

Compte-rendu de la réunion « Nuages et précipitation » DEPHY2

des lundi 13 et mardi 14 Juin 2016 au LMD Jussieu, Paris ([voir le programme](#)).

Remarque : le texte contient les liens hypertextes renvoyant vers les présentations et articles concernés.



Résumé des réunions précédentes

Quelques ressources utiles extraites des précédentes réunions du projet DEPHY2 :

- Les [fiches descriptives](#) des différents modèles français ;
- Les [exposés de synthèse](#) de Banyuls, dont celui d'Yves sur les « [Nuages et la précipitation](#) » ;
- La [présentation du thème « Microphysique »](#) de Banyuls et la [restitution de l'atelier](#).

Table des matières

| | |
|--|------------|
| Synthèse des différentes sessions | p1 |
| Synthèse des discussions | p9 |
| Actions communes potentielles identifiées | p10 |
| Liste des participants | p11 |

Synthèse des différentes sessions

[Nuages froids et de phase mixte \(par J-B Madeleine et E. Bazile\)](#)

[Wolfram Wobrock \(LaMP\) :](#)

- Résultats dans différentes conditions du modèle DESCAM (DEtailed SCAvenging Model) et comparaison aux observations (campagnes ASTAR 2007 et [HAIC, 2012, High Altitude Ice Crystals](#)) ;
- Très fort contrôle par RH (dynamique et convergence d'humidité) pour la microphysique ;
- Sous pas de temps nécessaire de l'ordre de 0.01 seconde pour la microphysique de croissance (avec 3 à 5 secondes pour la dynamique) ;
- Tous les processus sont basés sur les équations physiques de [Flossmann et al., 1985](#) et [Flossmann & Wobrock 2010](#) sauf la nucléation de la glace (paramétrisation de [Koop et al., 2000](#) pour la nucléation homogène et de [Meyers et al., 1992](#) pour la nucléation hétérogène) ;
- Très bons résultats du modèle sur stratocumulus arctiques et convection profonde mais sous-estimation des petits cristaux (rôle du splintering ?) ;
- Souligne 2 incertitudes principales : la répartition liquide/glace et le traitement de la glace.

[Yves Bouteloup \(CNRM/GMAP\) :](#)

- Présentation de la microphysique d'ARPEGE, partie de [Lopez et al., 2002](#) et très développée depuis ;
- Schéma pronostique simple peu coûteux, mêmes formulations que ICE3, adapté pour Δt allant jusqu'à

- 1800s (autour de 900s dans ARPEGE-Climat);
- Deux appels au schéma pour les nuages grande-échelle et pour la convection profonde PCMT ;
- Ajout récent de la fonte/regel de la pluie et des graupels (neigé roulée, accréation de gouttelettes surfondues sur un cristal de glace) ;
- Cas 1D idéalisé stationnaire avec inversion de basse couche autour de 0°C pour tester la nouvelle paramétrisation (seule la microphysique évolue) → résultats préliminaires encourageants. Création de neige et graupel dans les premiers km.
- Poursuite de la fonte/regel de la pluie et réflexion sur l'appel du schéma microphysique depuis la convection profonde (notamment pour les faibles vitesses de chutes dans les ascendances).

Delphine Leroy (LaMP) :

- Rappels mécanismes nucléation homogène et hétérogène ;
- Distinction trois grandes classes de phases solides (vapor diffusion, riming, aggregation) ;
- Très bonnes mesures de la distribution en tailles, de l'eau condensée total (par isokinetic probe), du rapport de forme, de la densité par ajustement de la relation $m = \alpha D^{\beta}$ donnant masse=f(diamètre) ;
- Mesure difficile de l'humidité de fond et des phases liquides/solides ;
- Volonté de créer un jeu de données unique regroupant toutes les observations disponibles (voir slide 24) mais pas de recrutement possible pour l'instant malgré la labellisation de la Plateforme de Mesures Aéroportées (PMA) comme Instrument National (en 2008-2009) ;
- Progrès en imagerie des particules faits grâce à la [campagne HAIC](#) (High Altitude Ice Crystals).

