océan est apparu comme un proxy pertinent de la sensibilité de la TSM.



Convection et climat : une approche orientée objet pour étudier les événements fortement précipitants méditerranéens simulés par CNRM-AROME.

C. Caillaud, S. Somot, A. Alias, H. Douville, I. Bernard-Bouissières

Chaque automne, le sud-est de la France est affecté par des événements fortement précipitants qui peuvent apporter des cumuls de précipitations dépassant les 100 mm en une journée et parfois en seulement quelques heures. Pour prévoir correctement ces phénomènes convectifs souvent quasi-stationnaires, des modèles et résolvant explicitement la convection profonde ont été mis en place, comme le modèle AROME utilisé en prévision numérique du temps à Météo-France depuis 2008. Grâce à l'augmentation récente de la puissance de calcul, il est maintenant possible d'utiliser ce modèle en mode climat et d'effectuer des simulations longues (de 20 à presque 40 ans) avec une résolution horizontale de 2.5 km et sur un domaine pan-Alpin subissant l'influence d'épisodes méditerranéens. L'étude d'une simulation d'évaluation de CNRM-AROME de 38 ans et sa comparaison à son modèle forceur CNRM-ALADIN (12.5 km) et aux observations à haute résolution met en évidence une forte valeur ajoutée pour les statistiques classiquement analysées en climat. Cela permet de mettre en place une approche lagrangienne pour la détection et le suivi de cellules précipitantes intenses (supérieures à 10mm/h) pour lesquelles on peut définir différentes caractéristiques (nombre, durée, intensité, surface, vitesse, sévérité...). Nous évaluerons dans un premier temps la capacité de CNRM-AROME à simuler ces événements méditerranéens (Caillaud et al. 2021). Puis, nous nous intéresserons aux changements possibles de ces caractéristiques en comparant deux simulations de 20 ans forcées par le modèle global de climat CNRM-CM5 (CMIP5, RCP8.5), l'une représentant le climat présent et l'autre la fin du 21ème siècle.



Vague de chaleur et paramétrisation de la convection : cas d'étude Sahélien.

M. Tomasini, F. Guichard, F. Couvreur, J. Barbier, R. Roehrig

Dans le cadre du projet ACASIS (Alerte aux Canicules au Sahel et leurs Impacts sur la Santé), nous avons simulé, avec le modèle Méso-NH, dix jours d'un cas de vague de chaleur au Sahel, en Afrique de l'Ouest. Cet épisode de températures nocturnes et diurnes extrêmes aux conséquences sociétales importantes (doublement de la mortalité dans de nombreux pays Sahéliens) s'inscrit dans une tendance au réchauffement depuis plusieurs décennies plus forte au printemps (2° en 60 ans) et plus forte que la tendance mondiale moyenne.

Deux simulations à la résolution horizontale de 5 km ont été réalisées, l'une activant le schéma de convection profonde de Méso-NH, et la seconde le désactivant, supposant donc que la convection profonde est explicitement résolue. Dans un premier temps, nous avons évalué la capacité de ces deux simulations à représenter de nombreuses caractéristiques de la vague de chaleur : température et humidité de la couche limite atmosphérique, bilan d'énergie à la surface, précipitation (ou absence de précipitations). Les données de référence sont issues des stations météorologiques automatiques, SYNOP, de radiosondages, GPS (eau précipitable), AERONET, mais aussi d'estimations fondées sur les observations spatiales (aérosols, précipitations, flux radiatifs). Enfin les mesures uniques du site d'Agoufou, au Mali, permettent une caractérisation fine des différents flux intervenant dans le bilan d'énergie à la surface.

La simulation avec convection profonde paramétrée génère des précipitations non observées (trop au nord, trop fortes et se déclenchant trop tôt dans l'après-midi). L'analyse des bilans thermodynamique et dynamique montre la façon dont ce biais de précipitations impacte les basses couches avec un refroidissement et une humidification générés par évaporation. Ce biais froid, combiné au creusement diurne moins fort à cause d'un déclenchement de la convection prématurée, entraîne une surpression favorisant la branche nord du jet nocturne de basses couches au détriment de sa branche sud (les hautes pressions synoptiques se situant au sud et les basses pressions au niveau du Front Inter-Tropical vers le centre de notre domaine). Aussi, de l'air « froid » et humide est advecté de plus en plus au nord se traduisant par une baisse trop importante des températures de basses couches.

