APPLICATION D'UN MODELE METEOROLOGIQUE REGIONAL DE MESO-ECHELLE POUR LA SIMULATION DES CHAMPS DE VENT DE SURFACE SUR LES ZONES ARIDES ET DESERTIQUES TUNISIENNES

Dr Mohamed **LABIADH.** Institut des Régions Arides (IRA), Médenine, Tunisie.
Mohamed.labiadh@ira.rnrt.tn

RESUME

La difficulté d'application des outils de modélisation pour simuler les émissions désertiques à l'échelle continentale est l'absence de base de données d'entrées pré-établies concernant principalement les données météorologiques. L'objet de ce travail est la simulation à plus fine échelle spatiale et temporelle, à partir d'un modèle météorologique «Regional Atmospheric Modeling System (RAMS)» des champs de vent de surface dans les zones arides et désertiques tunisiennes pour des objectifs de quantification des flux d'érosion depuis cette région.

Afin d'évaluer la cohérence des champs de vent simulés par RAMS pour le Sud tunisien, nous avons comparé les vitesses de vent à 10 mètres simulées par RAMS et mesurées par 8 stations météorologiques localisées dans la zone d'étude: Kébili, Remada, Djerba-Mellita, Tozeur, Tataouine, El Borma, Gabès, Médenine. Une très bonne corrélation entre les champs de vent mesurés et calculés a été trouvée pour l'ensemble des stations compte tenu du nombre important de données.Par ailleurs, Il est important de s'assurer que les vents forts sont bien simulés par le modèle RAMS. Nous avons par conséquent comparé les simulations et les observations uniquement pour les vents forts, c'est-à-dire >à 7 $m.s^{-1}$: pour l'ensemble des stations, les pentes des régressions linéaires sont proches de 1 et les coefficients de corrélation, bien que plus faibles que ceux obtenus pour le jeu complet de vitesse de vent, restent significatifs.

Mots clés: Vent de surface, modèle RAMS, stations météorologiques, Sud tunisien.

APPLICATION OF A REGIONAL METEOROLOGICAL MODEL OF MESOSCALE FOR SIMULATION OF SURFACE WIND FIELDS ON TUNISIAN ARID ZONES

SUMMARY

The difficulty to apply modeling tools to simulate the desert emissions at a continental scale is due to the absence of pre-established input database concerning mainly meteorological data. The purpose of this work is the simulation at finer spatial and temporal scales, from a meteorological model "Regional Atmospheric Modeling System (RAMS)" surface wind fields in Tunisian arid zones for objectives of quantification of erosion flux from this region.

To evaluate the consistency of wind field simulated by RAMS in southern Tunisia, we compared the wind speeds at 10 meters simulated by RAMS and measured by 8 meteorological stations located in the study area which are Kebili, Remada, Djerba-Mellita, Tozeur, Tataouine, El Borma, Gabes and Medenine. A very good correlation between measured and calculated wind fields was found for all stations due to the large number of data. Furthermore, it is important to ensure that strong winds are well simulated by the RAMS model. Therefore, we compared the simulations and observations only for the strong winds superior to 7 $m.s^{-1}$. We also note for all meteorological stations that the slopes of linear regressions are close to 1, and the correlation coefficients, although lower than those obtained for the complete set of wind speed, remain significant.

Keywords: Field wind, RAMS model, meteorologicalstations, southern Tunisia.

1. INTRODUCTION

Dans les modèles des émissions désertiques développés pour simuler, à diverses échelles, les flux d'érosion éolienne, le niveau de référence auquel est mesurée ou calculée la vitesse du vent doit être aussi proche que possible de la surface. Pour les modèles météorologiques, le niveau minimal auquel cette vitesse du vent est fournie est généralement de 10 mètres au-dessus de la surface du sol. Ce niveau constitue donc le point de raccordement de deux profils verticaux de vitesse du vent. L'un représentant les variations de vitesse de vent simulées par le modèle météorologique, entre 10 mètres et le sommet de la Couche Limite Atmosphérique (CLA) et intégrant les effets de relief; l'autre ne prenant en compte que les effets locaux des

éléments de rugosité de petite taille et caractérisé par la hauteur de rugosité éolienne (Marticorena et *al*., 1997a).

