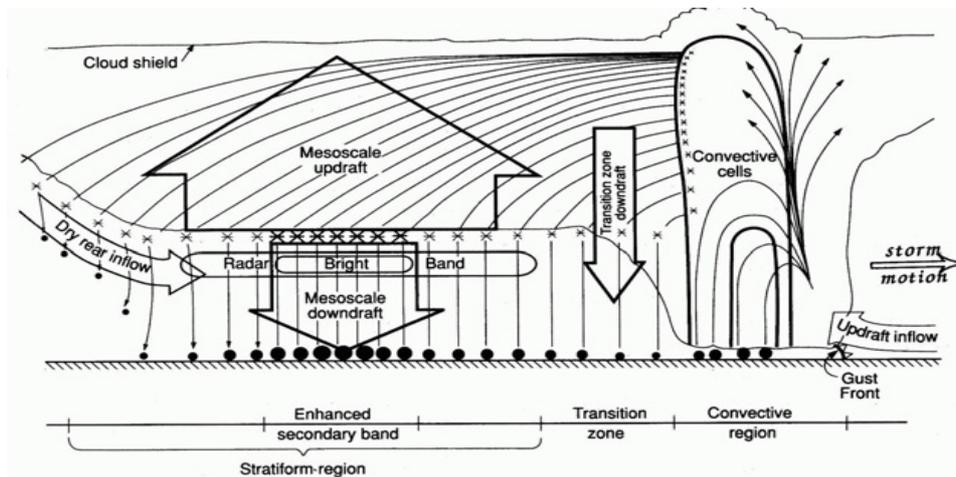




Université Pierre et Marie Curie
Master Océanographie, Atmosphère, Climat et Observation Spatiale
Stage de Master – Première année
Responsable pédagogique du master : Francis Codron

Étude de la sensibilité du modèle LMDZ à la résolution et à la paramétrisation de la convection.

Stage encadré par Frédéric Hourdin, Catherine Rio et Jean-Yves Grandpeix
Réalisé au sein du Laboratoire de Météorologie Dynamique de Jussieu.



- Jérémy Vigneron -
2012-2013

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Vincent Cassé, directeur du LMD (Laboratoire de Météorologie Dynamique) de m'avoir accepté dans son laboratoire suite à ma demande de stage. Je tiens de même à remercier Frédéric Hourdin, directeur adjoint du LMD, de m'avoir préparé ce stage.

Par la suite je tiens à remercier mes encadrants Catherine Rio, Jean-Yves Grandpeix mais aussi Frédéric Hourdin pour avoir été présents durant ce stage, d'avoir pris le temps de m'expliquer et de répondre à mes questions ainsi que de m'épauler dans mon travail. Je les remercie pour le temps qu'ils m'ont consacré afin de m'aider dans la configuration du modèle, dans l'interprétation des résultats, dans la compréhension du sujet mais aussi dans l'utilisation des outils de mise en forme des données.

Je remercie Abderrahmane Idelkadi et Francis Codron pour avoir pris le temps de nous expliquer la partie technique du modèle LMDZ (zoom et paramétrisation).

Je remercie en plus les autres stagiaires Jérôme Dreano et Mathilde Gros qui m'ont aidé pendant mon travail et pour cette dernière qui m'a guidé vers ce stage.

Enfin je remercie toute l'équipe du LMD de l'UPMC qui m'a accueilli et aidé sans soucis durant ces semaines.

Présentation du Laboratoire/ Insertion Professionnelle

Actuellement en première année de master OACOS (Océanographie, Atmosphère, Climat, Observations Spatiales) à l'université Pierre et Marie Curie, j'ai effectué mon stage de sept semaines au sein du Laboratoire de Météorologie Dynamique à Jussieu.

Le LMD a été fondé en 1968 par Pierre Morel et est implanté sur trois sites différents à savoir : à l'école polytechnique de Palaiseau, à l'école nationale supérieure et à l'Université de Pierre et Marie Curie à Paris VI. C'est à ce dernier laboratoire que j'ai effectué mon stage. Il fait partie de l'IPSL (l'Institut Pierre et Simon Laplace) dirigé par Hervé le Treut. Cet organisme qui regroupe 6 laboratoires (LISA, LMD, LPMAA, LATMOS, LOCEAN, LSCE) a pour domaine d'étude les sciences de l'environnement.

Les objectifs principaux du LMD sont d'étudier le climat en général. Ceci comprend donc l'étude de sa variabilité naturelle mais aussi l'impact de la pollution atmosphérique sur celui-ci et de l'activité anthropique. Également, un des objectifs du LMD est d'étudier les atmosphères planétaires notamment pour Mars, Venus, Pluton, Triton, Pluton ou Titan. Pour travailler dans ces domaines, le laboratoire développe trois approches : théorique, instrumentale et numérique. C'est sur ce dernier point que porte mon stage.

Parmi les 200 personnes divisées en 7 équipes scientifiques composant le LMD, j'ai rejoint l'équipe MGCC (Modélisation globale des changements climatiques). Cette équipe travaille sur le développement et l'analyse du modèle LMDZ, composante atmosphérique du modèle de climat de l'IPSL, (voir références bibliographiques [S1] et [S2]).

Sommaire

Introduction

I Mise en place des simulations LMDZ

1. Le modèle LMDZ.....2
2. La configuration du modèle utilisée.....3
3. Effet de la configuration.....4

II Étude de la distribution des précipitations en fonction de la résolution et de la physique utilisée

1. Étude des précipitations moyennes.....6
2. Étude des valeurs extrêmes de précipitations.....8
3. Valeurs aberrantes – Tempêtes en point de grille.....11

III Représentation de l'oscillation de Madden Julian

1. Détection temporelle de l'événement.....11
2. Détection spatiale de la MJO.....13
3. Représentation de l'onde.....14

Conclusions.....15

Bilan personnel du stage.....16

Annexes.....17

Bibliographie.....20

Introduction

L'atmosphère, cette enveloppe protectrice constituée de multiples couches qui est la source de toute vie, est le fruit de millions d'années d'émanations gazeuses, de réactions chimiques et de perturbations. Ce qui paraît être comme une machine thermique bien équilibrée, stable, est en fait un élément en déséquilibre permanent. Sous l'effet de forçages tels que la variabilité de l'ensoleillement ou les rejets de la surface de la Terre, des courants vont se créer, ainsi que des réactions parfois violentes. A la différence de ces changements brusques, le LMD se concentre sur l'étude des états moyens. L'ensemble des conditions atmosphériques moyennes dans une région donnée et sur une période de temps longue détermine le climat. De nombreux facteurs vont influencer celui-ci, mais la convection est un point déterminant dans ce système, surtout dans les Tropiques. Les nuages cumuliformes vont conditionner la circulation générale ainsi que les régimes de précipitation sur Terre.

Les nuages sont issus de processus de condensation d'une partie de la vapeur d'eau de l'atmosphère autour de particules solides. Cette condensation peut se faire majoritairement dans les tropiques selon deux processus : la convection et le soulèvement progressif de masse d'air ou advection. La convection est un processus qui entraîne un soulèvement local et rapide des particules. Ce soulèvement résulte de la création d'un gradient induit par un réchauffement de la surface et modifiant les propriétés thermodynamique des basses couches. Les particules composant ces couches, n'ayant pas les mêmes propriétés physiques que leur environnement, vont bouger afin de se retrouver dans un environnement plus stable. Le deuxième processus est un processus plus lent où les masses d'air atteignent le niveau de condensation suite à de l'advection associée à de faibles mouvements verticaux. Les nuages produits par ce dernier processus ont une étendue verticale peu développée alors que celle des nuages convectifs l'est énormément (atteignant parfois la tropopause). Les précipitations provenant de ces deux structures vont être différentes, avec des taux de chauffage différents et des intensités variables ce qui va influencer le climat (voir référence bibliographique [B1]).

La convection prend souvent la forme d'orages localisés, mais il arrive que plusieurs événements convectifs puissent s'organiser à l'échelle planétaire et se propager telle une onde. C'est le cas de l'oscillation Madden Julian (MJO) qui débute en Afrique équatoriale, se développe rapidement en passant sur l'océan Indien et disparaît progressivement au dessus du Pacifique. Elle se caractérise par un déplacement de la convection d'Ouest en Est durant 40 à 50 jours et est accompagnée par des variations du vent zonal à 850 hPa de l'ordre de 2 à 3 m/s et une baisse de pression entre 0,7 à 1 hPa pour la période convective de l'événement (voir référence bibliographique [B2]). Cette oscillation a donc un fort impact sur le climat tropical et sur la répartition des précipitations. Il apparaît donc important de l'étudier d'avantage afin de pouvoir la comprendre et la prévoir et pour ce faire nous allons utiliser la modélisation.

Avec l'arrivée des ordinateurs les chercheurs peuvent faire appel à la modélisation, un outil essentiel permettant de faire le lien entre la théorie et les observations. Un modèle est une représentation numérique de la réalité. Pour produire des simulations le modèle utilise la puissance de calcul des ordinateurs afin de résoudre les équations caractérisant les phénomènes étudiés dont on ne connaît pas les solutions analytiques. C'est donc avec le développement de l'informatique que les premiers modèles ont pu voir le jour.

Dans cette étude, nous travaillons sur un modèle de l'atmosphère qui la découpe en sections plus ou moins régulières et sur les trois dimensions, aussi appelée mailles. Pour des simulations courtes ou pour de petits domaines, la taille des mailles peut approcher les 5 km. Ceci concerne

principalement les modèles de prévisions météorologiques. Ici le but est d'étudier le climat, par soucis de performances de calcul on va avoir de grosses mailles, de l'ordre de la centaine de kilomètres. Dans chaque maille est effectué un ensemble de calculs permettant d'obtenir des solutions numériques des équations de la dynamique de l'atmosphère, c'est le problème majeur des modèles. Ces équations sont résolues sur la maille du modèle, ce qui fait que tous les phénomènes qui ont une échelle inférieure à cette maille ne sont pas explicitement représentés. Pour représenter ces phénomènes sous mailles, on utilise la paramétrisation (voir références bibliographiques [E1] et [E2]).

La paramétrisation a pour but de décrire l'effet d'un phénomène sous maille sur les variables d'état du modèle calculées au centre des mailles comme la température, l'humidité ou le vent. Les paramétrisations fournissent des termes sources aux équations de la dynamique. De ce fait ce processus est en quelque sorte un ensemble de petits modèles appliqués à une maille dans le modèle général. Néanmoins, ces sous modèles ne calculent pas précisément l'état des éléments présents dans la maille (phénomène de turbulence, de convection...), mais ils se concentrent sur l'aspect statistique, moyenné de cet état. De plus, ils se concentrent d'avantage sur des variabilités verticales en prenant souvent en compte une certaine constance des phénomènes d'un point de vu horizontale de par la grande taille de la maille (voir référence bibliographique [B3] et [E3]).

La taille d'un système convectif étant a peu près sous maille pour une résolution de 200 km, que peut il se passer quand la résolution descend à 100 voir 50 km et que l'orage devient en partie résolu par le modèle ?

