

Modélisation des aérosols désertiques dans AROME: Apport du schéma physique à l'échelle convective et impact radiatif

Abdenour AMBAR ^{1*}, Mohamed MOKHTARI ¹

Résumé

Cette étude est dédiée à la modélisation des poussières désertiques dans le modèle à échelle convective AROME (Application à la Recherche Opérationnelle à MEsoéchelle) couplé avec le modèle ALADIN (Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational) opérationnel à l'ONM. Pour ce faire, des simulations ont été réalisées avec le modèle AROME-DUST à 3 km de résolution dans l'objectif de prospecter l'apport du schéma physique de ce modèle sur la qualité de la prévision du cycle atmosphérique des poussières désertiques. La situation choisie est celle du 22 Mars 2016 qui est caractérisée par de forts soulèvements de sable au sud de l'Algérie et son transport vers le nord et la méditerranée.

Mots Clés:

AROME-DUST — Aérosols désertiques — Schéma physique — Soulèvements de sable

¹Office national de météorologie (CNPM-ONM), Dar El Beida, Alger

*Correspondant: ambar.abdenour@gmail.com

1. Introduction

Les aérosols désertiques sont des particules atmosphériques en suspension dans l'air, caractérisées principalement par leur origine saharienne et leur variation rapide dans l'espace et dans le temps. Ces particules représentent la première source mondiale d'aérosols dans l'atmosphère qui est de l'ordre de $1500 Tg/an$, et représentent environ 40% des émissions globales en aérosols troposphériques IPCC-2001 (2001).

Trois processus pilotent le cycle de vie des poussières désertiques : le processus de soulèvement, de transport et de dépôt. Le processus de soulèvement des aérosols se produit dans les zones émettrices lorsque la force de friction du vent exercée sur les particules en surface devient supérieure aux forces qui les maintiennent au sol. Le transport des aérosols est principalement géré par la vitesse et la direction du vent. Ces particules peuvent traverser des grandes distances sur les surfaces terrestres mais aussi sur les surfaces marines pour atteindre d'autres régions, comme l'Europe et l'Amérique pour les particules qui proviennent du Sahara Africain. Le processus de dépôt existe sous deux formes : dépôt sec et dépôt humide.

L'intérêt porté à la modélisation du cycle des aérosols désertiques, en Algérie, est important du fait que le désert couvre plus de 75% de la superficie du pays. Cet intérêt est renforcé par le fait que les poussières désertiques ont un impact direct sur l'économie, l'environnement et la santé publique.

Depuis Février 2014, la prévision du cycle atmosphérique des poussières désertiques à l'ONM est basée sur le modèle opérationnel ALADIN-DUST à 14 km de résolution horizontale Mokhtari and al. (2012). Récemment, une configuration AROME-DUST basée sur le cycle 40 a été mise à jour durant le séjour scientifique de Messieurs Mokhtari et Ambar à Météo France. Afin de prospecter l'apport des schémas physiques du modèle AROME, à l'échelle convective, sur la qualité de la prévision du cycle

atmosphérique des poussières désertiques nous avons réalisé des simulations météorologiques. Nous avons choisi pour cette étude la situation du 22 Mars 2016 qui est caractérisée par de fort soulèvement de sable au sud de l'Algérie et son transport vers le nord et la méditerranée. Les champs de poussière sont ensuite confrontés à l'observation puis à ceux prévus par le modèle ALADIN DUST.

Cet article est organisé comme suit : dans la première partie, nous allons présenter un bref aperçu du développement des modules sable dans AROME. Ensuite, nous allons comparer les sorties des modèles AROME-DUST et ALADIN-DUST et par rapport aux observations réelles. Dans la deuxième partie, nous allons étudier l'impact radiatif des poussières désertiques. Pour ce faire, nous avons préparé une version de contrôle AROME-CTL où les poussières désertiques ont été désactivé, puis nous avons effectué plusieurs simulations et comparé les sorties de cette version avec celles de AROME-DUST pour quantifier l'impact radiatif en présence de particules désertiques. Enfin, nous terminerons par une conclusion générale.

