

***Rapport de stage effectué au CNRM/Météo
France du 17 Mai au 18 Juin 2010***

***MODÉLISATION DES ÉMISSIONS ET
DU TRANSPORT DES POUSSIÈRES
DÉSERTIQUES DANS ALADIN***

Présenté par :

Mr Mohamed MOKHTARI

Office national de la Météorologie (Algérie)



Responsable de stage : Claude FISCHER

METEO FRANCE Mai 2010

1. Introduction

Ce stage s'inscrit dans le cadre de la coopération bilatérale entre l'Office National de la Météorologie (ONM/Algérie) et Météo France. Son objectif principal est de compléter la dernière étape du travail déjà entamé sur la modélisation des émissions et du transport des poussières désertiques dans ALADIN qui consiste en la phase de « **validation** ». Les différentes tâches réalisées jusqu'à présent dans ce cadre : les émissions, le transport, les dépôts sec et humide des aérosols désertiques sont exposées en détail, dans les rapports de stage des années 2007, 2008 et 2009.

Dans ce rapport nous mettons en exergue les tests du système couplé ALADIN/SURFEX illustré par la situation de la tempête de sable qui a touché l'Afrique de l'ouest du 7 au 13 mars 2006. Les résultats des simulations seront validés par les images satellitaires AQUA-MODIS et les observations photométriques des stations d'Aéronet disponibles sur le site AMMA.

2. Simulation de la situation du 07-13 mars 2006

Nous avons utilisé le système couplé ALADIN/SURFEX en line pour simuler la situation du 7-13 mars. La résolution horizontale est de 24 km avec 41 niveaux verticaux. ALADIN est forcé par le modèle global ARPEGE qui fournit les conditions aux bords. Afin de minimiser le spinning-up et établir des états initiaux fiables des concentrations des aérosols, nous avons commencé les simulations à partir de 1 mars avec des prévisions de 48 d'échéances. Les concentrations de la prévision précédente sont utilisées pour le prochain run du modèle pour initialiser les concentrations des aérosols désertiques.

La situation du 07-13 mars 2006 est caractérisée par des vents forts engendrés par un fort gradient de pression suite à une baisse de la barométrie sur l'Afrique de l'Ouest entre le 07 et le 09 mars 2006. Les champs géopotentiels à la 850 hpa prévus par ALADIN du 8 au 10 mars 2006 (figure 2) montre une haute pression au-dessus de la Mauritanie et le Sahara occidentale et des basses pressions au-dessus de la Libye. Ce gradient fort de géopotentiel dirige un flux intense d'Harmattan au-dessus du Nord du Niger et du Tchad (15 m/s), le Nord du Mali (12 m/s) et la Mauritanie (12 m/s) (figure 1.a). On peut observer la discontinuité intertropicale (ITD), qui trace la frontière dynamique entre le flux d'Harmattan et la Mousson, sur la surface (figure 1.a) suivant une ligne s'étendant du Nord de la Côte d'Ivoire au centre du Nigéria. Le 10 mars (figure 2.b), les hautes pressions au-dessus de la Mauritanie ont baissé. Par conséquent, les vents ont diminué au-dessus de la région du sahel. Durant cet événement, ces vents forts ont été à l'origine du déclenchement d'une tempête de sable touchant toutes les régions de l'Afrique de l'ouest comme le Mali, Niger, Tchad...etc. Les panaches de poussières sont bien visibles sur l'image satellite de MSG-SEVIRI (figure 3). Le manque d'information sur la concentration de poussière au-dessus des surfaces végétales (la Mousson Africaine) est également très visible sur l'image MSG-SEVIRI caractérisée par une forte limite entre les régions Sahéliennes et les régions méridionales près du Golfe de Guinée (dans le bleu).

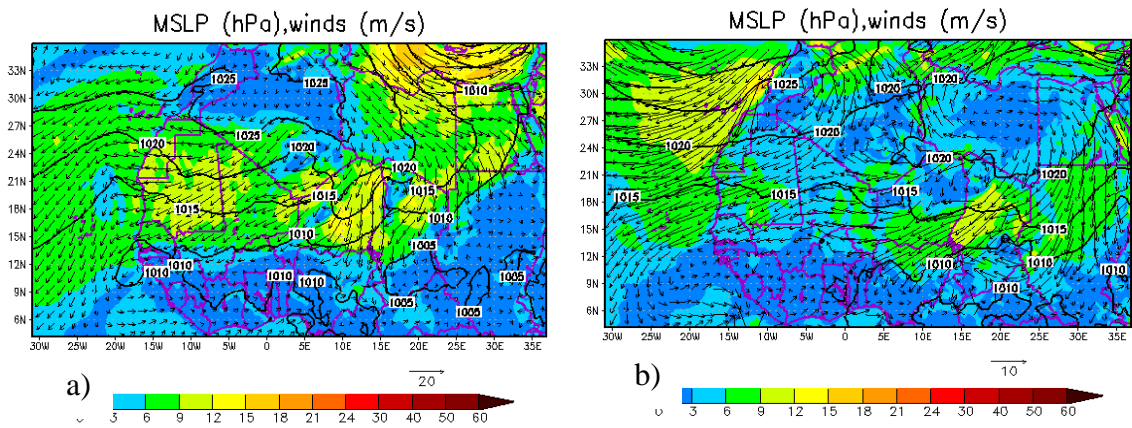


Figure 1 : Mean sea level pressure (hpa) and wind speed at 10m on March 8th (a) and 10th (b) 2006

