

RECOURS À UNE CAMPAGNE DE MESURES TOPOCLIMATIQUES APPLIQUÉE POUR UNE ÉTUDE COMPARATIVE DE VARIABLES MÉTÉOROLOGIQUES CONCOMITANTES PROVENANT DES STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES DE BRUGGE ET DU MONT RIGI EN BELGIQUE

Xavier PIRARD, Nicolas JORION, Sébastien DOUTRELOUP, Xavier FETTWEIS et Michel ERPICUM

*Université de Liège (ULg), Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie, Département de Géographie
Bât. B11, Allée du 6 août, 2 Sart-Tilman, 4000 Liège, Belgique.*

*xpirard@ulg.ac.be, njorion@ulg.ac.be, s.doutreloup@ulg.ac.be, xavier.fettweis@ulg.ac.be,
michel.erpicum@ulg.ac.be*

Résumé : Une station météorologique automatique munie d'un mât de 10 mètres a été installée à l'Ouest de l'agglomération urbaine de Brugge (Belgique) par le Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie de l'ULg. Elle a été équipée afin de confirmer la bonne qualité des prévisions météorologiques du modèle WRF établies dans le cadre du projet européen TWENTIES. Les données récoltées de minute en minute par cette station météorologique offrent également l'opportunité de mettre en évidence le détail de situations météorologiques bien particulières comme celles correspondant aux passages de fronts.

Mots-clés : Topoclimatologie appliquée, station météorologique automatique, Belgique, modèle WRF.

Abstract: *Harnessing of an applied topoclimatic campaign to compare meteorological variables from the weather stations of Brugge and Mont Rigi in Belgium.*

A highly instrumented automatic weather station was installed by the Laboratory of Climatology and Topoclimatology of ULg in the western urban area of Brugge (Belgium) to focus the best adequacy of the weather forecasts from the WRF model created for the European project TWENTIES. These meteorological data collected every minute offer the opportunity to demonstrate some original features of specific meteorological situations such as those corresponding to the passage of weather disturbances.

Keywords: *Applied topoclimatology, automatic weather station, Belgium, WRF model.*

Introduction et instrumentation

Depuis le 13 janvier 2012, le Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie de l'Université de Liège a installé un mât télescopique de 10 m équipé d'une série de capteurs météorologiques haut de gamme commandés et enregistrés de manière automatique. Cet équipement météorologique a été mis en place dans le cadre d'une collaboration avec le gestionnaire du réseau de transport belge d'électricité ELIA (Projet Européen TWENTIES [1]). Cette station, installée pour une année dans l'enceinte du poste de ligne à haute tension de Waggelwater à Brugge (Belgique), est située en périphérie urbaine et dans la plaine maritime à 12 km de la mer du Nord (figure 1). Cette expérimentation permet de confronter les observations météorologiques récoltées *in situ* avec les prévisions météorologiques du modèle Weather and Research Forecast – WRF (Skamarock *et al.*, 2008) qui à terme seront utilisées pour prévoir les variations de températures des lignes à haute tension et ainsi en déduire leur ampacité (charge maximale de courant qu'un câble peut transporter).

La résolution temporelle de la station, qui est d'une valeur par minute moyennée à partir d'un échantillonnage obtenu à une fréquence de 1 Hz, et la précision des capteurs sélectionnés offrent par la même occasion l'opportunité de mener des analyses topoclimatiques originales et très instructives. Le mât météorologique télescopique (10 m) supporte des instruments de grande qualité qui permettent de mesurer le vent (3D), la température de l'air à 2 m et 10 m (sous abri ventilé), l'humidité relative de l'air, les rayonnements visible et infrarouge, les intensités et persistances des précipitations (figure 1). La précision comme la qualité des

données permettent la détection et l'analyse de situations météorologiques rarement aussi bien mises en exergue.

