

NOËL 2010 EN BELGIQUE : NEIGE EN FLANDRE ET PLUIE EN HAUTE-ARDENNE

Xavier FETTWEIS, Coraline WYARD,
Sébastien DOUTRELOUP, Alexandre BELLEFLAMME

Résumé

En décembre 2010, plusieurs événements neigeux ont permis un enneigement exceptionnel en Belgique avec 27 jours de neige au sol observés à Uccle et des épaisseurs de près de 20, 30 et 70 cm observées le jour de Noël 2010 respectivement à Uccle, Bierset et au Mont Rigi dans les Hautes-Fagnes. Alors que toute la Belgique est couverte de neige le 20 décembre, on assiste à une arrivée d'air plus doux le 21 décembre. Très vite, cet air est remplacé par de l'air polaire en Basse et Moyenne Belgique (y compris à Bierset) où il se remet à neiger abondamment les 22 et 23 décembre alors qu'en Haute-Ardenne, il continue à pleuvoir sous des températures d'abord positives avant une chute rapide des températures à -5°C . L'explication de cet événement tient à la présence d'une forte inversion thermique dans les basses couches avec une poche d'air chaud à 850 hPa au-dessus de l'Ardenne uniquement. Le présent article a pour but d'expliquer cette situation météorologique pour le moins atypique à l'aide de sorties du modèle régional du climat MAR (pour Modèle Atmosphérique Régional) développé à l'Université de Liège (ULg).

Mots-clés

décembre 2010, Belgique, modélisation régionale du climat, événement extrême, neige, pluie verglaçante

Abstract

On December 2010, several snow events allowed an exceptional snow cover over Belgium. 27 days with snow cover were observed at Uccle and snow depths of 20, 30 and 70 cm were measured on Christmas 2010 respectively at Uccle, Bierset and Mont Rigi in the Hautes-Fagnes. On December 20, while the entire Belgium was covered by a thick blanket of snow, warmer air invaded the country on December 21. This air was quickly replaced by polar air in Lower and Central Belgium (including Bierset). Heavy snowfalls were observed on December 22 and 23, except in the Upper Ardennes where rainfalls occurred under positive temperature which then dropped to -5°C . This event was due to a strong thermal inversion in the lower layers with warm air at 850 hPa above the Ardennes only. This paper aims to explain this atypical extreme event using the regional climate model MAR developed at the University of Liège.

Keywords

December 2010, Belgium, regional climate modelling, extreme event, snowfall, freezing rainfall

I. INTRODUCTION

En Belgique, on distingue très souvent la Basse Belgique (moins de 100 m d'altitude), la Moyenne

Belgique (de 100 à 200 m), et enfin la Haute Belgique (de 200 à plus de 500 m) située au sud du sillon Sambre et Meuse et englobant notamment le Massif ardennais. Situés à plus de 500 m d'altitude,

les hauts plateaux de l'Ardenne, tels que ceux des Hautes-Fagnes, des Tailles ou encore de Recogne, constituent la Haute-Ardenne.

En Basse et Moyenne Belgique, on compte en moyenne 10 à 15 jours de chutes de neige par an, en Haute Belgique 30 jours et plus de 40 jours sur les hauts plateaux de l'Ardenne (IRM, 2017). Seuls l'altitude et l'éloignement par rapport à la mer du Nord expliquent cette grande variabilité spatiale. Cependant, au cours de l'hiver 2010-2011, après un début décembre particulièrement neigeux ayant permis à un manteau neigeux conséquent (de 5 cm à la côte à plus de 70 cm sur les sommets ardennais le 20 décembre) de recouvrir toute la Belgique, une situation extrêmement contre-intuitive a pu être observée les 22 et 23 décembre. En effet, il a plu sur les sommets de l'Ardenne alors qu'il a neigé partout ailleurs sur le pays. Le présent travail a pour but d'étudier cet événement des plus atypiques à l'aide du modèle régional du climat MAR (pour Modèle Atmosphérique Régional) développé à l'Université de Liège (ULg) et à l'Université Grenoble-Alpes (UGA) en France.

Comme nous allons le voir, à la présence d'air chaud en altitude au-dessus de la Haute Belgique et d'air polaire au-dessus de la Basse et Moyenne Belgique, il faut ajouter, en surface, les contrastes thermiques dus à l'altitude, augmentant la complexité spatio-temporelle de cet événement pluvio-neigeux juste avant Noël 2010.

II. MODÈLE MAR ET VALIDATION

Le modèle MAR utilisé dans ce travail est un modèle régional du climat simulant, sur un domaine d'intégration restreint, aussi bien l'atmosphère (Gallée et Schayes, 1994) que les processus de surface (manteau neigeux, végétation, ...) influençant directement celle-ci. Initialement développé pour les régions polaires (Fettweis *et al.*, 2013), la version 3.6 du MAR a été récemment adaptée avec succès au climat de la Belgique par Wyard *et al.* (2016) où le MAR a notamment été utilisé pour faire des projections futures sur la Belgique à 5 km de résolution dans le cadre du projet BRAIN CORDEX.be (<http://www.euro-cordex.be>). Toutefois, Wyard *et al.* (2016) ont mis en

