

Produits de prévision des Tempêtes de Poussière et de Sable: Niger

Ernest Werner, AEMET
Gerardo García-Castrillo, AEMET
WMO Barcelona Dust Regional Center

Atelier SDS-WAS Afrique CREWS
Online, 11 Mars 2025



Outline

- 1 **Introduction: SDS-WAS**
- 2 **Sources de poussières minérales**
- 3 **Cycle de la poussière**
- 4 **Modèle opérationnel: MONARCH**
- 5 **Produits multimodèle**
- 6 **Système d'alerte de tempêtes de poussière et sable**
- 7 **Links**

Outline

- 1 **Introduction: SDS-WAS**
- 2 Sources de poussières minérales
- 3 Cycle de la poussière
- 4 Modèle opérationnel: MONARCH
- 5 Produits multimodèle
- 6 Système d'alerte de tempêtes de poussière et sable
- 7 Links

WMO SDS-WAS

WMO SDS-WAS: Contexte et objectifs

- Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (2004-2007)
- Système d'avertissement et d'évaluation des tempêtes de sable et de poussière
- Amélioration de l'observation et de la prévision des tempêtes de sable et de poussière
- Diffusion des connaissances et des produits
- Impacts sur la santé, transport, énergie solaire, climatologie, météorologie,...
- Centres régionaux: Pékin (Asie 2008), Barcelone (NAMEE 2010), Barbados (Amérique 2016-2017), Jeddah (GCC 2023)



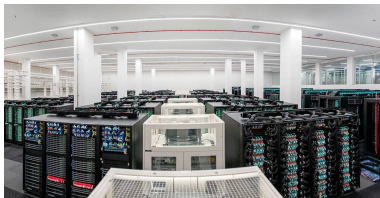
WORLD
METEOROLOGICAL
ORGANIZATION



GAW

Barcelona Dust Regional Center: centre opérationnel

- Barcelona Dust Forecast Center (RSMC-ASDF 2014)
- Centre météorologique régional spécialisé pour les prévisions de sable et de poussière atmosphériques
- Barcelona Dust Regional Center (2022) → Nouvelle page web!
- AEMET & BSC (Barcelona Supercomputing Center)
- Pékin: deuxième centre opérationnel 2017



Marenostrum 5: BSC



Cirrus-Atos: AEMET

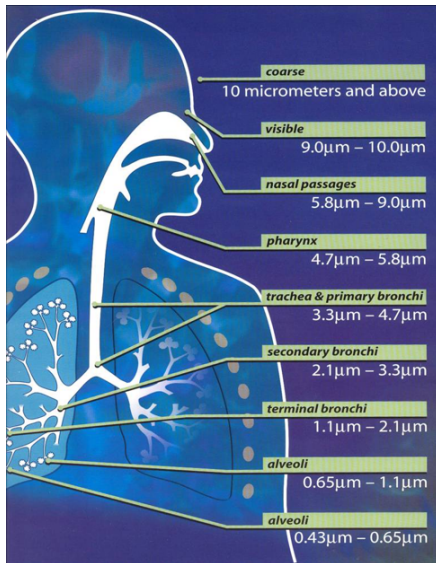


Impacts: Local & Global

- Météorologie
- Climatologie
- Transport
- Qualité de l'air & Santé
- Énergie solaire
- Agriculture
- Écosystèmes



Impacts sur la santé



Particules > PM10

- Irritations cutanées
- Conjonctivite, infections oculaires

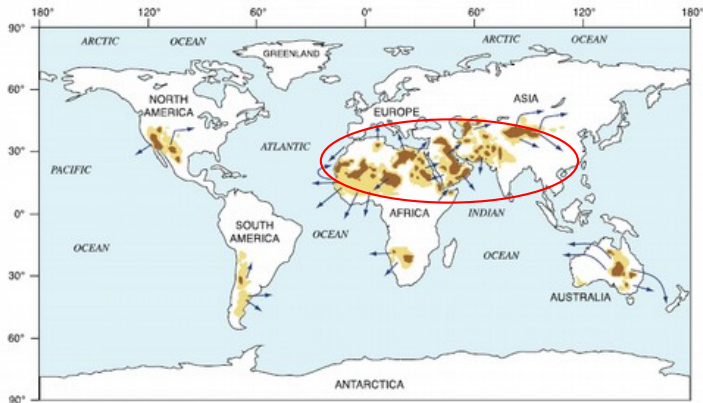
Particules < PM10 (respirables)

- Rhinite allergique
- Irritation aux muqueuses
- Trachéite & Bronchite
- Emphysème & Pneumonie
- Silicose (poumon du désert)
- Fièvre de la Vallée
- **Méningite** → **Sahel**
- Maladies cardio-vasculaires

Outline

- 1 Introduction: SDS-WAS
- 2 Sources de poussières minérales
- 3 Cycle de la poussière
- 4 Modèle opérationnel: MONARCH
- 5 Produits multimodèle
- 6 Système d'alerte de tempêtes de poussière et sable
- 7 Links