2. Méthodologie

Données utilisées

Nous avons analysé les messages METAR (METeological Aerodrome Report) élaborés par les stations météorologiques basées au sud de l'Algérie pour sélectionner les situations caractérisées par la réduction de visibilité. Notre analyse permet de détecter une situation sévère de soulèvement de sable qui est celle du 22 Mars 2016. Les données METAR de cette situation seront aussi utilisées par la suite pour la validation des résultats de prévision obtenus par AROME. Les concentrations des poussières désertiques et les épaisseurs optiques AOD (Aerosol Optical Depth) de la situation ciblée ont été restaurées grâce à la plateforme Worldview de l'agence

américaine NASA disponible en ligne <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>. Nous avons également utilisé les images satellitaires MODIS/AQUA (images prises entre 12h et 13h locale) qui montrent la distribution spatiale des concentrations dans les zones de soulèvements de sable. Ensuite, nous avons superposé les champs de l'AOD, mesurés avec OMI (Ozone Monitoring Instrument), sur ces les images MODIS/AQUA.

Dans le but d'avoir plus d'informations sur cette situation, nous avons utilisé les images satellitaires EU-METSAT (MET10 RGB-Dust) de la journée du 22 Mars 2016 prises à 12h00 et à 15h00. Ces données d'observation sont consolidées par les mesures de l'AOD effectuées à la station de Tamanrasset disponibles sur le réseau de surveillance mondiale AERONET <http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>. Ces données seront utilisées pour une validation spatio-temporelle très localisée.

Modèle AROME et modules sable

Le modèle à échelle convective AROME Seity (2011) est opérationnel au Centre National des Prévisions Météorologiques (Algérie) depuis Avril 2014, couvrant la partie nord du pays (Latitude : 28° N - 40° N, Longitude : 3° W - 9° E). Les paramétrisations physiques du modèle sont en majeure partie héritées du modèle de recherche Méso-NH alors que la partie dynamique est une adaptation pour la fine échelle du noyau dynamique d'ALADIN. Les processus d'émission des poussières désertiques sont gérés par le modèle DEAD qui est intégré dans le système couplé AROME-SURFEX par Grini et al. (2006).

Les processus de transports, de dépôt et de lessivage sont gérés par le schéma d'aérosol log-normal ORILAM (Organic Inorganic Log-normal Aerosol Model, Tulet et al. (2010)). Enfin, les interactions avec le schéma radiatif dans l'atmosphère, sont pris en compte par le modèle AROME Grini et al. (2006). Initialement, les poussières désertiques ont été activées dans les configuration ALADIN (cycle 36) Mokhtari et al. (2012) et AROME (cycle 33) Kocha (2011) de manière opérationnelle afin de fournir des prévisions des événements de poussières durant la campagne de mesure FENNEC Chaboureau et al. (2016). En Septembre 2016, une mise à jour de la version AROME-DUST a été faite sur le cycle 40 durant le séjour scientifique de Mokhtari et Ambar à Météo France Mokhtari et Ambar (2016). Désormais, dans le même cadre, une mise à niveau de la version AROME-DUST par rapport à la version ALADIN-DUST a été faite sur la base du cycle 43.

Descriptions des simulations

Nous avons réalisé plusieurs simulations pour mettre en évidence la prévisibilité des poussières désertiques avec un modèle de prévision à l'échelle convective et leur impact radiatif. Le domaine d'intégration est centré sur l'Algérie, il contient 1024 x 972 points et 60 niveaux verticaux avec une résolution horizontale de 3 km (Fig. 1).

Dans un premier temps, nous avons effectué une simulation de référence ou du contrôle (AROME-CTL) : la chaîne AROME a été lancée en débranchant les modules sable. Dans un second temps, nous avons branché les poussières dans AROME pour prévoir leurs concentrations dans l'atmosphère et déduire ainsi l'impact radiatif exercé par ce type d'aérosols par le biais des anomalies de

températures et de rayonnement de surface. Cependant, il est nécessaire de signaler que les simulations AROME-DUST ont été réalisées sur la base de la version DEAD révisée Mokhtari et al. (2012). Pour notre cas d'étude, les simulations ont été lancées 2 jours auparavant pour éliminer ainsi le phénomène de spin-up dû au défaut d'initialisation.