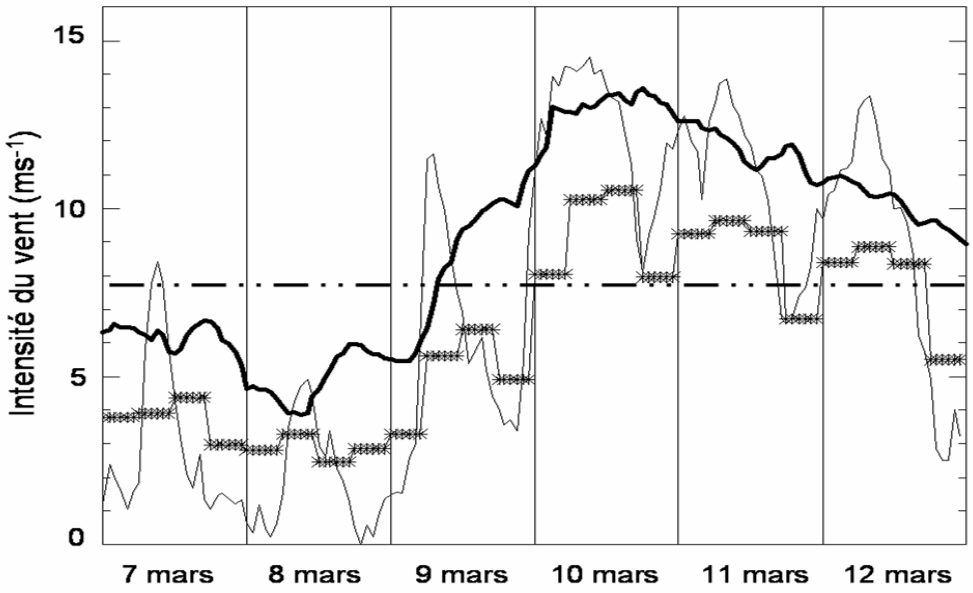
À l'échelle du globe, des champs de vent à 10 m sont fournis par différents modèles météorologiques. Les plus couramment utilisés sont délivrés par le Centre Européen de Prévision à Moyen Terme (CEPMT), ou European Center for Medium-range Weather Forecasts, ECMWF, en anglais (ECMWF), et le « National Center for EnvironmentalPrediction » (NCEP). En utilisant les champs de vents NCEP, Koren et Kaufman (2004) ont montré que les simulations réalisées semblent sous-estimer d'un facteur 2 les vitesses de déplacement des panaches à proximité de zones sources telles que la dépression de Bodélé. D'autre part, bien que l'application des champs de vent de surface ECMWF présentent également un léger biais dans cette région (Schmechtig et al., 2005), leur utilisation à l'échelle continentale permet de simuler des flux d'émissions dont les ordres de grandeur sont tout à fait comparables aux mesures de flux réalisées à micro-échelle, et des fréquences d'émission en bon accord avec les observations satellitaires (Marticorena et al., 1997a).

Par ailleurs, une base de données des vents de surface analysée des archives opérationnelles (OAA) issus de la version du modèle météorologique ECMWF et forcés par les observations des stations météorologiques est disponible. Elle a été utilisée pour les simulations des émissions d'aérosols désertiques du Nord-est de l'Asie (Laurent, 2005). En outre, depuis la fin de l'année 2002, la base de données ERA-40 produite par ECMWF, relatives aux données ré-analysées sur une période de 45 ans, jusqu'en août 2002, est disponible (Laurent, 2005).

D'autre part, il existe des modèles météorologiques régionaux de méso-échelle à même de fournir des champs météorologiques résolus spatialement à quelques kilomètres, comme par exemple le modèle RAMS (Regional Atmospheric Modeling System, Cotton et *al*. 2003) dans la mesure où ce modèle a été récemment utilisé avec succès, couplé au DPM MB95 (Dust Production Model, Marticorena and Bergametti, 1995) par Bouet et *al*. (2007) pour simuler les émissions de poussières dans la région de la dépression de Bodélé (Tchad). Afin de vérifier la capacité de ce modèle RAMS à mieux reproduire les intensités des champs de vent à 10 mètres par comparaison avec les modèles météorologiques de grande échelle (type CEPMMT), une comparaison entre les valeurs des champs du vent mesurées dans la région de Chicha (dépression de Bodélé), modélisées par le modèle RAMS et par le modèle ECMWF a été réalisée (figure 1). Bouet et *al*. (2007) ont conclu que le modèle RAMS restitue de façon

satisfaisante l'intensité du vent mesurée lors de la campagne de mesure, d'une part, l'intensité des champs de vent fourni par le CEPMMT est nettement sous-estimée et dépasse difficilement la vitesse du vent seuil permettant le soulèvement des aérosols minéraux dans le DPM MB95 (7,2 m s^{-1}, en pointillés sur la figure1), d'autre part. De plus, Bouet (2007) a effectué une brève comparaison entre les valeurs maximum de vents de surface obtenus avec RAMS et ceux fournis par le CEPMMT pour les mailles de Chicha et Faya-Largeau (Dépression de Bodélé). Dans les deux cas, les maxima et la moyenne des vitesses de vent simulés par RAMS sont 30% plus forts que ceux issus du CEPMMT et davantage en accord avec les observations. Ainsi, le nombre de cas où l'intensité du vent dépasse la vitesse seuil de soulèvement des aérosols minéraux est deux fois plus important pour les champs de vent modélisés par RAMS que pour ceux issus du CEPMMT. La figure 1 compare l'intensité du vent mesurée à Chicha (trait plein fin), modélisée par RAMS (trait plein épais) et le modèle du CEPMMT (étoiles) du 7 au 12 mars 2005.