La simulation sans convection profonde paramétrée (dans laquelle les précipitations sont moindres) est en bien meilleur accord avec les observations. L'augmentation de vapeur d'eau par le nord, et par le sud-ouest liée à une poussée de mousson, est en partie à l'origine de l'augmentation des températures, surtout des minima par

augmentation du flux radiatif descendant dans l'infrarouge (effet de serre). Cette tendance au réchauffement est reproduite même si des biais systématiques subsistent. Ils font intervenir notamment les aérosols désertiques, plus nombreux que la normale au cours du printemps étudié et une sous-évaluation des épisodes nuageux. En conclusion, une résolution spatiale permettant une représentation explicite de la convection profonde peut s'avérer importante pour simuler correctement un épisode de vague de chaleur. Elle permet en effet d'éliminer un certain nombre de défauts des paramétrisations actuelles, et qui sont critiques pour cette région du Sahel : déclenchement intempestif avec précipitations importantes en surface, cycle diurne nettement déphasé par rapport aux observations notamment au sud de l'évènement de vague de chaleur.



De notre compréhension de la convection à sa paramétrisation : quels processus prendre en compte ?

J-P. Lafore

À l'origine le développement des paramétrisations de la convection s'est appuyé sur des concepts tentant de relier l'activité convective aux caractéristiques de l'écoulement de grande échelle (quasi-équilibre, CISK, WISHE...) et sur des analogues (bulle, plume...). Cette approche fait en grande partie abstraction de la physique de la convection et continue à être utilisée par de nombreux schémas de convection depuis plusieurs décennies. Cependant entre temps nous avons acquis une bonne compréhension de la physique de la convection et de son organisation ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour développer et améliorer la paramétrisation de la convection, source importante d'incertitudes des modèles globaux de prévision du temps et du climat.

Cette présentation résume notre compréhension actuelle de la convection et de son organisation. Quatre types de processus gouvernant l'activité convective sont ainsi identifiés, associés aux ascendances, subsidences et courants de densité, au cisaillement de vent et aux forçages externes. Ces processus sont ensuite examinés pour déterminer ceux à prendre en compte en priorité dans le développement de nouvelles paramétrisations. Leur représentation permet de tenir compte de l'histoire de la convection expliquant son organisation et son cycle de vie, soit l'introduction d'une mémoire associée aux processus internes à la convection dont l'impact sur l'activité convective se superpose à celui des forçages externes de grande échelle.

Cette nouvelle approche a émergé il y a une dizaine d'années, mais l'amélioration apportée par ces schémas convectifs plus complexes n'est pas encore pleinement établie. Le défi reste à élaborer une méthodologie pour régler et valider ces schémas au sein de modèles aux multiples interactions, et présentant de forts mécanismes de compensation. La représentation des ondes équatoriales et de la variabilité intra-saisonnière, siège de fortes interactions avec la convection, est une voie pour comprendre l'impact des schémas de convection et les améliorer.

Jeudi 11 mars 2021

La convection à l'œuvre dans les modèles

Interaction entre la convection, l'assimilation de données et d'autres paramétrisations physiques dans Arpege.

Y. Bouteloup

Le modèle global Arpege dont la résolution varie de 5km sur la France à 24 km à l'antipode a besoin d'une paramétrisation de la convection profonde sous-maille. Le schéma de convection profonde du modèle IFS a été interfacé dans Arpege et de nombreuses expériences ont été réalisées. Nous décrirons brièvement ce schéma puis nous montrerons les impacts de ce changement directement dans la prévision mais également de manière indirecte via le processus d'assimilation de données 4DVAR.

Nous montrerons également comment les impacts d'autres modifications du modèle par exemple le rayonnement ou le calcul des flux de surface océanique sont dépendants du choix du schéma de convection profonde.



Impact du changement de schéma de convection profonde sur le système d'assimilation de données 4D-Var ARPEGE.