Jean-Baptiste Madeleine (LMD) :

- L'Antarctique (et le transect Dumont D'Urville → Dôme C) est idéal pour observer tous les processus microphysiques froids depuis la côte jusqu'à l'intérieur du continent (d'environ 0°C à la côte à -60°C en hiver à Dôme C) ;
- Microphysique froide grande-échelle de LMDz 6 répartit les phases nuageuses selon une fraction de glace fonction de la température (ajustée sur [Doutriaux-Boucher & Quaas, 2004](#) et [Cesana & Chepfer, 2013](#)), précipite la phase solide par un flux de précipitation issu de [Zender & Kiehl, 1997](#) et [Heymsfield & Donner, 1990](#) et convertit le flux de précipitation liquide en neige en-dessous de 0°C (amélioration récente de Jean-Yves Grandpeix) ;
- Dôme C : Températures des premiers mètres de l'atmosphère mesurées sur le mât et comparées au modèle. Très grande sensibilité à la longueur de mélange du schéma de turbulence.
- Sursaturations (par rapport à la glace) fréquentes observées en bas et en haut du mât de 40 m → implémentation et validation de la sursaturation dans LMDz à venir.
- Mesures de précipitation par TPS (Total Precipitation Sensor) donnent des premiers résultats encourageants (mesure difficile car quelques cm de précipitation par an à Dôme C) ;
- Mesures de précipitation annuelle CloudSat et comparaison avec LMDz 6 guidé et MAR : bon accord entre les modèles et les observations mais un peu trop de précipitation dans LMDz 6 ;
- Mise en place en cours de simulations guidées sur Dumont D'Urville et Dôme C dans le cadre du [projet ANR APRES3](#). En cours : comparaisons systématiques des simulations LMDz aux observations de DDU et Dôme C. Amélioration de la paramétrisation du flux de précipitation solide.

Nuages bas et microphysique chaude (par J-L Dufresne et J-C Dupont)

Romain Roehrig (CNRM/GMGEC) :

- Nette amélioration des nuages bas ;
- Trop de nuages hauts (trop fins ?). Biais sur l'océan Indien ressemble à celui de LMDZ
- Obs satellite (Ceres, Modis, Calipso, ...)
- Cohérence comportement global – cas/analyse 1D
- Test fermeture et turbulence convective

Eric Bazile (CNRM/GMAP) :

- Pb des nuages bas « trop peu fréquents » / « trop peu persistants » ;
- Test avec différents schémas de couche limite pour cas type sur l'Europe ;
- Pb de modélisation, et aussi effet de l'assimilation (possiblement négatif) ;

- Possibilités multiples de ces défauts (vraisemblablement indépendamment de la résolution) : initialisation, assimilation, micro-physique, turbulence, etc.
- Intérêt de comparer les modèles sur site (SIRTA), et notamment intérêt d'analyser les flux de surface, en plus des obs liées aux nuages ;
- Intérêt de comparer les différents cas 1D.

Frédéric Hourdin (LMD) :

- Modèle : physique + configuration + valeur de paramètres ;
- Réduire les erreurs : réduire les biais des flux de surface (flux radiatif et latent) ;
- Méthodologie de développement de paramétrisations et d'évaluation sur étude de cas ;
- Modification du détraînement en sommet de CL permet de maintenir les nuages sur les bords est océaniques ;
- Pour ajustement du modèle : bilan énergétique + index sur des phénomènes et des zones clés.

Frédérique Cheruy (LMD) :

- Biais de température important sur continents ;
- Représentativité du SIRTA pour l'Europe de l'ouest, et des mesures locales par rapports aux climatologies grandes échelles ;
- Meilleures représentations des nuages bas : trop en hiver ?
- Équilibre délicat entre SW et flux LH ;
- Problème de sous échantillonnage temporelle et pb fermeture bilan d'énergie.

Jean Jouhaud (LMD) :

- Rôle de l'hétérogénéité verticale sur la paramétrisation de la fraction nuageuse ;
- Analyse de qqs cas 1D simulation LES ; $\Delta S = 0.5 \text{ Sigma}$;
- Étude de cas 1D : ARM ; accroissement fraction nuageuse ;
- Étude 3D en cours.

En résumé :

- Dans les deux modèles ARPEGE et LMDz, nette amélioration de la façon dont les nuages bas sont simulés, avec certains biais communs ;
- Tuning : inutile de tirer des conclusions lorsque le modèle n'est pas équilibré, le tuning peut tout changer ;
- Flux surface sont clés pour identifier les problèmes ;
- Importance des validations sur site (SIRTA, Toulouse...) ;
- Forte dépendance à l'initialisation des modèles de PNT, et interférence avec l'assimilation ;
- Question de l'hétérogénéité sous-maille verticale et perspectives ouvertes ;
- Contraste des flux et variation des flux de surface pour les poches froides.

Nuages de convection profonde (par N. Rochetin et J-P Chaboureau)

Problématique : Le cycle de vie de la convection profonde avec un focus sur la convection organisée.

On propose 3 parties correspondant chacune à une structure bien précise.