Figure 1: Intensité du vent mesurée à Chicha selon le modèle RAMS et CEPMMT



Source: Bouet et *al.* 2007

Compte tenu de ces résultats de simulation dans le cadre des expériences menées sur une zone considérée comme étant la première source d'émissions d'aérosols minéraux du monde, le modèle RAMS a été choisi pour réaliser les simulations des champs de vent à 10 m à des échelles régionales dans le Sud tunisien. L'objectif de ce travail est d'évaluer la cohérence des champs de vent simulés par RAMS pour leszones arides et désertiquestunisiennes, en

comparant les vitesses de vent à 10 mètres simulées par RAMS et mesurées par les stations météorologiques localisées dans la zone d'étude.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1. Le modèle Regional Atmospheric Modeling System (RAMS)

Pour simuler les vents à 10 m du sol sur l'ensemble des zones arides et désertiques tunisiennes, nous avons utilisé la version parallèle 6.0 de RAMS (Pielke et *al*., 1992; Cotton et *al*., 2003). Le modèle RAMS est un modèle météorologique non hydrostatique de méso-échelle, librement mis à la disposition de la communauté scientifique, permet à la fois de modéliser et de prévoir les phénomènes atmosphériques (Bouet, 2007). Il est initialisé et forcé aux limites du domaine modélisé par les analyses opérationnelles du Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (CEPMMT), dont la résolution est de 0,25 ×0,25. Ce modèle a été couplé avec le DPM MB95 pour simuler des événements d'émissions de poussières se produisant à une large échelle régionale.

La version 6 du modèle RAMS inclut un modèle de sol détaillé (Land Ecosystem-Atmosphere Feedback, LEAF, Walko et *al*., 2000; Walko and Tremback, 2005) qui permet une meilleure description de la couche limite de surface. Un total de 11 niveaux de sol est intégré par RAMS, allant de 1 centimètre à 1 mètre (1 m; 0,70 m; 0,50 m; 0,35 m; 0,25 m; 0,16 m; 0,12 m; 0,09 m; 0,06 m; 0,03 m et 0,01 m).

La végétation est représentée par les Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Les NDVI utilisés dans le modèle RAMS sont des données mensuelles globales produites par la United States Geophysical Survey (USGS) à une résolution de 30''. Finalement, les données de texture du sol utilisées dans RAMS ont une résolution de 2', soit environ 4 km, et sont issues de la Food and Agriculture Organization (FAO) des Nations Unies.

Les flux de chaleur, du moment et de la vapeur d'eau dans la couche de surface sont calculés avec le schéma de Louis (1979). Le schéma de turbulence utilisé est le schéma de fermeture de déformation-K de Smagorinsky (1963) avec les modifications de la stabilité faite par Lilly (1962) et Hill (1974).

Les températures de la surface de la mer utilisées dans RAMS sont les températures issues de données climatologiques mensuelles globales à 1° de résolution (soit environ 100 km). Le schéma de rayonnement est le code de Chen and Cotton (1987) (visible et infrarouge) qui prend en compte les processus nuageux, eau condensée en eau liquide. La paramétrisation convective utilisée est une simplification du schéma de Kuo-Tremback (Tremback, 1990). Le modèle de nuage est le schéma microphysique à un moment (le rapport de mélange) de Walko et al. (1995).

La topographie utilisée dans le modèle RAMS est dérivée de la base de données USGS à 30'', soit environ 1 km, de résolution. Il en va de même pour les données relatives à l'utilisation des sols (landuse): la base de données USGS est issue des données à 1 km du Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) pour la période d'avril 1992 à mars 1993.

Afin de déterminer les modules de vitesse de vent de surface (u2 + v2)1/2, nous avons utilisé les valeurs instantanées calculées toutes les 10 minutes des deux composantes horizontales (u et v) à 10 mètres de la vitesse du vent.