Notre étude a donc pour but de constater les effets respectifs entre la variation de la résolution et la variation de la paramétrisation dans la distribution des précipitations et la représentation des phénomènes convectifs de l'événement MJO observé dans dans l'océan Indien lors de la campagne CINDY/DYNAMO de 2011.

I Mise en place des simulations LMDZ

1. Le modèle LMDZ

Le modèle LMDZ (z pour zoom) est la composante atmosphérique du modèle de climat de l'IPSL. C'est un modèle de circulation générale développé par le Laboratoire de Météorologie Dynamique ayant pour sujet d'étude le climat. Il a pour objectif de résoudre les équations de la physique et de la dynamique des fluides. Il se base donc sur toutes les équations physiques et thermodynamiques régissant l'atmosphère, mais pas seulement. Le modèle est couplé avec des parties prenant en compte l'impact des océans mais aussi des végétaux.

Le modèle LMDZ est principalement utilisé au LMD dans le but de prévoir le climat futur à l'aide des connaissances du climat actuel. Pour cela, sa variabilité naturelle et sa variabilité ayant pour origine les actions anthropiques sont au centre des études (voir référence bibliographique [S2] et [E2]).

Une force de ce modèle est de disposer de paramétrisations de la convection et des nuages nouvelles et originales. Dans ce stage, nous allons comparer une approche classique pour représenter la convection (ancienne physique) avec deux versions plus novatrices. La première, appelée nouvelle physique apporte un schéma de convection plus développé, avec notamment la représentation des poches froides sous les cellules convectives et un meilleur modèle des structures convectives de la couche limite. La deuxième dite trigger, associe à la convection un déclenchement stochastique, c'est à dire que cette convection se déclenche en prenant en compte la taille de la cellule et d'autres

facteurs. Un orage se divise en deux zones principales à savoir une zone convective avec des pluies intenses et une zone stratiforme avec des pluies moins intenses. De ce fait comment se fait la répartition entre pluies convectives et à grande échelle dans le modèle ?

Dans le LMDZ on retrouve un schéma net de la convection caractérisé par des ascendances, par la formation de cumulus congestus ou de cumulonimbus et produisant les pluies convectives, et un schéma dit de condensation grande-échelle ayant des mouvements horizontaux plus prononcés et pas d'ascendance. Il produit les pluies dites stratiformes ou à grande échelle. Enfin un schéma stable définissant ce qui se trouve dans la couche limite à savoir l'évolution des cumulus bloqués dans cette couche. Seulement une zone d'ombre persiste encore dans ces schémas : entre la zone convective et la zone stratiforme, il existe une zone tampon qui peut être considérée par les deux schémas. Ainsi nous allons voir les effets de la prise en compte par l'un ou par l'autre des schémas de convection sur la répartition des pluies, ceci va être guidé par le choix de la résolution et de la paramétrisation.

2. La configuration du modèle utilisée

Les interactions au sein de l'atmosphère étant complexes, il est important de prendre en considération à la fois la circulation générale et les processus locaux. Néanmoins, pour une étude localisée, un soucis technique apparaît : comment étudier une zone précisément tout en continuant de prendre compte l'atmosphère en général et la plupart des processus qui la compose sans pour autant dépasser la capacité de calcul des machines d'aujourd'hui ? C'est pour répondre à cette question que la notion de zoom est apparue. Le zoom consiste à augmenter progressivement la résolution du modèle au fur et à mesure que l'on se rapproche de la zone d'étude. De ce fait, on continue à prendre en compte l'atmosphère d'un point de vue général mais à l'aide du zoom on raffine le maillage dans la zone qui nous intéresse sans pour autant isoler complètement des phénomènes qui se déroulent en dehors. On peut bien visualiser ceci avec la figure 1 qui montre bien une augmentation progressive de la résolution au fur et à mesure que l'on se rapproche de notre centre d'étude (voir référence bibliographique [E4]).

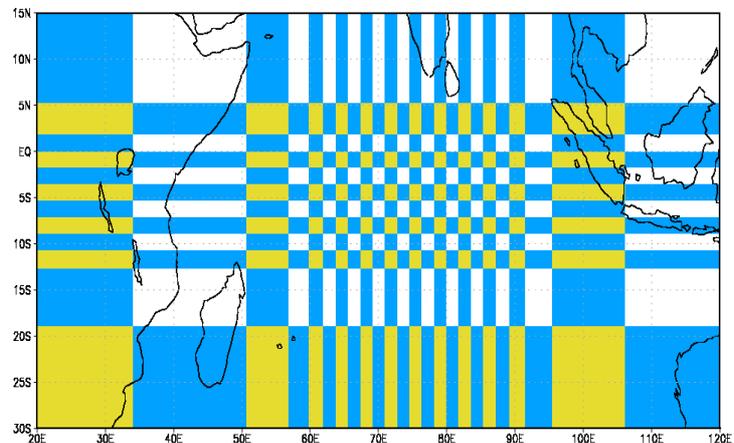


Figure 1 : Représentation de la structure du zoom sur la zone d'étude pour une résolution de 200 km au centre.

Pour notre étude, nous avons décidé de centrer le zoom autour des coordonnées 75° longitude et 5°Sud latitude. Ceci correspond en fait approximativement au cœur de la zone d'étude CINDY/DYNAMO qui est une campagne scientifique s'étant déroulée entre octobre 2011 et mars 2012 et qui a fait des mesures de l'événement MJO entre 73° et 80° de longitude et entre 0° et 7°Sud de latitude (voir référence bibliographique [S3]). La campagne de mesures ayant perçue un pic de MJO le 27 Novembre, en nous centrant sur cette zone nous allons ainsi essayer de voir si nous percevons dans les sorties du modèles ce pic. De plus nous avons décidé d'utiliser trois résolutions différentes afin de mettre en évidence l'impact de la taille de la maille dans la représentation des phénomènes atmosphériques. Pour cela nous utilisons des résolutions de 50 km,

100 km et 200 km (cette dernière étant visible dans la figure 1 présentée ci-dessus), pour des grilles de dimensions : 96x48x39, 48x28x39 et 32x20x39.

Les mailles au bords étant déformées, et soucieux de détecter l'événement MJO dans les sorties du modèle, il convient d'orienter le modèle vers des observations afin de pouvoir le ramener vers des résultats cohérents et proches de la réalité. C'est ce que l'on appelle le guidage.

Le guidage est un processus qui force le modèle à approcher ses résultats à ceux avec lesquels on le guide. On le définit spatialement ; on peut guider l'extérieur de la zone d'étude ou l'intérieur, mais aussi temporellement ; en définissant la constante de rappel tau qui permet de régler sous combien de temps le modèle doit réajuster ses résultats pour correspondre à ceux importés par le guidage. On peut également définir quelles variables on guide. Le guidage s'effectue à l'aide de l'équation suivante :

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)_{gcm} + (v_{analyse} - v) / \tau$$

où v est la variable calculée par le modèle, t le temps, $v_{analyse}$ la variable avec laquelle on guide et τ la constante de rappel du guidage. Ici on guide seulement le vent zonal et méridien par les données ERA-Interim. On cherche à voir comment le modèle évolue par lui même à l'intérieur du zoom. Pour ce faire, on utilise des valeurs différentes des constantes de guidage dans la région zoomée et à l'extérieur : τ est de 3h à l'extérieur et de 10 jours à l'intérieur. Le fait de guider fort à l'extérieur permet d'éviter au modèle qu'il dérive. Seulement malgré ce guidage fort à l'extérieur, on tient à ce que le modèle puisse évoluer presque librement au cœur du zoom, car le but est de voir comment il réagit par lui même. Afin d'initialiser les simulations correctement, on a réalisé une simulation initiale de 15 jours avec un guidage intérieur très fort, à 3h. Ceci nous a permis de générer des fichiers de départ adéquats pour lancer les simulations qui nous intéressent et ainsi les démarrer dans un état initial proche de la réalité. L'état initial est très important car si celui-ci est trop éloigné de la réalité le modèle va intensifier cet éloignement par l'ajout de ses erreurs de calcul (voir référence bibliographique [E4]).

On étudie une zone de 30 jours afin que le modèle puisse rapidement sortir des résultats sur des ordinateurs de bureau standards. On étudie précisément la période du 15 Novembre 2011 au 15 Décembre 2011 afin de pouvoir détecter la phase de MJO active qui comporte un pic dans les précipitations le 27 Novembre. La phase de préparation des fichiers initiaux s'est déroulée du 1 au 14 Novembre. On va ainsi chercher à étudier l'impact relatif d'un changement de physique ou de résolution sur ces phénomènes de convection organisés.

3. Effet de la configuration

Ayant guidé ces simulations avec les vents issues de ERA-INTERIM, on va dans un premier temps étudier cette variable et voir s'il existe des différences entre physiques et configurations.

La figure 2 présente les sorties du modèle pour l'ancienne physique pour des résolutions de 50 et 100 km. On peut y voir la répartition des vent zonaux/méridionaux et des précipitations moyennées sur les 30 jours de la période d'étude. Ce sont à chaque fois des données journalières qui sont utilisées pour effectuer ces moyennes. Dans un premier temps nous allons nous concentrer sur les vents, représentés à l'aide des vecteurs blancs. Pour un soucis de clarté un vecteur sur deux a été représenté pour la résolution à 50 km. Ainsi il semble y avoir le même nombre de vecteur dans les deux sorties alors qu'en réalité ce n'est pas le cas, mais ceci permet de mieux les comparer.

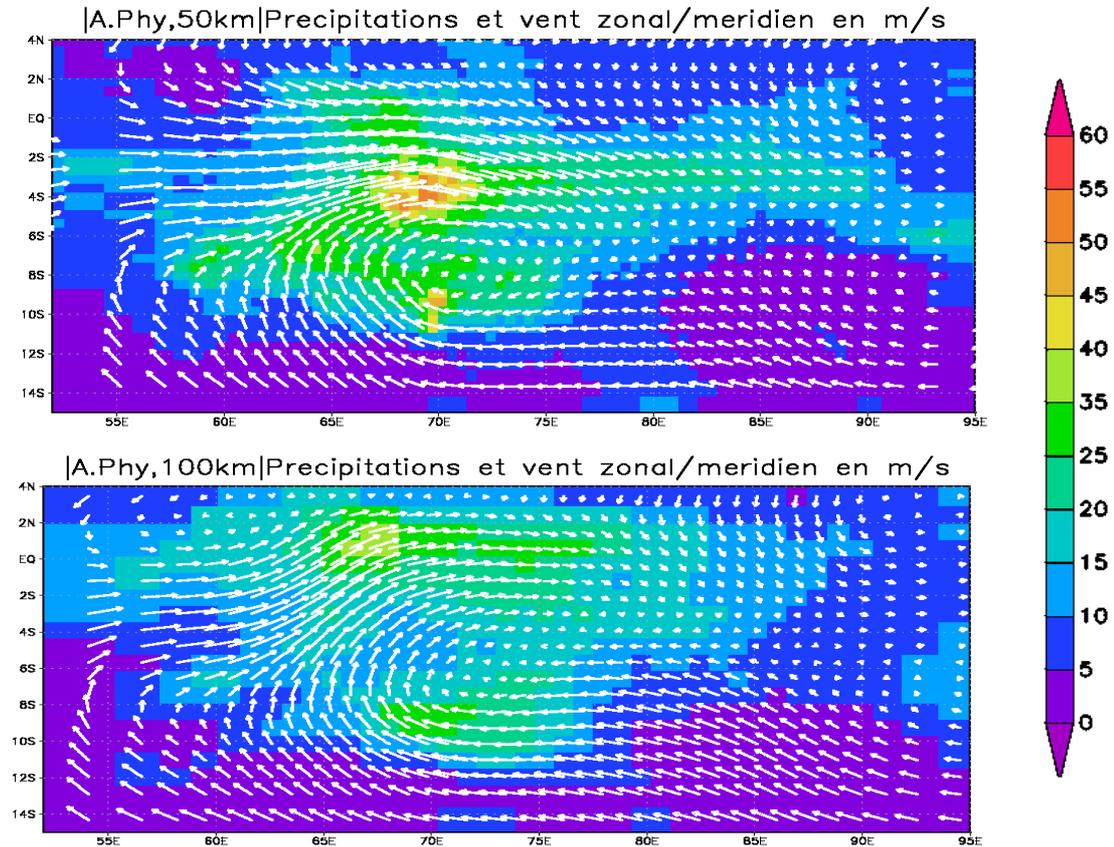


Figure 2 : Vent zonal et méridien moyennés sur 30j sur une carte des précipitations journalières moyennées sur 30j – Ancienne Physique-