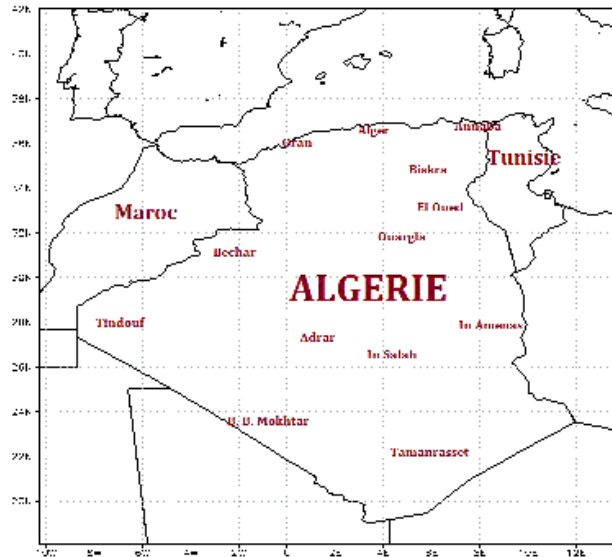


Figure 1. Domaine d'intégration AROME-DUST-Algérie

3. Résultats et discussion

Étude de la situation du 22 Mars 2016

Analyse de la situation

La particularité du modèle AROME réside dans ses paramétrisations physiques conçues principalement pour la détection et le suivi des situations convectives. Afin de mettre en évidence cette particularité, nous avons choisi une situation marquée par un épisode de soulèvement de sable et un important système pluviaux-orageux sur la région du bassin occidental et le nord de l'Algérie, avec le creusement d'une vaste zone dépressionnaire sur la méditerranée centrale (Fig. 2).

Sur la partie Sud de l'Algérie, on observe une activité de nature convective sur un axe allant de Tindouf jusqu'au Nord-est du Sahara, provoquant sur cette région un épisode important de soulèvement de sable, en particulier sur Biskra, El-Oued et les frontières Algéro-Tunisiennes (Fig. 3).

Les épaisseurs optiques obtenues par la combinaison des images satellitaires MODIS/AQUA prises à 12h40 avec la réflectance corrigée Suomi NPP/VIIRS durant la journée ciblée, représentées par la Figure 4, montrent que cette situation était en effet marquée par un épisode important de soulèvement de sable. Les panaches de poussières désertiques peuvent s'observer nettement sur l'image satellitaire MODIS/AQUA, avec des épaisseurs optiques (AOD) élevées sur plusieurs localités du Sud de l'Algérie, avec des valeurs supérieures à 2 sur la région Nord-est du Sahara. Ces AOD élevées enregistrées la journée du 22 Mars sont confirmées par les mesures obtenues sur le site Aéronet de Tamanrasset (Fig. 5).

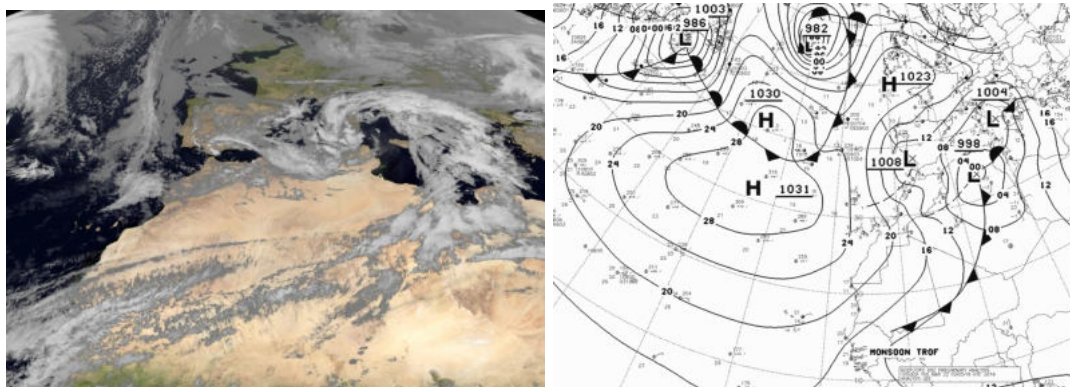


Figure 2. Situation synoptique de la journée du 22 Mars 2016 à 12h.