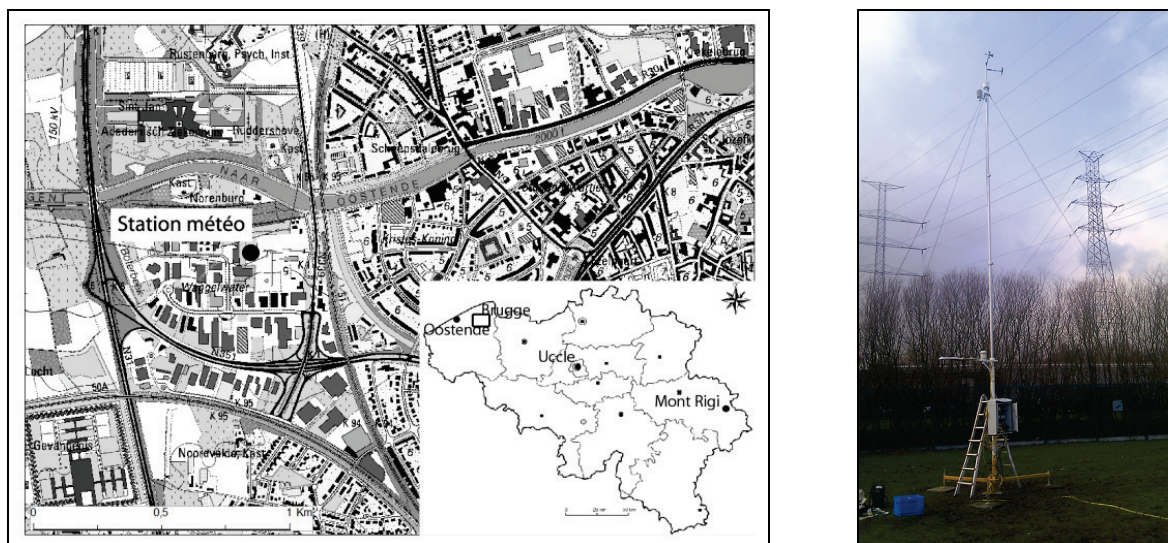


Figure 1 : (gauche) Localisation de la station météorologique de Brugge (réduction de la carte IGN 1/50000) avec encart du positionnement géographique ; (droite) Site de la station météorologique.

1. Confrontation des données d'insolation, de température, de direction et de vitesse de vent issues des sorties du modèle WRF aux données de la station météorologique expérimentale de Brugge

Dans le cadre du projet Européen « TWENTIES » (7^{ème} programme cadre) dédié à l'intégration massive d'énergie renouvelable dans la production d'électricité [1], la mise en réseau de parcs éoliens de plus en plus nombreux impose de pouvoir écouler sur le réseau à haute-tension existant des puissances électriques générées de manière intermittente. Le niveau de puissance qui peut transiter dans ces lignes dépend des conditions météorologiques (la température du câble étant un élément capital dans cette gestion). Il est donc apparu indispensable de rechercher comment fournir de manière la plus adéquate la température ambiante, la vitesse, la direction du vent et le rayonnement solaire à hauteur des lignes à haute tension afin d'en déduire l'ampacité.

Le modèle de prévision météorologique WRF a été paramétré dans le but de prévoir le plus exactement possible sur une durée de quelques heures à quelques jours la vitesse du vent, la température, le rayonnement, ainsi que diverses autres variables météorologiques non décrites ici. Le modèle WRF calcule de manière opérationnelle, 4 fois par jour, les données météorologiques prévues pour les 72 heures suivant le moment de la prévision. Il s'agit d'un modèle météorologique régional sous licence OpenSource, qui a été créé et qui est mis à jour bi-annuellement par une communauté mondiale d'utilisateurs. Ce modèle, centré sur la région de Brugge, est forcé toutes les 6 h par le modèle global GFS (00 h TU, 06 h TU, 12 h TU, 18 h TU). Il possède une résolution temporelle de 30 minutes et spatiale de 2 km, et il est construit selon une logique de grilles imbriquées rétroactives. La première grille (grille mère) possède une résolution temporelle de 60 secondes et spatiale de 10 km. La seconde grille (grille fille), retenue dans cette étude, a une résolution temporelle de 12 secondes et spatiale de 2 km. Les prévisions de vitesse et direction du vent et d'insolation utilisées sont moyennées sur une période de 30 minutes. Les prévisions de température sont des données ponctuelles prises toutes les 30 minutes.