1. Les nuages

Problématiques abordées:

- Propriétés radiatives
- Propriétés microphysiques
- Propriétés macrophysiques

Dominique Bouniol: Cycle de vie des nuages convectifs à partir d'obs spatiales

- Découpage en 10 phases du cycle de vie des MCS

- $\frac{2}{3}$ ont un cycle de vie symétrique
- Sommet du nuage:
 - plus élevé selon le LIDAR qui capture mieux les particules fines
 - plus élevé au début du cycle de vie
- Épaississement de la couche de particules fines au sommet au cours du cycle de vie
- Sur continents:
 - sommet du nuage plus élevé (Afrique équatoriale)
 - réflectivités plus importantes -> vitesses verticales plus élevées
 - variance en réflectivité plus forte -> particules plus grosses
- OLR:
 - plus faible dans les parties convectives
 - il varie avec le cycle de vie
- Albédo:
 - ~ 0.7 partie convective et stable
 - ~ 0.6 partie stratiforme et stable
 - décroît de 0.5 à 0.4 dans la partie cirriforme
- Fort chauffage SW sous le sommet du nuage convectif, chauffage LW à la base de l'enclume et refroidissement LW proche du sommet
- Pour les caractéristiques plus détaillées des variations relatives de taille des parties convective-stratiformes et cirriformes, on renvoie vers l'article [Bouniol et al., 2016](#).

[Camille Risi: Apport des mesures isotopiques de la vapeur d'eau pour évaluer la représentation des processus convectifs dans les modèles de climat](#)

- combinaison variation $\delta(D)$ et de q permet de distinguer les processus
- $\delta(D)$ augmente en cas d'humidification et diminue en cas d'assèchement -> il permet de matérialiser les zones de déentraînement nuageux où les condensats s'évaporent.
- Max de $\delta(D)$ observé cohérent avec le déentraînement haut autour de l'ITCZ
 - Ce max de $\delta(D)$ est largement sous représenté dans les GCMs
- Le max de $\delta(D)$ augmente avec l'efficacité de précipitations (càd la fraction de condensats qui précipitent)
- Remarquable outil de validation des modèles, notamment pour l'évaluation des tendances d'humidification (Q2)
- Partitionnement convectif/stratiforme, shallow/deep et séquence temporelle de la convection, notamment des différentes phases (8) de la MJO.
- **Remarque importante Dominique Bouniol:** N'y a-t-il pas un lien entre ce déficit de déentraînement dans l'ITCZ dans les GCMs et le fort refroidissement radiatif ciel clair simulé autour de l'ITCZ ?

2. Les "objets" associés aux nuages profonds

Par "objet" on entend structures bornées, visibles ou pas, dont on peut caractériser la géométrie (ou morphologie), la thermodynamique, la cinématique, et formant des processus dynamiques qui pilotent et sont l'expression du cycle de vie des nuages profonds.

On s'intéresse dans ce cas à ces 3 processus :

- les précipitations (Christophe Duroure)
- les thermiques de couche limite (Maxime Colin)
- les courants de densité (ou poches froides) (Maxime Colin)

[Maxime Colin: Paramétrisation des poches froides continentales et maritimes dans LMDZ](#)

Problématique: Intermittence des pluies simulées sur océans tropicaux. Mémoire de la convection. Couplage entre thermiques et poches froides pendant la convection profonde.

- Difficultés d'observations des poches froides
- Obs directes par tempêtes de poussières
- Obs indirectes par absence de réflectivité radar pendant la campagne Cindy-Dynamo
- La paramétrisation actuelle des courants de densité dans LMDz suppose une densité spatiale D_w constante des courants de densité dans une maille de GCM après le déclenchement initial.
- Or cette densité n'a aucune raison de rester constante au cours du cycle de vie.