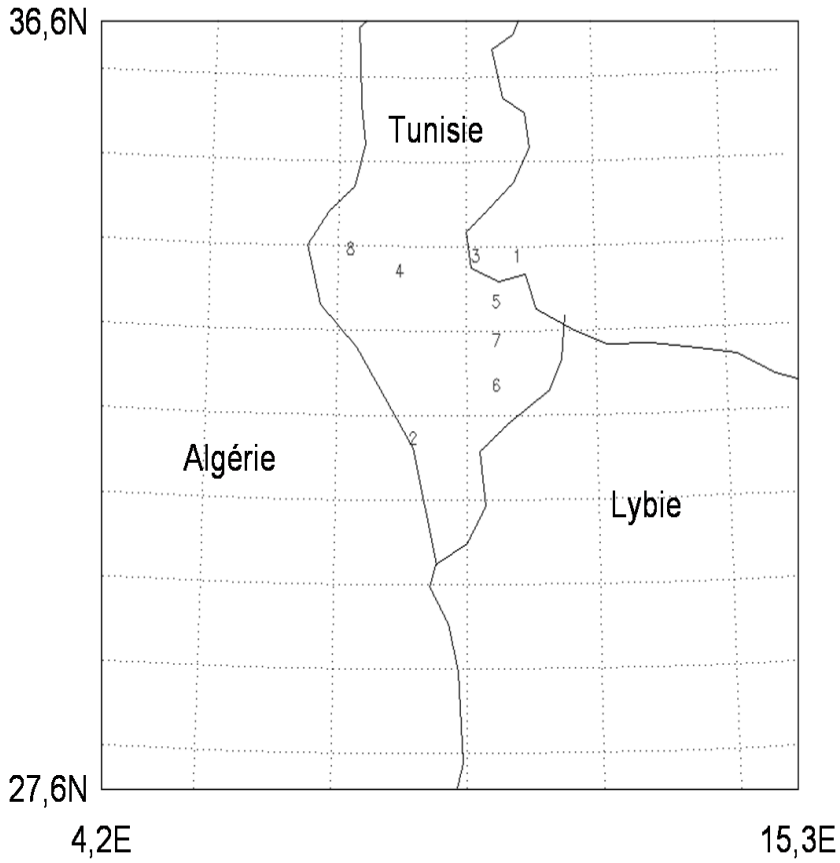
2.2. Zone modélisée

Le domaine d'étude concerne les zones arides et désertiques du Sud Tunisien considérées comme la principale zone touchée par la déflation éolienne. Il s'étend entre 7°26' et 12° E; 30°15' et 34°18' N. Ce cadre géographique présente les principaux traits du climat de la Tunisie présaharienne: 1- des pluies peu abondantes, tombant pendant la période froide (la moyenne annuelle générale est de l'ordre de 89 $mm.an^{-1}$ et 180 $mm.an^{-1}$ à Kébili et Gabès respectivement). 2- une sécheresse quasi absolue entre les mois de mai et septembre. 3- des vents dominants de secteurs ouest, nord-ouest et sud-ouest de novembre à avril; ces vents sont alors très violents secs et froids, accompagnés en général, de tempêtes de sable qui endommagent gravement les cultures et la pousse des espèces annuelles dans les pâturages; de mai à octobre, les vents de secteurs marins (est, nord-est, sud-est) dominent dans les zones côtières, mais n'ont qu'une influence très limitée dans la zone continentale où se trouve, en général, la limite du front chaud saharien. Par ailleurs, cette désertification qui est principalement due à l'aridité du climat, est accentuée par les activités humaines, dans un contexte de très forte pression sur un milieu naturel initialement très fragile.

Le domaine modélisé est composé d'une grille centrée sur (32,2°N ; 9,75°E) qui s'étend environ de 27,6°N à 36,6°N et de 4,2°E à 15,3°E. La résolution horizontale adoptée avec le

modèle RAMS pour les champs de vent dans notre zone d'étude est 10 km × 10 km. Le modèle compte 30 niveaux verticaux dont l'espacement entre deux niveaux augmente géométriquement depuis le sol jusqu'à 22 km au-dessus du sol. 10 niveaux verticaux sont utilisés entre 0 et environ 1,2 km au-dessus du sol afin de représenter au mieux la couche limite de surface, le premier niveau étant centré sur 23,9 m. Le vent à 10 m est interpolé à partir de ce premier niveau en utilisant un profil logarithmique (Priestley, 1959). A l'intérieur de ce domaine,Afin d'évaluer la cohérence des champs de vent simulés par RAMS, nous avons comparé les vitesses de vent à 10 mètres simulées par RAMS et mesurées par les huit stations météorologiques tunisiennes localisées dans la zone d'étude. La figure 2 traduit la position des stations météorologiques choisies pour comparer les données météorologiques mesurées à celles simulées par RAMS: 1. Djerba-Mellita; 2. El-Borma; 3. Gabès; 4. Kébili; 5. Médenine; 6. Remada; 7. Tataouine et 8. Tozeur.

Figure 2: Localisation des stations météorologiques choisies pour comparer les données météorologiques mesurées à celles simulées par RAMS



L'approche méthodologique a permis de produire des résultats importants.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Nous rapportons dans le tableau 1, les 8 stations tunisiennes situées dans notre domaine d'étude. Pour chaque station, nous avons calculé le coefficient de régression (R), et la pente de la droite de régression linéaire entre les vents simulés et observés toutes les trois heures. En fonction du taux d'observation, les régressions ont été calculées sur un nombre minimal de 820 points (cas de Tataouine) et un maximum de 2720 (cas de Djerba-Mellita). Compte tenu de ces nombres élevés de données, toutes les corrélations sont statistiquement significatives au seuil de 0.01%. Une très bonne corrélation entre les champs de vent mesurés et calculés a été trouvée pour les stations de Kébili, Remada, Djerba-Mellita, Tozeur, Tataouine et El Borma. Les corrélations sont plus faibles pour Gabès et Médenine (tableau 1).

Pour s'assurer que le modèle RAMS simule correctement les champs de vent à 10 mètres, nous avons comparé les vitesses de vent simulées à celles observés dans les 8 stations météorologiques situées dans le Sud tunisien. Plus précisément, ces comparaisons ont été conduites entre les vitesses de vent simulées toutes les trois heures et les observations réalisées dans les stations météorologiques, les mêmes jours et aux mêmes heures, lorsque les données étaient disponibles. Les figures 3 et 4 font ressortir un excellent accord entre données observées et simulées pour toutes les stations. Les coefficients de corrélation sont hautement significatifs et les pentes des régressions proches de 1 (si l'on excepte la station de Gabès).