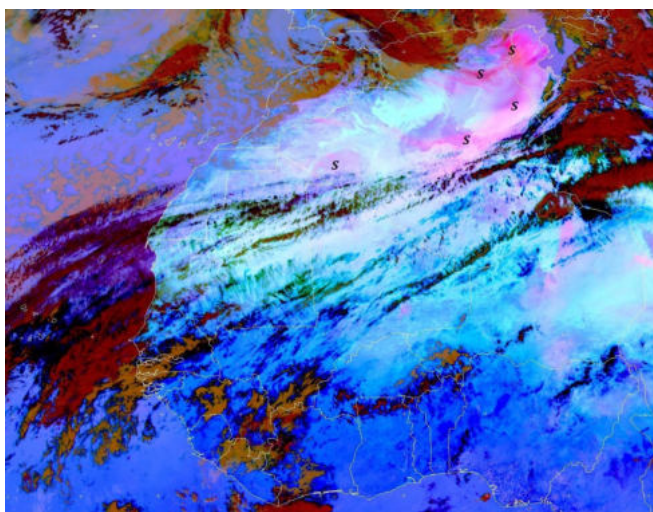


Figure 3. Image satellitaire (EUMETSAT) de la journée du 22 Mars 2016 à 12h.

Simulation de la situation du 22 Mars 2016

Les résultats des simulations seront présentés ci-dessous en termes de concentration de poussières désertiques en surface, de distribution des épaisseurs optiques (AOD) et de visibilité en présence de sable.

La Figure 6 représente les concentrations des poussières désertiques prévues par AROME-DUST et ALADIN-DUST pour la journée du 22 Mars 2016 à 12h, et l'image satellitaire correspondant. La figure montre que les panaches de poussières désertiques ont été très bien reproduit par les deux modèles, en termes de distribution spatiale et temporelle. Cependant, il est bien clair que la configuration AROME-DUST élargi la zone de soulèvement de sable prévue, en particulier sur le Sahara centrale, l'extrême Sud et les frontières Algéro-Tunisienne.

En comparant avec la situation réelle, la configuration AROME-DUST prévoit encore mieux la distribution spatiale des panachés de sable.

Les épaisseurs optiques prévues par AROME-DUST suivent la même allure que les concentrations en termes de distribution spatio-temporelle (Fig.7), mais aussi par rapport aux prévisions ALADIN-DUST qui semblent être sous-estimées face à la situation réelle (Fig. 7).

En termes d'intensité, les deux modèles donnent pratiquement les mêmes valeurs, avec des maximums qui peuvent atteindre 1,8 dans les deux cas, ce qui est très proche de la réalité.

Les champs de visibilité prévus par AROME-DUST

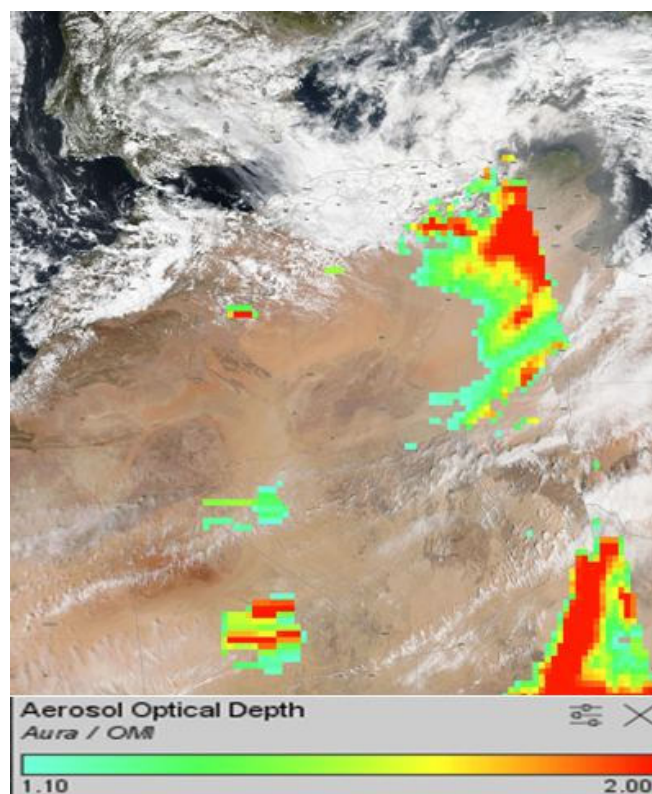


Figure 4. Les épaisseurs optiques AOD obtenues par la combinaison des images satellitaires MODIS/AQUA prises à 12h40 UTC avec la réflectance corrigée Suomi NPP/VIIRS, pour la journée du 22/03/2016.

montrent des valeurs inférieures à 3000m sur toute la région Nord-est du Sahara (Fig. 8), avec localement des valeurs qui sont inférieures à 1000m. Pour les champs prévus par ALADIN-DUST, si l'allure générale de la situation a été reproduite, les plus faibles valeurs ont été rarement inférieures à 1000m.