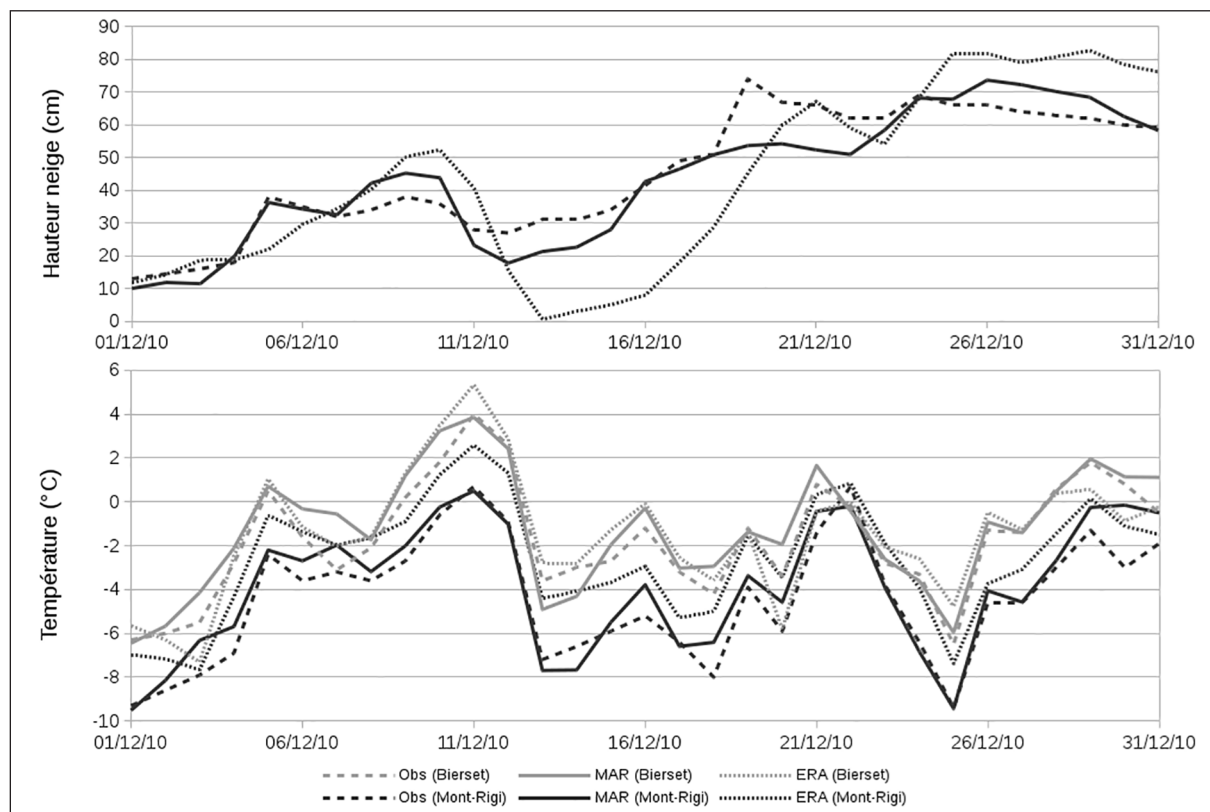


Figure 1. En haut : Évolution en décembre 2010 de la hauteur de neige observée (trait tireté) et simulée par le modèle MAR (trait continu) et par les réanalyses ERA-Interim (trait pointillé) au Mont Rigi. En bas : Évolution en décembre 2010 de la température moyenne journalière (à 2 m) observée (traits tiretés) et simulée par le modèle MAR (traits continus) et les réanalyses ERA-Interim (traits pointillés) au Mont Rigi et à Bierset

évidence par rapport à 20 stations météorologiques belges du réseau synoptique que le MARv3.6 était encore trop chaud (environ $+1.5^{\circ}\text{C}$) et trop sec (-10%) en été ainsi que trop froid (-0.5°C) et trop humide ($+20\%$) en hiver essentiellement à cause d'une sous-estimation de la nébulosité et de la convection en été. Ces biais ont été divisés par un facteur 2 dans la version 3.7 du MAR qui est utilisée dans ce travail où la sous-estimation de la nébulosité a été corrigée en imposant à la vapeur d'eau de rester plus longtemps ($+10\%$) dans les

nuages avant de précipiter. Le schéma convectif est aussi appelé 2 fois plus souvent que dans MARv3.6 permettant ainsi aux cumulus (c'est-à-dire à la convection peu profonde) de se former sans tout de suite précipiter. Par contre, nous avons utilisé le même domaine d'intégration ($600 \times 550 \text{ km}^2$) entourant la Belgique avec une zone tampon d'au moins 150 km de largeur, la même résolution de 5 km et les mêmes forçages aux frontières latérales (les réanalyses ERA-Interim, du Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen

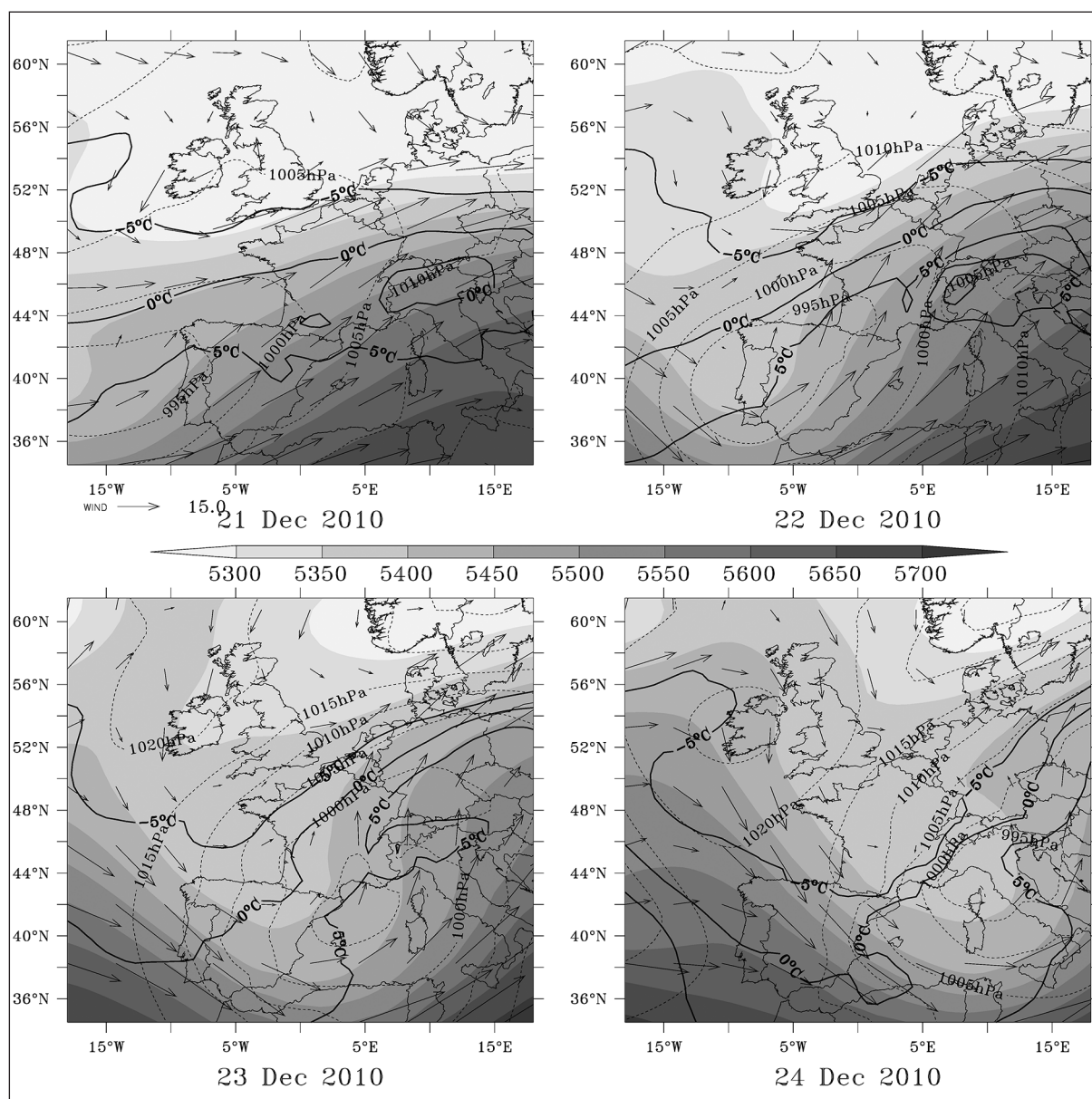


Figure 2. Situations synoptiques les 21, 22, 23 et 24 décembre 2010 issues des réanalyses ERA-Interim. La hauteur du géopotential (en m), la vitesse et la direction du vent à 500 hPa sont représentées en arrière-plan, respectivement par une échelle de gris, et par des flèches noires. En bas, à gauche de la figure du 21/12, la longueur de la flèche noire indique une vitesse du vent de 15m/s à titre indicatif. La pression de surface réduite au niveau de la mer (en hPa – en traits pointillés) ainsi que les isothermes de -5 , 0 et 5°C de la température à 850hPa (en traits continus) sont aussi montrées