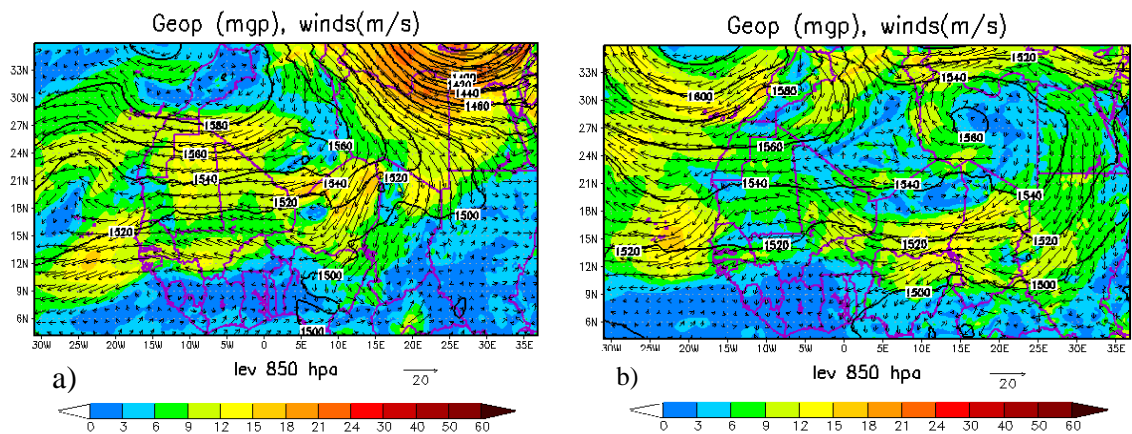


Figure 2 : The geopotential at 850 hPa (in meters) and wind speed on March 8th (a) and 10th (b) 2006

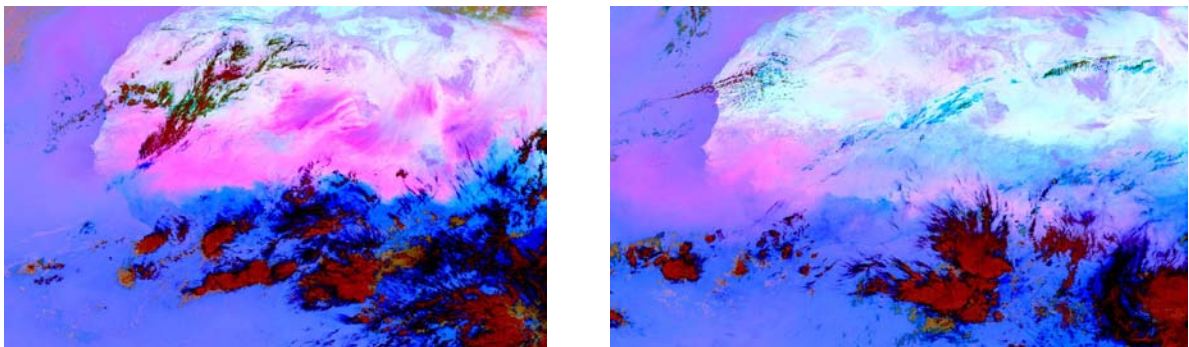


Figure 3. MSG-SEVIRI satellite images over West Africa for March 8, 2006 at 12 UTC (left) and March 12, 2006 at 12 UTC (right), pink color represent for dust, black for cirrus, red for high level cloud, brown for the mid-level cloud, and white for desert surface.