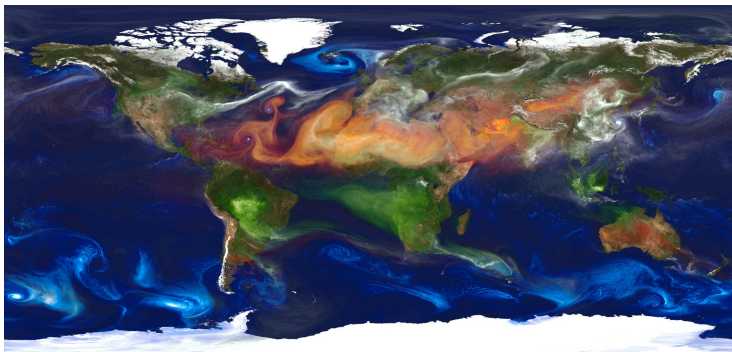
Principales sources de poussières minérales



Source: Muhs and others, 2014

- **Ceinture de poussière (Dust Belt):** Afrique du Nord, Moyen-Orient et Asie occidentale
- **Autres sources :** Amérique, Afrique du Sud, Australie

Distribution géographique de la poussière: problème global ou local ?



GEOS 5: Modèle atmosphérique global avec assimilation de données

Orange: Poussière minérale

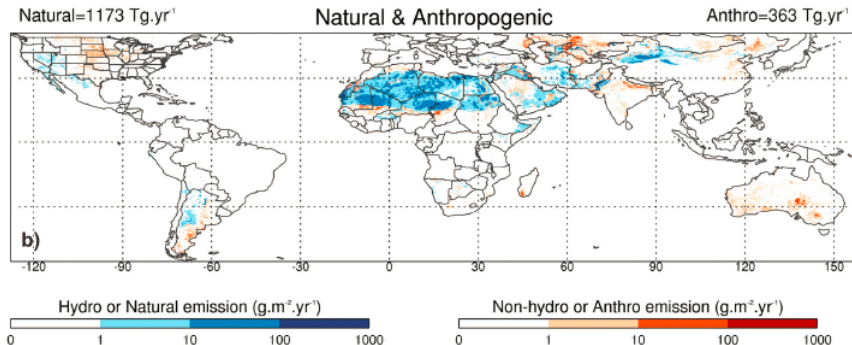
Blue: sel marin

Green: combustion de la biomasse

White: Sulfates



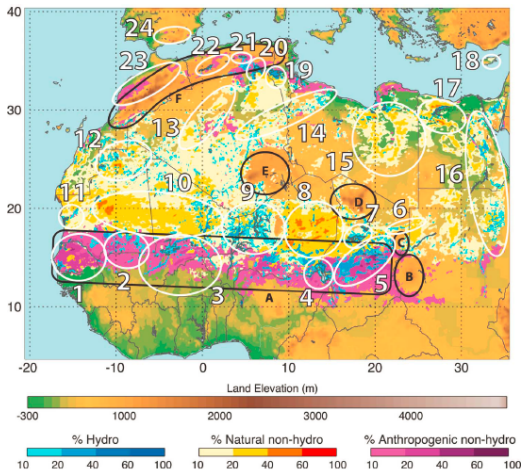
Sources de poussière: Anthropiques & Naturelles (25 % vs 75 %)



Source: Paul Ginoux et al, 2012

Satellites polaires Terra/Aqua, MODIS Deep Blue Level 2

Sources de poussière moitié nord de l'Afrique: Anthropiques & Naturelles



...

- 6, Mourdi depression
- 7, Bodélé depression
- 8, Grand Erg of Bilma
- 9, river drainage basin of the Aïr
- 15, Libyan Desert
- A, the Sahel
- B, the Ouaddaï Highlands
- C, Ennedi
- D, Tibesti
- E, Ahaggar
- F, Atlas Mountains

Carte de source active de poussière → MONARCH

Source: Paul Ginoux et al, 2012

Données: MODIS Deep Blue Level 2

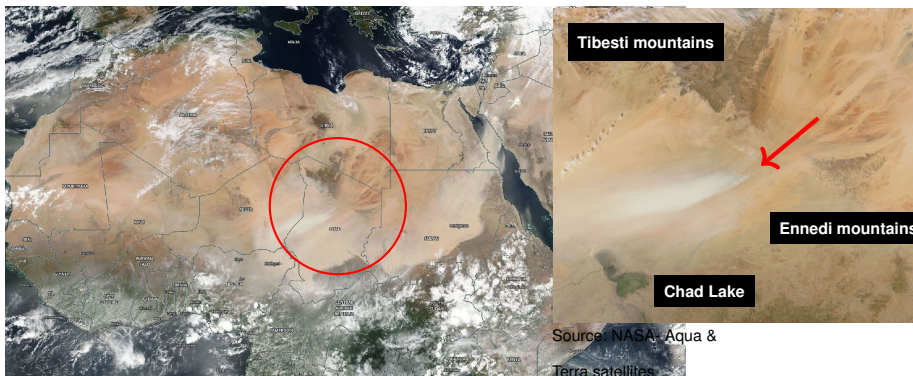
UN Reports

- Sand and Dust Storms Compendium - UNCCD 2022
- Global Assessment of SDS - UNEP 2016
- Émissions mondiales annuelles de poussière: 1536 Tg yr-1
- ~ 3000 ULCC or 154 pyramides de Gizeh
- 25 % sources anthropiques (principalement agriculture)
- 75 % provenant de sources de poussière naturelles
- L'Afrique du Nord contribue à plus de la moitié des émissions mondiales de poussière
- Le Sahara est la source naturelle la plus importante
- Les émissions de poussières du Sahel sont liées à l'utilisation des terres : agriculture