Ce qui en ressort dans un premier temps est la proximité des vents aux bords du domaine entre les deux résolutions, ceci confirme le fait que le guidage extérieur est le même et qu'il n'y a pas eu de soucis de manipulation. Les quelques écarts sont seulement dus au fait d'éliminer des vecteurs. Ensuite, si l'on s'intéresse d'avantage à l'intérieur de la zone, on retrouve des similarités en ce qui concerne les structures : entre 4°Sud et 14°Sud de latitude on peut constater une remontée des alizés, vers le Nord Ouest on retrouve une structure de vent se dirigeant légèrement vers l'Est, mais ce qui est marquant, c'est la structure centrale tournant dans le sens horaire. On la retrouve dans les deux résolutions mais on peut constater une différence majeure. En effet on voit que pour la résolution de 50 km, la dominance des vent dans cette zone est plutôt zonale vers 3°Sud de latitude. A la différence, pour la résolution de 100 km, on ne retrouve pas cette configuration zonale des vents mais on voit que ceux-ci ont tendance à s'orienter vers le nord-est. Après discussion avec quelques membres du laboratoire, l'explication physique de cette différence de circulation reste inconnue mais semble néanmoins liée à ce changement de configuration. Il apparaît donc qu'en ce qui concerne les vents dans la zone étudiée, le changement de configuration ait une importance non négligeable. Les circulations en sont changées. Pour ce qui est de la circulation à 200 km de résolution, elle se rapproche de celle à 50 km avec une dominante zonale vers 2°S de latitude.

On présente en annexe 1, les sorties pour la nouvelle physiques qui ne présentent pas de variations en comparaison avec l'ancienne physique.

Ainsi il apparaît qu'en vu des grosses différences quand on change de résolution, la structure des vents semble plus dépendre de la configuration utilisée que de la physique.

Une question se pose : si notre circulation des vents est changée, cela a-t-il un impact sur la représentation de la pluie ?

Pour cela nous allons maintenant nous concentrer sur le fond des cartes présenté sur la figure 2. Celui-ci représente la répartition des précipitations journalière moyennée sur 30 jours. En premier lieu, on constate que les nœuds de précipitations ont des localisations différentes entre les résolutions. Alors que l'on retrouve une concentration de fortes valeurs entre 4°Sud et 2°S pour la sortie à 50 km de résolution, on ne va pas la retrouver dans celle à 100 km au même endroit, elle se situe plutôt entre 0° et 2°N. Ainsi nous avons déjà une première différence de localisation des précipitations importantes entre les résolutions.

Ce qui est marquant quand on compare les vents et les précipitations, c'est qu'il semble y avoir un lien entre ces deux éléments. Quand le vent est plus zonal le nœud de précipitations avoisine les 2-4°Sud alors que s'il se dirige plus vers le Nord-Est, le nœud de pluie est décalé vers le Nord. Il apparaît donc là un couplage vents – précipitations.

On retrouve ces résultats en annexe 1 avec la nouvelle physique mais avec des pics de précipitations plus élevés. Les comparaisons des deux mêmes configurations avec la nouvelle physique confirmant que la configuration influe fortement.

On voit donc bien là que la configuration (grille et guidage) a un réel impact sur l'effet de la paramétrisation, et nous allons essayer de comprendre comment la distribution spatio temporelle des pluies évolue en fonction de la résolution et de la physique.

II Étude de la distribution des précipitations en fonction de la résolution et de la physique utilisée

1. Étude des précipitations moyennes

Dans la suite de cette étude, nous nous concentrons sur la représentation des précipitations (issues de la convection ou à grande échelle) en fonction des différentes physiques et résolutions. Auparavant nous avons vu qu'il existait des variations de localisations des précipitations en fonction de la résolution et de la physique utilisée, nous allons dans ce paragraphe étudier ceci plus en détail. C'est pourquoi nous nous intéressons dans un premier temps à la répartition spatiale de celles-ci.

Pour pouvoir soustraire les sorties des simulations à différentes résolutions, on reprojette les sorties des simulations à 50 et 100 km de résolution sur la grille à 200 km. Pour ce faire la manipulation va faire appel à des moyennes glissantes afin de calculer les nouvelles valeurs des pixels pour les sorties à 50 et 100 km de résolution.

Dans la figure 3 on peut donc voir la différence des précipitations et vent moyens sur 30 jours des grilles de 50,100 km réajustées et 200 km moins la sortie des valeurs moyennes de précipitations et vents pour l'ancienne physique à 50 km de résolution. Ceci nous permet de visualiser directement les écarts entre les localisations des concentrations de pluie mais aussi des intensités. Dans un premier temps on se concentre sur la différence entre les sorties à 50 km de résolution et la référence ce qui correspond à la première ligne de la figure. Les écarts sont faibles et on ne distingue pas de structures particulières.

Pour ce qui est de la différence entre les sorties de la résolution à 100 km et la référence, on peut voir deux pôles distincts de précipitations : la sortie à 100 km tend à produire plus de précipitations vers le nord (représenté par une différence positive en rouge) que la référence à 50 km (représentée par une différence négative en bleu). Cette différence est notamment marquée dans la nouvelle

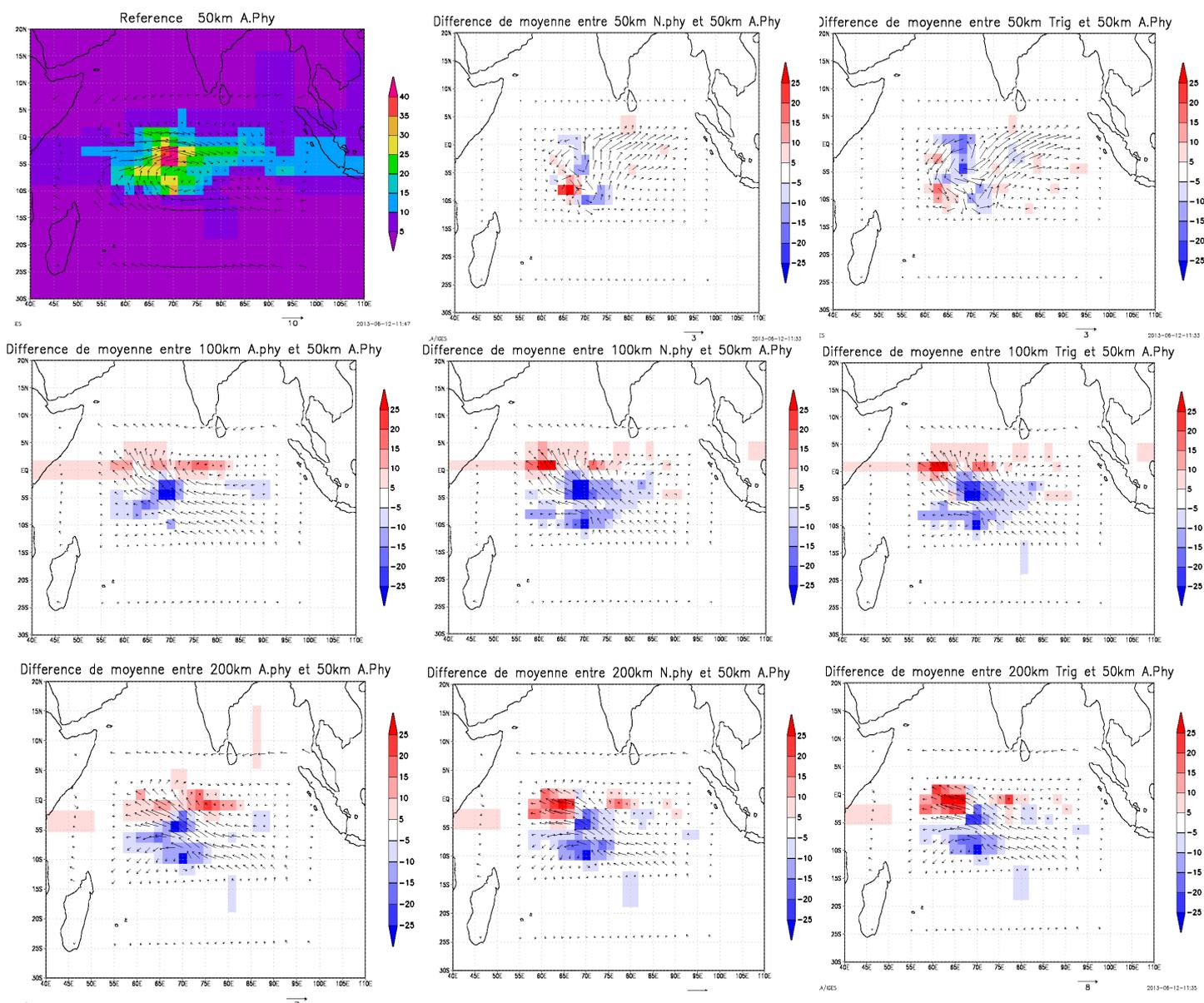


Figure 3 : Différences entre la sortie de référence (50 km de résolution et ancienne physique – présentée en haut à gauche) et les autres sorties. Les résolutions sont classées suivant les lignes et les physiques suivant les colonnes.

physique et dans la trigger. On peut également voir une accentuation de l'intensité de ces cœurs pour les nouvelles physiques.

Enfin pour ce qui est de la différence entre la résolution à 200 km et la référence, on retrouve les observations faites pour celle à 100 km mais on constate quand même une augmentation de la différence pour le cœur de précipitation au nord. Il semble que la différence des précipitations pour le cœur au sud soit moins marquée, il y a donc eu un déplacement des précipitations entre les résolutions à 100-200 km. Mais ce déplacement est plus marqué entre les résolutions à 50 km et celles de 100 et 200 km. Ceci est en lien avec la différence de circulation des vents qui est très différentes entre la première résolution et les deux autres. Alors que dans la première les vitesses sont de l'ordre de 3 m/s et les directions assez aléatoire, dans les autres résolutions les vitesses approchent les 8 m/s et la circulation est dirigée vers le Nord-Ouest.