- On cherche donc à introduire une loi d'évolution comportant un taux de naissance et un taux de mort des courants de densité.
- 2 avancées ont été réalisées dans LMDz qui permettent de franchir cette ornière:
 - 1. Une nouvelle paramétrisation (stochastique) du déclenchement permet d'évaluer la densité initiale $D_{w,o}$ de poches froides lorsque le déclenchement se produit.
 - 2. Une paramétrisation de 2 couche limites distinctes, l'une dans les poches froides et l'autre hors de celles-ci, a également été introduite récemment et permet de limiter la durée de vie des poches froides (notamment en augmentant le flux sensible sous les poches froides).
- Ces paramétrisations ont essentiellement été calibrées sur des cas d'études continentaux. Or les poches froides océaniques sont assez différentes; elles sont plus petites, plus nombreuses et moins intenses.
- Simulations CRM en Équilibre Radiatif-Convectif avec le modèle explicite WRF (domaine 200x200 km² avec $Dx = 1$ km) en équilibre radiatif-convectif sur une surface océanique afin de mieux comprendre le phénomène d'auto-agrégation de la convection assez souvent constaté dans ce cadre expérimental.
 - Hypothèse: On s'intéresse en particulier au rôle des thermiques et des courants de densité plutôt qu'aux processus radiatifs pour expliquer l'intermittence de la CVP sur océans.
- Résultats en vrac:
 - Équilibre atteint au bout de 40-50 jours
 - On a environ 100 poches par carré de 1000 km de côté
 - Forte anomalie positive de température potentielle juste après la mort des courants de densité
 - $\Delta(T) \sim 1K$, $\Delta(OLR) \sim 200 W/m^2$ et $\Delta(Flux) \sim 100 W/m^2$
 - Uniformément froides mais non-uniformément humides
 - Quand D_w augmente, les poches sont :
 - plus fines
 - moins froides
 - moins humides
 - moins rapides
 - soulèvement moins fort (ALE_WK)
 - descentes insaturées plus fortes
 - L'introduction de la couche limite séparée (dans et hors poches froides) :
 - diminue $\Delta(T)$
 - diminue $\Delta(q)$
 - augmente leur épaisseur
 - diminue encore leur effet de soulèvement, à tel point que l'effet de soulèvement des thermiques devient supérieur à celui des poches pour le déclenchement (ALE_BL > ALE_WK). Or le déclenchement stochastique par les thermiques permet une plus grande intermittence de la convection !

Christophe Duroure: Cas de systèmes convectifs de méso-échelle lors de la campagne HYMEX: intercomparaison mesures in-situ, radars petite échelle (radar-X) et réanalyses ECMWF

Problématique: Variabilité spatio-temporelle des zones nuageuses et des interstices de ciel clair. Idem pour les précipitations.

- Spectre de Fourier des tailles des zones nuageuses et de ciel clair
- Loi de puissance en -0.5 pour la fonction de répartition des tailles:
 $Proba(t > durée D) = f(D^{-0.5})$
- Sauf pour la queue de distribution concernant les événements extrêmes, où l'on manque de statistiques (par définition).
- Cohérent avec la littérature
- Signature des pics convectifs avec un pic à ~ 1 h, soit le temps caractéristique typique de "retournement" de la convection profonde (durée de vie d'une cellule convective).

3. L'environnement des nuages profonds

On passe à une échelle plus régionale où les processus radiatifs prennent, a priori, plus d'importance, notamment dans les zones de ciel clair autour, ou entre, les MCS pour expliquer les propriétés thermodynamiques moyennes sur quelques centaines de kilomètres.

Sandrine Bony: Sensibilité des nuages d'enclume à la température de surface et à l'agrégation de la convection & Projet de campagne EURECA

Problématique: Sensibilité climatique; rôle de la distribution spatiale (agrégation) et de l'extension verticale des nuages profonds -> effets radiatifs et dynamiques

- Controverse de "l'effet d'iris" avancée par Lindzen comme potentiel feedback négatif: en réchauffement climatique, la couverture nuageuse des enclumes convectives et des cirrus diminuent → refroidissement radiatif ciel clair augmente et contrebalance le réchauffement.
- De plus, des modèles haute résolution ([Bretherton et al., 2005](#)) et des observations ([Tobin et al., 2012](#)) ont montré que l'agrégation de la convection était fortement conditionnée par la SST: les nuages profonds ont tendance à s'agréger lorsque la SST augmente.
- En situation agrégée les profils moyens à l'échelle régionale sont :
 - plus secs
 - l'OLR est plus important
 - la fraction nuageuse des enclumes est plus faible
- On peut donc se demander si l'un de ces effets peut avoir un impact sur la sensibilité climatique.
- Problème: les GCMs simulent mal l'agrégation de la convection, les processus sous-maille à l'œuvre dans la transition vers un stade organisé ne sont que partiellement compris, et donc représentés dans les modèles. Quid de la sensibilité climatique ?
- Simulations LMDz globales idéalisées:
 - aquaplanète
 - forçage solaire uniforme
 - pas de rotation
 - SST prescrite
- En réchauffement
 - les nuages montent
 - l'agrégation augmente
 - la couverture nuageuse diminue. (On note que cette agrégation simulée est le fruit de processus dynamique et/ou radiatifs d'échelle résolue).
- Expériences COOKIE: si on retire l'effet radiatif des nuages:
 - pas d'agrégation

2 résultats robustes cependant :