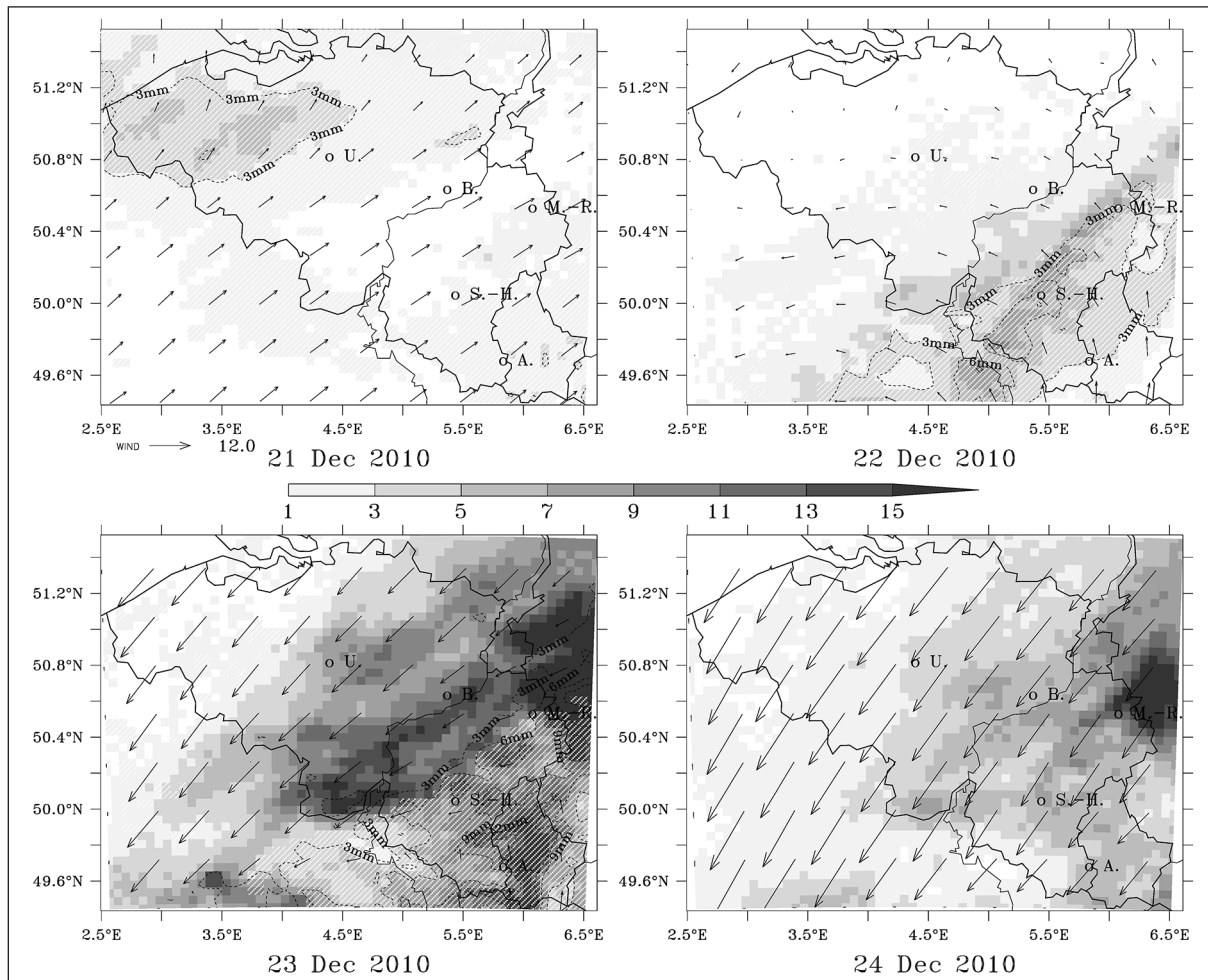


Figure 3. Précipitations (en mm/jour) simulées par le modèle MAR les 21, 22, 23 et 24 décembre 2010. Les précipitations sont hachurées si elles ont été dominées par des précipitations liquides (vs. solides) pendant la journée. Enfin, le vent moyen (flèches noires) à 850 hPa est montré, la longueur des flèches étant proportionnelle à la vitesse du vent (une flèche représentant une vitesse de 12 m/s est montrée à gauche en-dessous de la figure du 21/12 à titre indicatif). Les stations météorologiques (Uccle, Bierset, Mont Rigi, Saint-Hubert et Arlon) sont représentées par leurs initiales

Terme – ECMWF, Dee *et al.*, 2011) que Wyard *et al.* (2016). Les sorties du MAR utilisées dans ce travail proviennent d’une simulation initialisée le 1^{er} janvier 1979 et forcée toutes les 6 heures par les ERA-Interim (disponibles à une résolution spatiale de 0.75°).

Ci-après, à titre de validation pendant le mois de décembre 2010, la Figure 1 nous montre que le MAR est capable de représenter la température moyenne journalière à 2 m et la hauteur de neige observées au Mont Rigi avec respectivement une corrélation de 0.96 et de 0.93 (pour 0.93 et 0.79 si les ERA-Interim sont comparées aux observations), et une erreur quadratique moyenne (RMSE) de respectivement 1°C et 7 cm (pour 2°C et 17 cm avec les ERA-Interim), ce qui représente

moins de 30 % de la variabilité journalière. Comme déjà mis en évidence par Wyard *et al.* (2016), ceci montre aussi la plus value de l’utilisation du MAR pour étudier le climat des Hautes-Fagnes par rapport aux réanalyses ERA-Interim, dont la résolution spatiale (~80km) ne permet pas de représenter la variabilité climatique observée en Ardenne.

III. SITUATION SYNOPTIQUE EN EUROPE

Aussi bien en surface qu’en altitude (500 hPa), la situation synoptique, issue des réanalyses ERA-Interim, nous montre une circulation d’ouest avec une dépression en surface à l’ouest du Portugal le 21 décembre 2010, qui remonte lentement vers le nord de l’Espagne les 22 et 23 décembre

pour continuer plein est en atteignant l'Italie le 24 (Figure 2). Alors que la Belgique est toujours dans de l'air froid le 20 décembre, le passage de cette dépression au sud de la Belgique permet au secteur chaud d'atteindre temporairement le sud de la Belgique les 22 et 23 décembre alors que le reste du pays reste dans le secteur froid. Au passage de la dépression, le vent en surface s'oriente au nord-est le 24 décembre et permet à l'air froid de revenir en force au-dessus de la Belgique et de la France pour Noël.