Suite à cette analyse il apparaît clair que d'un point de vue spatial la résolution impacte la répartition des précipitations, notamment quand on passe d'une résolution fine à moyenne. Mais les différences sont plus notables entre l'ancienne et les nouvelles physiques.

On cherche désormais à savoir si l'intensité moyenne de ces précipitations est influencée de même et à étudier la répartition entre précipitations convectives et stratiformes.

Pour ce faire, on se concentre désormais sur le carré CINDY/DYNAMO afin d'en sortir les valeurs moyennes de précipitations sur la zone et sur la durée de l'étude. On visualise ces résultats ci-dessous dans la figure 4 représentant les valeurs numériques des moyennes sous forme d'histogramme au travers des différentes résolutions, physiques et variables.

Les variables étudiées sont : precip qui caractérise les précipitations totales, pluc pour les précipitations issue de la convection et plul pour les précipitations dites à grande échelle ou stratiformes.

On constate que majoritairement l'ancienne physique tend à apporter plus de précipitations (totales, convectives et stratiformes) que les nouvelles physiques. On peut distinguer un écart proche de 2 mm entre ces physiques. Mais si maintenant on regarde la résolution, il apparaît plus difficile d'en tirer des conclusions. Les sorties à 100 km de résolution apportent moins de précipitations en moyenne que celles à 50 et 200 km. De plus la répartition entre précipitations convectives et précipitations à grande échelle semble à peu près constante au travers des résolutions.

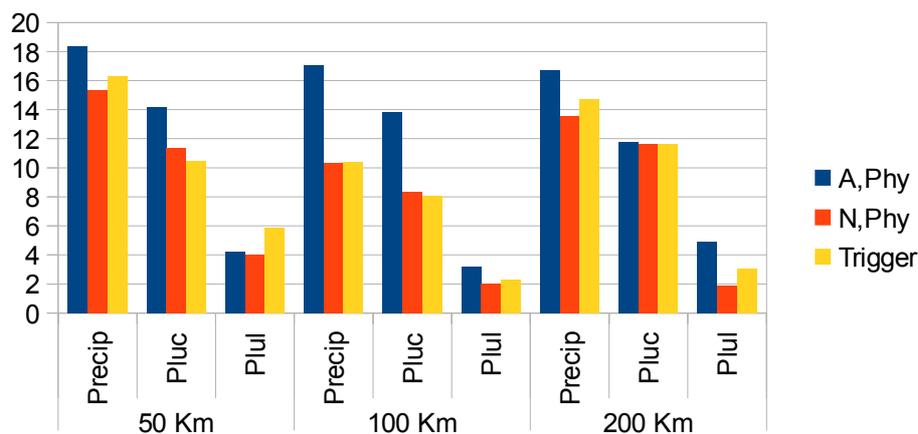


Figure 4 : Moyennes spatiales des précipitations (en mm/j) sur la zone proche de CINDY/DYNAMO sur les 30 jours

Alors que la localisation des précipitations semblait être déterminée par la résolution, l'étude des moyennes spatiales confirme bien ce que nous avons vu dans la figure 3 à savoir que pour l'intensité de ces moyennes c'est la physique qui semble influencer le plus. Il semble maintenant intéressant d'étudier les valeurs extrêmes de précipitations, valeurs qui ont été lissées par la précédente analyse afin de voir comment elles sont réparties à leur tour.

2. Étude des valeurs extrêmes des précipitations

Les systèmes orageux provoquant des pluies intenses, on va dans la suite de cette étude voir la représentations de ces extrêmes au travers des différentes physiques et résolutions.

Nous avons vu qu'en fonction de la résolution et de la physique choisies, les pics de précipitations ne se localisaient pas aux mêmes endroits et n'avaient pas les mêmes intensités. Il apparaissait que la nouvelle physique tendait à apporter des pics plus violent que l'ancienne physique et que la résolution était déterminante dans la localisation de ceux-ci. Après cette étude spatiale nous allons maintenant essayer de quantifier leur intensité afin de voir leur répartition.

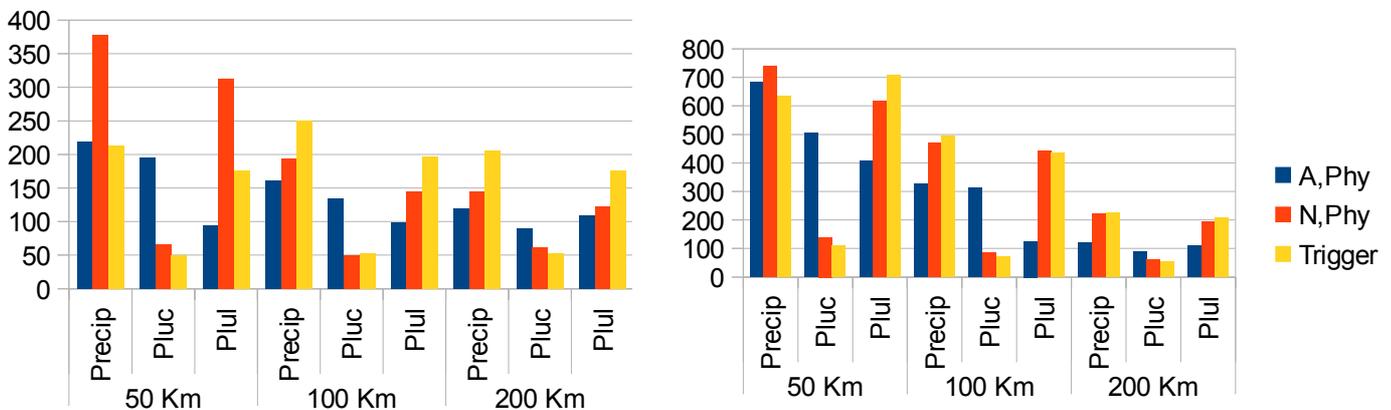


Figure 5 : Maximums spatiaux et temporels des précipitations (en mm/j) sur la zone proche de CINDY/DYNAMO. A gauche sortie regrillée, à droite non regrillée.

Pour étudier ces extrêmes, nous détectons le pixel qui a la plus forte valeur sur la zone étudiée sur les 30 jours d'étude. Ceci nous a permis de construire l'histogramme présenté en figure 5, ayant la même organisation que celui des moyennes que nous avons pu voir dans la figure 4. On étudie les sorties réadaptées à la grille de 200 km de résolution. Si nous ne réadaptions pas les grilles de 50 et 100 km à celle de 200 km, nous obtenons une diminution des intensités en fonction de l'augmentation de la résolution comme on peut le visualiser dans la figure 5 à droite. Si l'on se concentre sur la variable precip, on peut voir qu'elle atteint les 650 mm/j en moyenne pour les trois physiques, alors que pour la résolution de 100 km on atteint les 400 mm/j. Enfin si on étudie la grille à 200 km, on est plus qu'à 160-170 mm/j. On voit donc bien là qu'un changement de résolution sur des sorties non regrillées entraîne de gros écarts. Ceci s'explique par la taille des mailles. Pour un phénomène particulier représenté dans une maille à 50 km, il va être quatre fois moins intense dans une maille à 100 km.

On étudie donc ainsi les sorties regrillées constituant l'histogramme de gauche dans la figure 5. Dans un premier temps on constate que nous ne retrouvons pas de grands écarts de valeurs entre les résolutions comme dans l'ancienne étude, hormis pour la nouvelle physique en 50 km de taille de maille. Si l'on se concentre dans un premier temps sur l'ancienne physique, on constate que les extrêmes de précipitations sont surtout causés par des précipitations issues de la convection (on le visualise bien pour 50 et 100 km de résolution). Par contre, dès lors que l'on étudie les nouvelles physiques, on peut voir que la répartition est complètement différente. En effet si on se concentre sur la nouvelle physique, on peut aisément voir que les précipitations dites à grande échelle ont des valeurs de deux voir trois fois la valeur des précipitations convectives.

On notera également une certaine stabilité des résultats dans la trigger : on reste proche des 50 mm/j pour les précipitations convectives, des 160 mm/j pour les précipitations stratiformes mais on est un peu plus contrasté pour les précipitations totales. La physique dite trigger semble donc peu liée à la résolution en ce qui concerne les extrêmes de précipitations.

Seulement ici nous n'avons considéré à chaque fois que le pixel ayant la plus forte valeur dans la zone et la période étudiées. Afin de pouvoir tirer des conclusions, nous devons analyser ce qu'il en est pour les autres pixels.

Pour ce faire nous avons dessiné en figure 6 des diagrammes de dispersions des précipitations stratiformes en fonction des précipitations totales pour les différentes physiques et pour une résolution de 50 km avec les sorties non regrillées. Les valeurs des précipitations stratiformes sont exprimées en pourcentages de précipitations totales.

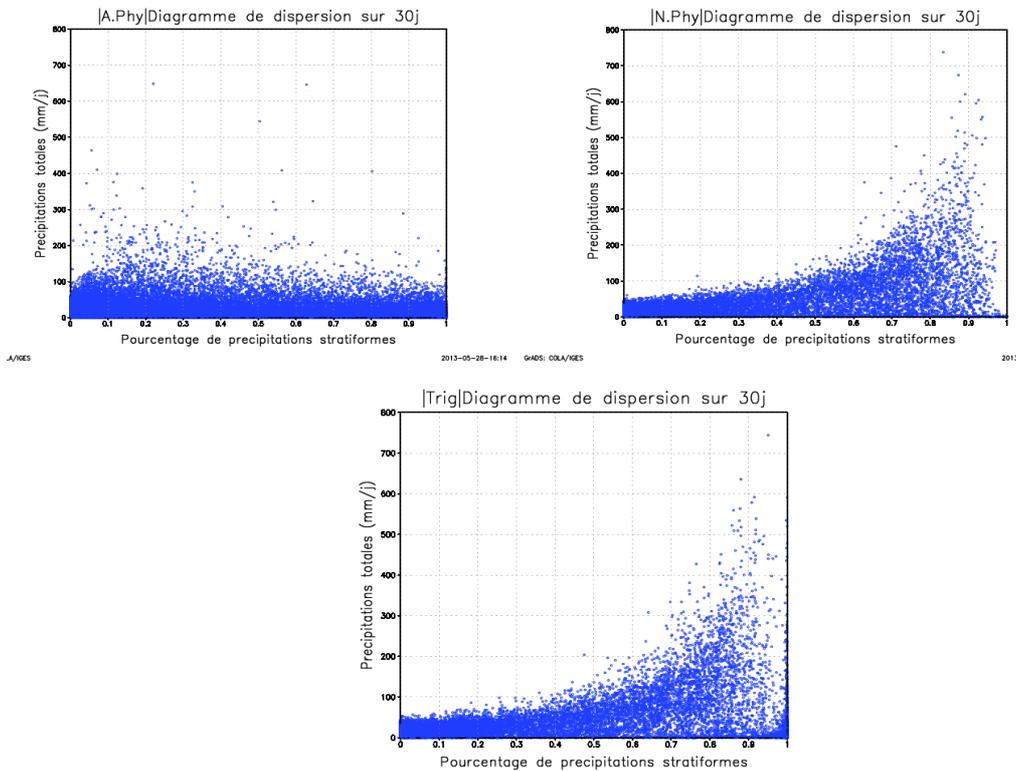


Figure 6 : Diagrammes de dispersion des précipitations stratiformes en fonction des précipitations totales pour la zone large – 50 km de résolution

Alors que pour l'ancienne physique la répartition des précipitations stratiformes est grosso-modo homogène, on voit une grosse différence lorsque l'on étudie la nouvelle physique et la trigger. Pour de forte valeurs de précipitations, le pourcentage de précipitations stratiformes est élevé, de l'ordre de 70 à 95 %. Ceci est donc en accord avec les premières observations que nous avons pu faire dans la figure 5 et confirme donc une répartition des extrêmes de pluie favorisant les précipitations stratiformes pour la nouvelle physique et la trigger alors que l'ancienne favorisait les précipitations convectives. Seulement dans la réalité, les système convectifs on tendance à avoir de fortes intensités de précipitations convectives et des intensités moindre de précipitations stratiformes. Il apparaît donc là que l'ancienne physique soit plus proche de la réalité que les nouvelles.

