

## **Contribution du projet DEPHY : Développement et Evaluation des PHYsiques des modèles atmosphériques**

**Porteuses du projet: C.Rio, I.Beau, M-P Lefebvre**

**Comité de pilotage: F.Bouyssel, F.Hourdin, H.Gallée, Y.Bouteloup, J-P Chaboureau, F.Couvreux, F.Chery, J-Y Grandpeix, R.Roehrig, J-B Madeleine**

Le projet DEPHY (financé par LEFE/IMAGO et le MEDDE) a pour objectif l'amélioration des paramétrisations des processus atmosphériques mises en œuvre dans les modèles de prévision et de climat. C'est un projet au long cours qui se situe à l'interface de plusieurs communautés: celle des observations (sur sites et satellites), celle de la modélisation à fine échelle (simulations des grands tourbillons dites LES et simulations explicites de nuages dites CRM), celle des développeurs de paramétrisations, celle de la prévision du temps et celle de l'étude du climat et du changement climatique. Le projet DEPHY a permis de renforcer les interactions existantes et d'en créer de nouvelles, que ce soit entre les modèles de l'IPSL et du CNRM, entre prévision du temps et modélisation du climat ou entre observation et modélisation. Il contribue à maintenir les modèles français au meilleur niveau international et à proposer des voies nouvelles pour améliorer leurs performances en lien avec le contenu de leurs paramétrisations physiques. Le projet DEPHY permet de mutualiser au mieux les codes et les outils afin d'éviter de dupliquer les efforts au sein de la communauté française tout en maintenant la richesse de la diversité des modèles et des approches. Le projet DEPHY arrive à la fin de sa seconde phase de financement et faisait déjà suite à un projet « Physique Commune ».

Au cours de la phase DEPHY2 spécifiquement, les liens entre observations sur sites et modélisation se sont particulièrement renforcés. Cette phase a vu notamment la montée en force des questions polaires, autour des observations à Dôme C pour lesquelles un nouveau cas international GABLS est porté par la communauté DEPHY ou encore la participation aux montages d'ANR sur les pôles. Cette phase a également donné lieu au montage et portage d'une ANR sur l'amélioration et le tuning automatique des paramétrisations, systématisant les approches de comparaisons entre LES et simulations uni-colonnes prônées dans DEPHY.

Enfin, le projet DEPHY a également favorisé l'implémentation progressive des nouveaux développements de paramétrisations dans les modèles opérationnels de prévision et de climat, dans le cadre notamment de la prévision « sans coutures » à Météo-France et des exercices CMIP successifs.

Les paragraphes suivants présentent les enjeux et questionnements scientifiques identifiés par le projet DEPHY pour la prospective OA de l'Insu. Ils sont présentés selon les quatre axes qui structurent le projet DEPHY2.

### **A. Outils/Méthodologies/Algorithmie**

Il est important que les efforts entrepris ces dernières années pour le rapprochement des communautés des observations, de la modélisation à fine échelle, de la prévision et du climat aboutissent à une mutualisation pérenne des codes et outils: partage de formats communs pour les fichiers de forçages et pour les fichiers de sortie permettant l'intercomparaison systématique de différentes versions d'un modèle ou de différents modèles entre eux. Les interactions entre les communautés de la modélisation à grande-échelle et la modélisation à l'échelle des processus s'étendront à de plus grands domaines, permettant d'étudier les processus associés à la convection organisée mais aussi d'aborder les

interactions entre processus locaux (turbulents, convectifs et nuageux) et la circulation à plus grande-échelle ainsi que certains mécanismes climatiques. La systématisation des comparaisons modèles/données renforcera les liens entre le domaine de la modélisation et celui des observations sur sites. Cette synergie nécessite de bien caractériser la représentativité des mesures sur sites à l'échelle d'une maille de modèle. D'autre part, un enjeu important des années à venir sera de renforcer les interactions entre la communauté des développeurs de paramétrisations et celle des observations satellite, en développant des outils d'évaluation des modèles à l'aide de données satellite à l'échelle des processus. Les observations existantes et à venir de vent, de vapeur d'eau dans la haute troposphère et la couche limite, de rayonnement et de propriétés microphysiques seront particulièrement utiles. Enfin, une réflexion sur le développement d'outils de tuning des modèles à l'échelle des processus est en cours. Il s'agirait d'appliquer des outils statistiques à la comparaison des simulations en mode unicolonne avec des simulations de type LES pour réaliser le tuning énergétique des modèles sur la base d'études de processus et de proposer ainsi des valeurs de paramètres libres présents dans les paramétrisations. En plus de la détermination des gammes acceptables de valeurs pour les paramètres libres, ces outils de tuning automatique pourraient fournir une documentation approfondie du comportement des paramétrisations.