La figure 2 compare, pour la période du 3 au 4 février 2012 (même période que celle étudiée dans le cas 2.1), les trois variables livrées par le modèle WRF avec celles mesurées à la station. Les températures pour le 3 février ont été correctement modélisées lors du passage du front chaud, mais l'importance du refroidissement nocturne exceptionnel a été sous-estimée car le modèle a prévu des températures trop élevées pour le 4 février. Par contre, le vent comme le rayonnement global, outre certaines différences (par exemple pour les maxima du rayonnement global), ont connu des comportements assez similaires.

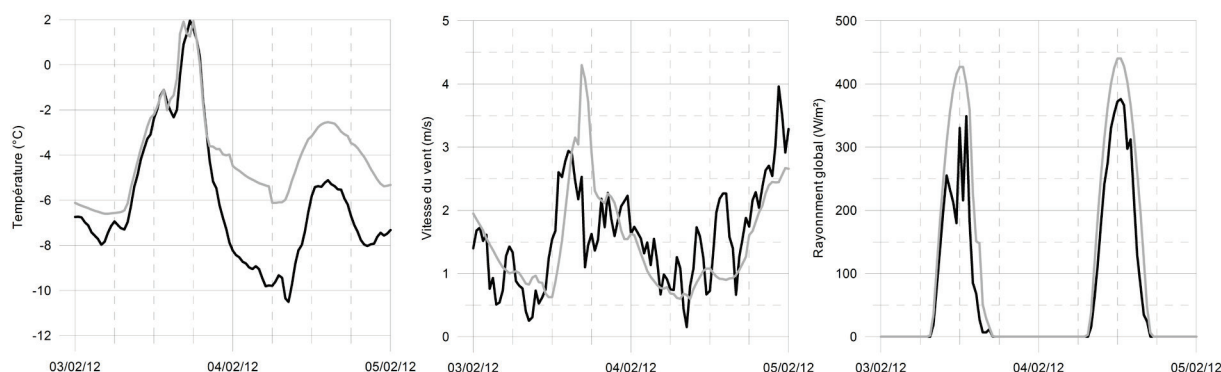


Figure 2 : Comparaison de la température, la vitesse du vent et du rayonnement global entre la station météorologique de Brugge (noir) et le modèle WRF (gris) pour la période du 3 au 4 février 2012.

Même s'il est évident que des améliorations peuvent encore être apportées au modèle, celui-ci procure déjà des prévisions et/ou comportements proches de la réalité. Le tableau 1 reprend deux indicateurs statistiques. Le premier, le RMSE (erreur quadratique moyenne), correspond à l'erreur moyenne des prévisions par rapport aux observations. Le deuxième, le coefficient de détermination (r^2), montre la qualité de l'adéquation des prévisions vis-à-vis des observations.

Tableau 1 : RMSE et r^2 entre le modèle WRF et la station météo, pour l'exemple du 3 au 4 février 2012 et toute la période de mesures (du 14 janvier au 30 avril 2012).

périodes	RMSE			r^2		
	T (°C)	Ray (W/m ²)	Vent (m/s)	T (°C)	Ray (W/m ²)	Vent (m/s)
03/02/2012 - 04/02/2012	2,6	61	0,7	0,76	0,94	0,36
14/01/2012 - 30/04/2012	1,58	127	0,74	0,91	0,75	0,64

Ces améliorations concernent plus particulièrement le module de rayonnement atmosphérique. En effet, le rayonnement global prévu par le modèle WRF (figure 2) est largement surévalué (de 61 et 127 W/m² par rapport aux observations, tableau 1), ce qui pourrait expliquer la surestimation des températures. Néanmoins, il reste essentiel de garder à l'esprit que le modèle ne parviendra jamais à correspondre parfaitement aux observations car il n'est pas soumis à toutes les réalités et contraintes liées aux effets locaux du terrain (Doutreloup, 2011), comme par exemple les rangées d'arbres ou les bâtiments.