IV. SITUATION SYNOPTIQUE AU-DESSUS DE LA BELGIQUE

Dans la suite de ce travail, pour décrire cet événement, nous utiliserons exclusivement les sorties du modèle MAR (sans toujours le mentionner dans le texte). Quelques observations relevées aux stations météo de l'IRM (Institut Royal Météorologique) ainsi que des sorties des ERA-Interim seront citées dans le texte pour

étayer les sorties du modèle MAR mais dans ce cas, elles seront clairement mentionnées.

A. Le 21 décembre 2010

Après quelques chutes de neige et de pluie verglaçante simulées (voir Figures 3 et 4) et observées le matin (MétéoBelgique, 2010) en Basse et Moyenne Belgique, le vent en altitude (ici à 850 hPa, voir Figure 5) soufflant du sud-ouest a progressivement chassé l'air froid présent dans les basses couches de l'atmosphère (voir Figures 6 et 7) et permis un dégel en de nombreuses régions de Belgique excepté en Haute-Ardenne (dû à l'altitude) et au nord de la Flandre (l'air froid n'étant pas totalement évacué). Dans les ERA-Interim, cet air froid est chassé moins vite en Flandre qui connaît encore des températures moyennes à 2 m négatives. Ceci explique pourquoi l'essentiel des précipitations est tombé sous forme de neige dans les ERA-Interim en Flandre contrairement au MAR et

