



Faculté des Sciences
Département de Géographie
Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie

**Évolution actuelle et future
des précipitations convectives
sur la Belgique et la région du Lac Victoria
(Afrique équatoriale de l'Est)
à l'aide du modèle climatique régional MAR**

Thèse présentée par
Sébastien DOUTRELOUP
en vue de l'obtention du grade de
Docteur en Sciences

Octobre 2019

Composition du jury de thèse

Bernard TYCHON	<i>Président</i>	Professeur, Université de Liège, Belgique
Aurélia HUBERT-FERRARI	<i>Secrétaire</i>	Professeur, Université de Liège, Belgique
Alexandre BELLEFLAMME		Docteur, Forschungszentrum Jülich, Allemagne
Jean-Michel FALLOT		Docteur, Maître d'Enseignement et de Recherche, Université de Lausanne, Suisse
Hubert GALLÉE		Docteur, Directeur de recherche, CNRS, Université de Grenoble, France
Michel ERPICUM	<i>Promoteur</i>	Professeur Émérite, Université de Liège, Belgique
Xavier FETTWEIS	<i>Co-Promoteur</i>	Docteur, Chercheur qualifié, FRS-FNRS, Université de Liège, Belgique

Remerciements

Pour qu'un nuage se forme, persiste et puisse voyager un moment dans le ciel, des conditions favorables doivent obligatoirement être réunies. Il peut en être de même pour des thèses de doctorat. La mienne n'aurait pu voir le jour sans le concours précieux d'éléments bienveillants.

Sans lui, mon rêve d'enfant n'aurait jamais pu être exaucé. Il a d'abord permis qu'un Master en Climatologie soit réalisé à l'Université de Liège. Il m'a ensuite accueilli dans son Laboratoire en tant qu'étudiant travailleur et puis en tant que doctorant chercheur. Qu'importe mon statut, il m'a toujours soutenu inconditionnellement pendant plus de 10 années, avec une gentillesse mêlée de sévérité, mais cette sévérité stimulante qui fait grandir l'esprit. Je suis très fier et très heureux que nos deux routes se soient croisées. Pour votre indéfectible soutien, merci Monsieur Erpicum !

Mais ce rêve d'enfant aurait eu une tonalité moins harmonieuse si Xavier Fettweis n'avait pas apporté la modélisation au sein du Laboratoire. Je tiens vivement à le remercier pour son savoir transmis tout au long de ces années, pour son aide, sa patience et son enthousiasme, mais aussi pour ses réflexions qui ont su faire évoluer mon travail.

Et puis, que serait une thèse de doctorat sans l'aide de sa communauté scientifique ? Aussi, je tiens à remercier vivement Jean-Michel Fallois pour sa disponibilité et pour l'ensemble de ses remarques constructives, mais aussi Hubert Gallée pour son aide apportée lorsque j'étais égaré dans mes réflexions sur le développement et sur la physique du modèle MAR. J'adresse également mes remerciements sincères à Aurélia Hubert-Ferrari et Bernard Tychon qui ont accepté de faire partie de mon jury.

Une fois tous les ingrédients réunis pour obtenir un beau nuage, encore faut-il un éclairage parfait pour lui donner toute sa splendeur. Et ces rayons lumineux sont tous les amis, collègues et amis-collègues qui m'ont toujours épaulé et soutenu durant la réalisation de cette thèse. Un merci tout particulier à Christoph, Charles et Coraline pour leur bonne humeur, leurs encouragements et surtout pour leurs relectures attentives de mes articles qu'ils ont sublimes.

Durant toutes ces années, trois rayons particulièrement lumineux ont éclairé mon chemin, je les remercie infiniment pour leur aide, leur soutien sans faille et surtout pour leur confiance : Christophe, Charline et Alexandre, un tout grand merci.

Et puisqu'il n'est pas de nuage sans ciel, je voudrais exprimer toute ma gratitude aux membres de ma famille qui ont toujours été présents. Ils ont été cette voûte solide sur laquelle j'ai pu m'appuyer, ce firmament serein et lumineux qui m'a porté dans les meilleurs moments comme dans les plus difficiles.

Les nuages se révèlent à ceux qui lèvent les yeux au ciel, puissent-ils parler aussi à ceux qui guetteront leur passage au fil de ces pages.