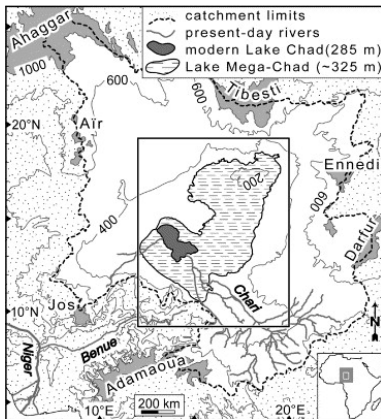


Sahara, dépression de Bodélé & l'Amazonie (Ilan Koren et al 2006)



- Bodélé: la plus grande source ponctuelle
- 0.7 Tg par jour (hiver)
- 40 Tg/yr du Sahara à l'Amazonie → La moitié du Bodélé
- Link: Prospero et al. 2020 → MERRA → 8 - 10 Tg/yr !!

Bodélé et Lac Mega-Chad



Holocène Lac Méga-Chad Shuster et al.



Source: US Geological Survey

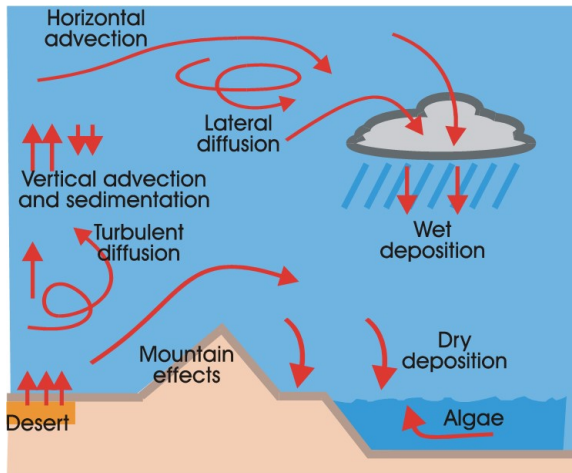
Dust as a tipping element: The Bodélé Depression, Washington et al, 2009

- Holocène Lac Méga-Chad: 350,000 km²
- Diatomées → Silice
- rempli/vidé 3 à 4 fois au cours des 3000 à 4000 dernières années
- Jet de basse altitude (LLJ): vitesse maximale at 200 m altitude
- maximum à 11 h en SFC

Outline

- 1 Introduction: SDS-WAS
- 2 Sources de poussières minérales
- 3 Cycle de la poussière**
- 4 Modèle opérationnel: MONARCH
- 5 Produits multimodèle
- 6 Systeme d'alerte de têtes de poussière et sable
- 7 Links

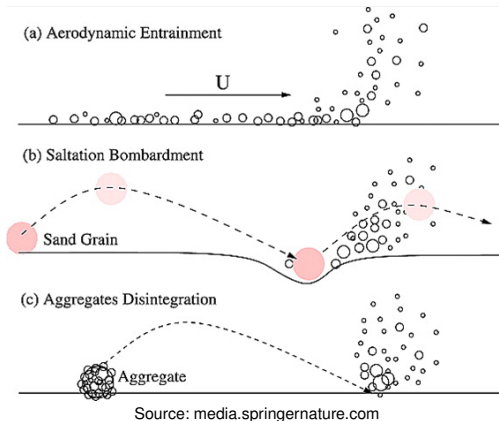
Cycle de la poussière



Source: Barcelona Dust Forecast Center

- Émission
- Mouvement vertical
- Transport
- Dépôt humide & Sec

Émission: Saltation & Sandblasting



- Suspension directe → force de cohésion → vent fort
- Le moyen le plus efficace d'émission de poussière → **saltation** (flux horizontal) et **sandblasting** (flux vertical) → V^3

Émission: Le seuil d'érosion dépend de l'état du sol



Dry session



croûte du sol

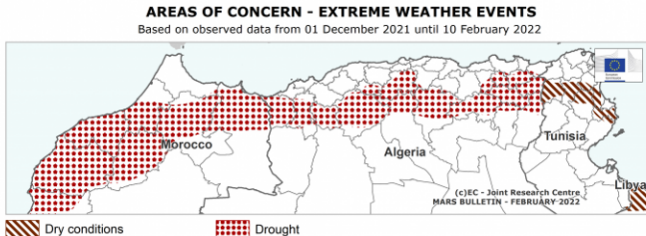


Saison des pluies → Sol inondé

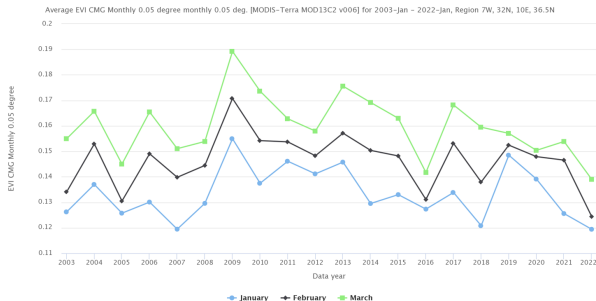


couverture neigeuse

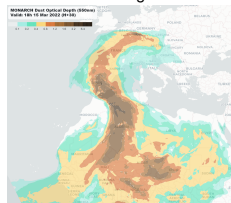
Émission: Le seuil d'érosion dépend de l'état du sol