En consultant les METAR rédigés pour cette situation (22/03/2016 à 12h), sur plusieurs stations d'observations au Sud de l'Algérie, nous avons constaté que l'effet de la résolution (3km de résolution pour AROME-DUST) permet une meilleure prévision des soulèvements de sable en termes de visibilité (Fig. 9).

Sur les six stations choisies pour valider la visibilité par rapport aux simulations, nous avons remarqué que les prévisions AROME-DUST s'approchent plus des valeurs réelles que celles d'ALADIN-DUST.

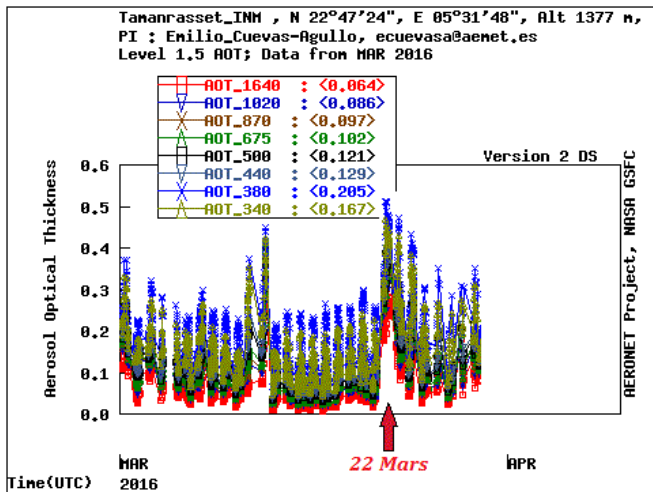


Figure 5. Les moyennes journalières des épaisseurs optiques enregistrées durant le mois de Mars 2016 sur la station de Tamanrasset (Source : <http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>).

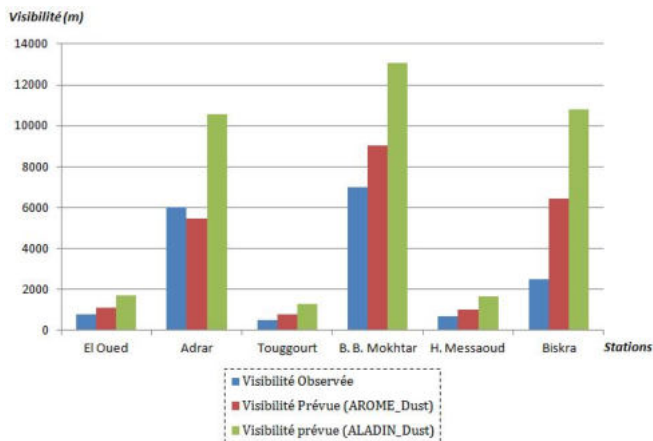


Figure 9. Comparaison entre les visibilités observées sur 6 stations du Sud Algérien et les visibilités prévues par ALADIN-DUST et AROME-DUST pour la journée du 22 Mars 2016 à 12h00.

Forçage radiatif des poussières désertiques

Le rayonnement solaire net est donné par la Figure 10. Cette figure montre que les zones de faibles valeurs de rayonnement dans le Sud correspondent exactement aux zones de fortes valeurs de concentrations des poussières désertiques.

La différence des champs de rayonnement net reçu en surface entre AROME-DUST et AROME-CTL et celle de la température à 2m révèle que la présence des poussières désertiques a provoqué une diminution du flux radiatif net à la surface de 10 à 100W/m².

Parfois, l'impact radiatif atteint 200W/m² dans les zones à fortes concentration de sable (Fig. 11).

En termes de forçage thermique, la présence des poussières désertiques diminue sensiblement les températures à 2m, avec notamment des différences qui peuvent atteindre 1,5 °C (parfois même 2 °C) dans les zones de soulèvements de sables.

4. Conclusion

Ce travail avait pour objectif de montrer l'apport du schéma physique et de l'échelle convective dans la

modélisation du cycle des aérosols désertiques.