On présente en annexe 3 et 4 les diagrammes pour les résolutions de 100 et 200 km dont on tire les mêmes conclusions que le diagramme en figure 6.

On a donc ici deux effets distincts sur les précipitations :

- plus la résolution est grossière et moins les extrêmes de précipitations sont forts
- les nouvelles physiques changent la répartition des types de précipitations

3. Valeurs aberrantes – Tempêtes en point de grille

Tempête en point de grille du 14 Déc, N.Phys, vent et précipitations stratiformes (en bleu)

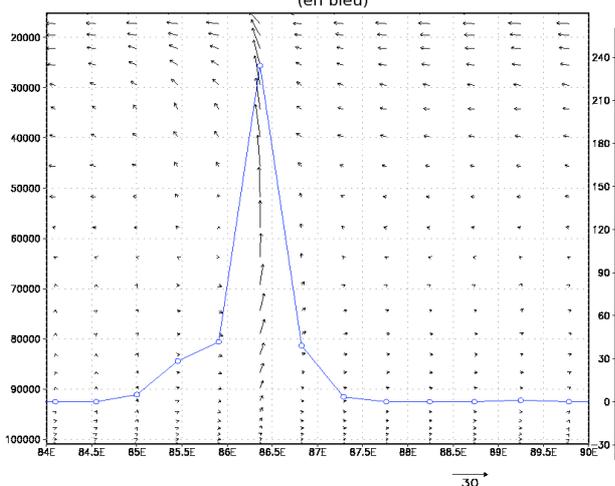


Figure 7 : Coupe verticale des vents zonaux et verticaux et des précipitations stratiformes en fonction de la longitude

Seulement il apparaît maintenant intéressant au vu des valeurs extrêmes précédemment observées de se demander si celles-ci sont réalistes. C'est pourquoi nous allons maintenant nous intéresser aux valeurs aberrantes des sorties du modèle.

Pour ce faire nous choisissons, suite à des analyses d'observations, de définir un seuil de précipitations journalières à 150 mm/j. A l'aide de ce seuil nous avons pu éliminer les faibles valeurs ce qui nous fait ressortir les valeurs importantes. Les résultats sont présentés en annexe 4. Ils confirment les précédentes conclusions, mais vont surtout nous aider pour détecter les valeurs aberrantes. Ainsi nous avons pu isoler plusieurs tempêtes en point de grille, c'est à dire, plusieurs pixels où les valeurs sont

trop extrêmes et trop isolées. Dans l'annexe 5, on présente une de ces tempêtes daté du 14 décembre pour 50 km de résolution.

Dans la partie Est de la figure, on peut voir un point isolé avec une valeur extrême : alors qu'autour les valeurs des pixels sont proches de 50 mm/j, ce pixel a pour valeur près de 240 mm/j. Ceci paraît peu réaliste et semble constituer une tempête en point de grille. Nous allons l'analyser d'un point de vue vertical afin de savoir si ce point est incohérent ou non. Nous présentons la coupe en figure 7.

La structure des vents en 86,5° de longitude est trop extrême et isolée pour être réelle. Il apparaît donc bien là que ce point est une valeur aberrante calculé par le modèle. On retrouve des tempêtes en point de grille dans toutes les résolutions et toutes les physiques. Il est donc important quand on étudie les extrêmes, de ne pas se cantonner à une seule valeur mais à les étudier dans leur globalité comme nous l'avons fait avec le diagramme de dispersion afin de passer outre ces erreurs de modèle.

III Représentation de l'oscillation de Madden Julian

1. Détection temporelle de l'événement

Après avoir analysé l'impact de la physique et de la résolution sur le partage des précipitations dans la zone étudiée, nous allons désormais nous concentrer sur cette zone, voir dans quelle mesure les différentes configurations du modèle parviennent à représenter l'événement MJO et si oui quels sont les effets respectifs de la physique et de la résolution sur cet événement. Pour ce faire, nous allons essayer de voir si dans un premier temps nous pouvons détecter l'événement MJO d'un point de vue temporel sur les sorties du modèle que nous avons simulées.

Pour tenter de détecter cela, nous allons étudier la figure 8 qui présente les précipitations moyennées sur la zone proche de celle de CINDY/DYNAMO réparties dans le temps pour 50 km de résolution à gauche, 100 km en haut à droite et 200 km de résolution en bas à droite.

On décrit cette évolution temporelle au travers des trois physiques.

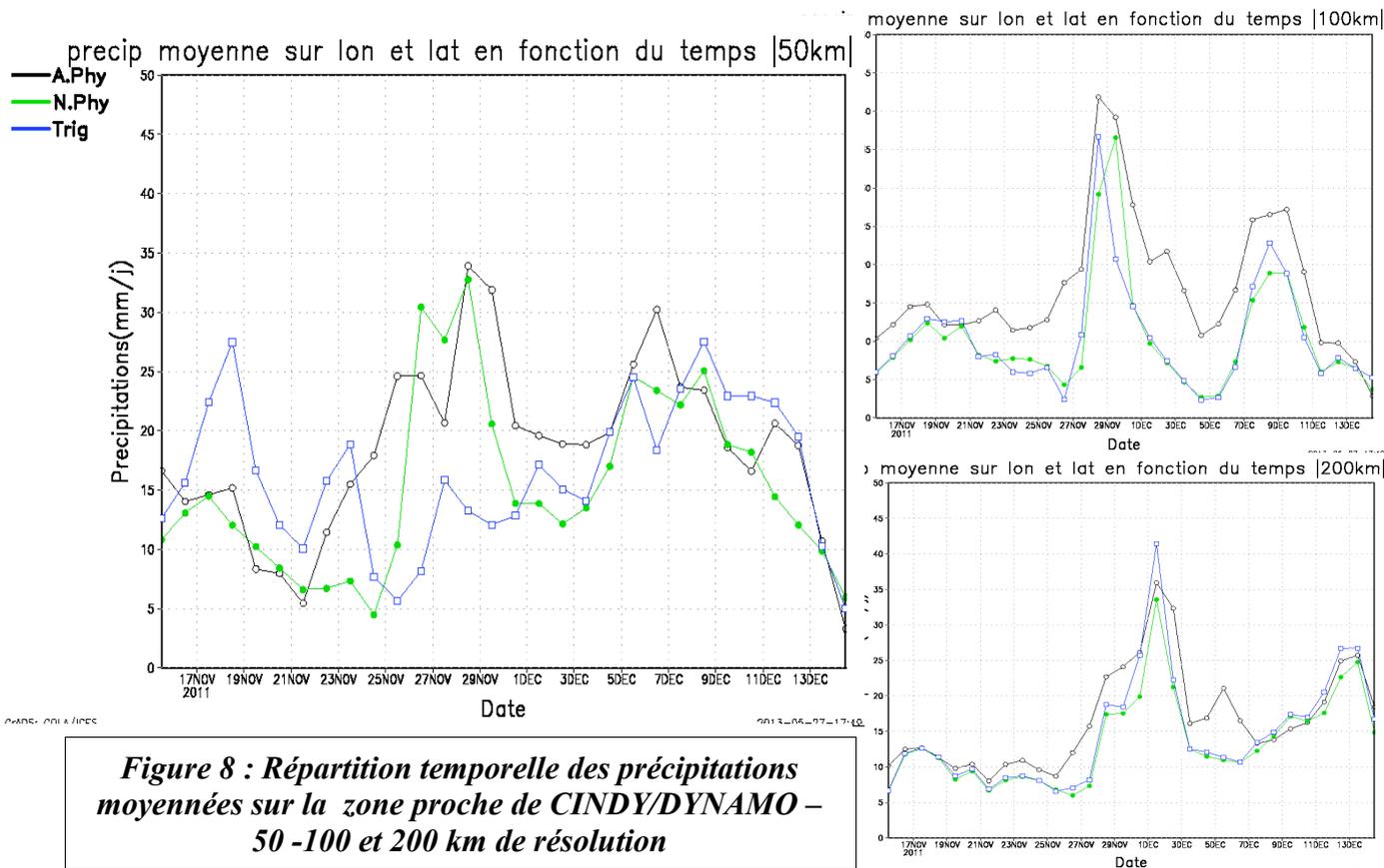


Figure 8 : Répartition temporelle des précipitations moyennées sur la zone proche de CINDY/DYNAMO – 50 -100 et 200 km de résolution

Tout d'abord on voit dans l'ancienne et la nouvelle physique une augmentation des précipitations journalières sur la zone entre le 23 et le 29 novembre pour l'ancienne et entre le 25 et le 29 novembre pour la nouvelle physique. Ceci concorde avec le pic de MJO qui a eut lieu le 27 Novembre 2011. La nouvelle physique semble donc mieux détecter temporellement l'événement. Par contre, en ce qui concerne la trigger, on ne détecte pas du tout de pics avoisinant le 27 Novembre. La physique semble donc beaucoup influencer les sorties et donc modifie la détection temporelle de cet événement. Qu'en est-il de la résolution ?

Si l'on étudie la sortie pour 100 km de résolution, on constate que les physiques s'accordent davantage sur les résultats. L'ancienne physique a tendance à simuler plus de précipitations que les nouvelles physiques, on retrouve un écart de près de 6-7 mm/j en moyenne. Néanmoins, ce qui est marquant dans ce run, c'est le pic de près de 30 mm/j observé par toutes les physiques, celui-ci survient vers le 29 Novembre, soit deux jours après le pic de MJO. Enfin, étonnement la trigger suit la nouvelle physique et détecte parfaitement ce pic alors que pour 50 km de résolution elle ne le détectait pas.

Nous allons encore diminuer la résolution et voir comment ça évolue. On analyse la sortie à la taille de maille de 200 km.

On constate que l'écart entre l'ancienne et les nouvelles physique diminue fortement, les physiques s'accordent sur les quantités de pluies. On retrouve également un important pic dans ces physiques, seulement celui-ci est encore décalé dans le temps. Il survient maintenant après le 1 er décembre.