Interannual Time Series



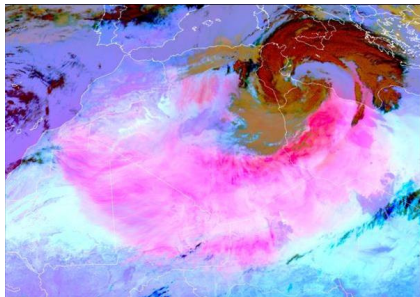
EVI: Enhanced Vegetation Index



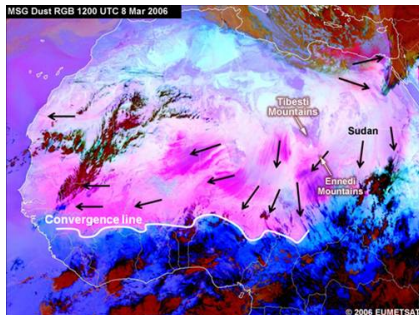
Facteurs météorologiques

Phénomènes synoptiques et méso-alpha

- Vents du système frontal
- Alizés-Harmattan



RGB images: Magenta →
Poussière



Facteurs météorologiques

Phénomènes méso-gamma et micro-échelle

- Vents orographiques
- Convection : Haboob et Dust devils



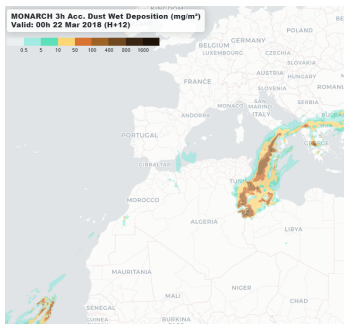
Source & link to the video: DVArchive

Transport de poussière

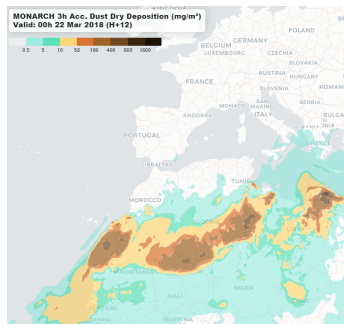
- Modifications de la composition chimique
- Augmentation de la capacité à agir comme noyau de condensation
- Augmentation de la solubilité du Fe

Source: The Godzilla Dust Event as seen by SEVIRI, Qian Tan et al.

Dépôt humide (pluie) & Sec (force gravitationnelle)



Source: Alfons Puertas. Observatori Fabra



Source: Michael Freeman. Khartoum Haboob

Outline

- 1 Introduction: SDS-WAS
- 2 Sources de poussières minérales
- 3 Cycle de la poussière
- 4 Modèle opérationnel: MONARCH**
- 5 Produits multimodèle
- 6 Système d'alerte de tempêtes de poussière et sable
- 7 Links

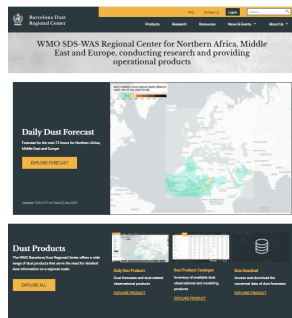
Modèle opérationnel: MONARCH (<https://dust.aemet.es>)

Multiscale Online Nonhydrostatic AtmospheRe CHemistry

- Exécution: Tous les jours à 12 UTC, 84 h prévision, 3 h intervalle
- Résolution: $0.1^\circ \times 0.1^\circ$
- Domaine: Afrique du Nord, Moyen-Orient et Europe (NAMEE)

Variables

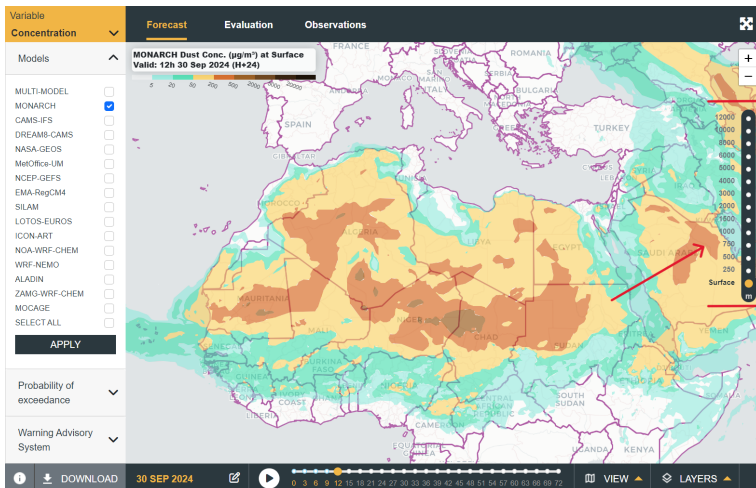
- **Concentration de poussière en surface** [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- Extinction [M/m]
- Charge de poussière [g/m^2]
- **Épaisseur optique des poussières (Dust AOD) [-]**
- Dépôt sec [mg/m^2]
- Dépôt humide [mg/m^2]