Tableau 1: Coefficients de corrélation (R) et pentes des droites de régression linéaire (forcées à 0) entre vitesses du vent à 10 m simulées par RAMS et mesurées pour les stations du Sud tunisien

Station	Nombre d'observations utilisées pour le calcul	Coefficient de corrélation	Pente
Djerba-Mellita	2763	0,66	0,87
ElBorma	1586	0,59	0,85
Gabès	2121	0,46	0,45
Kébili	1224	0,71	0,87
Médenine	1523	0,42	1,21
Remada	1699	0,70	1,34
Tataouine	828	0,61	1,1
Tozeur	2684	0,68	1

Néanmoins, ce sont les vitesses de vent forts (supérieurs à environ 7 m s^{-1} à 10 m) qui sont importants car ce sont eux qui sont responsables des épisodes d'érosion éolienne. Il est donc essentiel de s'assurer que ces vents forts sont bien simulés par le modèle RAMS. Pour cela, nous avons conduit les mêmes comparaisons mais cette fois uniquement pour les cas où les vitesses de vent étaient supérieures à 7 m s^{-1}. A Gabès, la station météorologique et le modèle RAMS n'affichent aucune vitesse de vent de surface supérieure à cette valeur (tableau 2), rendant ainsi moins important l'accord assez moyen observé précédemment pour cette station. Le nombre de cas où la vitesse de vent à 10 mètres est supérieure est peu important, pour les stations de Médenine, de Remada et de Tataouine. Pour ces stations, les pentes des régressions linéaires sont proches de 1, les coefficients de corrélation, bien que plus faibles que ceux obtenus pour le jeu complet de vitesse de vent restent significatifs. Les stations de Djerba-Mellita, Kébili et Tozeur, où les vents à 10 mètres supérieurs à 7 m s^{-1} sont plus fréquents présentent de meilleurs coefficients de corrélation et des pentes très voisines de 1 (figure 5).

Tableau 2: Coefficients de corrélation (R) et pentes des droites de régression linéaire (forcées à 0) entre vitesses du vent à 10 m simulées par RAMS et mesurées pour les stations du sud tunisien dans les cas où la vitesse du vent, mesurée et simulée, est supérieure à 7 m s^{-1}

Station	Nombre d'observations utilisées pour le calcul	Coefficient de corrélation	Pente
Djerba-Mellita	302	0,50	0,95
El Borma	190	0,37	0,97
Gabès	0	-	-
Kébili	199	0,65	0,96
Médenine	52	0,28	1,28
Remada	110	0,44	1,18
Tataouine	87	0,42	1,11
Tozeur	388	0,59	1,07

Figure 3: Vitesses du vent simulées à 10 m par RAMS en fonction de la vitesse du vent de surface mesurée dans les stations du sud tunisien (a) Djerba-Mellita, (b) El Borma, (c) Gabès, et (d) Kébili. L'échelle de couleur renseigne sur le nombre des différents couples de points