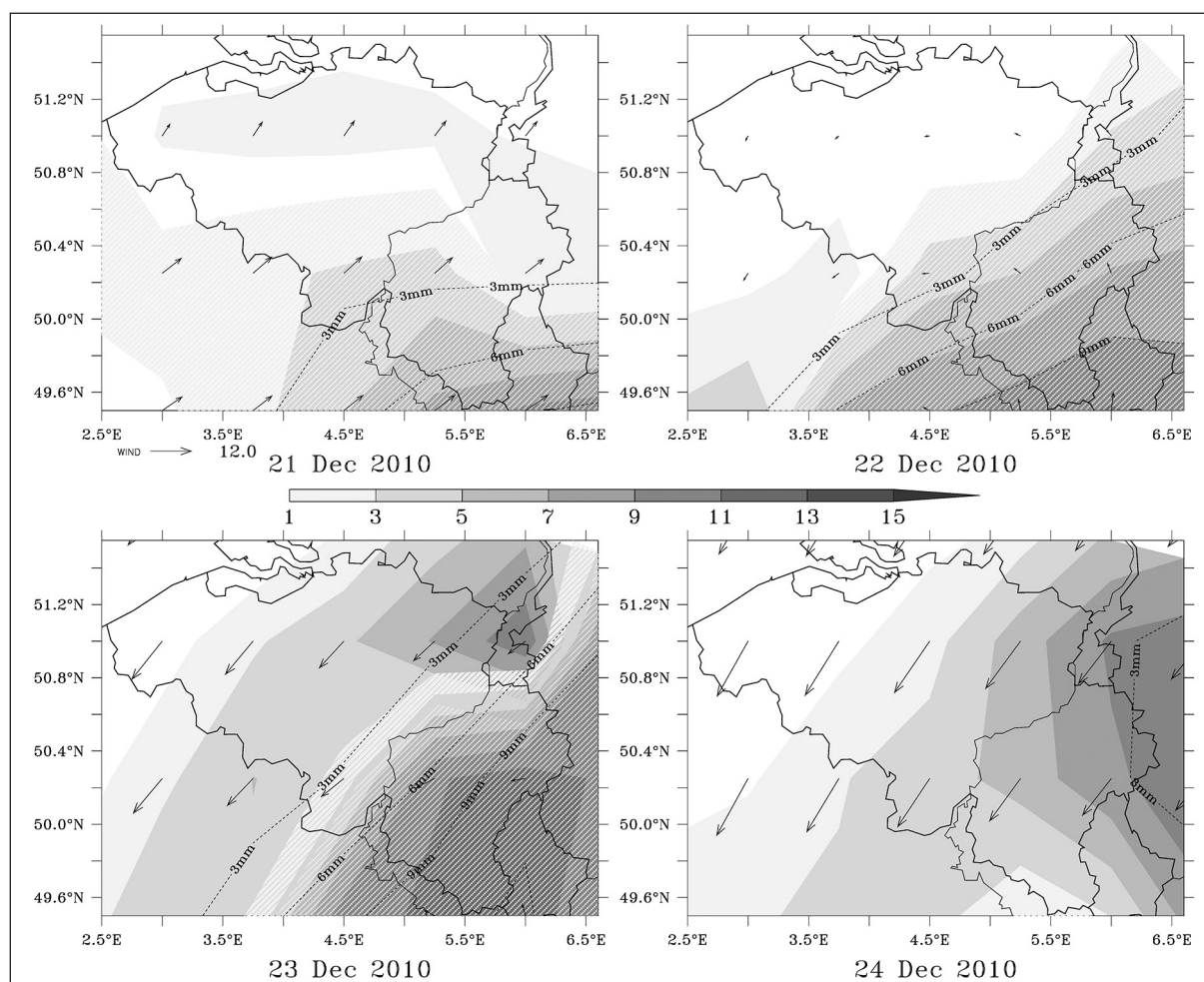


Figure 4. Idem que la Figure 3 mais pour les ERA-Interim

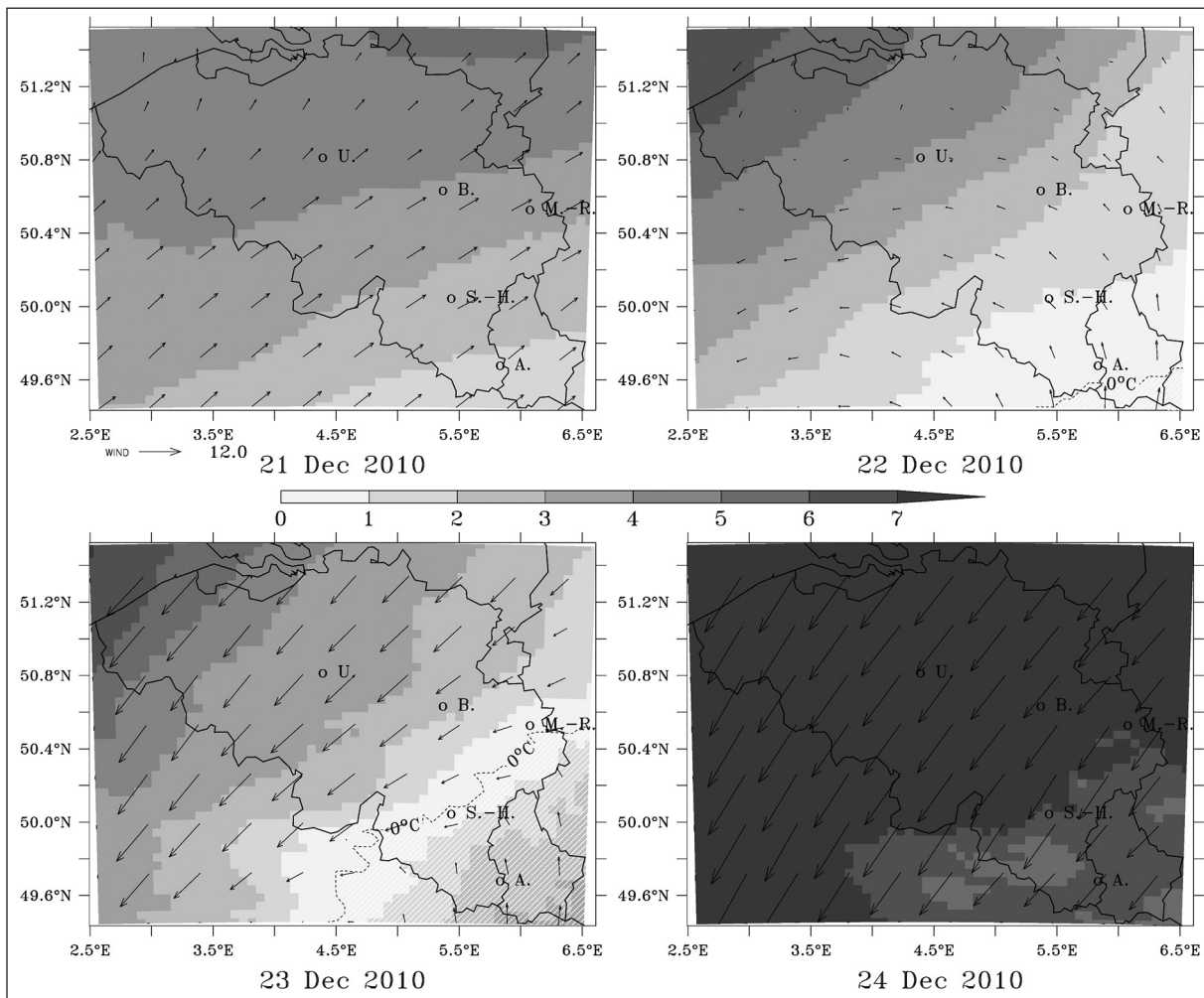


Figure 5. Température moyenne journalière à 850 hPa (en °C) simulée par le modèle MAR les 21, 22, 23 et 24 décembre 2010. Les températures positives sont hachurées pour les différencier des températures négatives dans l'échelle de gris. Enfin, le vent moyen (flèches noires) à 850 hPa est montré, la longueur des flèches étant proportionnelle à la vitesse du vent (une flèche représentant une vitesse de 12 m/s est montrée en-dessous de la figure du 21/12 à titre indicatif). Les stations météorologiques sont représentées par leurs initiales

aux observations qui suggèrent des températures légèrement positives et de faibles pluies. Il est aussi intéressant de noter que les ERA-Interim simulent des pluies abondantes au sud de la Belgique alors que moins de 2 mm/jour ont été observés, et bien simulés par le MAR, à Arlon le 21 décembre. Précisons que, d'une part, les précipitations observées ne sont pas assimilées dans les réanalyses et d'autre part, il est évident qu'une grande partie des biais des ERA-Interim sont dus à leur faible résolution (de 80 km environ) qui ne permet pas de représenter la variabilité climatique au-dessus de la Belgique.

Les sondages de températures (voir Figure 8) nous montrent une masse d'air relativement homogène au-dessus de la Belgique avec toutefois

un gradient nord-sud bien marqué. Partout, le manteau neigeux a diminué (en particulier en Moyenne Belgique) et il a même complètement fondu en Flandre (voir Figure 9). À Zaventem (aéroport de Bruxelles) par exemple, le manteau neigeux observé en fin de journée le 21 décembre n'était plus que de 7 cm pour 12 cm la veille. La nuit du 21 au 22, la fonte se poursuit et s'intensifie même avec l'arrivée de quelques faibles bruines et la formation de brouillard de dégel.

B. Le 22 décembre 2010

Au passage du centre de la dépression au sud de la Belgique le 22 décembre, le vent à 850 hPa s'affaiblit fortement excepté au sud de l'Ardenne où il continue de souffler du secteur sud permettant

à l'isotherme de 0°C d'atteindre le Luxembourg alors que la Belgique reste dans de l'air froid avec un minimum de température à 850 hPa simulé à la Côte Belge. En surface, le vent se remet à souffler du nord ramenant de l'air froid dans les basses couches alors qu'au sud-est de la Belgique, le vent à 850 hPa apporte de l'air chaud du sud-est en altitude. Dans les autres régions de la Belgique, le vent à 850 hPa s'affaiblit fortement pour souffler du nord-est en fin de journée.

Cette invasion d'air froid dans les basses couches a permis à la Basse et Moyenne Belgique de connaître à nouveau des conditions hivernales (températures moyennes négatives à 2 m) excepté à la Côte Belge. Malgré la présence d'air très froid à 850 hPa au-dessus de la mer du Nord, le vent du large a permis à l'air de se réchauffer au contact de

la mer empêchant dans le MAR comme dans les ERA-Interim d'avoir des températures moyennes négatives à 2 m dans la zone côtière. Le retour de cet air froid dans les basses et hautes couches a progressivement transformé les faibles bruines observées en Moyenne Belgique en faibles chutes de neige avec une dominance de précipitations neigeuses en fin de journée. Ces chutes de neige ne sont toutefois pas suffisantes pour reconstituer le manteau neigeux qui a maintenant complètement fondu en Flandre et qui n'est plus que de quelques centimètres en Moyenne Belgique. En Ardenne, l'épais manteau neigeux fond à cause des chutes de pluie réchauffant la neige. Le maximum de précipitations a lieu à la frontière entre l'air chaud et l'air froid coupant la Belgique parallèlement au sillon Sambre-et-Meuse. Ce front chaud va stationner au-dessus de