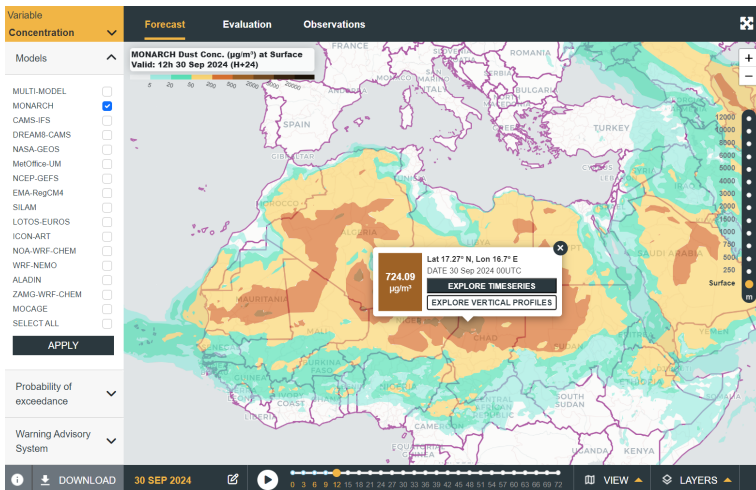
MONARCH: Concentration en surface & Épaisseur optique AOD

- Impacts de la poussière à la surface
- Stations de la qualité de l'air
→ PM10
- Dust AOD [–] → quantité totale de poussière dans l'atmosphère
- Propriétés optiques → Satellite AOD, AERONET

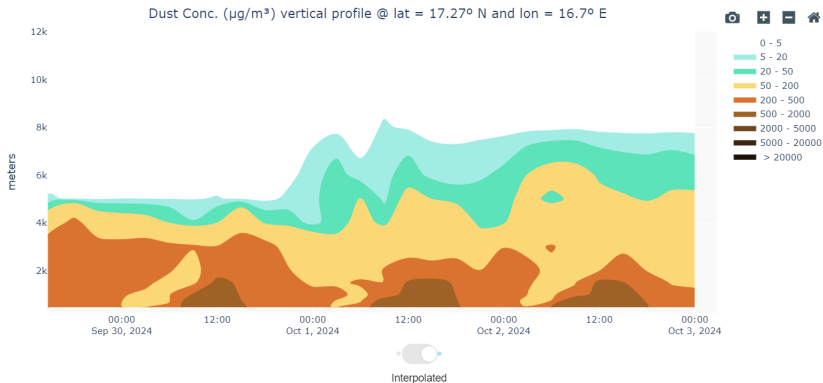
MONARCH: Concentration en altitude et profils verticales



MONARCH: Concentration en altitude et profiles verticales



MONARCH: Concentration en altitude et profils verticales

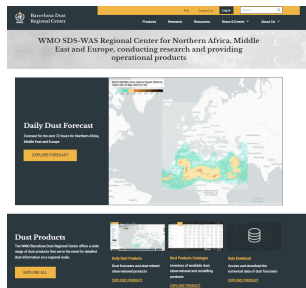


Outline

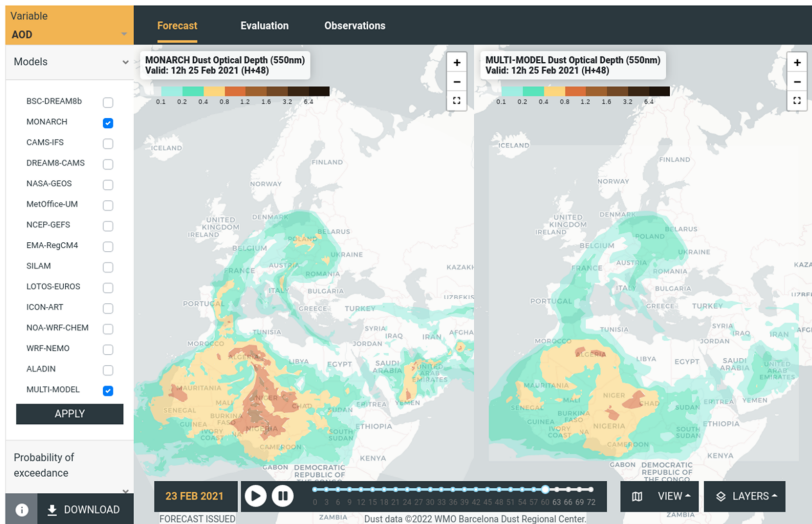
- 1 Introduction: SDS-WAS
- 2 Sources de poussières minérales
- 3 Cycle de la poussière
- 4 Modèle opérationnel: MONARCH
- 5 Produits multimodèle**
- 6 Systeme d'alerte de têtes de poussière et sable
- 7 Links

Multimodèle (15 modèles) (Link: Technical report multimodel)

