

COMPARAISON ENTRE LE PROFIL VERTICAL DE LA VITESSE DU VENT OBSERVÉ DANS LES BASSES COUCHES DE LA TROPOSPHÈRE ET CELUI SIMULÉ PAR LE MODÈLE WRF EN BELGIQUE

DOUTRELOUP S., FETTWEIS X., BEAUMET J., ERPICUM M.

*Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie (LCT), Université de Liège, 2 allée du VI Août, 4000 Liège, Belgique
[s.doutreloup@ulg.ac.be ; xavier.fettweis@ulg.ac.be ; julien.beaumet@ulg.ac.be ; michel.erpicum@ulg.ac.be]*

Résumé – Dans le cadre du projet FLEXIPAC financé par le programme mobilisateur « RELIABLE » de la Région Wallonne (Belgique), le Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie de l'Université de Liège a pour mission d'adapter le modèle régional WRF (v.3.4.) au climat de la Belgique. Durant notre analyse, nous constatons que les vitesses du vent simulées par WRF à 100 m sont systématiquement surévaluées par rapport aux vitesses du vent déduites des productions de deux parcs éoliens. Dans le but de résoudre ce problème, quatre pistes sont envisagées dans cette contribution. La première piste est de comparer le modèle WRF aux réanalyses ERA-Interim afin de voir s'il apporte une amélioration par rapport à celles-ci. La deuxième piste est d'utiliser WRF avec une résolution spatiale plus fine. La troisième piste est de lisser les résultats du modèle WRF dans le temps afin de déterminer si la variabilité temporelle créée par WRF ne dégrade pas les résultats. Et enfin, la quatrième piste envisagée est de comparer le modèle WRF avec le modèle régional MAR (v3.3.) afin de déterminer si ce n'est pas le modèle WRF lui-même qui est la source du problème. Cette dernière piste semble suggérer que le modèle MAR simule mieux les vitesses du vent à 10 m et à 100 m que le modèle WRF.

Mots-clés : profil vertical vitesse du vent, éolien, modèle WRF, modèle MAR, Belgique.

Abstract – Comparison between vertical wind speed profile observed in the lower layers of the atmosphere and the wind speed profile simulated by the WRF model. In the framework of FLEXIPAC project funded by the "RELIABLE" program of Walloon Region (Belgium), the Laboratory of Climatology Topoclimatology (LCT) of the University of Liège (Belgium) aims to adjust the WRF regional model (v.3.4.) forced by the ERA-Interim reanalysis for Belgium. Our analysis shows that wind speeds at 100m simulated by WRF are systematically overestimated compared to wind speeds extracted from wind productions of two wind farms. In order to solve this problem, four ways are considered in this contribution. The first way is to compare the WRF model with the reanalysis data. The second way is to test the influence of the spatial resolution by running WRF with a finer resolution. The third way is to smooth WRF outputs, where in order to analyze the variability created by the model. And finally, the fourth way is to compare the WRF model with the MAR (v3.3.) regional model. This last way seems to confirm that the MAR model better simulates wind speeds at 10m and at 100m than the WRF model.

Keywords: wind speed vertical profile, wind turbine, WRF regional model, MAR regional model, Belgium.

Introduction

Le projet FLEXIPAC, financé par le programme mobilisateur « RELIABLE » de la Région Wallonne, a pour objectif l'optimisation de la demande énergétique par le pilotage d'applications thermiques *via* des pompes à chaleur en vue de l'intégration de sources de production intermittentes au réseau électrique, et ainsi permettre de valoriser économiquement les surplus ou les carences d'électricité. Le Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie (LCT) de l'Université de Liège (Belgique) est partenaire de ce projet afin, entre autres objectifs, de fournir des données météorologiques adaptées, ainsi que des prévisions météorologiques sur l'ensemble de la région. Le LCT a la mission d'adapter le modèle régional OpenSource WRF (v3.4.) (Skamarock *et al.*, 2008) au climat de la Belgique.