Résumé

Cette thèse a pour objectif d'évaluer la sensibilité des précipitations simulées par le modèle atmosphérique régional MAR développé à l'Université de Liège face à un changement de schéma convectif à la fois sur la Belgique pour le climat présent (1987-2017) et dans un climat futur plus chaud (2070-2100), mais aussi sur la région du Lac Victoria (Afrique équatoriale de l'Est) dans le climat présent (1987-2017). Cette thèse vise également à évaluer les éventuels changements actuels et futurs des précipitations aussi bien en Belgique que dans la région du Lac Victoria.

Les schémas convectifs utilisés sont ceux de Bechtold, de Betts-Miller-Janjic, de Kain-Fritsch ainsi que la version modifiée de Tiedtke. Le modèle MAR est forcé sur la période présente par les réanalyses « ERA-Interim » aussi bien sur la Belgique (à 10 km de résolution spatiale) que sur la région du Lac Victoria (à 15 km de résolution spatiale). Pour simuler le climat futur, le modèle MAR est forcé par les modèles de circulation générale « MIROC5 » et « NorESM-1-M » sur la période future en utilisant le scénario RCP8.5. Des données provenant de station météorologiques synoptiques ainsi que les données E-OBS (ECA&D) sont utilisées pour évaluer les simulations MAR sur la Belgique et les données d'observations maillées CPC et CRU pour la région du Lac Victoria.

L'évaluation de la sensibilité des précipitations face aux changements de schémas convectifs sur la Belgique montre qu'aucun schéma n'est plus performant qu'un autre par rapport aux observations dont on dispose. De plus, toutes les simulations indiquent des tendances similaires, à savoir une augmentation des précipitations dans les régions proches de la Mer du Nord, ainsi qu'une diminution des précipitations en Ardenne sur la période 1987-2017.

En revanche, l'évaluation de la sensibilité des précipitations face aux changements de schémas convectifs sur la Belgique dans un climat futur plus chaud indique des différences notables entre les schémas. Cependant, les changements simulés pour le futur ne sont pas significatifs étant donné qu'ils sont inférieurs aux biais, ainsi qu'à la variabilité interannuelle, sur le climat présent.

Enfin, malgré les difficultés de comparer les précipitations simulées et leur sensibilité au schéma convectif utilisé avec les précipitations observées dans la région du Lac Victoria, les variabilités saisonnières et journalières sont assez bien représentées par toutes les simulations MAR dans cette région. Finalement, peu de changements sont détectés dans la région du Lac Victoria sur le climat présent (1987-2017), aussi bien dans les simulations MAR que dans les observations.

Summary

The main objective of this thesis is to assess the sensitivity of precipitation simulated by the regional atmospheric model MAR developed at the University of Liège to a change in convective scheme both over Belgium for the present climate (1987-2017) and in a warmer future climate (2070-2100), but also over the Lake Victoria region (East Equatorial Africa) in the present climate (1987-2017). This thesis also aims to assess possible current and future changes in precipitation in both Belgium and the Lake Victoria region.

The convective schemes used are those of Bechtold, Betts-Miller-Janjic, Kain-Fritsch and the modified version of Tiedtke. The MAR model is forced over the current period by the "ERA-Interim" reanalyses over both Belgium (at 10 km spatial resolution) and the Lake Victoria region (at 15 km spatial resolution). To simulate the future climate, the MAR model is forced by the general circulation models "MIROC5" and "NorESM-1-M" over the future period using the scenario RCP8.5. Data from synoptic meteorological stations as well as E-OBS (ECA&D) data are used to evaluate the simulations over Belgium and the CPC and CRU gridded observation data to evaluate the simulations over the Lake Victoria region.

The sensitivity of precipitation to changes in convective schemes over Belgium shows that none performs better than the others compared to the available observations. In addition, all simulations indicate similar trends, namely an increase in precipitation in the regions near the North Sea, as well as a decrease in precipitation in the Ardennes over the period 1987-2017.

On the other hand, the sensitivity experiments over Belgium in a warmer future climate reveal significant differences between the schemes. However, the simulated changes for the future are not significant since they are smaller than both the biases and the interannual variability of the present climate.

Finally, despite difficulties in comparing the simulated precipitation and their sensitivity to the convective scheme used with the observed precipitation in the Lake Victoria region, seasonal and daily variability is reasonably well represented in all MAR simulations in this region.

Finally, few changes are detected in the Lake Victoria region on the present climate (1987-2017), either in MAR simulations or in observations.