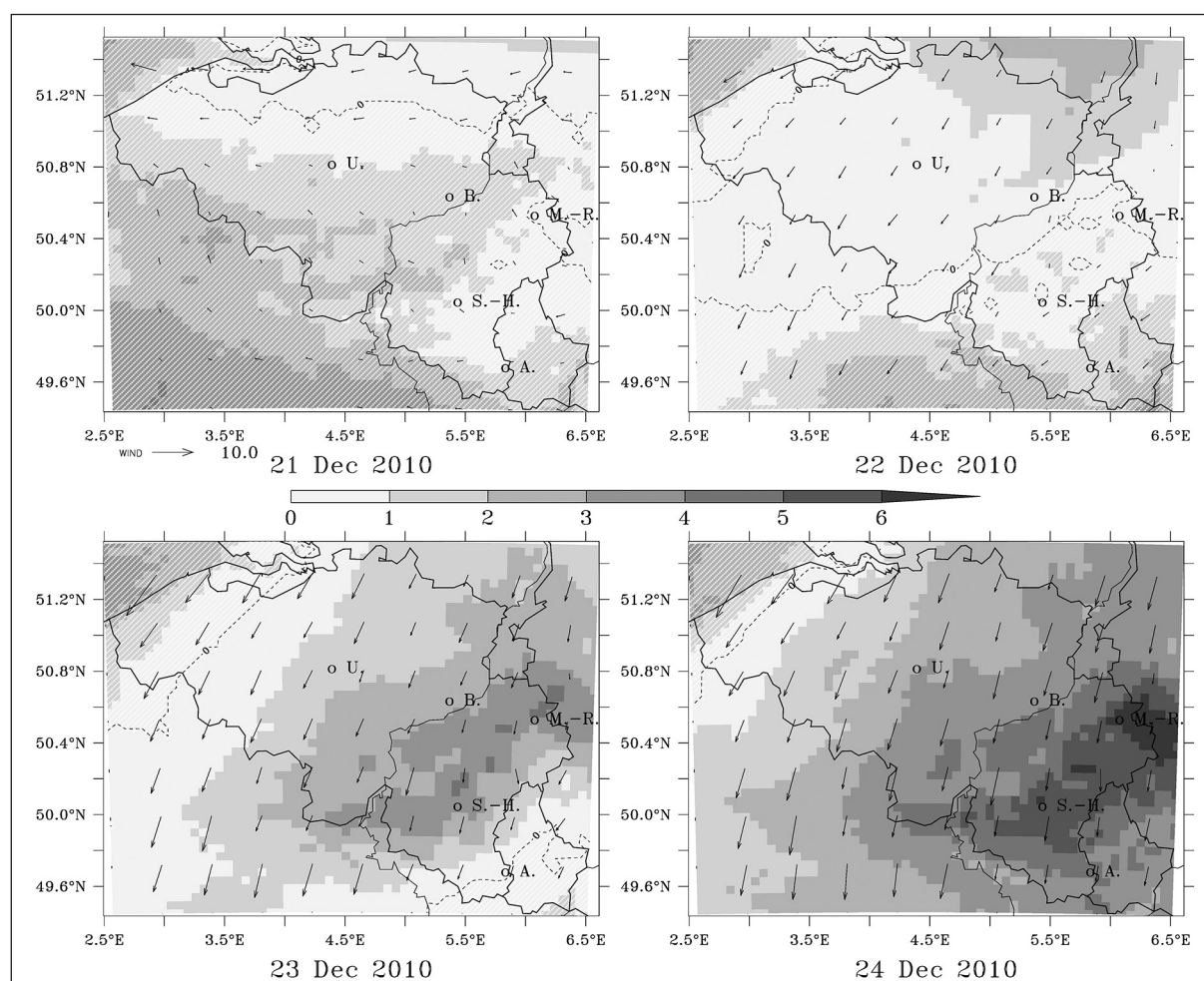


Figure 6. Température moyenne journalière à 2 m (en °C) simulée par le modèle MAR les 21, 22, 23 et 24 décembre 2010. Les températures positives sont hachurées pour les différencier des températures négatives dans l'échelle de gris. Enfin, le vent moyen (flèches noires) à 10 m est montré, la longueur des flèches étant proportionnelle à la vitesse du vent (une flèche représentant une vitesse de 10 m/s est montrée en-dessous de la Figure du 21/12 à titre indicatif). Les stations météorologiques sont représentées par leurs initiales

la Belgique pendant plus de 24 heures avant d'être chassé vers le sud le 24 décembre. En Ardenne, le vent du nord-est en surface n'est pas suffisant pour contrer la remontée de l'air chaud en altitude permettant aux températures en surface d'être positives aussi bien dans le MAR que dans les ERA-Interim et expliquant pourquoi l'essentiel des précipitations a été liquide au sud-est de la Belgique. Seule une petite inversion persiste au Mont Rigi avec des températures encore légèrement négatives en surface alors qu'à Arlon, l'air chaud a envahi la troposphère sur toute son épaisseur. Finalement, il est intéressant de noter que les ERA-Interim suggèrent que l'essentiel des précipitations est tombé sous-forme liquide, y compris au nord du sillon Sambre-et-Meuse le 22 décembre alors que des chutes de neige ont majoritairement été observées au nord du sillon. Vu la variabilité spatiale observée ce 22 décembre liée à la présence d'un front chaud stationnaire, il est évident qu'une résolution de 80 km ne permet pas de résoudre explicitement cette variabilité et

explique probablement pourquoi les ERA-Interim simulent uniquement des pluies ce jour-là.

C. Le 23 décembre 2010

Le 23 décembre, la situation est très contrastée avec au nord du sillon Sambre-et-Meuse de l'air froid et un vent fort du nord-est ramenant cet air froid à 850 hPa sur la Belgique alors qu'au sud du sillon Sambre-et-Meuse, le vent à 850 hPa continue à souffler du sud permettant à l'isotherme de 0°C de remonter à 850 hPa au Mont Rigi et à Saint-Hubert. Dans les autres régions de la Belgique, la température à 850 hPa reste inchangée grâce au vent du nord-est. En surface, le vent du nord-nord-est se renforce, permettant aux températures moyennes à 2 m d'être à nouveau largement négatives excepté à la côte, à cause de la proximité de la mer du Nord, et à l'extrême sud de la Gaume qui est encore dans l'air chaud. À 850 hPa, la remontée d'air chaud en Ardenne atteint son apogée avec des températures moyennes positives