1. les nuages montent toujours
 - Résultat qui tend à confirmer l'hypothèse FAT (Fixed Anvil Temperature) avancée par Hartmann: existence d'un thermostat haut qui maintient la température du sommet des nuages d'enclume quasi-inchangée en situation de réchauffement -> feedback positif.
2. toujours moins de fraction nuageuse
 - augmentation de la stabilité statique de l'atmosphère en réchauffement conduisant à une diminution de la divergence (convergence) de masse au sommet (à la base) des nuages
 - résultat confirmé par des runs AMIP avec et sans effet radiatif des nuages
 - cet effet d'iris augmente le poids relatif des nuages bas par rapport aux nuages d'enclume, or les nombreuses études récentes montrent que les nuages bas ont un feedback positif en réchauffement
- En conséquence ces expériences idéalisées semblent converger vers un feedback positif dû à la réponse des nuages d'enclume en réchauffement :
 - Effet direct: à cause de la FAT associée à l'élévation des nuages. On ignore encore l'effet de la diminution de l'étendue des nuages d'enclume sur le feedback ; en revanche on s'attend à ce que ce comportement contribue à une augmentation de l'agrégation de la convection en climat plus chaud et à un rétrécissement des zones de convergence tropicales.
 - Effet indirect: à cause de l'effet d'iris qui donne d'avantage d'importance au feedback positif des nuages bas.

CAMPAGNE EUREC⁴A:

- Campagne d'observation (franco-allemande) intensive de quelques semaines dans l'archipel des Barbades (fin 2019 ou début 2020) pour mieux comprendre les facteurs dynamiques qui contrôlent les propriétés macrophysiques des nuages bas d'alizés (mesures avions notamment avec l'ATR42 français et le Halo allemand, voir le [White Paper](#)).
 - Flux de masse à la base
 - Hauteur
 - Vitesses verticales
 - Profils, etc...
- L'objectif étant de produire un jeu de données le plus exhaustif possible pour le plus grand nombre. Contacter Sandrine !

Hélène Brogniez: Quelles contraintes peut apporter la mission MEGHA-TROPIQUES aux modèles de climat ?

- Megha-Tropiques: satellite défilant à orbite basse (20°) assurant jusqu'à plus de 3 passages/jours dans certaines régions -> résolution temporelle suffisante pour étudier le cycle de vie de la convection profonde tropicale.
 - Constellation GPM (Global Precipitation Mission)
 - Même si l'outil MADRAS (radar pluie) est tombé en panne au bout de 11 mois, les autres sondeurs (SCARAB & SAPHIR) fonctionnent très bien -> demande d'extension de la mission.
 - SAPHIR: Sondeur atmosphérique du profil d'humidité intertropicale par radiométrie
 - 6 canaux d'absorption -> 6 couches atmosphériques
 - Profils de RH jusqu'au plus proche des zones convectives
 - Il est déjà assimilé dans plusieurs centres de prévision et améliore l'humidité dans la haute troposphère.
 - Distinction très marquée entre les distributions d'humidité selon qu'on est dans une phase active ou pas de la MJO

4. Points clés de la session convection profonde

Grande quantité d'observations à haute résolution et existence d'algorithmes de détection d'objets pertinents pour :

- le suivi de ces objets et leur caractérisation géométrique: algorithme TOOCAN ([Fioleau & Roca, 2013](#)) utilisé notamment pour le suivi des systèmes convectifs par détection infrarouge depuis des satellites géostationnaires.
- la distribution spatiale de ces objets: estimation du degré d'agrégation de la convection par l'intermédiaire des températures de brillance mesurées par satellites géostationnaires ([Tobin et al., 2012](#), [Tobin et al. 2013](#)).

L'utilisation combinée de ces outils d'observation et de ces outils de détection d'objets offre des perspectives très prometteuses à la compréhension du cycle de vie de l'eau et de l'énergie dans les tropiques via les nuages profonds, les processus associés et leur environnement. Cette grande quantité de détails permettra de préciser les hypothèses sous-jacentes à la construction des paramétrisations physiques des modèles de climat, qui pour le moment peinent à représenter correctement la convection tropicale et ses modes de variabilité.

Il semble se confirmer que les expériences idéalisées (équilibre radiatif-convectif, aquaplanète, etc...) restent pertinentes pour tester une idée concernant

- des processus locaux (Maxime Colin → les thermiques doivent prendre le dessus sur les courants de densité pour assurer l'intermittence de la convection)
- ou des approches conceptuelles plus globales (Sandrine Bony → effet d'iris et augmentation du feedback nuage bas via la diminution de divergence de masse, confirmé par des run AMIPs).