A. Hubans, C. Loo, P. Marquet, Y. Bouteloup

Dans le contexte de la prévision numérique du temps (PNT) opérationnelle, les modèles peuvent être améliorés d'une version à l'autre grâce au changement de nombreuses composantes individuelles (discrétisations spatiales et temporelles, dynamique, paramétrisations physiques, assimilation). Ainsi, l'évaluation de ces composantes est cruciale. En effet, les modèles ont un fonctionnement cyclique, avec une alternance de la partie dynamique et de l'appel aux paramétrisations physiques au cours d'un même pas de temps. De plus, il y a une alternance des séquences de prévisions et d'analyse au cours d'un cycle d'assimilation. Ces cycles et alternances sont responsables de boucles de rétroactions entre les différents éléments du modèle. Ainsi, évaluer l'impact du changement d'une paramétrisation physique donnée en adaptation dynamique (sans refaire une assimilation) n'est pas suffisant, et des simulations du système complet avec assimilation de données sont nécessaires, et ceci sur une longue période.

La présente étude est centrée sur l'évaluation du remplacement de la paramétrisation de la convection profonde. On considère dans le modèle ARPEGE : la, dans lequel la paramétrisation opérationnelle "de Bougeault" de la convection profonde a été remplacée par celle du modèle IFS (de "Tiedtke-Bechtold"). L'impact direct de cette paramétrisation a d'abord été évaluée via une étude en adaptation dynamique. Le rapprochement avec le modèle du centre européen a permis de calculer, avec un découpage similaire paramétrisations par paramétrisations, les tendances de la physique. L'étude de ces tendances a permis une inter-comparaison précise et nouvelle des paramétrisations d'ARPEGE et d'IFS. L'impact indirect a ensuite été évalué avec l'utilisation de l'assimilation 4D-Var ARPEGE, où on utilise les analyses produites avec chacune des paramétrisations et où on compare l'amplitude de ce changement aux erreurs d'analyses elles-mêmes. Ces deux études ont montré un impact significatif du changement de paramétrisation de la convection profonde, à la fois sur les tendances et sur les analyses, ce qui a permis de mieux comprendre le rôle de la paramétrisation de la convection profonde dans l'erreur d'analyse.



Impact des schémas de convection profonde du modèle Arpege sur une bande transporteuse d'air chaud lors de la POI6 de NAWDEX.

M. Wimmer, G. Rivière, P. Arbogast, J. Delanoë, C. Labadie, J-M. Piriou, Q. Cazenave, J. Pelon

L'objectif général de notre étude est de mieux comprendre l'impact des schémas de convection profonde des modèles de prévision numérique globaux, sur la dynamique des bandes transporteuses d'air chaud ainsi que sur le courant jet d'altitude. L'étude porte sur le cas particulier de la dépression Stalactite (29 sep-3 Oct 2016), qui s'est formée sur l'Atlantique Nord et dont l'évolution est liée à un changement de régime de temps vers un blocage scandinave. Cette dépression a pu être échantillonnée à 2 reprises par le Falcon 20 de SAFIRE durant la campagne de mesure NAWDEX (PIO6).

Pour comprendre l'impact des schémas de convection profonde sur la dynamique de cette dépression, trois simulations de la phase mature de la dépression avec le modèle global de Météo-France ARPEGE ont été réalisées : l'une avec le schéma de convection profonde de Bougeault (1985) activé, l'autre avec le schéma de Piriou et al. (2007), nommé PCMT (Prognostic Condensates Microphysics and Transport) et une troisième sans schéma de convection activé.

Afin de mieux cerner les phénomènes diabatiques au sein de la bande transporteuse d'air chaud responsables des différences entre les simulations, des trajectoires lagrangiennes ont étéensemencées dans le secteur chaud de la

dépression. Seules celles ayant une ascendance suffisante ont été retenues pour représenter la bande transporteuse d'air chaud.

Tout au long de ces trajectoires lagrangiennes, des différences notoires de chauffage, d'ascendance et de modification de la vorticité potentielle sont observées. Ainsi, la simulation avec le schéma de Bougeault produit une bande transporteuse qui monte plus tardivement, plus lentement mais plus haut qu'avec les deux autres simulations. Ainsi ce schéma tend à favoriser une anticyclonisation d'altitude ayant une conséquence notable sur le courant-jet.