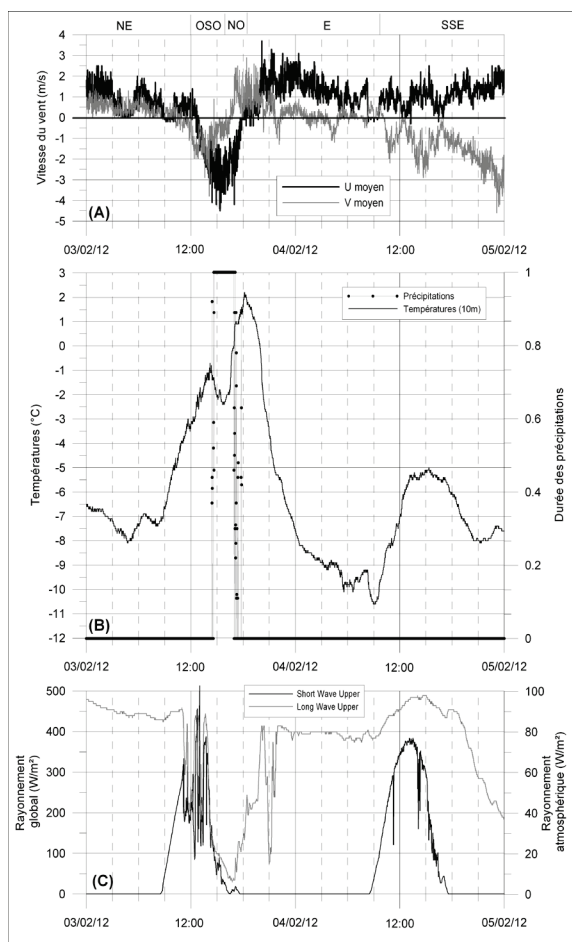
Par ailleurs, il faut aussi garder à l'esprit que le modèle est réalisé à une résolution spatiale de 2 km. Autrement dit, chaque solution numérique d'un élément spatial du modèle correspond à une surface de 4 km² et non pas à une valeur ponctuelle dans l'espace comme celle de l'observation instrumentale.

2. Analyse de quelques situations atmosphériques

La présence de cette station bien instrumentée, a permis, sur trois mois et demi de mesures, de documenter des situations météorologiques phénoménologiquement intéressantes. Trois cas sont retenus et commentés ci-après. Le cas 2.1 se base sur la même période que l'exemple dont il vient d'être question à propos des comparaisons avec le modèle WRF (figure 2).

2.1. Période de 12 jours de froid intense avec une brève advection d'air chaud (le 3 février 2012)

La Belgique a subi, du 1^{er} au 12 février 2012, l'influence de courants continentaux très froids associés à un anticyclone situé sur l'Europe de l'Est. Cette période de gel est caractérisée par une humidité relative très faible, avec des valeurs atteignant 45 % à plusieurs reprises et par une température moyenne de l'air à 10 mètres enregistrée à Brugge du 1^{er} au 12 février de -4,7°C. Le maximum (2,2°C) et le minimum (-10,6°C) de la température de cette période ont été atteints respectivement le 3 et 4 février (figure 3B).



Le 3 février, une advection d'air chaud est passée sur Brugge à partir de 12 h. Les vents sont passés de secteur Nord-Est à Ouest (figure 3A). De 14 h à 16 h 30, une dépression venant du Nord et transportant de l'air maritime polaire à amener un front accompagné de précipitations hivernales provoquant une diminution de température observée.

Les températures sont ensuite remontées de -2°C à 1°C en 45 minutes. Après le passage du front chaud, le ciel s'est dégagé (figure 3C) ; cela a engendré un important refroidissement nocturne, (baisse de 12,8°C en moins de 16 h) (figure 3B). Ce refroidissement a été accentué par le retour des vents d'Est (figure 3A) qui ont amené de l'air continental sec et très froid.

Après le 12 février, la Belgique a été influencée par une dépression située sur la Scandinavie et un anticyclone se trouvant à l'Ouest des îles Britanniques. Le vent a alors pris une direction Nord-Ouest et les températures sont repassées à des valeurs positives pour atteindre une moyenne de 5°C durant les cinq jours qui ont suivi cette période de froid intense.