Ainsi la résolution semble avoir un fort impact sur la détection temporelle de l'événement MJO. Alors qu'une résolution fine tend à marquer la différence entre les physiques, permettant à la

nouvelle physique de bien repérer l'événement mais empêchant la trigger de le faire, une résolution grossière tend à accorder les physique sur la détection du pic mais par contre retarde l'apparition de celui-ci.

2. Détection spatiale de la MJO

Nous allons maintenant nous intéresser à la détection spatiale de la MJO. Pour cela, en figure 9 nous comparons les sorties du modèle à 50 km de résolution à des observations de METEOSAT pour la journée du 27 Novembre 2011. On retrouve des similitudes dans les structures, notamment une absence de précipitations vers 77° de longitude, visible dans les trois physiques. Il apparaît qu'à ce niveau la nouvelle physique semble plus proche des observations de METEOSAT. Les précipitations aux alentours bien qu'ayant une intensité un peu plus faible que celles observées sont spatialement bien positionnées à l'Est de la zone CINDY/DYNAMO.

Si maintenant on se concentre sur la partie Ouest de la zone CINDY/DYNAMO dans les observations. On peut voir une organisation spatiale de la convection en bande de cellules convectives. Seulement dans les sorties du modèles nous avons du mal à retrouver cet alignement.

Les nœuds de précipitations sont plus éloignés les uns des autres. On remarque également l'apparition dans les trois physiques d'un concentration de pluie assez importante vers 68° de longitude et 8°Sud de latitude. Seulement on ne visualise pas cette structure dans les observations.

Ainsi, d'un point de vue spatial, il apparaît que la nouvelle physique représente bien des structures pouvant être des conséquences de la MJO. Ceci est moins flagrant pour l'ancienne et la trigger. Les différences observées entre les sorties du modèles et les observations peuvent s'expliquer par la

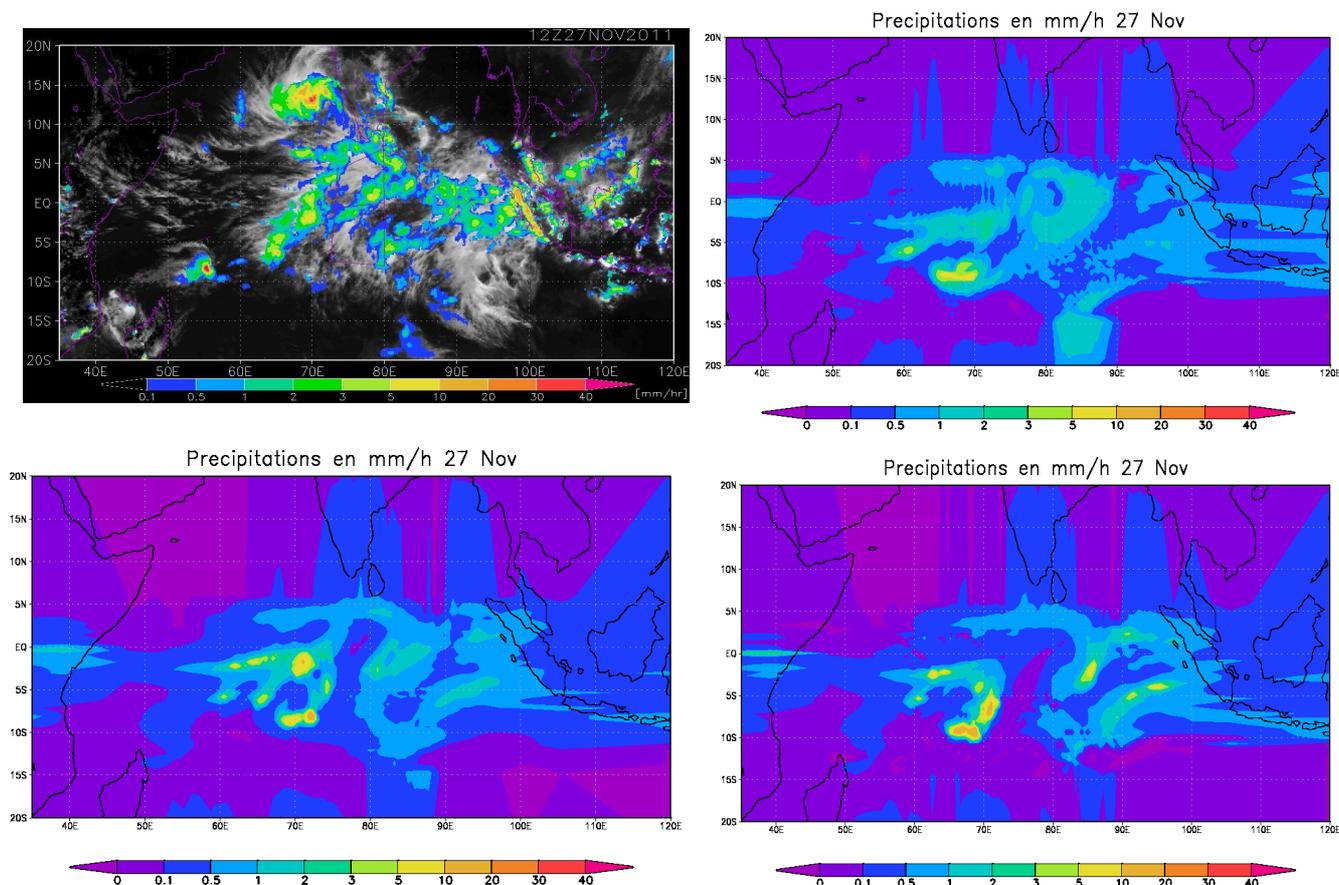


Figure 9 : Carte des précipitations horaires, ancienne physique en haut à droite, nouvelle en bas à gauche et trigger en bas à droite – comparaison avec METEOSAT (jamstec.go.jp/iorgc/cindy/)

résolution d'acquisition des données de METEOSAT. Celui-ci à une résolution de 5 km ce qui est 10 fois plus que les sorties du modèles.

3. Représentation de l'onde

Une des principales caractéristiques de la MJO est le déplacement en fonction du temps de l'onde vers l'Est. De ce fait nous allons essayer de voir si les sorties du modèle reproduise ou non ce mouvement. Pour ce faire nous avons tracé pour toutes les sorties des diagrammes de Hovmoeller représentant la répartition temporelle de la différence des précipitations journalières et de la moyenne sur la latitude et le temps de ces précipitations. Dans la figure 10, on présente les diagrammes de hovmoeller pour 50 km de résolution et pour l'ancienne la nouvelle physique et la trigger. L'onde se déplaçant de cet hémisphère à des vitesses oscillant entre 5 et 10 m/s, on a tracé à l'aide de ces vitesses des droites ayant ces coefficients directeurs (voir référence bibliographique [B2]).

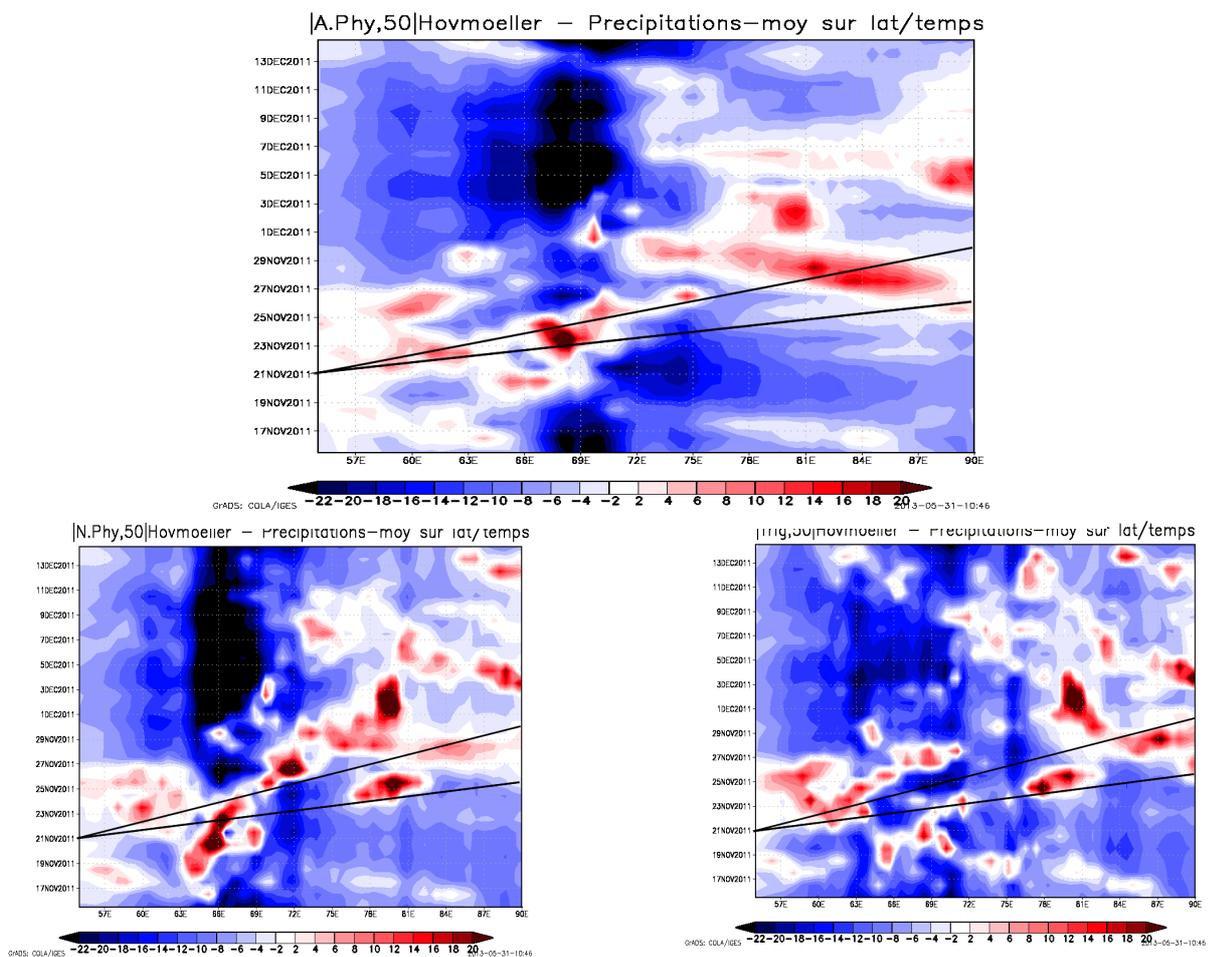


Figure 10 : Hovmoeller des précipitations pour 50 km de résolution pour les 3 physiques

Dans l'ancienne physique, en suivant les anomalies positives (en rouge) on peut discerner ce mouvement vers l'est au fur et à mesure que le temps avance. En comparant avec les droites de vitesse de déplacement réelle, on peut voir que le déplacement de l'onde est plus lent. Si on se concentre maintenant sur les autres physiques, on peut encore distinguer un mouvement vers l'Est pour la nouvelle physique mais pas pour la trigger.

Ainsi l'ancienne physique et la nouvelle semble détecter l'événement MJO au travers de ces

représentations mais pas la trigger pour cette résolution.