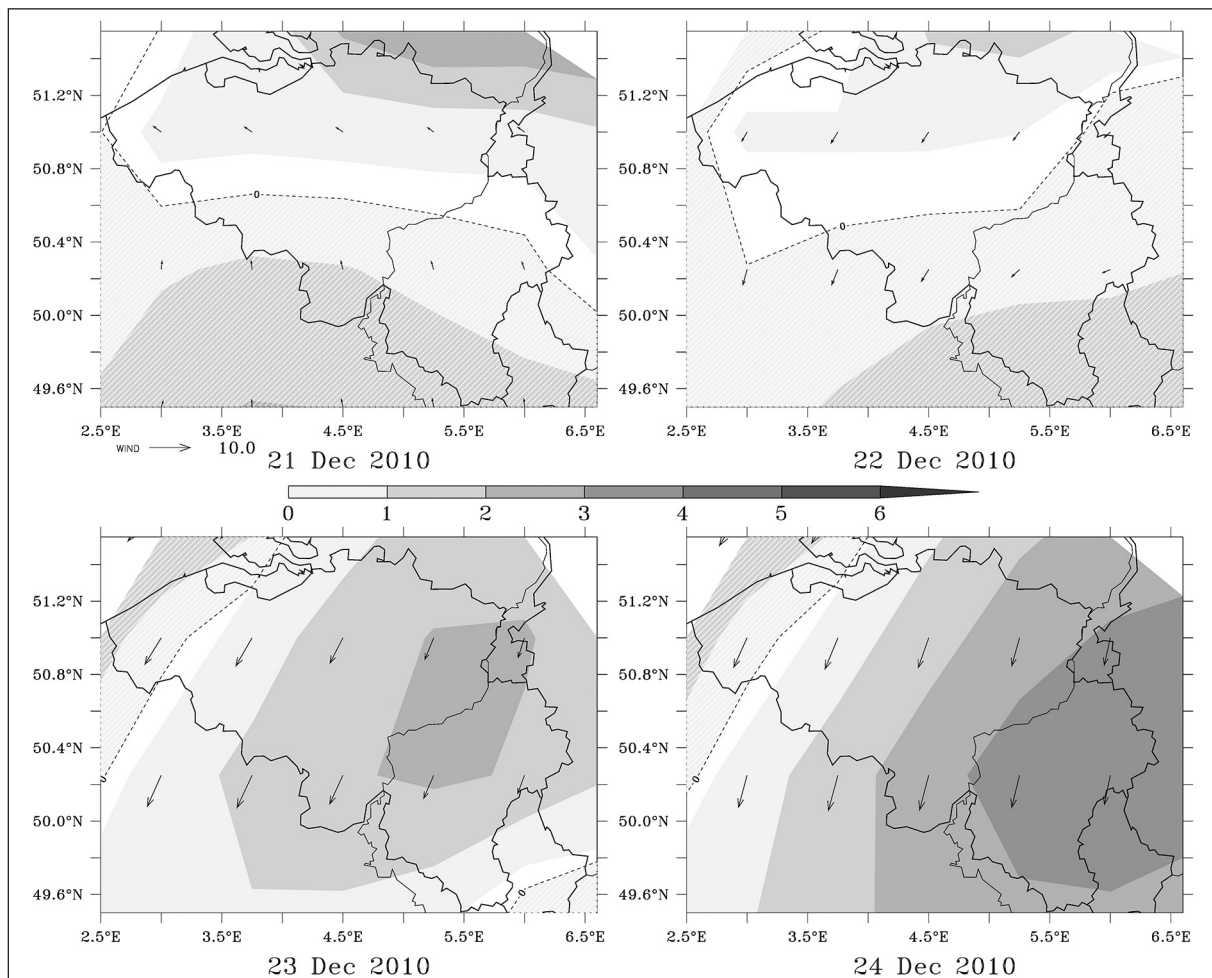


Figure 7. Idem que la Figure 6 mais pour les ERA-Interim

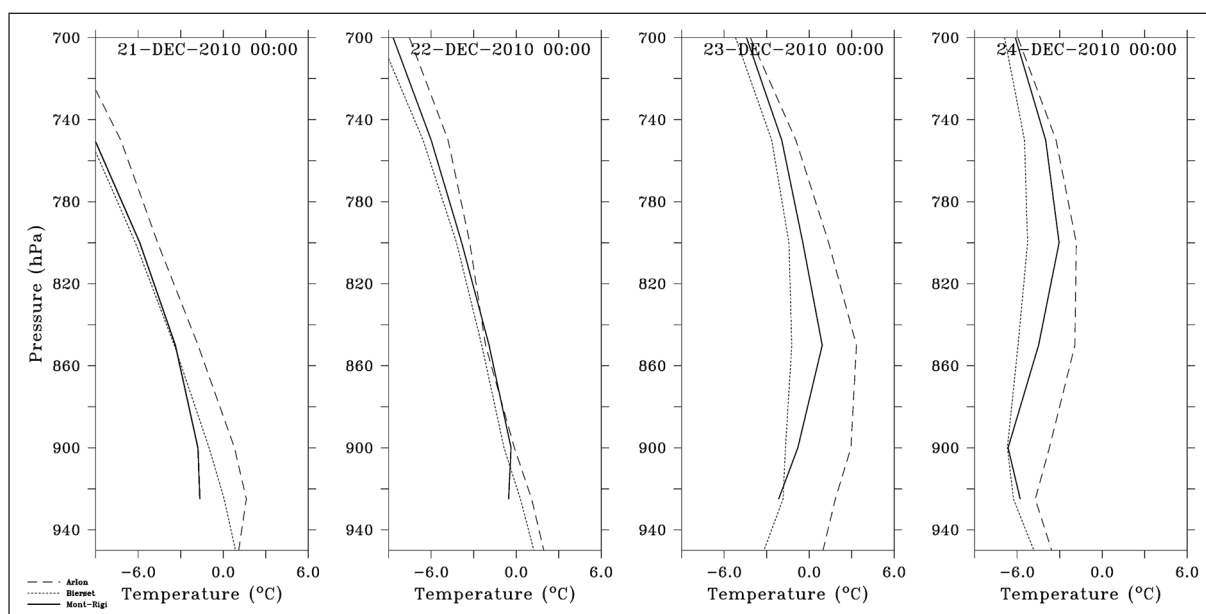


Figure 8. Profils verticaux de la température (de 950 hPa à 700 hPa) à Arlon (trait tireté), à Bierset (trait pointillé) et au Mont Rigi (trait plein) simulés par le MAR les 21, 22, 23 et 24 décembre 2010 à 00h00 TU. Les sondages venant des ERA-Interim (non montrés ici) sont quasiment identiques à ceux du MAR