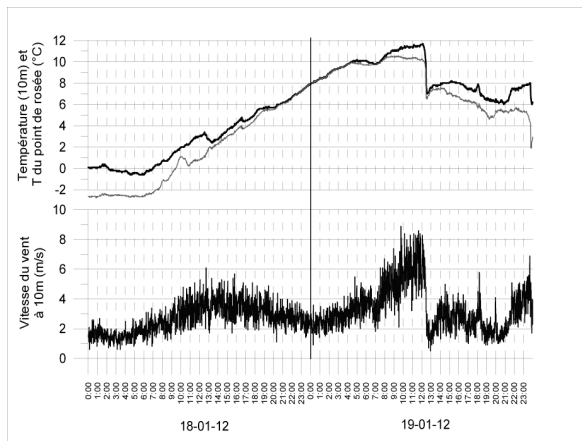
Figure 3 : (A) Vitesse moyenne des composantes U et V du vent à 10 m ; (B) Température de l'air à 10 m et durée relative par minute des précipitations ; (C) Rayonnement global et IR atmosphérique mesurés à la station météorologique de Brugge durant la période du 3 au 4 février 2012.

2.2. Advection et front froid (18 et 19 janvier 2012)

La situation atmosphérique observée à Brugge les 18 et 19 janvier 2012 est caractérisée par le passage d'une advection d'air chaud suivie d'un front froid. La Belgique est alors sous l'influence d'une zone de haute pression centrée sur l'Espagne qui s'est décalée lentement vers le Sud/Sud-Est. Les masses d'air en provenance de l'océan Atlantique au large de la

France ont traversé la Belgique de Nord-Ouest en Sud-Est. La figure 4 illustre quelques variables météorologiques enregistrées durant cette période à la station expérimentale installée à Brugge.

Durant toute l'après-midi du 18 janvier, comme pendant toute la nuit suivante, une advection d'air tropical maritime a traversé la Belgique. Les températures enregistrées par la station n'ont pas cessé d'augmenter, provoquant une amplitude de température de près de 12°C par ciel couvert entre 6 h le 18 à 12 h le 19. Durant ce laps de temps, plusieurs épisodes de précipitations ont été enregistrés.



Le 19 janvier, le passage du front froid à Brugge a été enregistré à 12 h 30. La température est descendue de 11° à 7°C en moins de 15 minutes. Un renforcement significatif du vent a été constaté à l'avant du front froid avec des vitesses atteignant plus de 8 m/s (moyenne calculée sur une minute). Après le passage du front froid, la vitesse du vent est tombée à moins de 1 m/s. La concomitance de la diminution brutale de la température et de la vitesse du vent est mise en évidence sur la figure 4.

Figure 4 : Température à 10 m (trait noir), température du point de rosée (trait gris) et vitesse du vent à 10 m les 18 et 19 janvier 2012 à la station météorologique de Brugge. Les heures sont exprimées en TU+1.

2.3. Contraste météorologique au niveau régional (5 mars 2012)

Au cours de la journée du 5 mars 2012, l'anticyclone centré sur la mer Baltique a bloqué une dépression perturbée sur la Belgique.

Des précipitations, parfois importantes, ont été observées sur tout le pays. Elles ont pris un caractère hivernal dans le Hainaut occidental (Tournaisis) et en Flandre orientale. Cette situation y a provoqué de fortes contraintes de circulation et plusieurs centaines de kilomètres de bouchons. L'effondrement de pylônes de ligne à haute tension a été provoqué par ces intempéries à caractère hivernal. A titre de comparaison, en Belgique, à cette époque de l'année, le rayonnement global maximum est de l'ordre de 500 W/m² par ciel clair mais il peut être inférieur à 100 W/m² par ciel bouché en nuages bas (figure 5A). Le 5 mars, la station météorologique de l'IRM à Uccle [2] a enregistré une lame d'eau de 9 mm alors qu'il n'a été enregistré que 4,5 mm à la station du Mont Rigi [3]. A Brugge, il a plu sans discontinuité de 02 h à 12 h 30 (figure 5B).