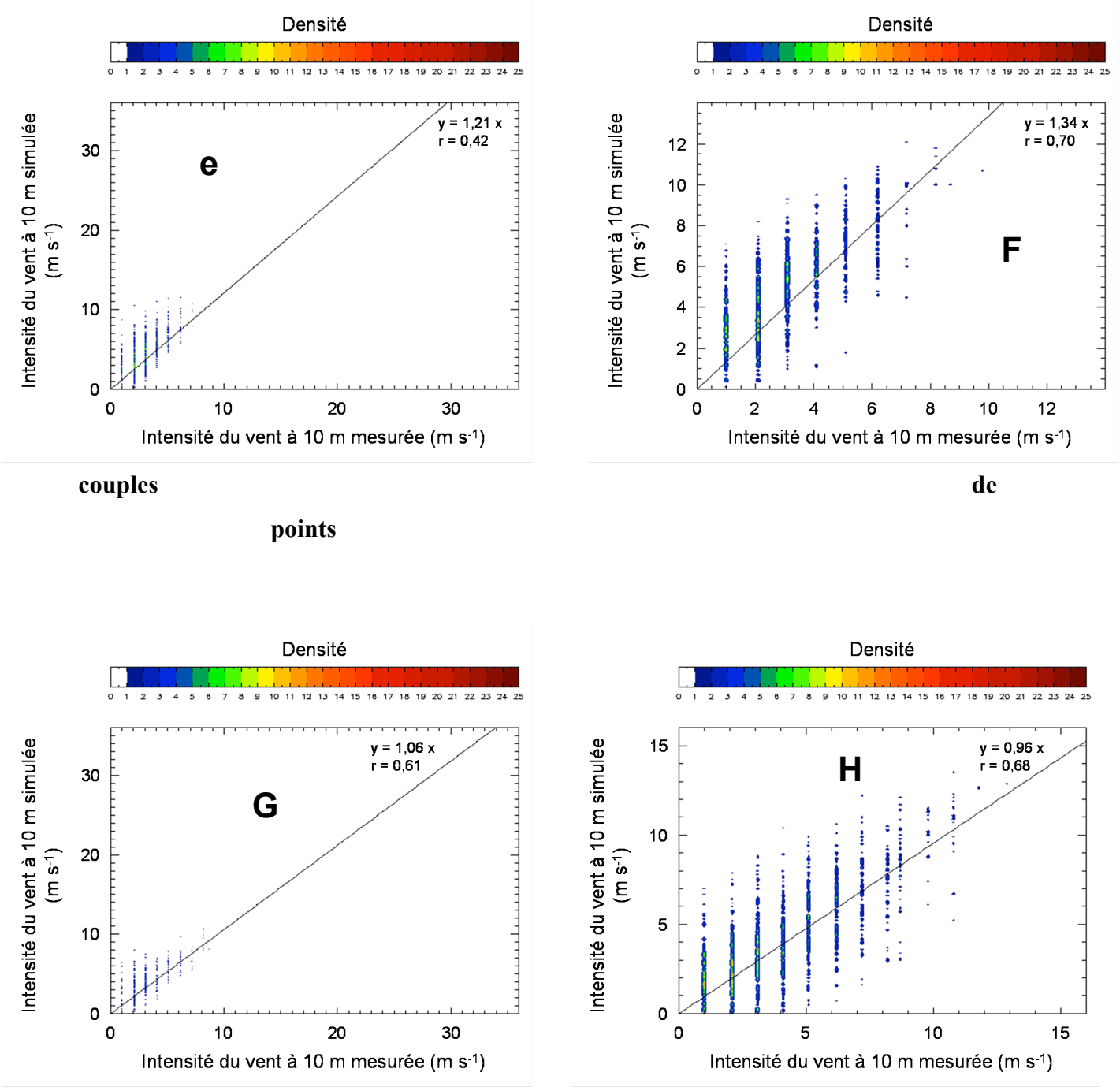


Figure 4 : Vitesses du vent simulées à 10 m par RAMS en fonction de la vitesse du vent de surface mesurée dans les stations du sud tunisien (e) Médenine, (f) Remada, (g) Tataouine, et (h) Tozeur. L'échelle de couleur renseigne sur le nombre des différents couples de points