Nuages considérés à l'échelle globale (par J. Vial et Y. Bouteloup)

Cette session avait pour objet de présenter certains produits dérivés d'observations satellites déjà disponibles à la communauté ou en cours développement, de donner quelques exemples d'utilisation de ces observations à l'échelle globale et plus largement d'amener à une discussion sur ce qui peut intéresser ou pas les modélisateurs.

[Claudia Studenrauch](#) et [Sofia Protopapadaki \(LMD\)](#) ont présenté un algorithme de classification de systèmes nuageux dans la haute troposphère (de type cirrus) à partir de la pression au sommet des nuages. Cet algorithme permet notamment de distinguer les systèmes convectifs et non-convectifs et de compter les systèmes dits « cœurs convectifs ». Il peut s'appliquer aux observations (notamment en utilisant les données de sondes IR de IASI et AIRS), mais également dans les modèles de climat (grâce à l'utilisation de simulateurs de nuages). Il permet une évaluation plus détaillée des modèles sur la climatologie et les processus rattachés aux nuages hauts, notamment grâce à la caractérisation de la taille des systèmes et des propriétés nuageuses pour chacun des systèmes (profils de chauffage radiatif, couverture nuageuse, épaisseur optique), ainsi que des variables caractéristiques de l'intensité de la convection pour les systèmes nuageux appartenant au cœur convectif. Il a été montré que la température minimale au sommet des tours convectives est un bon proxy de l'intensité de la convection.

Quelques résultats ont été présentés pour le modèle LMDZ; une généralisation dans d'autres modèles de climat serait également bénéfique.

Quelques perspectives de ce travail mises en avant dans cette présentation :

- mieux comprendre le lien entre la convection, les nuages de l'enclume convective et le chauffage radiatif nuageux dans la troposphère
- caractériser les cirrus provenant de la dynamique grande-échelle ou d'origine convective (l'origine des cirrus peut être déterminée par l'ajout d'un modèle Lagrangien)
- évaluer les mécanismes de rétroactions climatiques associés aux nuages hauts (comme par exemple le mécanisme « IRIS/stabilisation » présenté par Sandrine, bien qu'une adaptation de l'algorithme semble être nécessaire pour que les résultats issus des observations et des modèles soient comparables)

[Geneviève Sèze \(LMD\)](#) a présenté les produits nuageux issus de satellites géostationnaires (notamment ISCCP et Megha-Tropiques). Ces produits déjà disponibles, ainsi que de nouveaux produits (avec une meilleure résolution spatio-temporelle) peuvent être utilisés pour diverses applications; les quelques exemples cités sont (i) l'étude du lien entre la couverture nuageuse et le cycle annuel de la « forest greenness » en Afrique centrale, (ii) le lien entre couverture nuageuse et dynamique de grande-échelle telle que le déplacement de l'ITCZ, les ondes d'est africaines, la dépression saharienne, etc (travaux de N. Sellami sur la nébulosité sur le Hoggar entre 2008-2014), et (iii) la persistance de systèmes nuageux. Les produits ISCCP et Megha-Tropiques sont très utilisés par les modélisateurs (pour l'évaluation et le tuning du modèle, mais aussi pour mieux comprendre le cycle de vie des systèmes convectifs). Geneviève souligne l'aspect très bénéfique de l'augmentation de résolution spatio-temporelle sur les produits ISCCP et encourage vivement leur utilisation. Une meilleure couverture globale peut également être obtenue en combinant les produits de satellites géostationnaires et défilants.

[Céline Cornet et Nicolas Ferlay \(LOA\)](#) ont présenté les produits nuageux issus de POLDER : (i) le POLDER « historiques » permettant des mesures de pression de O₂, couverture nuageuse, phase, épaisseur optique et albédo, et (ii) le POLDER « récent/avenir proche » restituant des informations supplémentaires tels que le rayon et la variance effective des nuages liquides, la structure verticale des nuages (épaisseur géométrique, pression au milieu et sommet des nuages, indicateur multi-couches), des effets des hétérogénéités nuageuses et des aérosols au-dessus des nuages.

Quelques points émergents des questions/discussions :

- Les climatologies et variations aux échelles de temps courtes du rayon effectif sont des produits intéressants pour les modélisateurs, notamment pour tuner les modèles et tester la sensibilité des propriétés nuageuses (et produits dérivés) à ces paramètres de modèle.
- Une synergie des données issues de AIRS et de POLDER permettrait une meilleure caractérisation des nuages aux différents niveaux de l'atmosphère et multi-couches.
- Déduction des hétérogénéités nuageuses à partir des différents angles de mesures.

Comment se rapprocher des processus ?