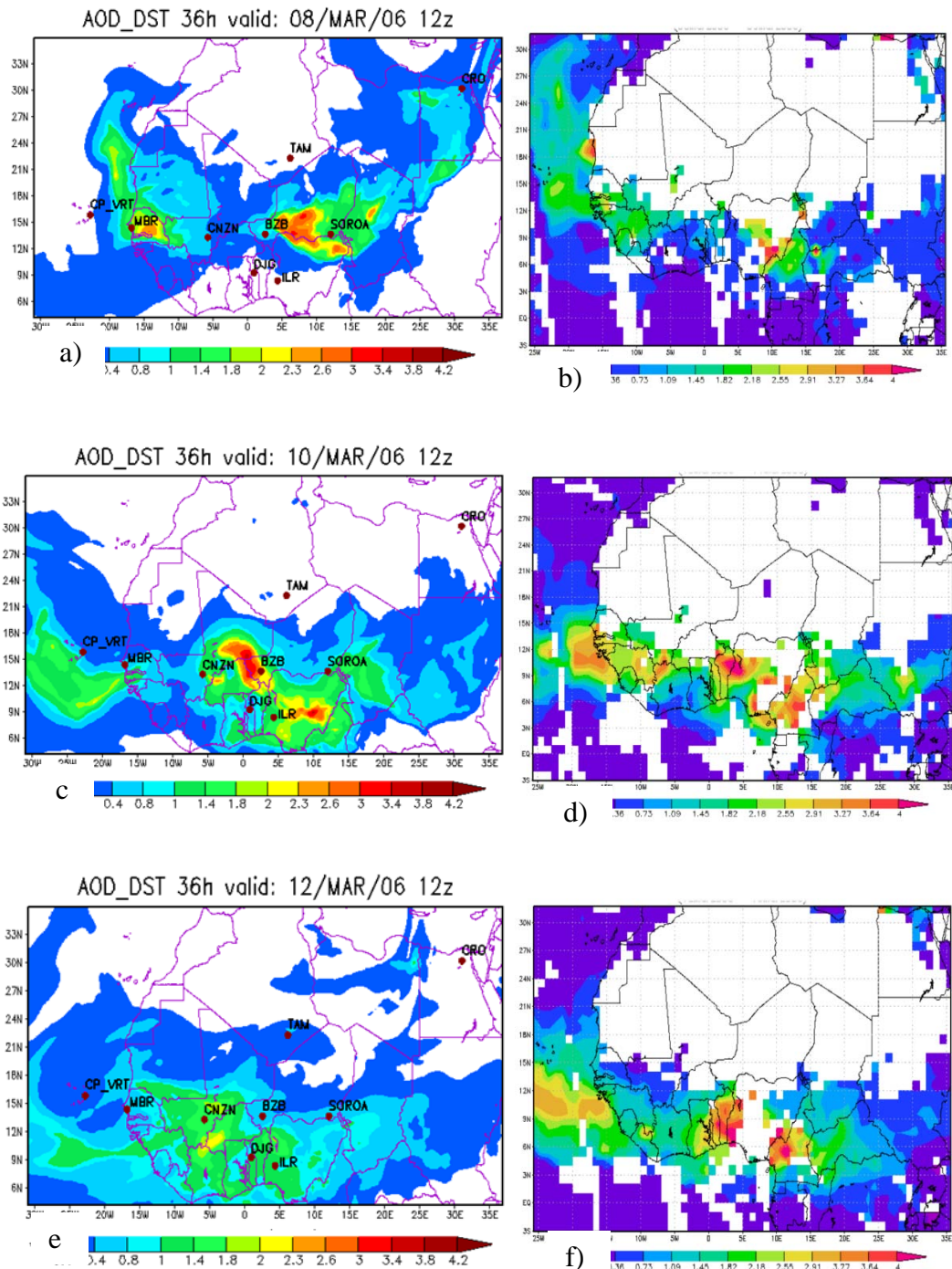


Figure 4: AOD simulated by ALADIN on March 8 at 12 UTC (a), March 10 at 12 UTC (c) and March 12 at 12 UTC (e), 2006. The daily mean AOD from MODIS/AQUA satellite images on March 8 (b), March 10 (d) and March 12 (f), 2006.

L'évolution des AOD sur les régions Sahéliennes simulées par ALADIN est illustrée par les figures (4.a, 4.c et 4. e). Une bande des hautes AOD apparaît du Tchad au Sénégal (figure 4.a). Différents maximums ont été simulés au Tchad (2.6), le sud du Niger et le nord du Nigeria (3.4) et au Sénégal (3). Le 10 mars (figure 4.c), les panaches de poussières atteignant le Golfe de Guinée. Trois maximums d'AOD ont été simulés du Bénin vers le Tchad en passant par le Nigeria et l'ouest du Cameroun. Le 12 mars, les noyaux intenses des AOD continuent leurs mouvement vers le sud au-dessus de la mer de Guinée et vers l'Océan Atlantique mais en diminuant au cours de leur transport. Les figures (4.b, 4.d, et 4.f) montrent les AOD observées par le satellite AQUA-MODIS. Il est intéressant de noter la concordance

entre les simulations ALADIN et les observations satellitaires pendant l'événement. En particulier, le 8 mars (figure 4.a) où on remarque bien que les panaches de poussière n'atteignent pas le Golfe de Guinée. Le 10 mars, il est intéressant de noter que le satellite AQUA-MODIS a également observé trois maximums d'AOD dépassant 3 dans les mêmes endroits que ceux simulés par ALADIN (figure 4.d). Le 12 mars, on remarque une sous-estimation des AOD simulées par ALADIN par rapport à celles observées par AQUA-MODIS au-dessus du Bénin, du Nigéria et du Cameroun.