Dans une précédente étude, différents tests de sensibilité ont été menés avec le modèle WRF (v3.4.) afin de déterminer la configuration de la physique du modèle permettant de simuler les conditions atmosphériques le plus justement possible, en particulier les paramètres vent, température et rayonnement. Une cinquantaine de simulations ont été testées avec WRF forcé toutes les six heures aux frontières par les réanalyses ERA-Interim (Dee, 2011), sur le domaine 1°W à 8°E et 48.5°N à 53.5°N. La résolution horizontale est de 15 km, la résolution verticale de vingt-huit niveaux (dont les dix premiers en dessous de l'altitude 100 m), et la résolution temporelle de une minute (les sorties sont sauvegardées toutes les trente minutes). Parmi la cinquantaine de configurations testées pour l'année 2011, une seule configuration a permis d'améliorer significativement les résultats des simulations contrôlées par les observations de différentes stations météorologiques de référence réparties sur l'ensemble du

territoire belge. Cette configuration utilise le schéma de microphysique Lin *et al.* (1983), le schéma radiatif de courte et longue longueurs d'onde GFDL (Lacis et Hansen, 1974), le schéma de couche limite planétaire Mellor-Yamada-Janjic (Janjic, 2002), le schéma de surface Noah Land Surface Model (Ek *et al.*, 2003) et la paramétrisation des nuages cumuliformes Betts-Miller-Janjic (Janjic, 1994). C'est donc cette configuration qui fait référence dans la présente contribution.

1. Constat

Au cours de l'analyse de cette configuration du modèle WRF, il apparaît que les vitesses du vent mesurées à 10 m dans deux stations météorologiques aéroportuaires, Bierset (n°2 sur la figure 1) (aéroport de Liège, Belgique) et Zaventem (n°3 sur la figure 1) (aéroport de Bruxelles, Belgique) sont sous-évaluées par le modèle WRF, alors que celles à 100 m extraites des productions éoliennes de deux parcs grâce à la courbe de puissance de la turbine, sont surévaluées par WRF. Le nombre d'éoliennes étant de cinq pour le parc d'Amel (n°1 sur la figure 1) et de 8 pour celui de Marbais (n°4 sur la figure 1), les vitesses du vent déduites de la production pour ce dernier, sont donc plus fiables que celles du parc d'Amel car elles sont moins dépendantes de l'arrêt/ralentissement forcé d'une ou plusieurs éoliennes. Afin de mieux caractériser les différences de vitesse du vent entre observation et modélisation, le profil vertical de la vitesse du vent dans le modèle est comparé à celui qui est mesuré lors des sondages aérologiques réalisés à la station de Beauvechain (n°5 sur la figure 1) (Wing Météo, Force Aérienne Belge). Ces sondages sont effectués quotidiennement à 00hTU. Le profil vertical moyen des vitesses du vent de l'année 2012 est reporté sur la figure 2.

Comme on peut le voir sur la figure 2, en dessous du niveau 825 hPa, la vitesse du vent simulée par WRF est clairement surestimée. De plus, cette simulation crée un maximum de vitesse

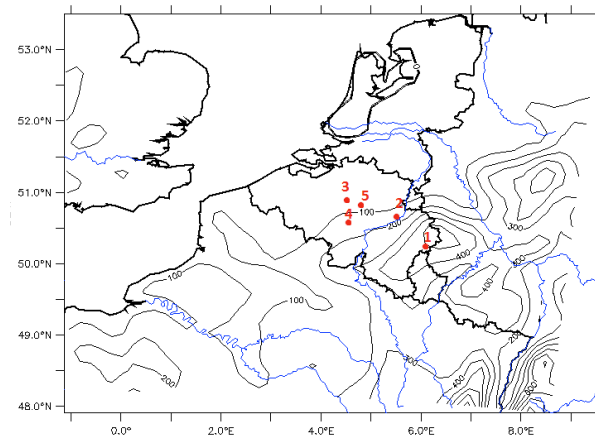


Figure 1 : Carte de localisation des deux stations météorologiques aéroportuaires Bierset (2) et Zaventem (3), des deux parcs éoliens Amel (1) et Marbais (4), ainsi que de la station de Beauvechain (5). Le fond de carte correspond au relief du modèle WRF 15 km

