

# POUSSIÈRES EN SUSPENSION DANS L'AIR (OMM)

# BULLETIN

## Aperçu des poussières en suspension dans l'air à l'échelle mondiale en 2024

La concentration moyenne annuelle mondiale de poussières en surface en 2024 ( $12,5 \mu\text{g m}^{-3}$ , voir la figure 1(a)) était légèrement inférieure à celle de 2023 ( $12,7 \mu\text{g m}^{-3}$ , voir le [Bulletin de l'OMM sur les poussières en suspension dans l'air, n° 8](#)). Cette baisse en 2024 est principalement attribuée à la réduction des émissions de poussières dans plusieurs régions du monde où les poussières sont actives, comme le centre-est de l'Afrique du Nord, le nord-ouest de la péninsule arabique, le désert du Thar, le nord de l'Inde, l'ouest de l'Asie centrale, le désert du Taklamakan et le désert de Gobi. Cependant, les concentrations moyennes annuelles de poussières de surface au-dessus de l'ouest de l'Afrique du Nord, de l'océan Atlantique, du sud-est de la péninsule arabique et du centre de l'Australie en 2024 étaient supérieures à celles de 2023.

Sur le plan spatial, la concentration moyenne annuelle maximale de poussières en surface estimée ( $\sim 800\text{--}1\,100 \mu\text{g m}^{-3}$ ) en 2024 a été localisée dans certaines zones du Tchad, en Afrique centrale et du Nord, où se trouve également la dépression de Bodélé, une source d'émission clé connue. Dans l'hémisphère sud, les concentrations de poussières ont atteint leur niveau le plus élevé ( $\sim 150\text{--}300 \mu\text{g m}^{-3}$ ) dans certaines parties du centre de l'Australie et de l'ouest

Côte sud-africaine. Les aérosols de poussière transportés par le vent peuvent être transportés depuis ces sources de poussières classiques vers de nombreuses régions du monde, sur des distances de plusieurs centaines, voire de milliers de kilomètres. Les régions les plus vulnérables au transport de poussières à longue distance sont : l'océan Atlantique tropical nord, entre l'Afrique de l'Ouest et les Caraïbes ; l'Amérique du Sud ; la mer Méditerranée ; la mer d'Arabie ; le golfe du Bengale ; et le centre-est de la Chine. En 2024, le transport transatlantique de poussières africaines a envahi divers endroits des Amériques, y compris certaines parties de la mer des Caraïbes.

Dans les zones les plus touchées, la concentration de poussière en surface en 2024 était supérieure à la moyenne climatologique (1981-2010). Font exception : la majeure partie de l'Afrique centrale-ouest, comprenant de grandes parties de l'Algérie, du Mali, de la Mauritanie, du Sénégal, du Niger, du Tchad, du Soudan, du Nigéria et de la Libye ; la péninsule arabique et l'Irak ; l'ouest de l'Asie centrale ; le Pakistan ; le sud de la Mongolie et le centre-nord de la Chine ; et le centre de l'Australie (Figure 1(b)). Des points chauds présentant des concentrations de poussière significativement plus élevées ont été identifiés en : Amérique du Sud, comprenant la République bolivarienne du Venezuela, la Colombie et le nord-ouest du Brésil ; sud

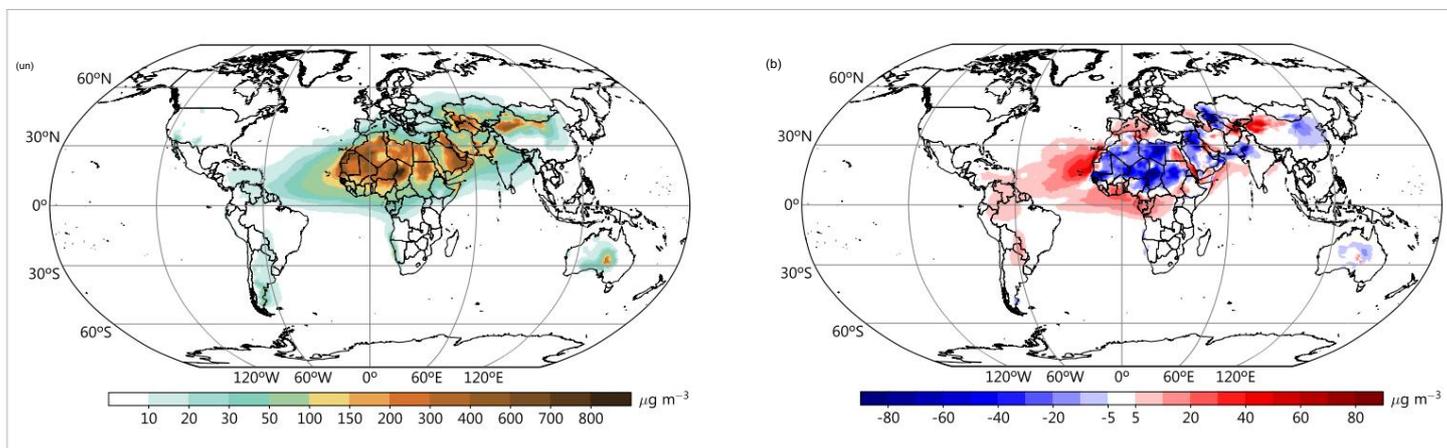


Figure 1. (a) Concentration moyenne annuelle de poussières minérales en surface (en  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) en 2024. (b) Anomalie de la concentration moyenne annuelle de poussières en surface en 2024 par rapport à la moyenne de 1981–2010.