Les AOD simulées sont comparées aux mesures photométriques d'AERONET situées à Banizoumbou (Niger), à DMN_Maine_Soroa (Niger), à Capo_Verde, à Cairo_EMA (Egypte), à IER_Cinzana (Mali), à Djougou (Bénin), à Ilorin (Nigéria), à M'bour (Sénégal), et à Tamanrasset (Ageria). Les résultats sont montrés par la figure 5. Avant l'événement de la tempête de sable du 1^{er} au 7 mars, on remarque que les AOD simulées sont sous-estimées par rapport à celles observées pour les 9 stations considérées. Ce qui nous mène à dire que le modèle n'est pas encore alimenté en charge réelle d'aérosols dus au démarrage à froid. Ce qui influence la qualité de la prévision pendant l'événement de tempête de sable. L'augmentation des AOD observées le 7 mars au-dessus de la majorité de stations annonce le début de l'événement de la tempête de sable. Ce début est bien prévu par le modèle ALADIN. Au dessus de la station de Banizoumbou les vents violents observés dans ce secteur, produisent des soulèvements de poussière significatifs. Des AOD dépassant 3 ont été observées le 7 mars et atteignant 4.0 le 8 mars. Les AOD simulées au-dessus de cette station sont en accord avec les observations mais avec une journée de retard comparé à l'observation. Au-dessus de la station de DMN_Maine_Soroa on remarque que les AOD simulées du 8 au 15 mars sont en concordance avec celles observées, excepté le pic observée le 9 mars. Ce pic est dû aux soulèvements locaux qui sont difficiles à prévoir par le modèle ALADIN. Le Cap Vert est une station située dans l'Océan Atlantique, et est affectée par le transport des aérosols. Pour cette station on note que l'AOD simulé pendant l'événement de la tempête de sable sont sous-estimées. La même remarque est observée dans la station de Cairo_EMA. Au-dessus de la station d'IER_Cinzana l'AOD simulées durant les journées de 8 au 10 mars sont en discordance par rapport à celles observées. Au delà du 11 mars les AOD simulées sont en accord avec les observations. Les AOD au-dessus de la station d'Ilorin dans les sud du Nigéria sont sensiblement sous-estimées; le maximum d'AOD simulée atteint 2.1, tandis que les photomètres ont enregistré des AOD au-dessus de 4. Ainsi une sous-estimation systématique d'AOD (environ 1) également apparu chez Djougou quand la station était dans le flux de la mousson. Les AOD simulées au-dessus de M'bour représentent un pic à la fin de la journée du 8 mars qui dépasse 4 puis descend rapidement au-dessous de 1 pour les journées suivantes. Cependant les valeurs d'AOD observées par cette station sont environ 1.5 à 2.5 pendant l'événement de la tempête de sable. Les AOD simulées au-dessus de Tamanrasset sont en bon accord avec celles observées.

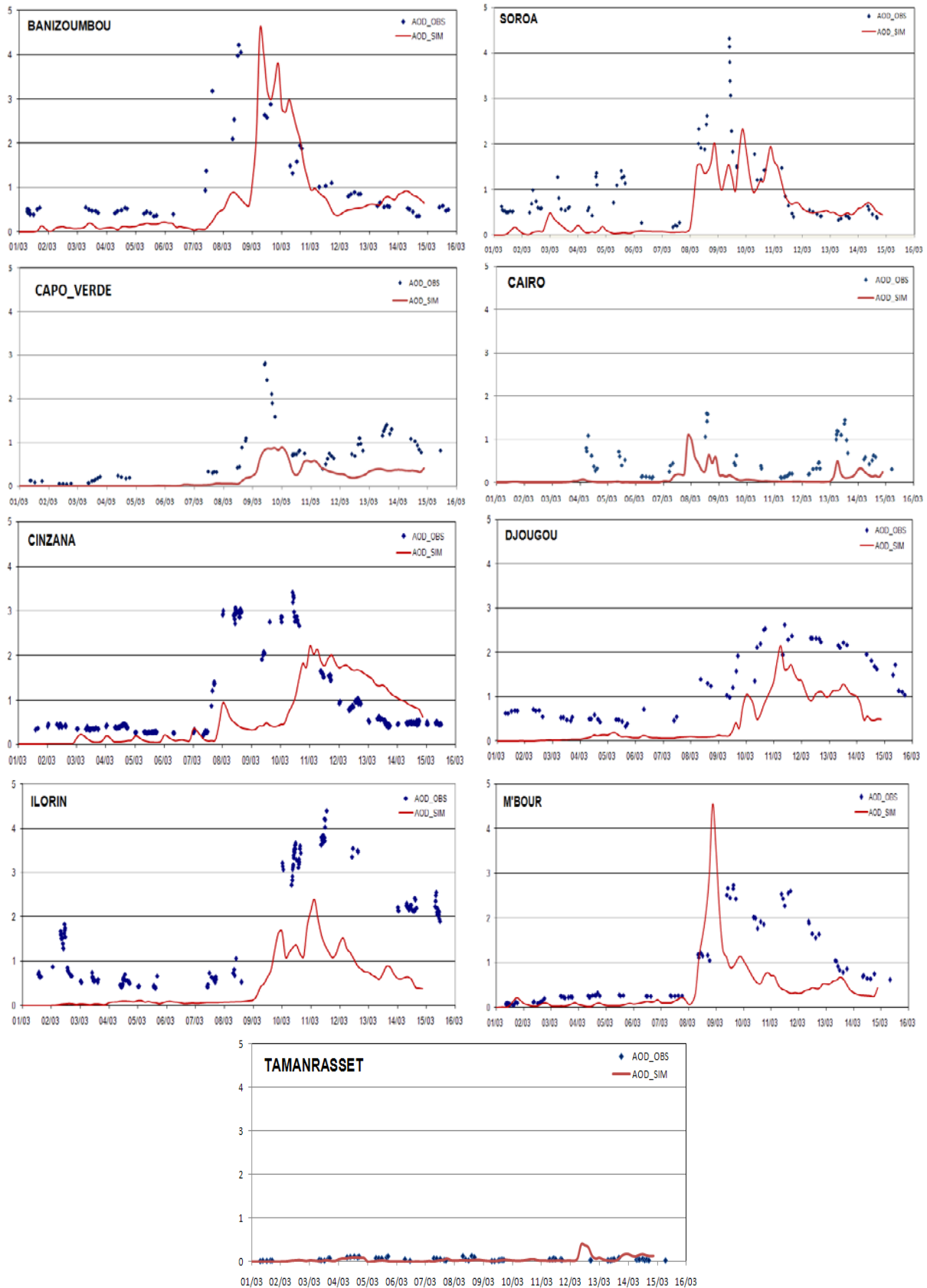


Figure 5 : The Evolution of the AOD simulated by ALADIN between 2006 March 1 and 15, 2006, at Banizoumbou, DMN_Maine_Soroa, Capo_Verde, Cairo_EMA, IER_Cinzana, Djougou, Ilorin, M'bour, and Tamanrasset. The Dots represent the photometer observed values.