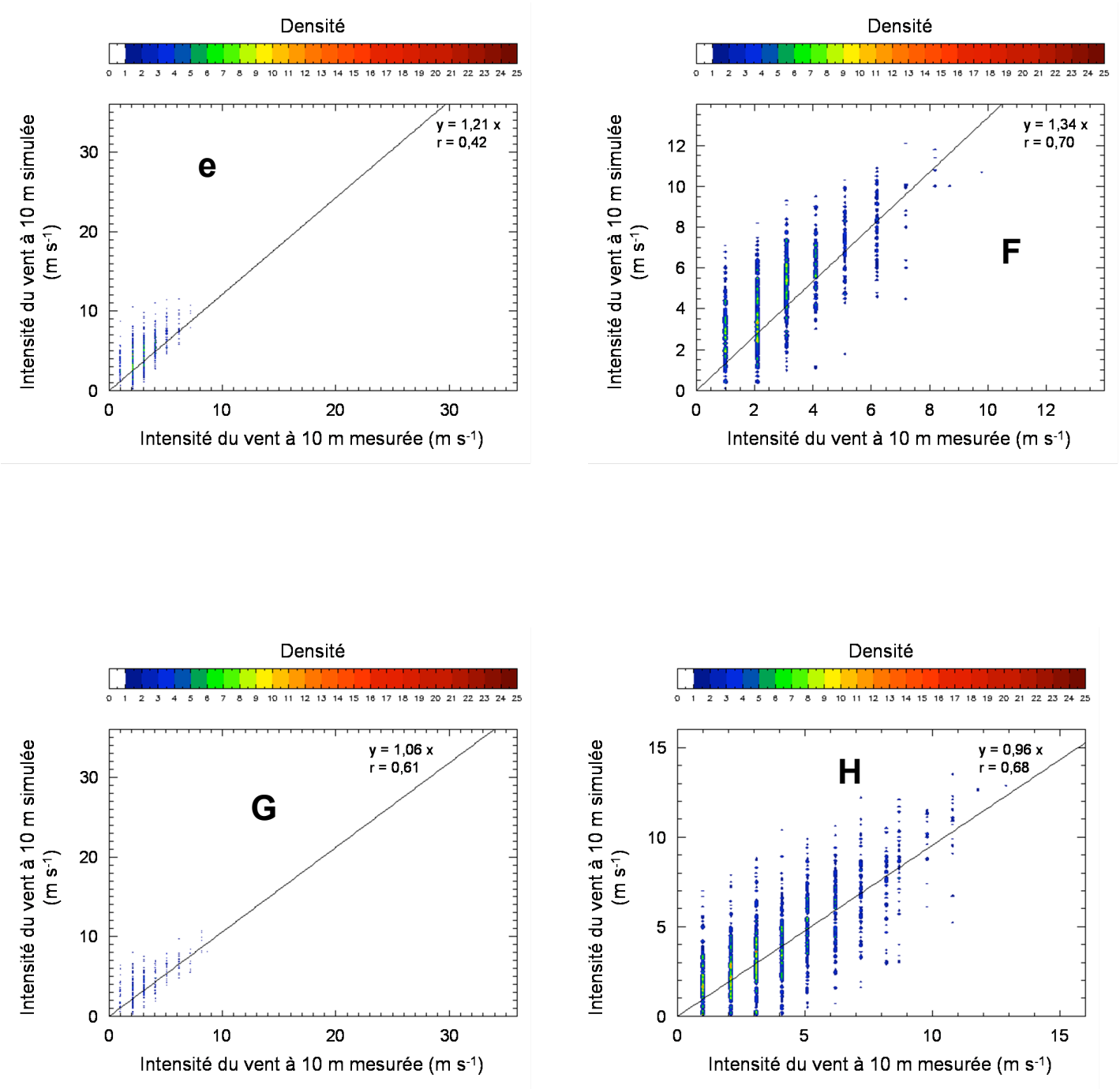
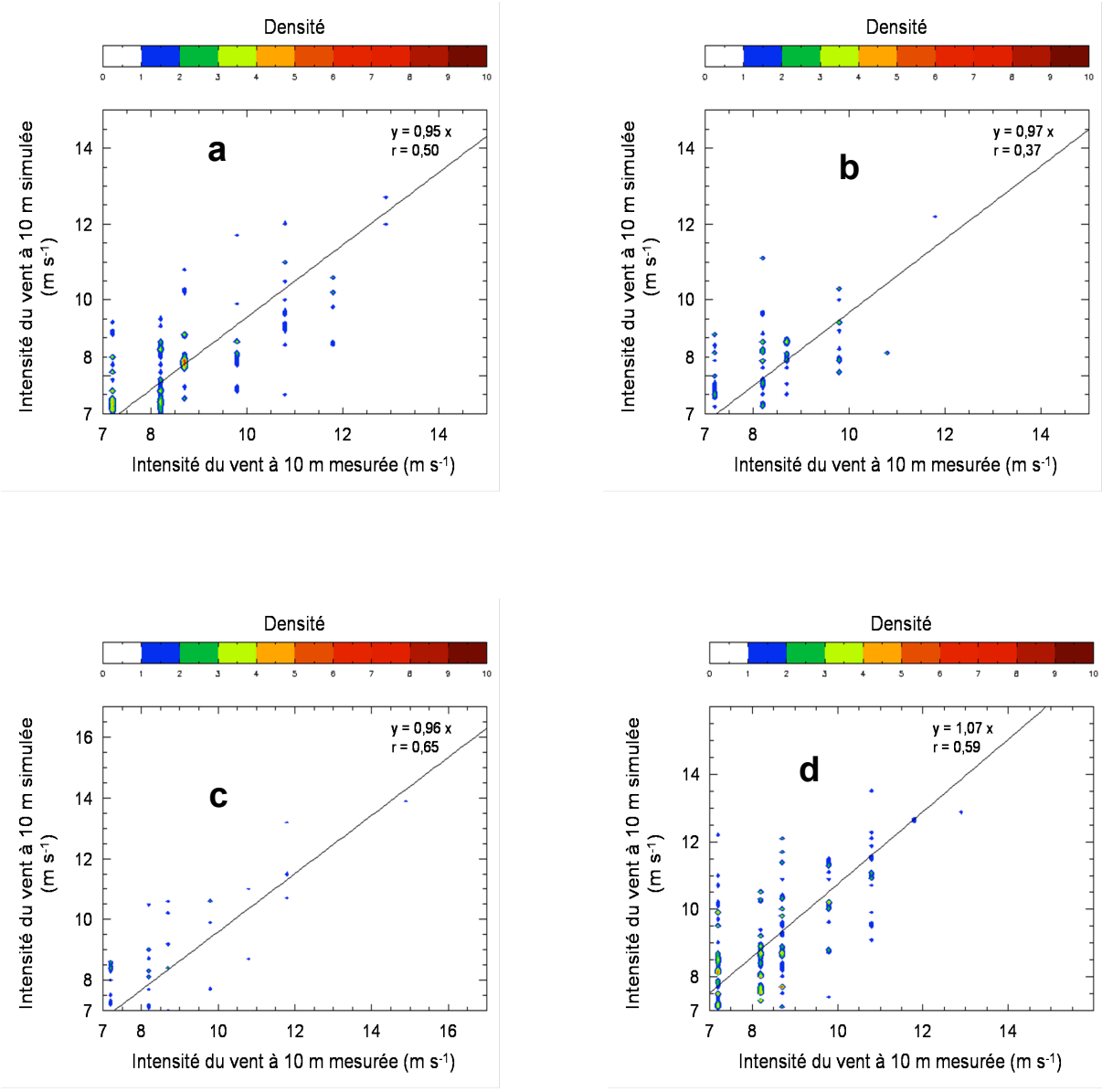


Figure 5 : Vitesse du vent à 10 m supérieure à 7 m s^{-1} simulée par RAMS en fonction de la vitesse du vent de surface supérieure à 7 m s^{-1} mesurée dans les stations de (a) Djerba-Mellita, (b) El Borma, (c) Kébili, et (d) Tozeur