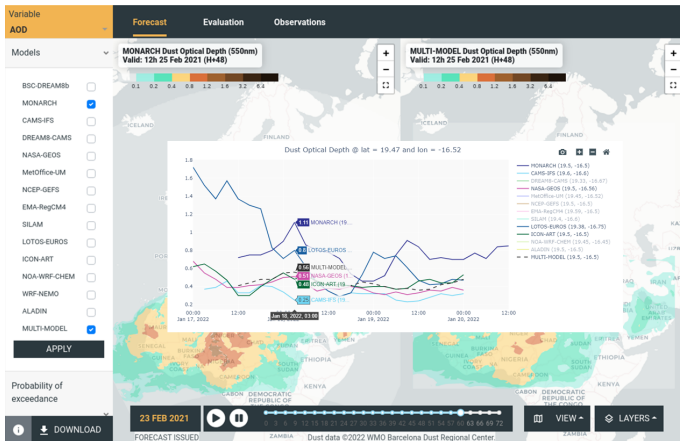
Model	Institution	Domain	Data Assimilation
BSC-DREAM8b_c2 (End 2022)	BSC-CNS 	Regional	NO
CAMS-ECMWF	ECMWF 	Global	MODIS-AOD
DREAM8-NMME-CAMS	SEEVCCC 	Regional	ECMWF dust-analysis
NMMB/MONARCH	BSC-CNS 	Regional	NO
MetUM	Met Office 	Global	MODIS/Aqua
GEOS-5	NASA 	Global	MODIS
GEFS	NCEP 	Global	NO
EMA REG CM4	EMA 	Regional	NO
NOA-WRF-CHEM	NOA 	Regional	NO
WRF-NEMO	NOA 	Regional	NO
SILAM	FMI 	Global	NO
LOTOS-EUROS	TNO 	Regional	NO
ALADIN-DUST	ONM-Algeria  ALADIN Consortium	Regional	NO
ICON-ART	DWD 	Regional/Global	NO
ZAMG-WRF-CHEM	ZAMG 	Regional	NO
MOCAGE	MétéoFrance 	Global	MODIS and VIIRS



Comparaison des modèles et MULTIMODEL (médiane)



Comparaison des modèles et MULTIMODEL (médiane)



● série temporelle des modèles

Système de prévision d'ensemble multimodèle

Variables

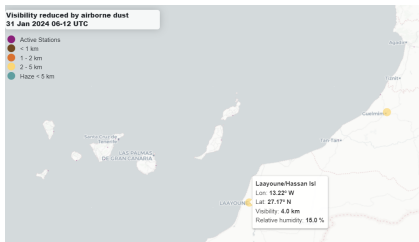
- Concentration de poussière en surface
- Épaisseur optique (AOD) de poussière

Objectives

- Les prévisions d'ensemble consistent en les calculs de modèles individuels (membre de l'ensemble)
- Condense toutes les prévisions dans un produit plus simple
- Probabilité objective de la situation météorologique

Cartes de probabilité

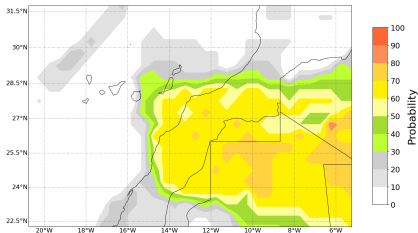
Cartes de probabilité: Exemple Visibilité



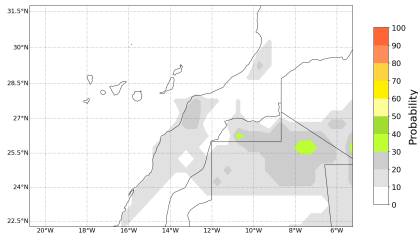
Eq Visibilité-Concentration (d'Almeida et Izaña)

VIS [m]	DA Eq [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	IZO Eq [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
10000	189	141
8000	219	180
5000	301	302
3000	429	529
1500	699	1135
1000	933	1772
500	1535	3800

Probability of Visibility below **5000 m**
ENS members: **8** Run: 30/01/24 Valid for: **00 – 09 UTC 31/01/24**



Probability of Visibility below **1000 m**
ENS members: **8** Run: 30/01/24 Valid for: **00 – 09 UTC 31/01/24**



Outline

- 1 Introduction: SDS-WAS
- 2 Sources de poussières minérales
- 3 Cycle de la poussière
- 4 Modèle opérationnel: MONARCH
- 5 Produits multimodèle
- 6 Système d'alerte de tempêtes de poussière et sable**
- 7 Links

MAC-CLIMA INTERREG & CREWS



MACCLIMA

Interreg



MAC 2014-2020
Coopération Territoriale



MAC-CLIMA INTERREG

- MAC: Madeira, Açores, Canarias
- Sénégal, Cabo Verde, Mauritanie

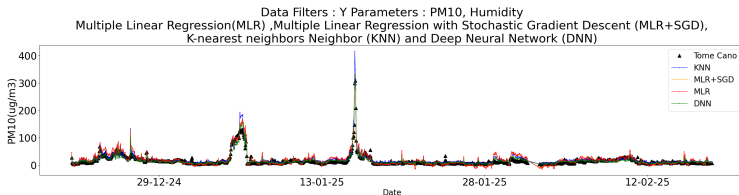
CREWS - OMM

- Climate Risk and Early Warning Systems
- Burkina Faso (2018) → Chad, Mali, Niger

Actions proposées (2020-2025)

- Expansion du système d'alerte de Burkina Faso
- Ateliers de formation en ligne
- Installation de compteurs PM & Calitoo → Évaluation du système d'alerte

MAC-CLIMA INTERREG & CREWS

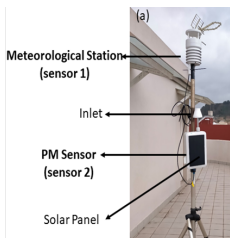


ID 1362
Counts 1362
Pearson 0.94
R2 score 0.77
BIAS 3.67
MSE 108.24
RMSE 10.4
MAE 5.87
MAPE 45.85 %
Pm10 = 0.76KNN+1.41