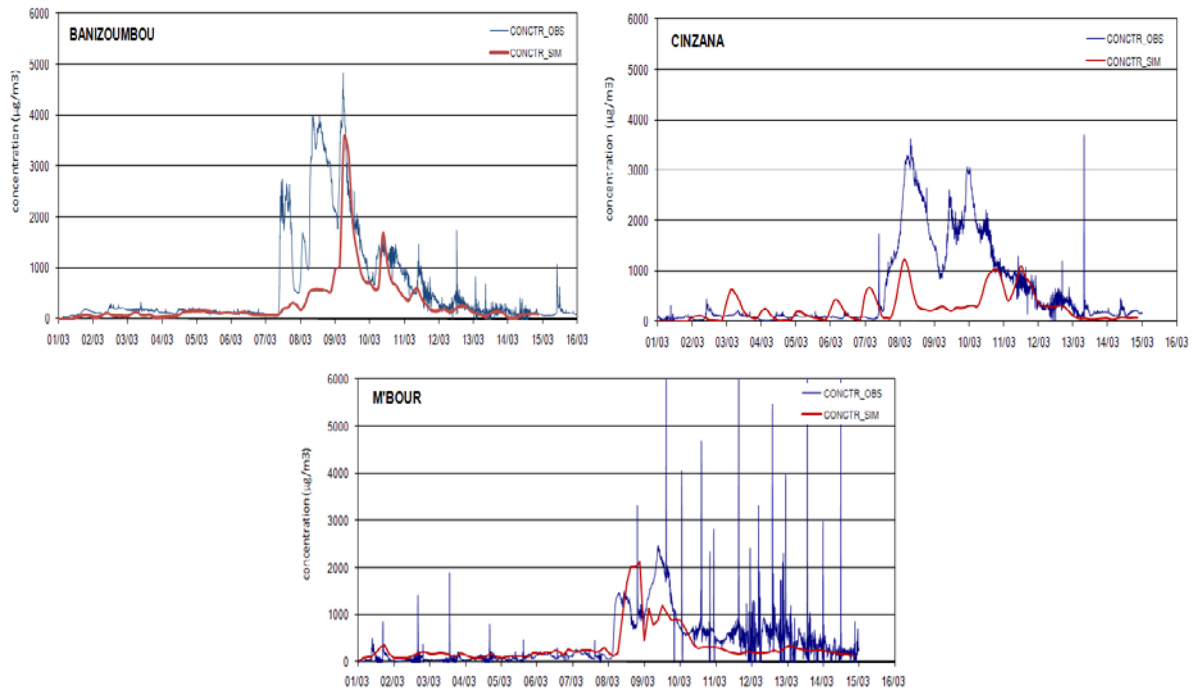


Figure 6 : The Evolution of the dust surface concentration simulated by ALADIN between 2006 March 1 and 15, 2006, at Banizoumbou, IER_Cinzana, and M'bour (red line) and surface dust concentration observed values (blue line).

La figure 6 montre les concentrations en surface des aérosols désertiques simulés au-dessus des stations : Banizoumbou, Cinzana et M'bour en ligne rouge et les concentrations observées en ligne bleus. Au-dessus de Banizoumbou, les concentrations simulées du 1 au 7 mars sont en bon accord avec celles observées. Au-delà du 7 mars, le modèle ALADIN prévoit le début de l'évènement de la tempête de sable mais avec une intensité très sous-estimée par rapport à l'observation. D'ailleurs, des pics significatifs atteignant les $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la journée du 7 mars et $4000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la journée du 8 mars ont été observés alors qu'ALADIN prévoit des concentrations de 400 à $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Au-delà de 9 mars le modèle ALADIN simule bien l'évènement au point de rejoindre quasiment les observations et reproduit avec satisfaction les concentrations observées. Au-dessus de Cinzana, l'évolution des concentrations simulées du 1 au 9 mars est oscillatoire avec des pics dépassant les valeurs observées durant les journées de 3, 6 et 7 mars. Durant l'évènement de la tempête de sable les concentration simulées sont très sous-estimées. Alors on observe des concentrations de $3400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la journée du 8 mars et $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la journée de 10 mars par contre ALADIN prévoit des valeurs de $1200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le 8 mars et $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le 10 mars. Au-delà de 11 mars le modèle rejoint l'observation. Au-dessus de la station M'bour, Aladin reproduit avec satisfaction les concentrations observées exceptée la journée du 9 mars où ALADIN prévoit des concentrations de $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ inférieures à celles observées qui sont de l'ordre de $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3. Conclusion et perspectives