En annexe 6, on visualise les diagrammes de hovmoeller pour les résolutions de 100 et 200 km. Hormis pour l'ancienne physique à 50 km de taille de maille, on a du mal à visualiser un quelconque déplacement vers l'Est. La résolution à 200 km est trop grossière pour interpréter un déplacement dans les structures visibles. Nous avons vu dans cette partie que globalement, l'ancienne et la nouvelle physique permettaient de percevoir l'événement MJO, que ce soit temporellement ou par son déplacement vers l'Est. Néanmoins il apparaît que la trigger ne la représente pas. La physique a donc une importance dans la détection de l'oscillation, mais ce n'est pas le seul facteur déterminant. La résolution joue beaucoup. Une résolution grossière a tendance à mal situer dans le temps le phénomène et à ne pas représenter son déplacement. Ainsi, la paramétrisation et la résolution ont des effets bien distincts et non négligeable sur ce phénomène.

Conclusions

Au cours de cette étude, nous avons cherché à mettre en évidence les effets de la résolution et de la paramétrisation sur la simulation des pluies dans le LMDZ. L'étude portait sur une zone sensible au phénomène MJO ce qui nous a conduit à voir si les sorties du modèle nous permettaient de détecter ce phénomène. Avant toute chose nous avons vu que la configuration influait directement sur la structure des vents dans nos sorties du modèle. Ce changement de circulation est directement couplé avec un changement dans la localisation des nœuds de pluies. En nous concentrant sur les précipitations, nous avons constaté que leur distribution était inégale au travers des différentes physiques et résolutions. Alors que les valeurs moyennes semblent principalement influencées par les changements de physique en ce qui concerne leur intensité, les extrêmes de précipitations se différencient surtout par leur origine convective ou stratiforme. L'ancienne physique apporte plus de précipitations convectives dans ces pics et les nouvelles plus de précipitations stratiformes. De plus nous avons vu que la résolution influençait ces extrêmes en les atténuant quand celle-ci était plus grossière. Nous constatons donc bien là des effets distincts de la paramétrisation et de la résolution.

En ce qui concerne l'événement MJO, une résolution grossière semble moins adaptée pour détecter cette oscillation dans le temps et dans l'espace qu'une résolution fine. On visualise l'événement mais décalé dans le temps. A contrario, le choix de la paramétrisation apparaît être déterminant pour cette détection. Alors que l'ancienne physique et la nouvelle permettent de visualiser ce phénomène, la trigger ne le détecte pas.

Nous avons vu au cours de cette étude que la résolution avait de fortes conséquences sur les résultats d'un point de vue des fortes valeurs. Seulement nous analysons dans cette étude des systèmes convectifs, qui provoquent d'importants cumuls de précipitations, de ce fait la résolution impacte beaucoup sur ces phénomènes. Ainsi si la résolution est trop grossière pour les représenter au mieux, il est important que la paramétrisation le fasse. Seulement on constate qu'elle comporte encore de nombreux défauts comme une répartition des précipitations erronées dans toutes les résolutions pour les nouvelles physiques (plus de pluies stratiformes que de pluies convectives dans une zone à dominante convective) et une mauvaise représentation de l'événement MJO pour la trigger. L'événement MJO semble plus perceptible avec une résolution fine.

Bien que la paramétrisation apparaisse comme être une solution pour palier aux problèmes qu'engendre une résolution trop grossière, celle-ci ne semble pas encore optimum pour la convection. Il convient donc de développer encore les nouvelles physiques afin de les rendre davantage indépendantes de la résolution et surtout plus représentatives de la répartition des précipitations dans un système convectif.

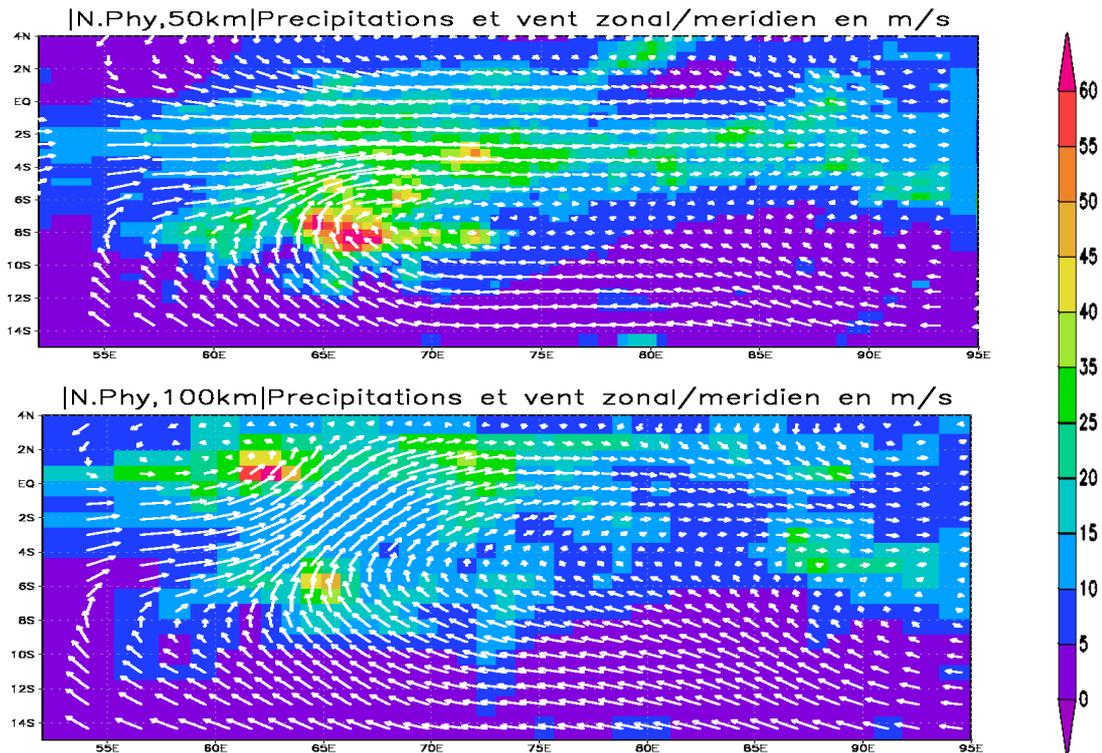
Bilan personnel du stage :

Étant passionné de météorologie, et plus particulièrement des phénomènes violents tels que les orages, j'ai l'habitude d'utiliser les modèles disponibles sur internet comme le GFS ou le WRF pour effectuer quelques prévisions. En découvrant l'intitulé du stage, j'ai rapidement été séduit par le sujet de celui-ci qui m'apparaissait proche de mes passions. Je trouvais très intéressant le fait de comprendre d'avantage comment fonctionnait un modèle, de le faire fonctionner.

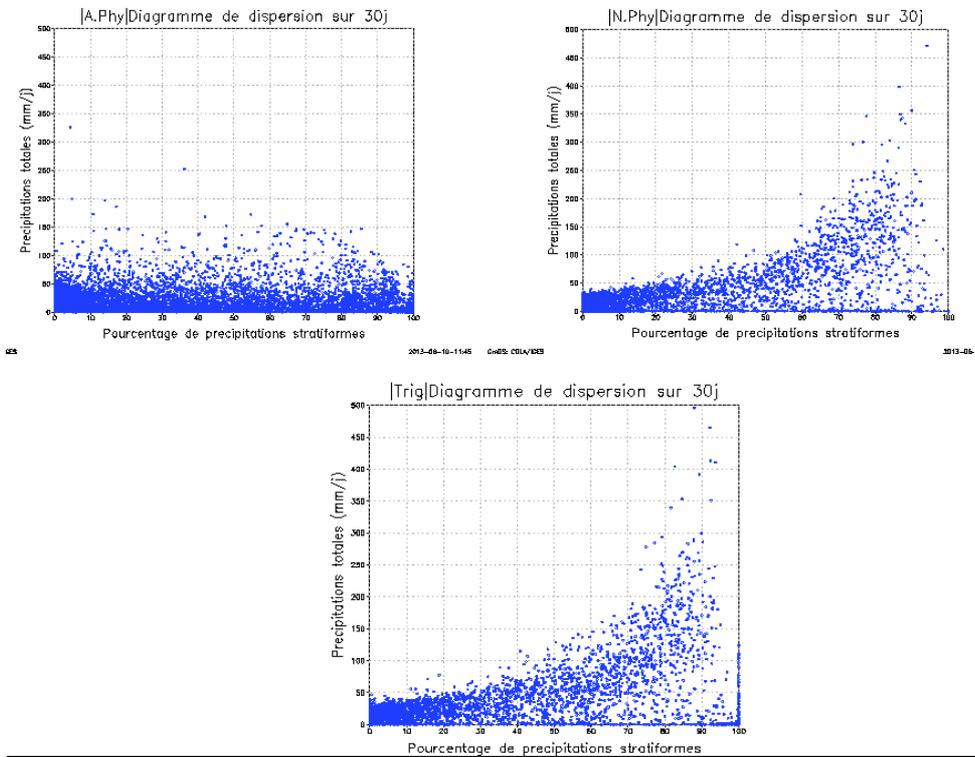
Bien qu'intéressant, ce stage a été quelque peu complexe, déjà d'un point de vue du sujet mais aussi technique, comprendre comment manipuler le modèle, l'installer, le configurer n'est pas forcément simple. Néanmoins, l'équipe du LMD a fait en sorte de nous apprendre progressivement les bases à l'aide d'exposés ou de tutoriels et ce pendant les deux premières semaines de stage. C'est aussi pendant ces deux premières semaines de stage que j'ai pu explorer et comprendre le sujet de celui-ci. J'ai beaucoup appris sur la structure des cellules convectives mais aussi sur l'oscillation de Madden Julian dont j'ignorai complètement l'existence. Cette dernière m'a particulièrement intéressé et c'est pourquoi je tenais à l'introduire dans ce rapport et voir si les sorties du modèles étaient proches des observations faites pendant la campagne CINDY/DYNAMO.

Ce stage a été enrichissant, que ce soit pour le côté technique, pour la découverte du sujet mais aussi par la découverte des méthodes de travail au sein du LMD, celui-ci constituant mon premier stage au sein d'un laboratoire.