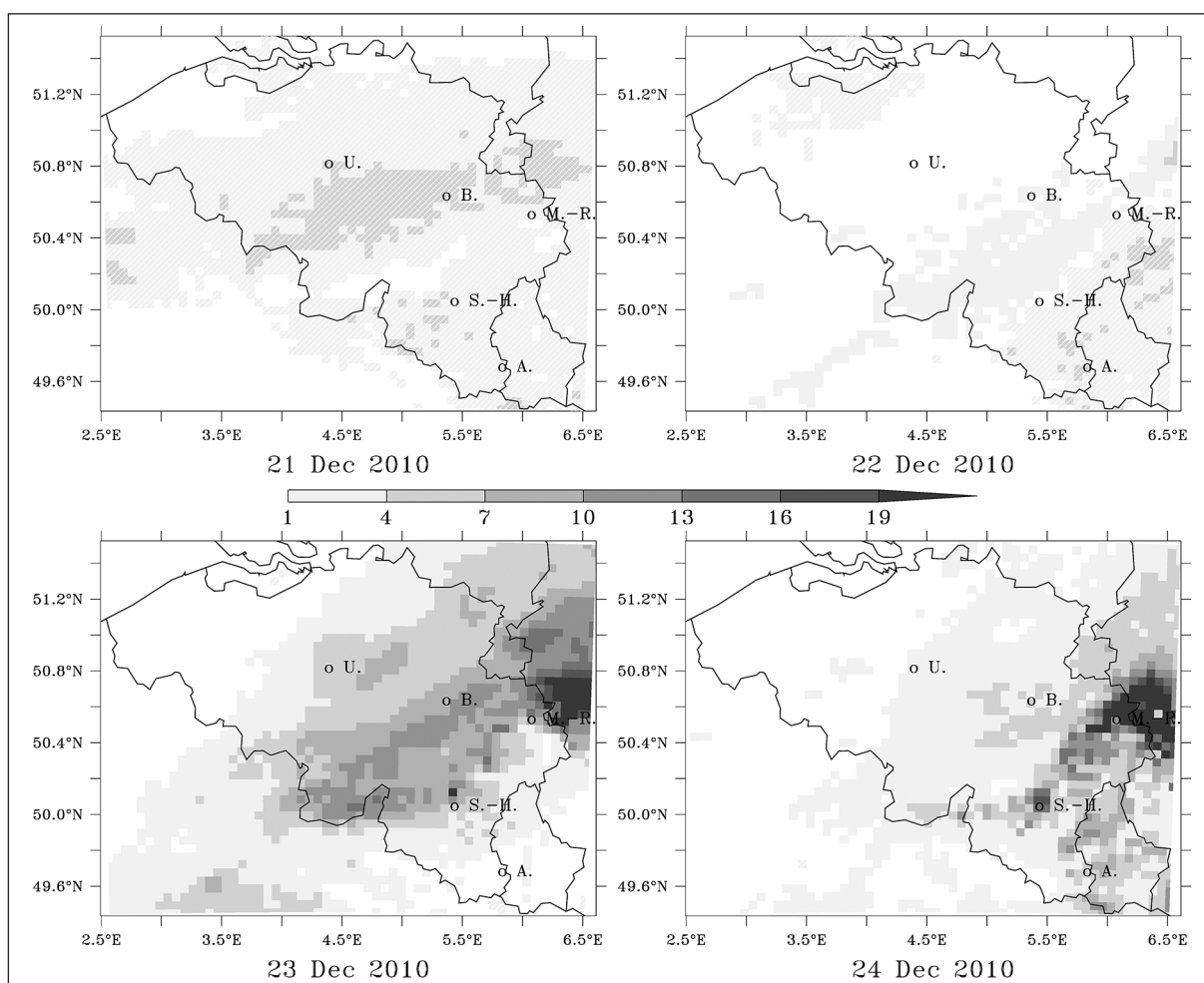


Figure 9. Hauteur moyenne journalière du manteau neigeux (en cm) simulée par le modèle MAR les 21, 22, 23 et 24 décembre 2010. Les zones où la fonte l'a emporté sur l'accumulation (c'est-à-dire où la hauteur du manteau neigeux a diminué) sont hachurées

atteignant une ligne Mont Rigi – Saint-Hubert expliquant pourquoi l'essentiel des précipitations est tombé sous forme liquide au sud de cette ligne alors que les températures proches de la surface ont été largement négatives aussi bien dans le MAR que dans les ERA-Interim. Cette inversion thermique est particulièrement bien visible sur le sondage d'Arlon alors qu'à Bierset, la température ($\sim -2^{\circ}\text{C}$) est quasi constante de 900 à 800 hPa. Le blocage de la remontée du front chaud à cause de la présence d'air froid aussi bien dans les basses couches qu'en altitude en Moyenne Belgique a permis d'engendrer des chutes de neige abondantes au nord du front chaud alors que d'importants épisodes de pluie verglaçante, entrecoupés de chutes de neige, ont été observés et simulés au sud de celui-ci. Par exemple à Saint-Hubert, à 17h et à 18h, des observations successives de pluies et de bruines fortes ont été relevées par $-5,1^{\circ}\text{C}$ jusqu'à ce qu'il se remette à neiger vers 22 heures. Cette succession de fortes pluies entrecoupées de chutes de neige tout aussi fortes en Ardenne (du fait que la température en altitude était proche de l'isotherme de 0°C toute la journée) n'a pas entamé significativement le manteau neigeux qui s'est surtout densifié alors qu'en Moyenne Belgique, le manteau neigeux s'est reconstitué en gagnant 10 à 15 cm en fin de journée.

D. Le 24 décembre 2010

Le 24 décembre, après le passage de la dépression, la situation se normalise avec un vent en surface et à 850 hPa qui se renforce et souffle du nord-est sur toute la Belgique, chassant ainsi l'air chaud vers le sud et permettant à de l'air polaire

encore plus froid mais plus sec d'envahir tout le pays, et ce à toute altitude. Les chutes de neige ne concernent plus que l'est et le sud de l'Ardenne et cessent complètement l'après-midi avec le passage de cet air plus froid asséchant la masse d'air. Le 25 décembre 2010, les épaisseurs de neige mesurées à Uccle, Bierset et au Mont Rigi sont respectivement de 16 cm, 30 cm et 68 cm ; constituant à ce jour le dernier réveillon de Noël et jour de Noël blancs observés en Moyenne Belgique. Seul le littoral n'est pas recouvert de neige.

Une forte hausse des températures ($+10^{\circ}\text{C}$) combinée à des pluies parfois soutenues à toute altitude feront fondre toute cette neige du 6 au 9 janvier 2011 en générant d'importantes inondations en Ardenne.

V. CONCLUSION

Cet article montre l'intérêt d'utiliser un modèle régional du climat pour affiner aussi bien spatialement que temporellement les réanalyses du climat afin de mieux comprendre certains événements météorologiques nécessitant une haute résolution spatio-temporelle que les réanalyses ne permettent pas de résoudre. Le forçage des modèles régionaux par des réanalyses à leurs frontières latérales empêche ces modèles de trop dériver et leur permet de se rapprocher au mieux des observations bien qu'aucune observation ne soit directement assimilée dans les modèles régionaux, si ce n'est via leurs frontières latérales forcées par des réanalyses dans lesquelles des observations sont assimilées.

BIBLIOGRAPHIE

- Dee, D., Uppala, S., Simmons, A., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hersbach, H., Hólm, E., Isaksen, L., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A., Monge-Sanz, B., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. & Vitart, F. (2011) The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 137, 553-597, doi:10.1002/qj.828
- Fettweis, X., Franco, B., Tedesco, M., van Angelen, J. H., Lenaerts, J. T. M., van den Broeke, M. R. & Gallée, H. (2013) Estimating the Greenland ice sheet surface mass balance contribution to future sea level rise using the regional atmospheric climate model MAR. *The Cryosphere*, 7, 469-489, doi:10.5194/tc-7-469-2013.
- Gallée, H. & Schayes, G. (1994) Development of a three-dimensional meso- γ primitive equations model. *Mon. Weather Rev.*, 122, 671-685.
- IRM (2017) Caractéristiques de quelques paramètres climatiques en Belgique, <https://www.meteo.be/meteo/view/fr/360361-Parametres.html>
- MétéoBelgique (2010) Décembre 2010 : le mois de la neige, <http://www.meteobelgique.be/article/articles-et-dossiers/81-climats-dhier-et-daujourd'hui/1569-article-3.html>
- Wyard, C., Scholzen, C., Fettweis, X., Van Campenhout, J. & François, L. (2016) Decrease in climatic conditions favouring floods in the south-east of Belgium over 1959-2010 using the regional climate model MAR. *Int. J. Climatol.* doi:10.1002/joc.4879

Coordonnées des auteurs :

Xavier FETTWEIS
Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie
Département de Géographie
Université de Liège
Clos Mercator 3, Bâtiment B11
4000 Liège
Belgique
xavier.fettweis@ulg.ac.be

Coraline WYARD
Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie
Département de Géographie
Université de Liège
Clos Mercator 3, Bâtiment B11
4000 Liège
Belgique

Sébastien DOUTRELOUP
Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie
Département de Géographie
Université de Liège
Clos Mercator 3, Bâtiment B11
4000 Liège
Belgique

Alexandre BELLEFLAMME
Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie
Département de Géographie
Université de Liège
Clos Mercator 3, Bâtiment B11
4000 Liège
Belgique