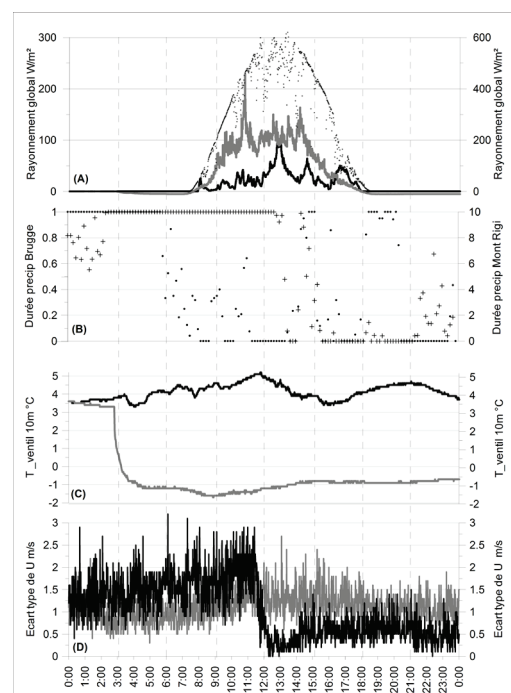


Figure 5 : Comparaison du rayonnement global (A), de l'occurrence et de la persistance des précipitations (B), des températures de l'air (C) et l'écart-type de U (D) entre la station du Mont Rigi (gris) et la station de Brugge (noir/croix) le 5 mars 2012 (TU+1). En supplément sur (A) : comparaison à Brugge entre le ciel couvert du 5 mars (trait noir) et un ciel beaucoup plus dégagé, celui du 8 mars (semi de fins points noirs).

La température moyenne enregistrée à Uccle le 5 mars était de 1,8°C (journée la plus froide du mois [2]). Alors qu'à Brugge, la température moyenne était de 4,1°C et au Mont Rigi de -0,5°C (figure 5C). Au Mont Rigi, le passage d'un front à 2 h 50 a provoqué une chute de température de 4°C en 30 minutes. Ce front était passé la veille à Brugge entre 22 h 00 et 23 h 00 (passage de 7°C à 4°C en 60 minutes).

A 11 h 40, l'écart-type (sur une minute) de la composante U (axe latitudinal) du vent mesuré à 10 m à Brugge a très significativement chuté en 20 minutes (figure 5D). Cela n'a eu que très peu d'effet sur la température de l'air. Par contre au Mont Rigi, ce même écart-type est resté inchangé (1 m/s). Cet écart-type constitue ici un indicateur de la turbulence du vent.

Conclusion

La confrontation des données du modèle WRF avec celles de la station météorologique expérimentale montre à quel point il est nécessaire de comparer les résultats de la modélisation atmosphérique avec des données de terrain fiables afin de détecter les limites de la modélisation et de la valider. Nous avons montré que la modélisation nécessite encore des améliorations notamment en matière de rayonnement. En effet, le modèle surestime ces valeurs par rapport aux mesures de la station de Brugge. L'amélioration de la modélisation du rayonnement a des répercussions sur la prévision des autres paramètres pris en compte (température et vent). Elle pourra ainsi probablement améliorer la qualité de leur estimation.

Trois situations météorologiques phénoménologiquement intéressantes ont été mises en exergue grâce à la haute précision des instruments de mesure de la station météorologique installée à Brugge. Le pas de temps des enregistrements de minute en minute a permis d'analyser d'importants et brutaux changements de variables météorologiques sur des périodes très courtes (de l'ordre de quelques minutes). Ce fut le cas lors du passage d'un front froid avec diminution brusque des températures et de la vitesse du vent. Enfin, une comparaison entre les données de la station météorologique de Brugge et celle du Mont Rigi a montré à quel point deux stations (distantes seulement de 200 km) peuvent enregistrer des valeurs et/ou situation atmosphériques très différentes et parfois surprenantes.

Références internet

- [1] TWENTIES : www.twenties-project.eu (avril 2012)
- [2] IRM : www.meteo.be (avril 2012)
- [3] Laboratoire de climatologie et Topoclimatologie ULG : www.climato.be (avril 2012)

Références bibliographiques

Doutreloup S., 2011 : *Influences de l'environnement d'un parc éolien sur la prévision de sa production électrique à l'aide des modèles GFS (50 km/3 h) et WRF (4 km/15 min) : Le cas du parc éolien d'Amel (Haute Belgique)*. Actes du XXIV^{ème} Colloque International de l'AIC, 'Climat Montagnard et Risques', M. Fazzini & G. Beltrando Eds., 209-214.

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 Tech Notes NCAR/TN-475+STR, 113 pp.