Une comparaison avec les données aéroportées et les réanalyses ERA5 permet de mettre en évidence la qualité de représentation de ce courant-jet par les trois simulations. Ainsi, le schéma de Bougeault semble plus cohérent avec les réanalyses et mesures in-situ que PCMT ou la simulation sans convection paramétrée dans les premières 24 heures de simulation. En revanche, l'anticyclonisation d'altitude avec le schéma de Bougeault est trop active et aboutit à une moins bonne représentation du courant-jet que les deux autres simulations à des échéances plus longues.



Impact d'une augmentation de la résolution verticale dans la réponse du schéma de convection PCMT; de la simulation 1D   la prévision saisonnière globale.

J-F. Gu r my

La détermination du profil convectif de la maille est un élément essentiel du schéma de convection PCMT, permettant le calcul à tous niveaux verticaux de la flottabilité qui est elle-même à la base de la formulation de tous les termes donnant la tendance convective calculée par ce schéma. Le profil vertical convectif est obtenu par élévation adiabatique sèche et éventuellement saturée d'une particule d'air en présence d'entraînement d'air environnemental. Ces calculs étant effectués de manière discrétisée en considérant la résolution verticale de la grille, cette résolution aura une influence sur le profil obtenu, notamment de part l'impact sur le positionnement de la base de l'ascendance et éventuellement du niveau de condensation; l'influence sur le profil impactera directement la CAPE résultante (définissant l'intensité convective). L'impact d'une augmentation de la résolution verticale de 91 à 137 niveaux sera illustrée au cours de l'exposé. En premier lieu, seront présentés des résultats issus d'une simulation 1D d'un cas de convection profonde précipitante. Dans un deuxième temps, sera illustré l'impact sur le climat global présent grâce à des simulations couplées globales. Enfin, des résultats de prévision saisonnière globale, thématique cible des tentatives présentes d'amélioration de la performance de modélisation, seront présentés en termes de biais et de corrélation.



Un aperçu simplistique de la convection et des ondes dans l'IFS et dans l'océan Indien.

P. Bechtold

D'abord nous allons passer en revue de façon qualitative et quantitative les différents types d'ondes dans les régions tropicales et dans l'océan Indien en particulier. Aussi on discutera de l'aptitude du modèle IFS du CEPMMT (utilisant la convection paramétrée)   représenter ces ondes en mode analyse et mode prévision courte, mensuelle et saisonnière. Enfin, une discussion courte sur le bilan énergétique de ces ondes, leur composition spectrale, leurs anomalies de température et de vent associées ainsi que leur propagation verticale, conclura cette première partie.

Dans la deuxième partie nous discuterons du problème majeur dans la représentation de la convection dans IFS à savoir la maintenance et la propagation des systèmes convectifs   méso échelle nocturnes. L'Afrique Sahélienne au mois d'Août nous servira de champ expérimental. Nous proposerons aussi quelques solutions simples pour la paramétrisation liées à la prise en compte des effets advectifs (notamment de l'humidité).

Vendredi 12 mars 2021

Paramétrisation

Lien entre vitesse verticale à mésoéchelle et convection.

J-M. Piriou, D. Ricard, R. Honnert

La convection profonde à micro échelle (moins de 2 km sur l'horizontale) est renforcée lorsque l'air est ascendant à méso échelle (200 km horizontalement) pour des raisons non convectives, tels les fronts des latitudes tempérées ou les ondes tropicales. Afin de mieux comprendre et prévoir la relation quantitative entre ascendance à méso échelle et vitesse verticale dans les ascendances convectives, un travail de modélisation et de diagnostics est en cours dans le modèle Méso-NH (simulation explicite d'un cas idéalisé) et dans ARPEGE sur cas réels (paramétrisation de la convection).



Comparer la mémoire de la convection dans différents schémas en fixant l'état de grande échelle

M. Colin, S. Sherwood, Y-L. Hwong

Convective parameterizations necessarily have to reduce the number of degrees of freedom of the convecting atmosphere, which can lead to errors. Recent studies advocate for introducing an additional degree of freedom as a new prognostic variables for unresolved atmospheric structures ("microstate memory"), adding on the more traditional large-scale influences on convection.