A travers ce travail, nous avons essayé de contribuer au développement du modèle ALADIN en lui introduisant la prévision du cycle atmosphérique des poussières désertiques. La situation exposée dans ce rapport est très bien simulée par le modèle ALADIN, notamment en extension. Contrairement ; en intensité, il est à noter qu'ALADIN sous-estime les AOD pour les stations lointaines des sources potentielles. Ce comportement est dû, probablement, au schéma d'advection utilisé dans le modèle qui ne conserve pas les quantités durant leurs transports. Il est aussi intéressant de mentionner que les aérosols désertiques sont traités dans ALADIN tout en interagissant avec le rayonnement. Ces deux constatations nous poussent à

penser qu'une étude sur l'influence des aérosols désertiques sur la qualité de la prévision est recommandée.

Références

- Alfaro, S. C., and L. Gomes, Modeling mineral aerosol production by wind erosion: Emission intensities and aerosol distributions in source areas, *J. Geophys. Res.*, 106, 18,075– 18,084, 2001
- Andronache, C., T. Grönholm, L. Laakso, V. Phillips, and A. Venäläinen, Scavenging of ultrafine particles by rainfall at a boreal site: observations and model estimations, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 4739-4754, 2006
- Bagnold, R. A., The Physics of Blown Sand and Desert Dunes, 265 pp., *Methuen, New York*, 1941
- Brozková, R., M. Derková, M. Bellus, and A. Farda, Atmospheric forcing by ALADIN/MFSTEP and MFSTEP oriented tunings, *Ocean Sci.*, 2, 113–121, 2006
- Bubnová, R., G. Hello, P. Bénard, and J. F. Geleyn.: Integration of the fully elastic equations cast in the hydrostatic pressure terrainfollowing coordinate in the framework of the ALADIN NWP system, *Mon. Wea. Rev.*, 123, 515–535, 1995
- Buckley, R. L., Spatial Variation of Soil Type and Soil Moisture in the Regional Atmospheric Modeling System (U), *WSRC-TR 2001-00119*, March 2001
- Callot, Y., B. Marticorena, and G. Bergametti, Geomorphologic approach for modelling the surface features of arid environments in a model of dust emission: application to the Sahara desert, *Geodinamica Acta* 13 245-270, 2000
- Croft, B., U. Lohmann, R. V. Martin, P. Stier, S. Wurzler, J. Feichter, R. Posselt, and S. Ferrachat, Aerosol size-dependent below-cloud scavenging by rain and snow in the ECHAM5-HAM, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 4653-4675, 2009
- Cuesta, J., D. Edouart, M. Mimouni, P. H. Flamant, C. Loth, F. Gibert, F. Marnas, A. Bouklila, M. Kharef, B. Ouchène, M. Kadi, and C. Flamant, Multiplatform observations of the seasonal evolution of the Saharan atmospheric boundary layer in Tamanrasset, Algeria, in the framework of the African Monsoon Multidisciplinary Analysis field campaign conducted in 2006, *J. Geophys. Res.*, Vol. 113, D00C07, doi:10.1029/2007JD009417, 2008
- Fécan, F., B. Marticorena, and G. Bergametti, Parameterization of the increase of the aeolian erosion threshold wind friction velocity due to soil moisture for arid and semi-arid areas, *Ann. Geophysicae* 17, 149-157 1999
- Foret, G., G. Bergametti, F. Dulac, and L. Menut, An optimized particle size bin scheme for modelling mineral dust aerosol, *J. Geophys. Res.*, Vol. 111, D17310, doi:10.1029/2005JD006797, 2006
- Geleyn, J. F., Adaptation of spectral methods to non-uniform mapping (global and local), ECMWF Seminar Proceedings on "Recent developments in numerical methods for atmospheric modeling", 7–11 September 1998, 226–265, 1998