Table des matières

Composition du jury de thèse.....	2
Remerciements.....	3
Résumé.....	5
Summary.....	7
Préambule.....	13
Introduction.....	21
1.1. Les précipitations convectives et leurs représentations dans les modèles climatiques.....	22
1 ^{er} objectif de cette thèse : Évaluation de la sensibilité des précipitations simulées par le modèle MAR face à des changements de schémas convectifs en Belgique	24
1.2. Évolution des précipitations convectives dans un contexte de réchauffement climatique.....	26
2 ^{ème} objectif de cette thèse : Évaluation de la sensibilité des précipitations simulées par le modèle MAR face à des changements de schémas convectifs dans un climat plus chaud en Belgique.....	27
1.3. Modélisation des précipitations convectives sur la région du Lac Victoria (Afrique équatoriale de l’Est).....	28
3 ^{ème} objectif de cette thèse : Évaluation de la sensibilité des précipitations simulées par le modèle MAR face à des changements de schémas convectifs sur la région du Lac Victoria (Afrique équatoriale de l’Est).....	29
1.4. Structure de cette thèse.....	29
Méthodologie et données.....	31
2.1. Régions d’étude.....	32
2.1.1. Belgique.....	32
2.1.2. Lac Victoria.....	33
2.2. Données d’observations météorologiques.....	35
2.3. Le modèle MAR.....	38
2.4. Les schémas convectifs utilisés.....	40
2.5. Les forçages du MAR : réanalyses ERA-Interim et GCMs.....	43
2.6. Méthodes d’évaluation des sorties du MAR.....	45

Sensibilité des précipitations en Belgique simulées par le modèle régional MAR face à un changement de schéma convectif sur la période 1987-2017.....	49
3.1. Résumé.....	50
3.2. Résultats principaux.....	51
Évolution des précipitations en Belgique à l’horizon 2100 et leurs sensibilités face à un changement de schéma convectif du modèle régional MAR.....	55
4.1. Résumé.....	56
4.2. Résultats principaux.....	57
4.3. Discussions complémentaires.....	61
4.3.1. Définition du jour sec et de l’intensité des précipitations.....	61
4.3.2. Sensibilité des précipitations hivernales.....	66
4.3.3. Réchauffement de la troposphère supérieure.....	68
Sensibilité des précipitations sur la région du Lac Victoria (Afrique équatoriale de l’Est) simulées par le modèle régional MAR face à un changement de schéma convectif sur la période 1987-2017.....	71
5.1. Sensibilité et changements des précipitations sur la région du Lac Victoria durant la période 1987-2017.....	72
5.1.1. Précipitations moyennes annuelles.....	72
5.1.2. Précipitations extrêmes.....	75
5.1.3. Précipitations convectives.....	77
5.1.4. Nombre de jours secs et intensité des précipitations.....	80
5.2. Évolution saisonnière et journalière des précipitations dans la région du Lac Victoria.....	83
5.2.1. Variabilité saisonnière des précipitations.....	83
5.2.2. Variabilité journalière des précipitations.....	85
5.3. Discussions.....	88
5.3.1. De la difficulté de comparer les simulations MAR avec les données d’observation.....	88
5.3.2. Influences des conditions locales sur le climat de cette région.....	93
5.3.3. Surestimation des précipitations simulées par MAR-BMJ.....	94
5.3.4. La part des précipitations simulées par les schémas convectifs.....	96
5.4. Conclusions et perspectives.....	98
Conclusions et perspectives générales.....	101

6.1. Conclusions générales.....	102
6.1.1. Étude de sensibilité des précipitations au changement de schéma convectif en Belgique sur la période récente (1987-2017).....	103
6.1.2. Étude de sensibilité des précipitations face à un changement de schéma convectif en Belgique sur une période future (2070-2100) au climat plus chaud	104
6.1.3. Sensibilité des précipitations au changement de schéma convectif en Afrique, dans la région du Lac Victoria sur la période récente (1987-2017).....	105
6.2. Perspectives générales et améliorations possibles de la physique du MAR.....	106
Bibliographie.....	113
Glossaire.....	127
Annexe A : description détaillée de mon parcours de doctorant de 2008 à 2017.....	131
A1. Mémoire de Master et prévisions météorologiques pour des parcs éoliens (2008-2010).....	132
A2. Étude des températures et des précipitations au Vietnam (2010).....	134
A3. Étude de l'interaction de la météo avec des lignes à haute tension en Belgique et en Europe (2010-2012).....	134
A4. Reconstruction de la température de surface de la Lune (2012).....	136
A5. Passage du modèle WRF au modèle MAR (2012-2015).....	137
A6. Application du modèle MAR sur l'Afrique (2015-2016).....	139
A7. Application du modèle MAR sur l'Europe et les grilles CORDEX (2016-2017)	141
Annexe B.....	143
Annexe C.....	171