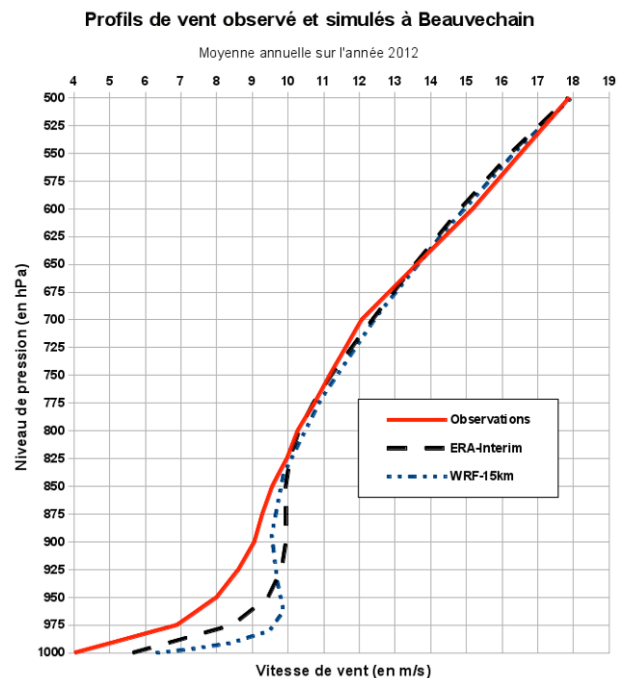


Figure 2 : Moyenne annuelle pour 2012 des profils verticaux de la vitesse du vent observés (courbe rouge continue), et simulés par ERA-Interim (courbe noire en tireté épais) et par WRF (courbe bleue en tireté fin)

vers 975 hPa que l'on ne retrouve pas dans les observations. Une analyse plus fine effectuée pour chacun des mois de l'année 2012 a montré que les vitesses du vent simulées sont toujours plus grandes que celles qui sont observées.

Au Japon, Shimada *et al.* (2011) ont rapporté une surestimation de la vitesse du vent du même type dans les basses couches du modèle WRF forcé par les réanalyses NCEP-NCAR. Ils en ont, notamment, conclu que les différents schémas de la couche limite planétaire proposés dans WRF ne permettaient pas de corriger significativement ce biais observé chaque mois de l'année.

Vu la similitude de nos constatations avec celles de Shimada *et al.* (2011) utilisant les réanalyses NCEP-NCAR comme forçage pour le Japon, il est permis de supposer que cette surestimation du vent est inhérente au modèle WRF et non la conséquence d'un biais dans les champs de forçage.

2. Données et protocole expérimental

Afin de vérifier cette hypothèse, nous comparons les résultats de la simulation WRF-15km (simulation de WRF à 15 km de résolution spatiale et dont la configuration pour la physique est identique à celle décrite dans l'introduction), dans un premier temps avec ceux des réanalyses ERA-Interim (de résolutions spatiale de 0.75° et temporelle de six heures) et, dans un deuxième temps, avec ceux de la simulation WRF-5km (simulation de WRF avec une résolution spatiale est plus fine de 5 km). La simulation WRF-5km est configurée de la même manière que la simulation WRF-15km et le domaine de WRF-5km (2.2°E à 6.5°E et 49.4°N à 52°N) est imbriqué dans celui de WRF-15km. Dans un troisième temps, nous comparons les résultats de la simulation WRF-15km avec les résultats de cette simulation mais lissés dans le temps selon une moyenne glissante de six heures. Enfin, dans un quatrième temps, nous comparons les sorties de la simulation WRF-15km avec celles du modèle régional MAR (v3.3.) qui est développé au LCT par Fettweis *et al.* (2013) pour étudier plus particulièrement les régions polaires. Le modèle MAR est également forcé par les réanalyses ERA-Interim et utilise une résolution spatiale de 10 km, une résolution verticale de vingt-quatre niveaux, dont sept niveaux se situent sous une altitude de 100 m, une résolution temporelle de une minute (les sorties sont sauvegardées toutes les quinze minutes) et son domaine s'étend sur la zone 0.5°W à 8.3°E et 48.4°N à 53°N.