To test the ability of different convective schemes to capture such convective memory, we systematically analyse various convective schemes in a single-column situation, with LMDZ and WRF as convective playgrounds. We compare the scheme responses in a setup similar to radiative-convective equilibrium but with an imposed fixed large-scale state, such that only the unresolved state can vary. Using analogous cloud-resolving simulations (which showed exponential convective evolution) as a reference, we hope to find out which schemes contain memory, and to detect clues on which prognostic variables bring the most accurate form of convective memory. This method could be an additional 1D test to guide convective parameterisation development.

More fundamentally, this fixed large-scale state setup aims to identify to what extent the behaviour of convection is determined by the thermodynamic state variables, by fixing them to see how convection varies. Results indicate that one must use some other predictor (which in principle could be vertical velocity, or a new prognostic variable) to help predict convective activity.



Tuning de la convection du 1D au 3D.

S. Nguyen, C. Rio, M. Khodri, C. Muller, I. Musat, A. Idelkadi, N. Lebas, F. Hourdin

Nous présenterons un travail visant à améliorer la représentation de la convection dans le modèle LMDZ en ajustant les paramètres libres des paramétrisations.

Pour ce faire nous utilisons les outils UQ (Uncertainty Quantification) développés dans le cadre de l'ANR High Tune et qui utilisent la construction de meta modèles et une réduction de l'espace des paramètres acceptables en utilisant l'approche du "history matching" ou "iterative refocusing".

Cette méthode est appliquée à la fois en mode unicolonne sur les cas ARMCU, RICO, SANDU en comparant les résultats avec des résultats de simulations LES réalisées par Caroline Muller avec le modèle SAM et en mode global.



Présentation et tuning d'une paramétrisation de recouvrement nuageux pour l'évaporation des précipitations dans LMDz

L. Touze-Peiffer

Nous présenterons l'introduction d'un nouveau schéma dans LMDz, inspiré de Jakob & Klein (2000) destiné à prendre en compte le chevauchement des nuages dans la formation des précipitations. Dans ce schéma, à chaque niveau, le flux de précipitation est divisé en un flux de précipitations ciel clair et un flux de précipitations nuageuses, avec des fractions précipitantes correspondantes. Les précipitations nouvellement formées tombent à l'intérieur des nuages, ce qui augmente le flux de précipitations nuageuses. Par définition, ces précipitations nuageuses tombent dans l'air saturé, donc seul le flux de précipitations ciel clair s'évapore.

Nous décrirons plus en détail ce schéma, ainsi que les résultats obtenus grâce aux outils HighTune pour régler les paramètres de la version de LMDz comprenant ce nouveau schéma.



Les paramétrisations convectives dans LMDZ face à la compréhension des processus.

J-Y. Grandpeix

Dans le Modèle de Circulation Générale LMDZ la convection profonde est contrôlée par les processus sous-nuageux. Du coup la représentation de la convection profonde concerne plusieurs paramétrisations : le schéma convectif lui-même, le schéma de poches froides (représentant les courants de densité engendrés par les descentes insaturées issues de la convection profonde) et le schéma des thermiques (représentant la convection peu profonde). Ce sont ces deux dernières paramétrisations qui représentent les processus sous-nuageux qui contrôlent la convection.

Ce contrôle est effectué par l'intermédiaire de deux variables : l'énergie de soulèvement (ALE = Available Lifting Energy), exprimée en J/kg, détermine le déclenchement de la convection profonde (il y a déclenchement lorsque la ALE est plus grande que l'inhibition convective) ; la puissance de soulèvement (ALP = Available Lifting Power), exprimée en W/m², détermine l'intensité convective.

La philosophie générale du contrôle de la convection par les processus sous-nuageux et de la vision statistique qui lui est associée s'est construite progressivement au cours de développements en grande partie guidés par les analyses et les préconisations du CNRM : d'abord le choix et le réglage du schéma convectif de Kerry Emanuel, puis le développement d'une paramétrisation des poches froides, ce qui a mené à la conception du système Ale-Alp et, enfin, le développement d'un schéma de déclenchement stochastique grâce à l'analyse de la transition des cumulus vers la convection profonde dans des simulations des grands tourbillons. Il reste des manques manifestes au modèle actuel, comme la propagation des poches froides de maille en maille ou le traitement différencié de la diffusion turbulente entre l'intérieur et l'extérieur des poches ; ils font l'objet de nouveaux développements.