Le schéma physique utilisé dans le modèle AROME à été principalement développé au CNRM dans le but de mieux saisir la convection et du coup les updrafts et les downdrafts pour le renouvellement des cellules convectives.

Une meilleure prise en compte de ces derniers à permis d'améliorer la prévision des épisodes de soulèvements de poussières désertiques par la configuration AROME-DUST. De plus, les fortes résolutions horizontales (03 km) et verticales (60 niveaux) du modèle AROME ont fortement contribué à l'amélioration des prévisions.

C'est d'ailleurs ce qui est nettement perceptible en comparant les observations avec les simulations ALADIN-DUST et AROME-DUST, où l'on constate que ce dernier s'approche plus de la réalité en termes d'intensité et de distribution spatiale. La présence des aérosols désertiques influe directement sur le bilan radiatif et diminue sensiblement le réchauffement en surface.

Cependant, la mise en opérationnel de la configuration AROME-DUST sur le calculateur de l'ONM n'est pas possible pour le moment à cause du temps de calcul énorme exigé par cette version (7 à 8 min par échéance sur 16 nœuds).

Références

- Chaboureaud, J., Flamant, C., Dauhut, T., Kocha, C., Lafore, J., Lavaysse, C., Marnas, F., Pelon, M. M. J., Martinez, I. R., Schepanski, K., and Tulet, P. (2016). Fennec dust forecast intercomparison over the sahara in june 2011., *Atmos. Chem. Phys.*, 16 :6977–6995.
- Grini, A., Tulet, P., and Gomes, L. (2006). Dusty weather forecasts using the mesonh mesoscale atmospheric model. *J. Geophys. Res.*, 111.
- IPCC-2001 (2001). *Climate change 2001, the scientific basis. Contribution of working group 1 to the third assessment report of intergovernmental panel on climate change.* Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York.
- Kocha, C. (2011). *Interactions entre poussières désertiques et convection profonde en Afrique de l'Ouest : observation et modelisation à echelle convective.* PhD thesis, Université de Toulouse 3.
- Mokhtari, M. and al. (2012). Importance of the surface size distribution of erodible material : an improvement on the dust entrainment and deposition (dead) model. *Geosci. Model Dev.*, 5 :581–598.
- Mokhtari, M. and Ambar, A. (2016). Updating and validation of arome dust ; stay report., Technical report, CNRM.
- Seity, Y. (2011). The arome-france convective-scale operational model. *AMS.*
- Tulet, P. and al. (2010). Mixing of dust aerosols into a mesoscale convective system : Generation, filtering and possible feedbacks on ice anvils. *Atmos. Res.*

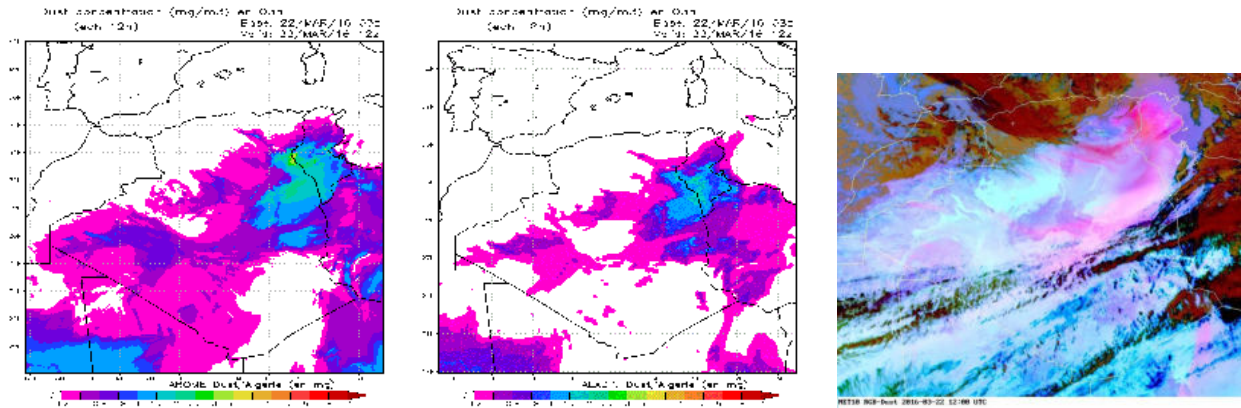


Figure 6. Concentrations des poussières désertiques prévues par AROME-DUST et ALADIN-DUST pour la journée du 22 Mars 2016 à 12h, et image satellitaire correspondant à la même situation.