Dans le but d'obtenir une meilleure représentativité des résultats, nous comparons uniquement les différentes simulations avec les données de vent à 100 m déduites des productions éoliennes et les données à 10 m provenant des stations météorologiques aéroportuaires. En effet, les profils de vent observés provenant des sondages aérologiques tels que présentés ci-dessus ne sont malheureusement effectués qu'une fois par jour à minuit. De plus, l'historique comporte approximativement 25 % de données manquantes pour l'année 2012. En revanche, l'historique des données des stations météorologiques aéroportuaires est disponible toutes les trente minutes avec environ 2 % de données manquantes, et l'historique des données issues des deux parcs éoliens est disponible toutes les quinze minutes et ne comporte aucune donnée manquante. Notons également que les stations aéroportuaires font partie du réseau synoptique METAR (WMO, 2008) et sont donc assimilées dans les réanalyses ERA-Interim.

Dans le but de comparer les simulations entre elles et de déterminer leur adéquation avec les observations, nous calculons pour chacune (cf. tableau 1) : le biais, l'erreur quadratique moyenne (RMSE), ainsi que le coefficient de détermination (R^2).

3. Résultats

3.1. Comparaison des réanalyses ERA-Interim avec la simulation WRF-15km

Le tableau 1 livre les résultats obtenus. Concernant la vitesse du vent à 10 m, WRF-15km est plus proche des observations que les réanalyses ERA-Interim, sauf pour le coefficient de détermination.

Tableau 1 : Résultats de la comparaison entre les réanalyses ERA-Interim, les modèles WRF-15km et WRF-5km (F6=moyenne glissante de six heures), et le modèle MAR avec les observations des sites de mesures à 10 m (Bierset et Zaventem) et des sites éoliens à 100 m (Amel et Marbais).
Les valeurs de biais et RMSE sont exprimés en ms^{-1}

	Bierset (10m)			Zaventem (10m)			Amel (100m)			Marbais (100m)		
	Biais	RMSE	R ²	Biais	RMSE	R ²	Biais	RMSE	R ²	Biais	RMSE	R ²
ERA-Interim	3,56	4,23	0,61	1,43	1,91	0,65	3,77	5,40	0,55	3,02	4,04	0,72
WRF-15km	-0,66	1,51	0,57	-0,14	1,29	0,61	2,71	3,69	0,58	2,30	3,25	0,64
WRF-5km	-0,83	1,56	0,59	-0,23	1,27	0,61	2,36	3,42	0,55	2,23	3,18	0,65
WRF-15km F6	-0,66	1,44	0,60	-0,14	1,19	0,63	2,71	3,57	0,60	2,30	3,08	0,67
WRF-5km F6	-0,83	1,50	0,62	-0,23	1,18	0,65	2,37	3,26	0,58	2,23	3,00	0,69
MAR	-0,57	1,29	0,67	-0,06	1,10	0,68	0,56	1,65	0,59	-0,06	1,68	0,63

Concernant la vitesse du vent à 100 m, les statistiques sont globalement meilleures pour WRF-15km. Il est intéressant de noter que ERA-Interim et WRF-15km surestiment les vitesses du vent extraites des productions éoliennes. La corrélation entre les deux modèles est similaire pour le parc d'Amel. En revanche, elle est significativement meilleure pour les ERA-Interim pour le parc de Marbais.

La simulation WRF-15km livre donc des résultats significativement meilleurs que ceux des réanalyses ERA-Interim.

3.2. Comparaison des simulations WRF-15km et WRF-5km

Le tableau 1 montre les résultats obtenus. Faire tourner le modèle WRF à plus haute résolution spatiale (WRF-5km) n'améliore pas la simulation des vitesses du vent à 10 m par rapport à WRF-15km.

Toutefois, la vitesse du vent à 100 m modélisée par WRF-5km, pour le parc d'Amel, obtient un biais et une RMSE moins élevés. En revanche, WRF-15km conduit à un coefficient de détermination meilleur qu'avec WRF-5km. Cependant, les différences entre les deux simulations restent non-significatives. Pour le parc de Marbais, WRF-5km améliore l'ensemble des paramètres étudiés, mais pas de manière significative.

L'augmentation de la résolution spatiale n'apporte donc pas d'amélioration significative des résultats.