## B. Paramétrisation des nuages et des précipitations

Dans les années à venir, un enjeu majeur de la communauté DEPHY sera d'étendre les études sur les processus nuageux et les précipitations à la compréhension et la modélisation de leurs interactions avec le rayonnement. En effet, il est primordial, pour éviter les compensations d'erreurs, d'obtenir un forçage radiatif au sommet de l'atmosphère pour une représentation correcte de (i) la distribution verticale de la couverture nuageuse et (ii) des propriétés microphysiques des nuages associés (phase et proportion de surfusion, taille des gouttelettes et cristaux...). Pour améliorer les schémas calculant la fraction nuageuse, les propriétés optiques des nuages et les hypothèses de recouvrement appliquées dans les modèles, un enjeu est de paramétriser des processus qui sont fondamentalement de fines échelles spatiales (microphysique du nuage versus échelle de la maille) et temporelles (pas de temps microphysique versus pas de temps des modèles) et de quantifier ces processus dans les observations. Cela requiert le rapprochement de la communauté étudiant les processus microphysiques à fine échelle dans les observations in-situ (le LaMP notamment), de la communauté des modélisateurs en prévision du temps et du climat, et de la communauté utilisant les données satellite pour l'évaluation des modèles (via des simulateurs d'observables notamment). Un autre objectif est d'appliquer un code radiatif plus sophistiqué et complet à des scènes nuageuses 3D issues de simulations LES afin de fournir une référence des effets radiatifs des nuages pour l'évaluation des paramétrisations.

## C. Couplages atmosphère/surface

Plusieurs enjeux pour les années à venir ont émergé des problématiques de couplage entre l'atmosphère et la surface. Le premier est la représentation des couches limites stables dans les modèles, qu'ils soient d'une résolution de 10m ou de 100km. Les modèles tendent à sous-estimer la turbulence en conditions stables avec de fortes implications sur la prévision de la température et de la présence de brouillard. La bonne représentation des gradients de température, d'humidité et de vent dans les couches limites stables joue un rôle central dans les couplages à la surface, que ce soit dans les régions polaires, la nuit aux moyennes latitudes ou lors des épisodes de brouillard. Les observations sur sites (Dôme C, ARM, SIRT, Lannemezan) offrent la possibilité d'évaluer les modèles en condition stable, tout en contrastant différents environnements. Une campagne de mesures dédiée à l'étude des couches limites stables, utilisant notamment des drones (moyen expérimental en fort développement dans la communauté française) serait bienvenue pour compléter les jeux de données existants. Un deuxième enjeu concerne

la représentation des flux de surface dans les modèles, que ce soit sur océan, continent ou calottes polaires. Il s'agit de revenir à la fois sur les formulations bulk utilisées dans le calcul des flux, sur la définition des variables impliquées (inertie thermique, rugosité) et sur la prise en compte des effets sous-maille (rafales de vent, vagues, ...). Il est envisagé de développer des paramétrisations communes utilisables dans les différents modèles français. Enfin, un troisième enjeu consiste à faire le lien entre les processus locaux de couplage et certains phénomènes à l'échelle climatique, comme par exemple pour la compréhension de la mise en place de vagues de chaleur (observations du SIRTA en région parisienne, des sites de mesures AMMA-Catch en Afrique de l'Ouest).

#### D. Paramétrisation vers circulation - Upscaling

Dans les années à venir, le développement des schémas de convection reste un enjeu majeur, avec en particulier la question de la représentation des systèmes convectifs organisés à méso-échelle qui peuvent couvrir plusieurs mailles d'un même modèle en fonction de sa résolution. La question du partitionnement des rôles entre schéma de convection sous-maille et schéma de condensation grande-échelle est alors centrale, notamment en vue de rendre les modèles auto-adaptables à la résolution pour des échelles de la dizaine à la centaine de kilomètres. La même question se pose dans les modèles à échelle kilométrique pour la représentation de la zone grise de la convection peu profonde.

Pour avancer sur ces questions, il faudra réussir à exploiter les variables tri-dimensionnelles issues de simulations LES ou CRM sur grands domaines, afin de mieux comprendre les processus associés au transport de chaleur, d'humidité et de quantité de mouvement au sein des systèmes convectifs (utilisation de traceurs), tester les hypothèses à la base des paramétrisations (critère de déclenchement, hypothèse de fermeture) mais aussi pour comprendre les interactions entre la convection locale et la dynamique de plus grande échelle.

Un autre enjeu consiste à renforcer l'utilisation d'observations pour l'étude de la convection profonde, que ce soit autour de sites instrumentés (cas orageux aux moyennes latitudes, SIRTA, ARM ou dans les Tropiques, AMMA, Darwin) et autour de l'utilisation de données satellite afin de passer des cas d'étude locaux à des statistiques sur des zones géographiques plus vastes. Par exemple, les données de vapeur d'eau à différents niveaux de la moyenne et haute troposphère fournies par l'instrument SAPHIR à bord du satellite Mégha-Tropiques offrent la possibilité de mieux comprendre les interactions entre la convection et l'humidité. Par ailleurs, le croisement d'algorithmes de tracking des systèmes convectifs avec les données des satellites CERES, CLOUDSAT et CALIPSO permettent de donner une image de l'évolution des nuages associés aux systèmes convectifs au cours de leur cycle de vie et de leurs effets radiatifs associés. Le rapprochement de la communauté des développeurs de paramétrisations et de la communauté satellite autour de la question des nuages hauts issus de la convection profonde se fera également par l'initiative internationale PROES dans laquelle plusieurs acteurs de DEPHY2 sont impliqués.