- Greed, G., J. M. Haywood, S. Milton, A. Keil, S. Christopher, P. Gupta, E. J. Highwood, Aerosol optical depths over North Africa: Modeling and model validation, *J. Geophys. Res.*, Vol. 113, D00C05, doi:10.1029/2007JD009457, 2008
- Greeley, R., and J. D. Iversen, Wind as a Geological Process, *Cambridge Univ. Press*, New York, 1985
- Grini, A., P. Tulet and L. Gomes, Dusty weather forecasts using the MesoNH mesoscale atmospheric model, *J. Geophys. Res.*, VOL. 111, D19205, doi:10.1029/2005JD007007, 2006
- Henzing, J. S., D. J. L. Olivie, and P. F. J. Van Velthoven, A parameterization of size resolved below cloud scavenging of aerosols by rain, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 3363-3375, 2006
- Hoose, C., U. Lohmann, R. Bennartz, B. Croft, and G. Lesins, Global simulations of aerosol processing in clouds, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 6939-6963, 2008
- Horányi, A., I. Ihász, and G. Radnoti, ARPEGE/ALADIN: A numerical weather prediction model for Central Europe with the participation of the Hungarian Meteorological Service, *időjárás*, 100, 277–301, 1996
- Huth, R., R. Mládek, L. Metelka, P. Sedlák, Z. Huthová, S. Kliegrová, J. Kysely, L. Pokorná, T. Halenka and M. Janousek, On the integrability of limited-area numerical weather prediction model ALADIN over extended time periods, *Stud. Geophys. Geod.*, 47, 863–873. 2003
- Iversen, J.D., B. R. White, Saltation threshold on Earth, Mars and Venus. *Sedimentology* 29, 111–119, 1982
- Johnson, B. T., S. R. Osborne, J. M. Haywood, and M. A. J. Harrison, Aircraft measurements of biomass burning aerosol over West Africa during DABEX, *J. Geophys. Res.*, Vol. 113, D00C06, doi:10.1029/2007JD009451, 2008
- Johnson, B. T., B. Heese, S. A. McFarlane, P. Chazette, A. Jones, and N. Bellouin, Vertical distribution and relative effects of mineral dust and biomass burning aerosol over West Africa during DABEX, *J. Geophys. Res.*, Vol. 113, D00C12, doi:10.1029/2008JD009848, 2008
- Laurent, B., B. Marticorena, G. Bergametti, J. F. Léon and N. M. Mahowald, Modeling mineral dust emission from the Sahara desert using new surface properties and soil database, *J. Geophys. Res.*, Vol. 113, D14218, doi:10.1029/2007JD009484, 2008
- Mahowald, N., K. Kohfeld, M. Hansson, Y. Balkanski, S. P. Harrison, I. C. Printice, M. Schulz, and H. Rodhe, Dust sources and deposition during the last glacial maximum and current climate: A comparison of model results with paleodata from ice cores and marine sediments, *J. Geophys. Res.*, 104, 15,895-15,916, 1999
- Mahowald, N. M., A. R. Baker, G. Bergametti, N. Brooks, R. A. Duce, T. D. Jickells, N. Kubilay, J. M. Prospero, and I. Tegen, Atmospheric global dust cycle and iron inputs to the ocean, *Global Biogeochem. Cycles*, 19, GB4025, doi: 10.1029/2004GB002402, 2007
- Marticorena, B., and G. Bergametti, Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme, *J. Geophys. Res.*, 100, 16, 415-16, 430, 1995
- Marticorena, B., and G. Bergametti, Two year simulations of seasonal and interannual changes of the Saharan dust emissions, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1921-1924, 1996.
- Marticorena, B., and G. Bergametti, B. Aumont, Y. Callot, C. N'Doume, and M. Legrand, Modeling the atmospheric dust cycle: 2. Simulation of the Saharan dust sources, *J. Geophys. Res.*, 102, 4387-4404, 1997a
- Marticorena, B., and G. Bergametti, D. A. Gillette, and J. Belnap, Factors controlling threshold friction velocity in semiarid and arid areas of the United States, *J. Geophys. Res.*, 102, 23, 277-23, 287, 1997b