- Approche par objets (colonnes convectives, thermiques, poches froides) évoluant sur fond de propriétés régionales (q_{tropo} , température) s'avère très efficace pour caractériser les systèmes et évaluer les paramétrisations (voir par exemple les travaux de [D. Bouniol](#), les composites MODIS/CloudSat/CALIPSO pour nuages bas ou bien [Masunaga et al., 2008](#) pour compositages calés sur la précip) ;
- Ce dont les paramétrisations ont besoin n'est pas toujours observable : l'approche par objet permet de créer des simulations idéalisées sur lesquelles on peut évaluer la sensibilité et se rapprocher des processus ;
- Comment avoir une approche objet sur les autres systèmes ?
- Les approches idéalisées possibles sont nombreuses (ERC, capture des extrêmes, classification...).
- L'absence de nuages est aussi un objet (statistiques des sécheresses etc) ;
- L'évaluation des modèles par les isotopes apparaît puissante pour se rapprocher des processus ;
- Le tuning est une partie centrale des modèles : il ne faut pas tirer de grandes conclusions là où le tuning peut tout changer et garder en tête la sensibilité du modèle aux paramètres de tuning ;
- L'intermittence de la convection et de la précip sur océans reste un sujet clé : le manque d'intermittence est récurrent dans les modèles. Quelle est sur océan l'efficacité des poches froides pour engendrer des tours convectives ? Quelle proportion naît sur les fronts de rafale des poches ?
- Est-ce que les poches froides « radiatives » simulées par certains modèles existent ?
- Importance des données RADAR pour les fronts de rafale, voir par exemple [Lima & Wilson 2008](#) et Cindy-dynamo.

Quelles observations disponibles utiliser ?

- Fort potentiel des données satellites ; permet d'accéder à une plus grande échelle ;
- Quelles données utiliser au-delà d'ISCCP ?
- Exemple de la classification des systèmes nuageux par sondeurs IR, proxy intensité convection par T_{sommet} et comparaison au simulateur AIRS LMDz ;
- Il faut utiliser la climatologie de r_{eff} POLDER (y compris aux hautes latitudes) et d'indice de phase (produits PML2 pour Polder-MODIS niveau 2 bientôt disponible à ICARE) ;
- POLDER renseigne aussi sur les aérosols au-dessus des nuages ;
- Meilleure utilisation des géostationnaires ;

Comment mieux regarder les observations selon l'échelle ?

- Réflexion d'utiliser les observations pour dériver des diagnostics orientés vers les paramétrisations (voir la partie « actions communes ») ;
- Comment aller au plus proche du processus, des paramètres que l'on utilise dans les modèles (sédimentation, seuils de conversion, aller plus loin dans la quantification sous-maille) ?
- A partir des mesures POLDER, on peut construire des PDF à 100 km pour les GCM ;
- Besoin d'une approche dans les OBS sous-maille (incertitudes, PDF, sigma) ;
- Ne pas oublier les corrélations simples possibles grâce à AIRS, CALIPSO, CLOUDSAT (IWC, D_E) ;
- Questions différentes pour CRM / LES ;
- Radars sol précieux, au même titre que les satellites ;
- Importance de comparer les modèles aux observations sur site (et de mener systématiquement des études de cas) ;
- Utilisation accrue de LES sur le site du SIRTA ([voir thèse de M. Mazoyer, section 5.2](#)) ? Hétérogénéité de surface au SIRTA donc LES difficile ; en même temps, occasion d'étudier l'effet des hétérogénéités de surface ? Observations pour documenter l'impact de ces hétérogénéités ?
- Importance des flux de surface ;
- La précipitation, type, seuil de précipitation, événements faiblement précipitant, donnent des infos

- sur la microphysique ayant lieu en amont, de même que le rayonnement et les flux de surface ;
- Enjeu : arriver à transformer la constatation de défauts du modèle/observations en compréhension des processus responsables de ces défauts et d'en améliorer leur représentation.

Discussions autour du projet EUREC⁴A :

- CRM ont des vitesses verticales trop fortes ; manque de turbulence au voisinage des tours convectives et hétérogénéité de la turbulence ;
- Réalisation de séries longues de LES (voir par exemple LES sur projet ARM grandes plaines ou CABAUW) ?
- Échantillonnage des nuages par drone dans EUREC⁴A ?
- Il y aura des mesures des flux radiatifs à différents niveaux dans l'atmosphère.
- Faire tourner AROME pendant la campagne possible ? Et les LES ?
- D'ici la campagne, il est envisagé d'appliquer à des simulations LES des simulateurs des instruments lidar et radar qui seront à bord de l'ATR-42 pour anticiper ce qui sera observé pendant la campagne (collaboration avec Frédéric Szczap au LAMP et Julien Delanoë et Cyril Flamant au LATMOS). Avis aux simulateurs LES !
- Réfléchir à la possibilité d'étendre cette approche à l'instrument OSIRIS du LOA ?