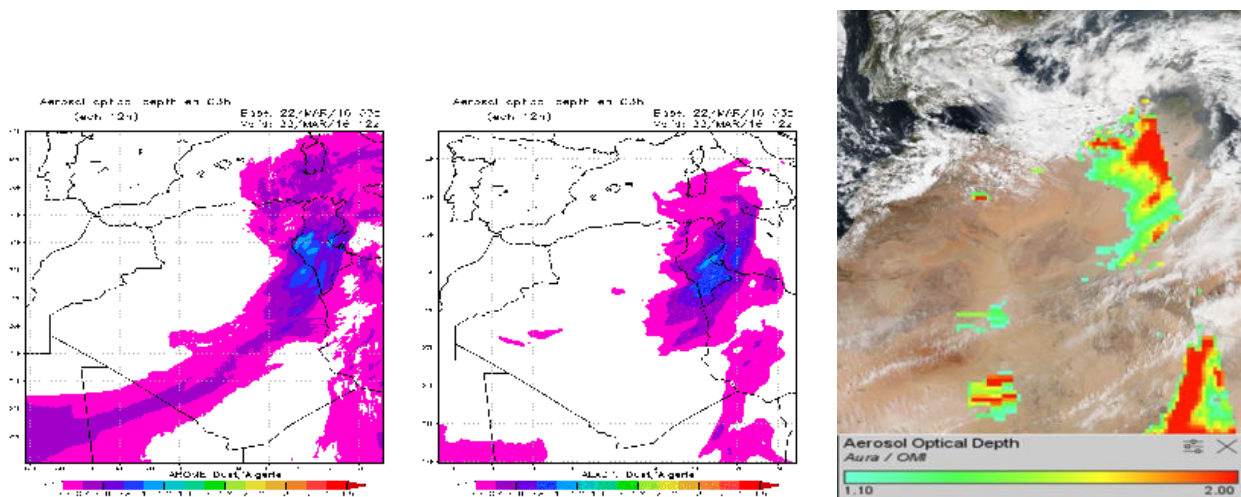


Figure 7. Epaisseurs optiques AOD prévues par AROME-DUST et ALADIN-DUST pour la journée du 22 Mars 2016 à 12h, et image satellitaire correspondant à la même situation.

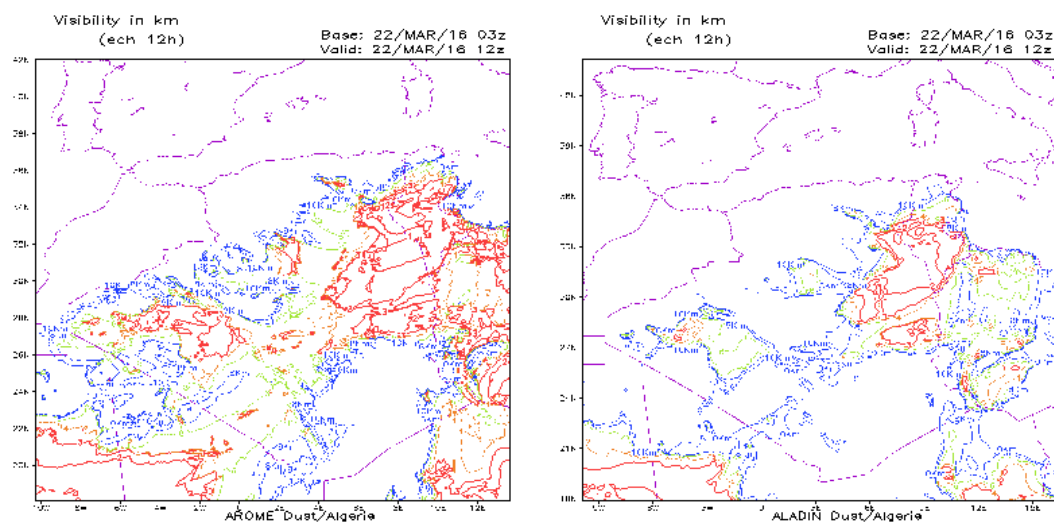


Figure 8. Les visibilités réduites en présence du sable prévues par AROME-DUST et ALADIN-DUST pour la journée du 22 Mars 2016 à 12h.