- Martcorena, B., M. Kardous, G. Bergametti, Y. Callot, P. Chazette, H. Khatteli, S. Le Hégarat-Masclé, M. Maillé, J. L. Rajot, D. Vidal-Madjar, and M. Zribi, Surface and aerodynamic roughness in arid and semiarid areas and their relation to radar backscatter coefficient, *J. Geophys. Res.*, VOL. 111, F03017, doi:10.1029/2006JF000462, 2006
- Martin, J. H., Glacial-interglacial CO₂ change: The iron hypothesis, *palaeoceanography*, 5, 1-13, 1990
- Masson, V., A physically-based scheme for the urban energy balance in atmospheric models, *Boundary-Layer Meteorology*, 94, 357–397. 3.1, 2000
- Masson, V., J. Champeaux, F. Chauvin, C. Meriguet, and R. Lacaze, A global database of land surface parameters at 1-km resolution in meteorological and climate models, *J. Clim.*, 16(9), 1261–1282. 3.2, 2003
- Masuda, K., Y. Mano, H. Ishimoto, Aerosol Optical Thickness over the Oceans Derived from GMS-5 during Spring 2002 and 2003, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 83A, pp. 173-186, 2005
- Menut, L., C. Schmechtig, and B. Martcorena, Sensitivity of the Sandblasting Flux Calculations to the Soil Size Distribution Accuracy, *American Meteor. Soc.*, 2005
- Menut, L., G. Forêt, and G. Bergametti, Sensitivity of dust concentrations to the model size distribution accuracy, *J. Geophys. Res.*, Vol. 112, D10210, doi:10.1029/2006JD007766, 2007
- Mlawer, E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, and S.A. Clough, 1997: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *J. Geophys. Res.*, 102, 16,663-16,682
- Morcrette, J., and Y. Fouquart, The overlapping of cloud layers in shortwave radiation parameterizations, *J. Atm. Sci.*, 43(4), 321–328. 3.1, 1986
- Nicholson, S. E., C. J. Tucker, and M. B. Ba, Desertification, drought, and surface vegetation: An example from the West African Sahel, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 79, 815-829, 1998
- Nickovic, S., and S. Dobricic, A model for long-rang transport of desert dust, *Mon Weather Rev*, 124, 2537-2544, 1996
- Nickovic, S., G. Kallos, A. Papadopoulos, and O. Kakaliagou, Model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere, *J. Geophys. Res.*, Vol. 106, NO. D16, PAGES 18,113-18,129, AUGUST 27, 2001
- Noilhan, J. And S. Planton: A simple parameterization of land surface processes for meteorological models. *Mon. Wea. Rev.* 117, 536-549, 1989
- Noilhan, J., and M. J.F., The ISBA land surface parameterization scheme., *Global and Plan. Change*, 13, 145–159. 3.1, 1996
- Osborne, S. R., B. T. Johnson, J. M. Haywood, A. J. Baran, M. A. J. Harrison and C. L. McConnell, Physical and optical properties of mineral dust aerosol during the Dust and Biomass-burning Experiment, *J. Geophys. Res.*, Vol. 113, D00C03, doi:10.1029/2007JD009551, 2008
- Perlwitz, J., I. Tegen, and R. L. Miller, Interactive soil dust aerosol model in the GISS GCM: 1. Sensitivity of the soil dust cycle to radiative properties of soil dust aerosols, *J. Geophys. Res.*, 106, 18,167-18,192, 2001
- Prospero, J. M., Long-term measurements of the transport of African mineral dust to the southeastern United States: Implications for regional air quality, *J. Geophys. Res.*, 104, 15,917-15,928, 1999
- Pruppacher, H., and J. Klett, *Microphysics of Clouds and Precipitation. Kluwer Academic Publishers*, 2000
- Radnóti, G., Comments on “A spectral limited-area formulation with time-dependent boundary conditions applied to the shallowwater equations”. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 3122–3123, 1995
- Ratmeyer, V., W. Balzer, G. Bergametti, I. Chiapello, G. Fischer, U. Wyputta, Seasonal impact of mineral dust on deep-ocean particle flux in the eastern subtropical Atlantic Ocean, *Marine Geology* 159, 241-252, 1999
- Shao, Y., M. R. Raupach, and P. A. Findlater, Effect of saltation bombardment on the entrainment of dust by wind, *J. Geophys. Res.*, 98, 12,719-12,726, 1993
- Shao, Y., M. R. Raupach, and J. F. Leys, A model for predicting aeolian sand drift and dust entrainment on scales from paddock to region, *Aust. J. Soil Res.*, 34, 309-342, 1996
- Shao, Y., and M. Leslie, Wind erosion prediction over the Australian continent, *J. Geophys. Res.*, 102,30,091-30,105,1997
- Shao, Y., and I. Lu, A simple expression for wind erosion threshold friction velocity, *J. Geophys. Res.*, 105, 22,437–22,443, 2000
- Shao, Y., A model for mineral dust emission, *J. Geophys. Res.*, 106, 20,239–20,254. 2001
- Shao, Y., Y. Yang, J. Wang, Z. Song, L. M. Leslie, C. Dong, Z. Zhang, Z. Lin, Y. Kanai, S. Yabuki, and Y. Chun, Northeast Asian dust storms: Real-time numerical prediction and validation, *J. Geophys. Res.*, 108(D22), 4691, doi:10.1029/2003JD003667, 2003
- Slinn, W., *Atmospheric sciences and power production. Precipitation Scavenging. U. S. Department of Energy*, Washington, D.C. chap. 11., 1979
- Swap, R., M. Garstang, S. Greco, R. Talbot, and P. Kallberg, Saharan dust in the Amazon Basin, *Tellus, Ser. B*, 44, 133-149, 1992
- Tegen, I., and I. Fung, Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, Transport, and optical thickness, *J. Geophys. Res.*, 99(D11),22,897-22,914, 1994
- Tegen, I., A. A. Lacis, and I. Fung, The influence on climate forcing of mineral aerosols from disturbed soils, *Nature*, 380, 419-422, 1996
- Tegen, I., B. Heinold, M. Todd, J. Helmert, R. Washington, and O. Dubovik, Modelling soil dust aerosol in the Bodélé depression during the BoDEx campaign, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 4345-4359, 2006
- Tost, H., P. Jöckel, A. Kerkweg, R. Sander, and J. Leliveld, Technical note: A new comprehensive SCAVenging submodel for global atmospheric chemistry modelling. *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 565-574, 2006
- Tulet, P., V. Crassier, F. Cousin, K. Suhre, and R. Rosset, ORILAM, a three-moment lognormal aerosol scheme for mesoscale atmospheric model: Online coupling into the Meso-NH-C model and validation on the Escompte campaign, *J. Geophys. Res.*, VOL. 110, D18201, doi:10.1029/2004JD005716, 2005
- Tulet, P., K. Crahan_Kaku, M. Leriche, B. Aouizerats, S. Crumeyrolle, Mixing of dust aerosols into a mesoscale convective system Generation, filtering and possible feedbacks on ice anvils, *Atmos. Res.* 96 (2010) 302-314
- Váňa F., Physical parameterizations in the ALADIN model. *Meteorol. zpr.*, 51, 33-44 1998
- Zakey, A. S., Implementation and testing of a desert dust module in a regional climate model, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 4687-4704, 2006

Zender, C. S., H. Bian, and D. Newman, Mineral Dust Entrainment and deposition (DEAD) model: Description and 1990s dust climatology, *J. Geophys. Res.*, VOL. 108, NO. D14, 4416, doi:10.1029/2002JD002775, 2003
Zobler, L., A World soil file for global climate modelling, *Tech. Rep.* NASA-TM-87802, 32 pp., 1986