3.3. Comparaison de la simulation WRF-15km et de la simulation WRF-15km lissée

Pour rappel, nous comparons des observations, soit quart-horaires pour les parcs éoliens, soit demi-horaires pour les stations météorologiques, avec les réanalyses ERA-Interim à la résolution temporelle de six heures et WRF-15km avec une résolution temporelle de trente minutes. Il paraît évident que la variabilité temporelle des réanalyses ERA-Interim est beaucoup plus petite que la variabilité de WRF-15km (courbe verte). Les résultats des réanalyses ERA-Interim apparaissent lissés, comme l'indique la courbe bleue de la figure 3. La simulation WRF-15km présente une forte variabilité. Or, celle-ci ne correspond pas à celle

des observations. Dès lors, un léger décalage provoque évidemment une détérioration des résultats.

Afin de confirmer ces constatations, une moyenne glissante de six heures est appliquée aux résultats de WRF-15km (WRF-15km-F6). Cette moyenne est représentée sur la figure 3 par la courbe rouge. Comme prévu, la variabilité de WRF-15km-F6 a diminué, comme le montre le tableau 1. Mais la RMSE et le coefficient de détermination ont été légèrement améliorés par rapport à WRF-15km sans lissage temporel.

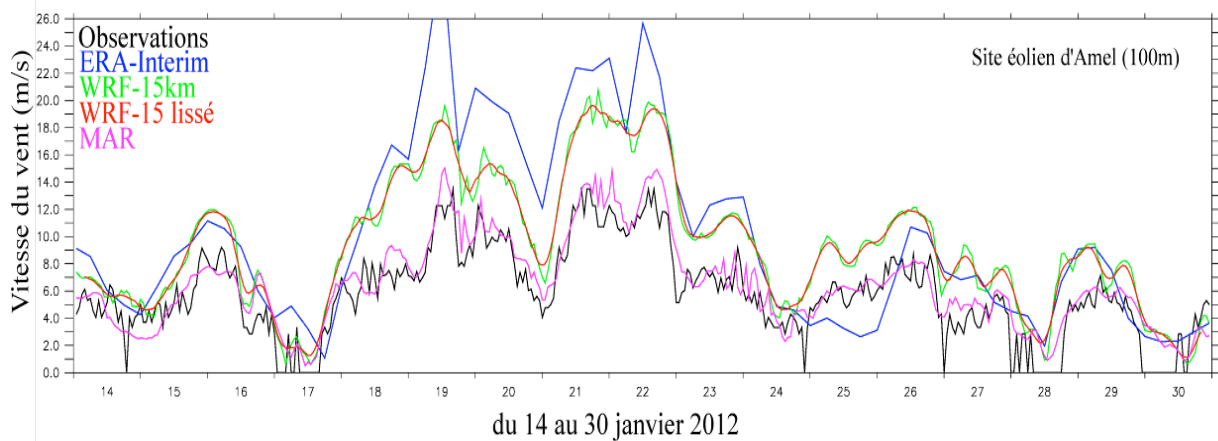


Figure 3 : Comparaison des observations (courbe noire) avec les simulations du modèle ERA-Interim (courbe bleue), de WRF-15km (courbe verte), de WRF-15km lissé (courbe rouge) et du modèle MAR (courbe pourpre) pour le site d'Amel durant la période allant du 14 janvier 2012 au 30 janvier 2012

Une moyenne glissante de six heures est également appliquée à WRF-5km. Les conclusions sont similaires : la RMSE et le coefficient de détermination sont légèrement améliorés par rapport à WRF-5km sans lissage.

La variabilité créée par le modèle WRF dégrade donc légèrement les résultats.

3.4. Comparaison du modèle WRF avec le modèle régional MAR

Nous comparons ici le modèle WRF avec le modèle régional MAR (Fettweis *et al.*, 2013). Les résultats de cette comparaison sont livrés à la dernière ligne du tableau 1.

Concernant la vitesse du vent à 10 m, seuls la RMSE et le coefficient de détermination sont significativement meilleurs avec le modèle MAR qu'avec la simulation WRF-15km. Le biais est légèrement amélioré dans le MAR, mais pas significativement.