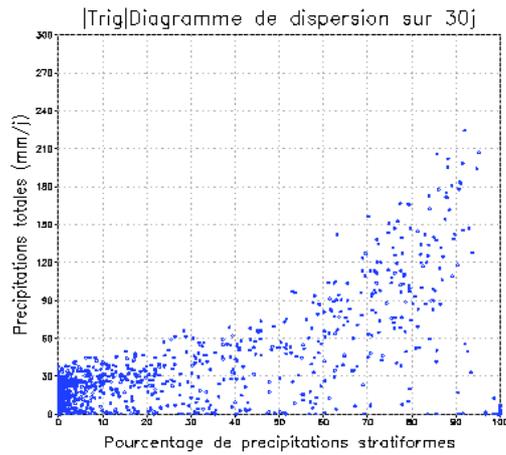
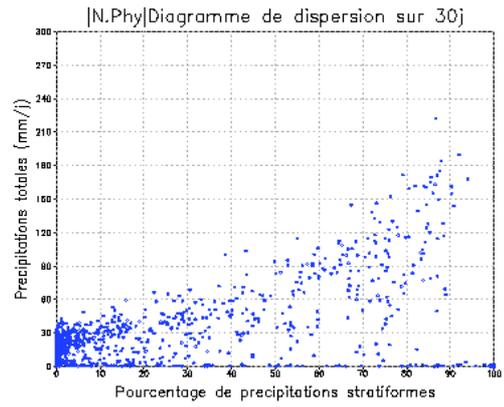
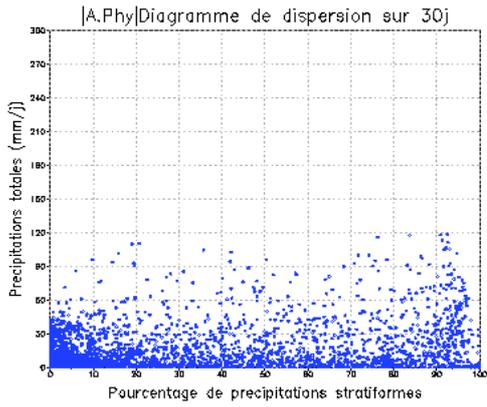
Annexes



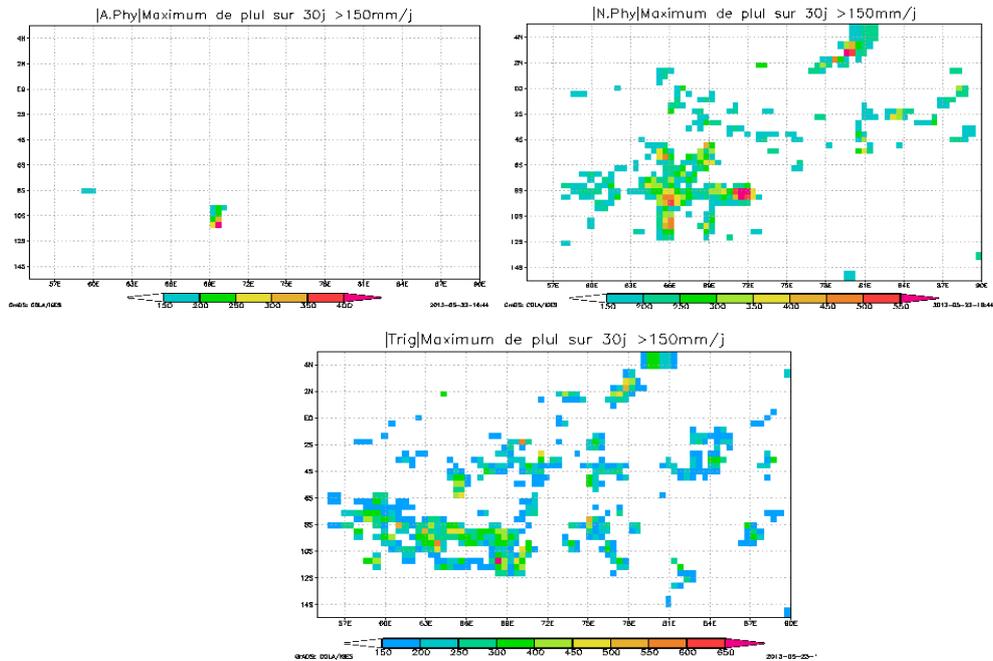
ANNEXE 1: Vent zonal et méridien moyennés sur 30j sur une carte des précipitations journalières moyennées sur 30j – Nouvelle Physique-



ANNEXE 2 : Diagramme de dispersion des précipitations stratiformes en fonction des précipitations totales – 100 km de résolution

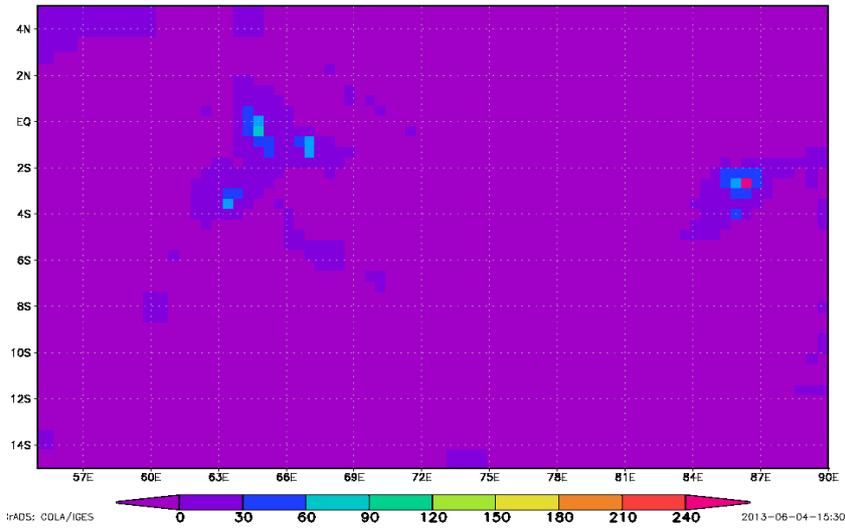


ANNEXE 3 : Diagramme de dispersion des précipitations stratiformes en fonction des précipitations totales – 200 km de résolution

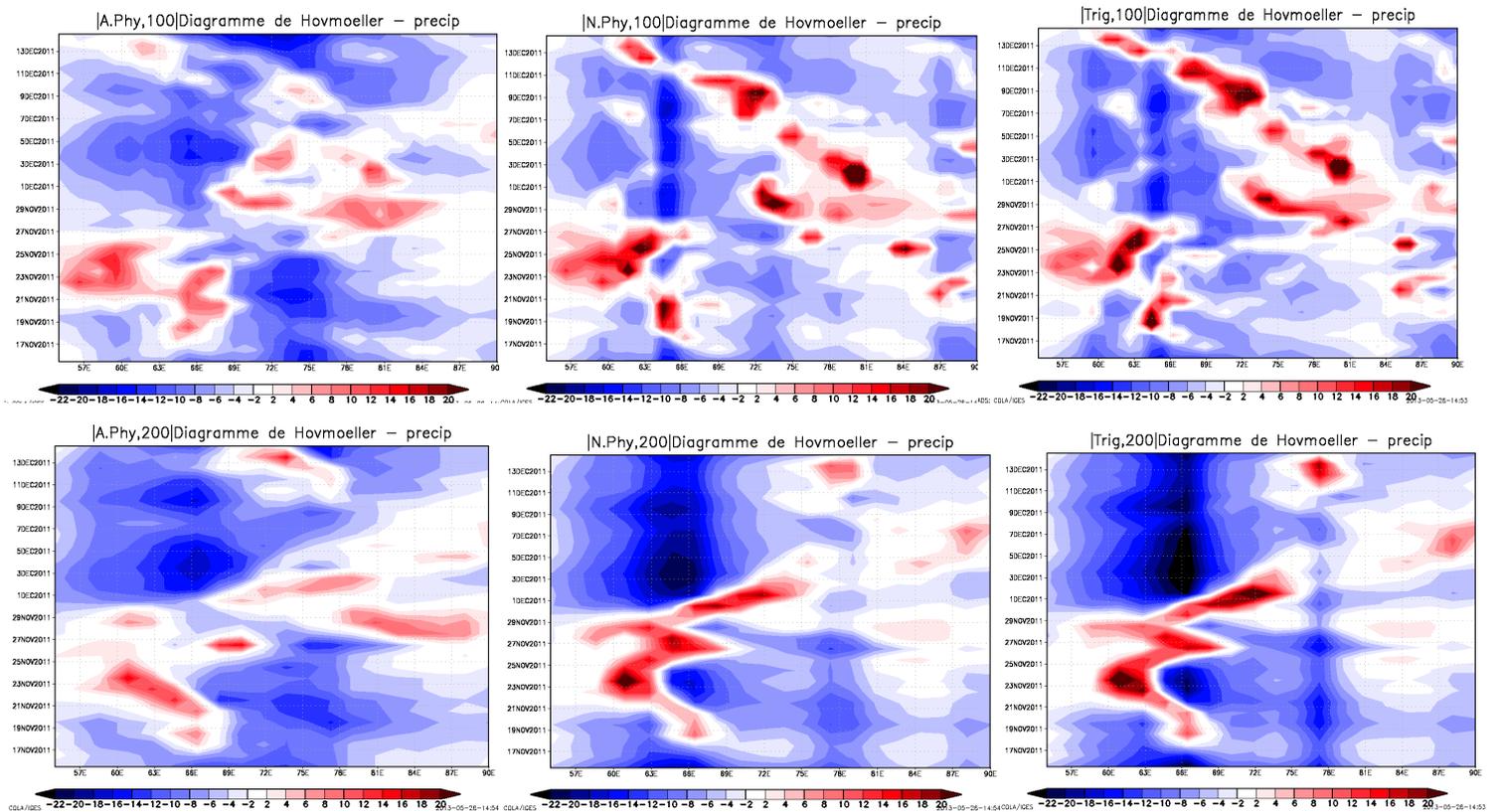


ANNEXE 4 : Précipitations stratiformes en fonction de la physique avec un seuil à 150 mm/j

Tempete point de grille 14 dec,50km New, PLUL



ANNEXE 5 : Tempête en point de grille du 14 décembre, 50 km de résolution, nouvelle physique, étude des précipitations stratiformes



ANNEXE 6 : Diagramme Hovmoeller des précipitations pour ancienne, nouvelle physique et trigger (1ère,2ème et 3ème colonne) pour les résolutions de 100 km(première ligne) et 200 km(2 ème ligne).

Bibliographie :

➤ **Articles et ouvrages :**

[B1] *Manuel de Météorologie tropicale* Chapitre 9 « Convection tropicale et variabilité diurne », Florent Beucher – Météo-France – 2010.

[B2] *Manuel de météorologie tropicale* Chapitre 7,2 « Les oscillations d'échelle planétaire », Florent Beucher – Météo-France – 2010.

[B3] *Le climat à découvert : outils et méthodes en recherche climatique*, édité par C. J. et Rémy. « Les paramétrisations physiques » Hourdin, F. - Moesseri - 150–153, CNRS-Edition, 2011a.

[B4] *Precipitation distributions for explicit versus parametrized convection in a large-domain high-resolution tropical case study*, Q. J. R. Meteorol. Soc. 138 : 1692-1708, October 2012 A.

➤ **Sites Internet :**

[S1] <http://www.lmd.jussieu.fr/le-lmd/presentation>
Présentation du LMD

[S2] <http://lmdz.lmd.jussieu.fr/le-projet-lmdz/presentation>
Présentation du LMDZ

[S3] <http://meghatropiques.ipsl.polytechnique.fr/search/colloque-de-bordeaux/la-variabilite-intrasaisonniere-pendant-cindy-dynamo/download.html>
Localisation de la zone CINDY/DYNAMO

➤ **Exposés axés sur l'aspect technique du LMDZ :**

[E1] « Introduction à la modélisation numérique » Frédéric Hourdin

[E2] « Le modèle LMDZ » Frédéric Hourdin

[E3] « La paramétrisation » Jean Yves Grandpeix

[E4] « Le guidage et le zoom » Francis Codron

[E5] « Entrées et sorties du modèle » Abderrahmane Idelkadi