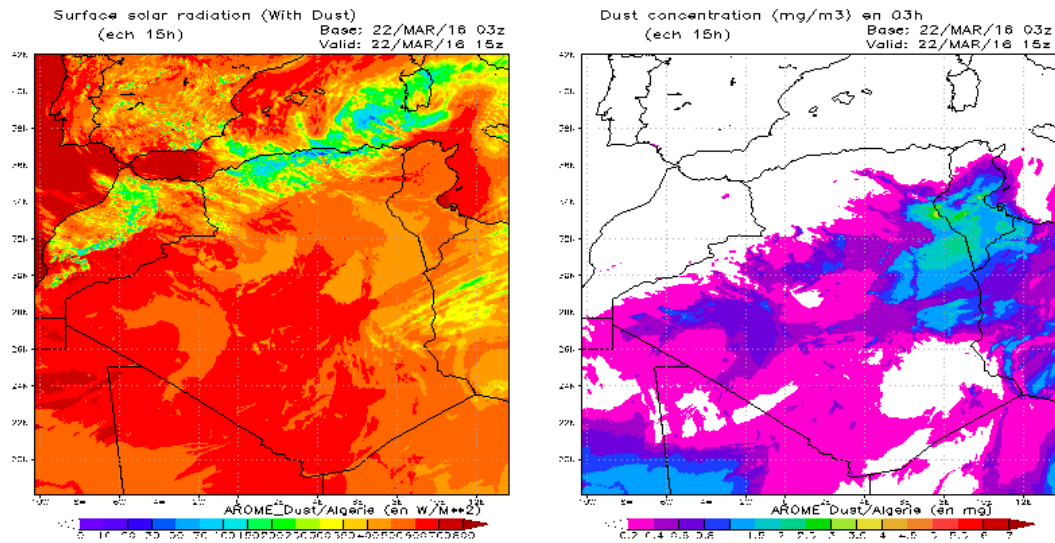


Figure 10. Champs de rayonnement de surface (à gauche) et de concentration du sable (à droite) prévues par AROME-DUST pour la journée du 22 Mars 2016 à 15h.

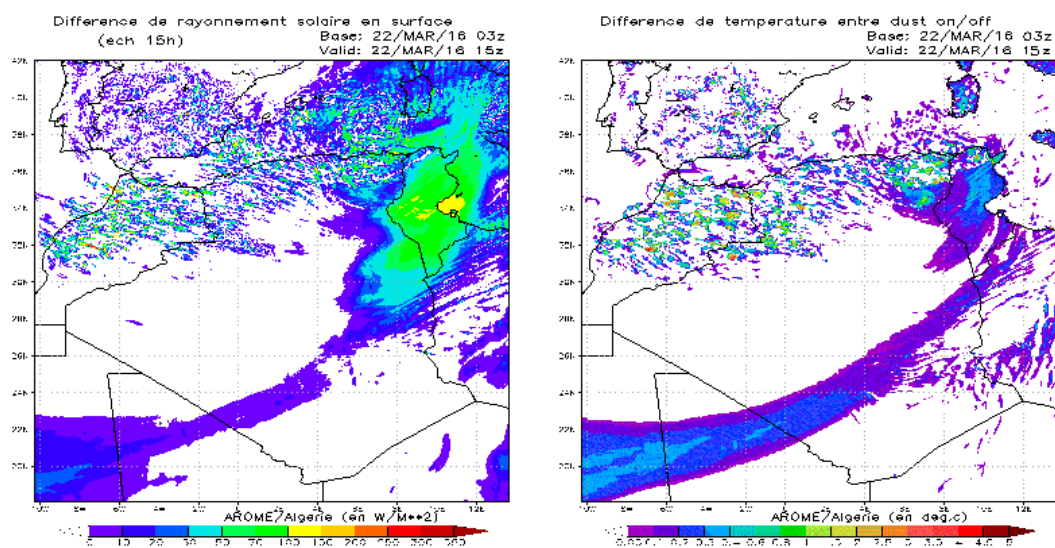


Figure 11. Champs de différence de rayonnement en surface (à gauche) et de différence de température à 2m (à droite) prévues par AROME-DUST pour la journée du 22 Mars 2016 à 15h.