CONCLUSION

L'objectif de ce travail était d'appliquer un modèle météorologique de méso-échelle pour simuler les champs de vent à 10 mètres à l'échelle du Sud de la Tunisie. Pour cela nous avons choisi d'utiliser la base de données météorologique fournie par le modèle « Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) ». Au cours de cette étude, un travailde comparaison des champs de vent RAMS avec les mesures des stationsmétéorologiques a été également réalisé. Il devrait permettre, d'au moins enévaluer les cohérences des mesures. Les résultats de cette analyse montrent une très bonne corrélation entre les champs de vent mesurés et calculés. En outre, Il semble que la précision des champs de vents, en particulier, des vitesses de vents forts (supérieures à environ 7 m s^{-1} à 10 m) qui sont responsables des épisodes d'érosion éoliennepouvant être utilisés à l'heure actuelle pour réaliser des simulations à long terme constitue une limitation forte pourl'estimation desémissions désertiques depuis les zones arides et désertiques tunisiennes. Par ailleurs, compte tenu du caractère « imparfait » de chacun de ces types de données (modèles, mesures des stations météorologiques …), leur utilisation de façon complémentaire est le seul moyen d'atteindre un certain niveau de qualification des simulations.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bouet, C., Cautenet, G., Washington, R., Tod, M. C., and Laurent, B. (2007). Mesoscale modelling of Aeolian dust emission during the BoDEx 2005 experiment, J. Geophys.Let., Vol. 34, L07812, doi: 10.1029/2006GL029184.

Chen, C., and Cotton,W. R. (1987). A one-dimensional simulation of the stratocumulus-capped mixed layer, J. Atmos. Sci., 44, 2951–2977.

Cotton, W. R., R. A. P. Sr., Walko,R. L., Liston,G. E., Tremback,C. J., Jiang,H., McAnally,R. L., Harrington,J. Y., Nicholls,M. E., Cario,G. G and McFadden,J. P. (2003). RAMS 2001 : Current status and future directions, Meteorol. Atmos. Phys., 82, 5–29.

Hill, G. E. (1974). Factors controlling the size and spacing of cumulus clouds as revealed bynumerical experiments, J. Atmos. Sci., 31, 646–673.

Koren, I., and Kaufman,Y. J. (2004). Direct wind measurements of Saharan dust events fromTerra and Aqua satellites, Geophys. Res. Lett., 31, L06122, doi:10.1029/2003GL019338.

Laurent, B. (2005). Simulation des émissions d'aérosols désertiques à l'échelle continentale : Analyse climatologique des émissions du nord-est de l'Asie et du nord de l'Afrique, Thèse, Université de Paris 12, Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques, Créteil,France.

Lilly, D. K. (1962).On the numerical simulation of buoyant convection, Tellus, 2, 148–172.

Louis, J. F. (1979). A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere, Bound.-Layer Meteorol., 17, 187–202.

Marticorena, B., and Bergametti,G. (1995).Modeling the atmospheric dust cycle : 1-Designed of a soil-derived dust emission scheme, J. Geophys. Res., 100 (D8), 16,415–16,430.

Marticorena, B., Bergametti,G., Aumont,B., Callot,Y., N'Doumé, C. and Legrand, M. (1997a). Modeling the atmospheric dust cycle : 2-Simulations of Saharan dust sources, J. Geophys. Res., 102 (D4), 4387–4404.

Pielke, R. A., Cotton,W. R., Walko,R. L., Tremback,C. J., Lyons,W. A., Grasso,L. D., Nicholls,M. E., Moran,M. D., Wesley,D. A., Lee,T. J. and Copeland,J. H. (1992). A comprehensivemeteorological modeling system – RAMS, Meteorol. Atmos. Phys., 49, 69–91.

Priestley, C. H. B. 1959. Turbulent transfer in the lower atmosphere, University of ChicagoPress, 130 pp.

Schmechtig C., Menut, L., Marticorena, B., Chatenet, B. (2005). Simulations of mineral dustconcentrations over Western Africa with Chimere DUST model, European Geophys. Union,Vienne, Autriche, 24 - 28 April.

Smagorinsky, J. (1963). General circulation experiments with the primitive equations. Part I,The basic experiment, Mon. Wea. Rev., 91, 99–164.

Tremback, C. J. (1990). Numerical simulation of a mesoscale convective complex: Model development and numerical results, Thèse, Colorado State University.

Walko, R. L., Cotton,W. R., Meyers,M. P. and Harrington,J. Y. (1995). New RAMS cloudmicrophysics parameterization. Part II: The single-moment scheme, Atmos. Res., 38, 29–62.

Walko, R. L., Band, L. E., Baron, J., Kittel, T. G. F., Lammers, R., Lee, T. J., Ojima, D., Taylor,R. A.P. S. an C., Tague, C., Tremback, C. J. and Vidale, P. L. (2000). Coupledatmospherebiophysics-hydrology models for environmental modeling, J. Appl. Meteorol., 39, 931–944.

Walko, R. L., and Tremback, C. J. (2005). Modifications for the transition from LEAF-2 to LEAF-3.ATMET Tech. Note 1, ATMET, http://www.atmet.com/html/docs/rams/.