Concernant la vitesse du vent à 100 m, qu'il s'agisse du parc d'Amel ou de celui de Marbais, le modèle MAR améliore significativement le biais et la RMSE par rapport à WRF-15km. En revanche, le coefficient de détermination reste semblable. De plus, comme le montre la courbe pourpre de la figure 3, le modèle MAR simule bien mieux la vitesse du vent observée au parc d'Amel durant la période étudiée que les autres modèles.

Le modèle MAR simule donc significativement mieux les observations de la vitesse du vent à 10 m et à 100 m que le modèle WRF, suggérant ainsi que le biais observé dans le profil du vent est bien dû au modèle WRF lui-même et non pas aux données de forçage.

Conclusion et perspectives

Globalement, l'utilisation d'un modèle régional permet d'augmenter la qualité de la simulation des vitesses du vent à 10 m et à 100 m par rapport aux données de forçage.

Cependant, le modèle WRF ajoute une variabilité à la simulation qui n'est pas représentative des observations, ce qui a pour conséquence de dégrader la corrélation par rapport aux réanalyses ERA-Interim.

Par ailleurs, l'augmentation de la résolution spatiale du modèle n'a pas apporté de résultats significativement meilleurs.

Enfin, comme l'ont indiqué Shimada *et al.* (2011) pour le Japon, ainsi que les résultats de cette contribution, le modèle régional WRF surestime la vitesse du vent dans les basses couches, alors que le modèle régional MAR parvient à la simuler avec plus d'exactitude.

Dès lors, la version du modèle WRF est-elle vraiment adéquate pour étudier les vitesses du vent dans les basses couches de la troposphère sur le territoire belge ? Afin de répondre à cette question, nous étudierons ultérieurement le comportement des autres variables météorologiques au sein des basses couches pour vérifier si l'utilisation du MAR reste plus pertinente que WRF pour la simulation de ces variables.

Remerciements

Cette recherche est menée dans le cadre pluridisciplinaire du projet FLEXIPAC financé par le programme mobilisateur « RELIABLE » dépendant de la DGO 4 de la Région Wallonne (Belgique). Nous tenons donc à la remercier pour son soutien financier.

Nous remercions également les sociétés Lampiris S.A. et Aspiravi S.A. pour leur mise à disposition des données de production des parcs éoliens d'Amel et de Marbais.

Références bibliographiques

- Dee D.P., 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.J., Haimberger L., Healy S., Hersbach H., Hólm E., Isaksen I., 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. and Vitart F., 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, *Q.J.R. Meteorological Society*, **137**, 553-597. doi: 10.1002/qj.828.
- Ek M.B., Mitchell K.E., Lin Y., Rogers E., Grummann P., Koren V., Gayno G., Tarpley J.D., 2003: Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational Mesoscale Eta Model. *J. Geophys. Res.*, **108**, 8851, doi:10.1029/2002JD003296.
- Fettweis X., Franco B., Tedesco M., van Angelen J., Lenaerts J., van den Broeke M., 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.
- Janjic Z.I., 1994: The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes. *Monthly Weather Review*, **122**, 927-945.
- Janjic Z.I., 2002: *Nonsingular implementation of the Mellor-Yamada level 2.5 Scheme in the NCEP Mesomodel*. NCEP Office Note, No. **437**, 61 p.
- Lacis A.A., Hansen J.E., 1974: A parameterization for the absorption of solar radiation in the Earth's atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, **31**, 118-133, doi:10.1175/1520-0469(1974)031<0118:APFTAO>2.0.CO;2.
- Lin Y.L., Farley R.D., Orville H.D., 1983: Bulk Parameterization of the snow field in a cloud model. *Journal of Climate Applied Meteorology*, **22**, 1 065-1 092.
- Shimada S., Ohsawa T., Chikaoka S., Kozai K., 2011: Accuracy of the Wind Speed Profile in the Lower PBL as Simulated by the WRF Model. *SOLA*, **7**, 109-112.
- Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Wang W., Powers J.G., 2008: *A description of the Advanced Research WRF version 3*. NCAR Technical Notes, NCAR/TN-475+STR, 113 p.
- WMO, 2008: *Aerodrome Reports and Forecasts: A User's Handbook to the Codes*. World Meteorological Organisation Editions, Vol. **782**, 81 p.