Actions communes potentielles identifiées

- Biais LMDz et ARPEGE-Climat très proches : réflexion commune à avoir (voir présentations de [Romain](#) et [Frédéric](#)) ;
- Itérer ensemble sur les observations à utiliser au-delà d'ISCCP et sur les corrélations à regarder en priorité ;
- Il faut générer de l'info sous-maille avec les observations (PDF sous-maille à 100 km, sigma) ainsi que fournir des incertitudes sur les mesures ; à prendre en compte pour la définition de futurs niveaux 3 de produits.
- Utilisation de la climatologie de r_{eff} POLDER pour ARPEGE-Climat et LMDz (y compris aux hautes latitudes où les gouttelettes surfondues sont très bien observées) ;
- Problématique du regel/fonte des précip et comportement autour de 0°C des précip est une thématique commune. Branchement de nos différentes microphysiques sur cas 1D stationnaire d'Yves pour études comparatives. Paramétrisation de conversion en précip clé → cette paramétrisation pourrait s'appuyer plus fortement sur les modèles microphysiques fins ;
- Pour les propriétés microphysiques des nuages, il existe un contrôle fort de la dynamique et une difficulté d'isoler dynamique et microphysique → travailler ensemble pour comprendre le signal qui vient de la microphysique et celui de la dynamique (en commençant par des modèles simples) ;
- CloudSat/CALIPSO très puissant pour les nuages mixtes → potentiel pas encore pleinement exploité (notamment extraction d'informations sous-mailles sur la fraction liquide/glacé) ;
- Une synergie POLDER / AIRS serait très instructive ;
- Résultats POLDER et corrélation taille des gouttes / épaisseur optique ; taille des gouttes / épaisseur géométrique,... à regarder dans les modèles ;
- Travaux autour de l'hétérogénéité sous-maille dans les différents groupes (vue sous l'angle des obs ou des modèles, comme par exemple l'effet de l'angle solaire zénithal sur la réflectance d'une scène nuageuse présenté par [C. Cornet et N. Ferlay](#)) → réflexion commune à mener et lien avec le projet ANR High-Tune ;
- Besoin d'une image physique commune des systèmes et des processus (par exemple, images de l'évolution liquide (→ glace) → précipitation) ;

Liste des participants

Carola BARRIENTOS (LMD)
Eric BAZILE (CNRM-GAME)
Sandrine BONY (LMD)
Dominique BOUNIOL (CNRM-GAME)
Yves BOUTELOUP (CNRM-GAME)
Florentin BRETON (LMD)
Frédéric BURNET (CNRM-GAME)
Jean-Pierre CHABOUREAU (LA)
Frédérique CHERUY (LMD)
Maxime COLIN (LMD-CCRC)
Céline CORNET (LOA)
Fleur COUVREUX (CNRM-GAME)
Christophe DUROURE (LAMP-OPGC)
Jean-Louis DUFRESNE (LMD)
Jean-Charles DUPONT (IPSL)
Artem FEOFILOV (LMD)
Nicolas FERLAY (LOA)
Jean-Yves GRANDPEIX (LMD)
Rachel HONNERT (CNRM-GAME)
Frédéric HOURDIN (LMD)
Arnaud JAM (LMD)
Jean JOUHAUD (LMD)
Venance JOURNÉ (LMD)
Gerhard KRINNER (LGGE)
Christine LAC (CNRM-GAME)
Marie-Pierre LEFEBVRE (LMD-CNRM)
Bernard LEGRAS (LMD)
Delphine LEROY (LAMP-OPGC)
Jean-Baptiste MADELEINE (LMD)
Ionela MUSAT (LMD)
Laurence PICON (LMD)
Sofia PROTOPAPADAKI (LMD)
Camille RISI (LMD)
Nicolas ROCHETIN (CNRM-GAME)
Romain ROEHRIG (CNRM-GAME)
Pasquale SELLITTO (LMD)
Geneviève SEZE (LMD)
Claudia STUBENRAUCH (LMD)
Ella TRIBES (LMD)
Thibault VAILLANT de GUELIS (LMD)
Jessica VIAL (LOCEAN)
Benoit VIÉ (CNRM-GAME)
Wolfram WOBROC (LAMP-OPGC)
Rongrong ZHANG (LMD)