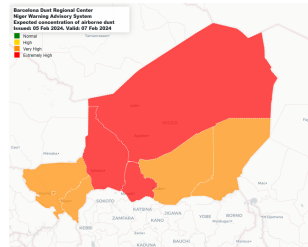
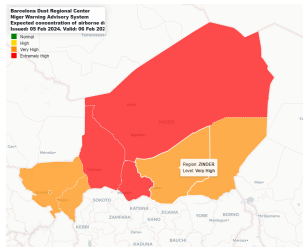
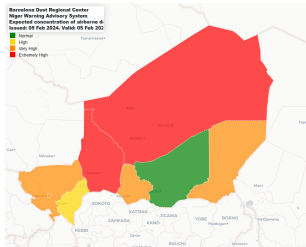
ID 1362
Counts 1362
Pearson 0.93
R2 score 0.74
BIAS 3.04
MSE 120.83
RMSE 10.99
MAE 7.45
MAPE 61.5 %
Pm10 = 0.75MLR+SGD+2.16

ID 1362
Counts 1362
Pearson 0.93
R2 score 0.73
BIAS 2.84
MSE 127.46
RMSE 11.29
MAE 7.67
MAPE 64.3 %
Pm10 = -0.49HR+3.64MLR+20.24

ID 1362
Counts 1362
Pearson 0.95
R2 score 0.88
BIAS -0.29
MSE 54.58
RMSE 7.39
MAE 4.45
MAPE 30.47 %
Pm10 = 0.9DNN+1.94



WAS: Carte d'alertes



- Alerte pour trois jours
- Une couleur pour chaque province
- **Vert:** Concentration Normale
- Jaune:** Élevée
- Orange:** Très Élevée
- Rouge:** Extrême



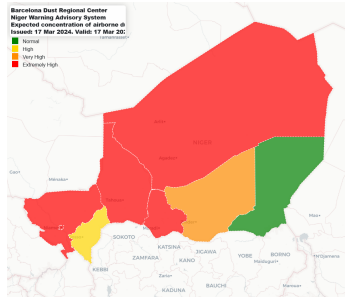
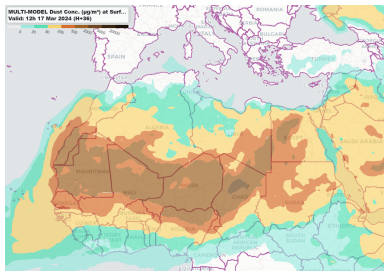
Niger: seuils d'alerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Couleur / Percentile	AGADEZ	DIFFA	DOSSO	MARADI	TAHOUA	TILLABERI	ZINDER
Jaune / 80 %	1614	1957	673	839	1040	725	1286
Orange / 90 %	1845	2313	806	973	1269	838	1594
Rouge / 97.5 %	2352	2755	992	1248	1974	1024	1880

Tableau 1: Tableau des percentiles et niveaux d'alerte (Hiver)

- Série chronologique de la médiane du multimodèle
- Calculé avec les sept dernières années
- Valeur maximale journalière de la concentration en surface
- On considère tous les points de la grille dans chaque province
- Seuils [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] basés sur les percentiles
- Comparaison prévision de la médiane avec les seuil pour assigner une couleur

WAS: Remarques importantes



Couleur / Percentile	AGADEZ	DIFFA	DOSSO	MARADI	TAHOUA	TILLABERI	ZINDER
Jaune / 80 %	1614	1957	673	839	1040	725	1286
Orange / 90 %	1845	2313	806	973	1269	838	1594
Rouge / 97.5 %	2352	2755	992	1248	1974	1024	1880

- Comparaison de la prévision de la médiane avec les seuils calculés avec la série chronologique
- Qualifier la prévision de la concentration de poussière en surface

Évaluation du système d'alerte avec les SYNOP

Méthode et données utilisées

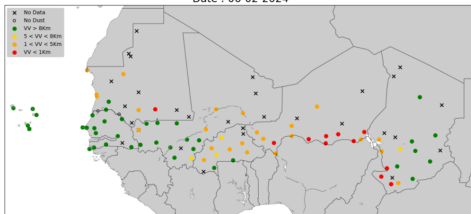
- Réduction de la visibilité, temps présent et humidité relative
- Filtrage des SYNOP
- Visibilité moyenne < 8000 m
- Humidité relative (70 %)
- Visibilité minimale journalière
- Seuils basés en les percentiles → Alertes de visibilité: jaune, orange, rouge
- Comparaison des alertes de visibilité avec des alerte du Système d'Alertes pour chaque province

Résultats et limitations du système d'évaluation

- Limitation: pas assez de SYNOP
- Évaluation qualitative → pas de données de PM

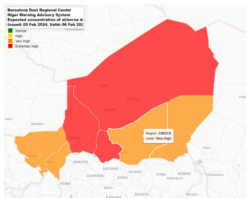
WAS Evaluation Exemple: Niger

Visibility Verification from METAR/SYNOP bulletins by Stations
Date : 06-02-2024

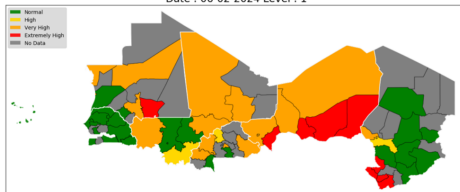


Filter METAR & SYNOP:

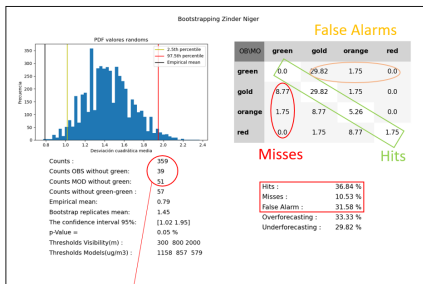
- RH < 70%
- Present Weather: DUST
- VIS daily mean < 8000 m



WAS from METAR/SYNOP bulletins THRESHOLD: Vis Range
Date : 06-02-2024 Level : 1



Warning Advisory System: Persistence Comparison

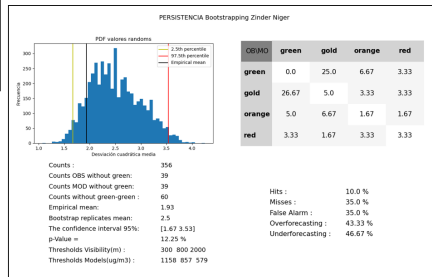


- Contingency table
- Define Index for evaluation
- No Green-Green days
- Bootstrapping
- Comparison with Persistence

WAS Evaluation 2021

Total days:	359
Days with dust event observed:	39
Days with warning observed or predicted:	59

Persistence Evaluation 2021



Warning Advisory System: Evaluation

Conclusions

- Pas assez de stations SYNOP & METAR
- Évaluation qualitative → manque de données PM
- La visibilité est un bon indicateur pour les régions proches des sources de poussière
- Moins efficace pour les régions relativement éloignées → sur la côte
- **Régions homogènes en poussière → au lieu des divisions administratives**
- Meilleur que la persistance → Les prévisions WAS sont meilleures au début et à la fin d'une situation
- Évaluation objective → mise à jour WAS

Outline

- 1 Introduction: SDS-WAS
- 2 Sources de poussières minérales
- 3 Cycle de la poussière
- 4 Modèle opérationnel: MONARCH
- 5 Produits multimodèle
- 6 Système d'alerte de tempêtes de poussière et sable
- 7 **Links**

Links: WMO Barcelona Dust Regional Center

Satellite

- EUMETSAT (géostationnaire)
- NASA (polaire)

AOD, Visibilité, et PM

- AERONET
- METAR/TAF
- AirQo
- IQAir

Information et courses

- MISVA (Monitoring and forecast of IntraSeasonal VARIability)
- MISVA: Cas d'étude
- COMET Course poussière
- EUMETSAT Workshop on Dust
- EUMETSAT Dust Aerosol Detection, Monitoring and Forecasting
- WMO SDS-WAS
- ACMAD: Warnings
- CAMS modèle: dust AOD

WMO Annual Airborne Dust Bulletin and more ...



Overview of global airborne dust in 2023

The global average of annual mean surface dust concentrations in 2023 was 2.7 $\mu\text{g m}^{-3}$, one-fifth higher than slightly lower than that in 2022 (2.8 $\mu\text{g m}^{-3}$), one 2022 (2022 Annual Dust Bulletin, p. 7). The decrease in 2023 is mainly attributed to reduced dust emissions from several dust source regions around the world, such as North Africa, the Arabian Peninsula, the Sahel region, northern India, central Australia and north-western China. But annual mean surface dust concentrations over western Central Asia, north-central China and southern Mongolia in 2023 were higher than those in 2022. Altogether, the global annual mean dust concentration was around 1.0 $\mu\text{g m}^{-3}$ in 2023.

Figure 1 shows the annual mean dust concentration in 2023. In the northern hemisphere, dust concentrations reached their highest level (1–10 $\mu\text{g m}^{-3}$) in parts of central Australia and the west coast of South Africa. Dust that originates in the Sahel region from the region of central Africa to the north of the equator is transported over hundreds to thousands of kilometres. The regions that are most vulnerable to long-range transport of dust are the northern tropical Atlantic Ocean between West Africa and the Caribbean, South America, the Mediterranean Sea, the Arabian Sea, the Bay of Bengal and central eastern China. In 2023, the transatlantic transport of African dust reached parts of the Caribbean Sea region, and East Asian dust advanced from the South China Sea to the coast of the East and Yellow Seas.

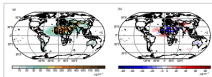


Figure 1 Annual mean surface concentration of mineral dust ($\mu\text{g m}^{-3}$) in 2023. (a) Assembly of the annual mean surface dust concentration in 2023 between 0° and 90°N. (b) Same.

Source: These results were derived from the Global Dust Reanalysis Project by Research and Applications, Paris (GDRAP) (GDRAP et al., 2023).

- COP16 UN Convention to Combat Desertification (UNCCD) Riyadh, 2-13 Dec 2024
- UN Coalition on Combating SDS:



United Nations

International Day of Combating Sand and Dust Storms, 12 July

Le travail présenté ici est possible grâce au soutien de la collaboration des membres actifs du **SDS-WAS de l'OMM** et en particulier aux partenaires du nœud régional NAMEE.

Mes remerciements aux collègues du **BSC** et de l'**AEMET**.

Merci également aux chercheurs associés de la **NASA** (i.e. AERONET, MODIS) et EUMESAT ainsi qu'aux réseaux **inDust** et **DustClim**.



@Dust_Barcelona

Merci pour votre attention!