Source : Ces résultats sont issus de l'ensemble de données MERRA-2 (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2). Pour plus de détails sur MERRA-2, voir Gelaro et al. (2017). Carte tierce. Cette carte a été fournie par l'Administration météorologique chinoise (CMA) le 1er mai 2025 et peut ne pas être entièrement conforme aux directives cartographiques des Nations Unies et de l'OMM.

L'Europe, qui couvre l'Espagne, la mer Méditerranée et l'Italie ; l'Afrique de l'Ouest, qui couvre le désert du Sahara occidental, le Libéria, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Togo, le Bénin, le Cameroun, le Gabon et le Congo ; l'Afrique du Nord-Est, y compris l'est de l'Égypte, le sud du Soudan et l'ouest de l'Éthiopie ; les zones marines de la mer Rouge et de la mer d'Arabie ; l'Asie centrale, en particulier le Kazakhstan, l'Ouzbékistan et le Kirghizistan ; le nord-ouest de la Chine ; et le corridor tropical de l'Atlantique entre l'Afrique de l'Ouest et les Caraïbes.

En 2024, l'Asie occidentale a connu une intensification des sécheresses et des régimes de vents plus forts, deux facteurs clés de l'augmentation de la fréquence et de la gravité des tempêtes de sable et de poussière (SDS). L'intensification des vents de Shamal (juin-août), provoquée par des anomalies de pression atmosphérique, ainsi que les systèmes frontaux printaniers, ont contribué de manière significative à la mobilisation des poussières, notamment en Syrie et en Irak. Par conséquent, les populations de régions comme le Koweït, l'est de l'Arabie saoudite, l'Irak, l'est de la Syrie, le sud du golfe Persique et le sud de l'Iran (du Khouzistan au bassin du Sistan) ont été fortement exposées aux tempêtes de sable et de poussière.

De nombreux facteurs environnementaux et anthropiques ont contribué à l'augmentation des émissions de poussières dans la région. Parmi ceux-ci figurent les changements d'affectation des sols, tels que le surpâturage et la déforestation, une gestion sous-optimale des terres et des ressources, l'urbanisation et l'expansion rapides des infrastructures, la réduction de la stabilité des sols et l'assèchement de zones écologiquement sensibles, telles que les marais mésopotamiens et les marais de Hammar en Irak, et le lac d'Ourmia en Iran.

Les produits de réanalyse des aérosols à l'échelle mondiale (tels que MERRA-2 (figure 1) et le Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS)) fournissent des informations précieuses sur la distribution des aérosols de poussière, mais présentent des limites notables en Amérique du Nord. Ces produits mondiaux sous-estiment souvent les émissions locales de poussière en raison d'inventaires de sources obsolètes ou à faible résolution qui ne parviennent pas à saisir la complexité des sources régionales de poussière, telles que les lits de lacs asséchés, les terres agricoles et les zones de construction dans le sud-ouest des États-Unis. Le consensus parmi les scientifiques éoliens d'Amérique du Nord est que 2024 a été une année moyenne en matière de tempêtes de sable et de poussière. Les hautes plaines du sud (SHP) du Texas et le désert de Chihuahua (CD), juste à l'ouest et au sud-ouest des SHP, constituent l'une des plus grandes sources contiguës de poussière en Amérique du Nord (Eibeding et al., 2023). Les relevés d'une station de surveillance de la qualité de l'air du Texas Council on Environmental Quality (TCEQ), située près du centre-ville d'El Paso, au Texas, ont indiqué que la norme nationale de qualité de l'air ambiant (NAAQS) pour les particules fines d'un diamètre inférieur à 10 µm (PM10) a été dépassée à quatre reprises en février et mars. Des vents violents, une faible humidité relative et une importante biomasse herbacée résiduelle due aux pluies abondantes de l'année précédente ont provoqué sept incendies de forêt dans la SHP entre fin février et début mars 2024. Le plus important de ces incendies, celui de Smokehouse Creek, a consommé plus de 4,8 millions d'hectares de prairies et de nombreuses structures, et a causé des dégâts matériels au bétail et aux humains.

Décès. Selon les habitants de la région, la couverture végétale protectrice brûlée a transformé le sol nu en une puissante source de poussière lors des journées printanières venteuses. De plus, la SHP et la CD ont connu une sécheresse anormale, voire exceptionnelle, pendant la majeure partie des deux dernières années.

Webb et al. (2025) rapportent, à partir d'une étude menée dans cette région, que le transport sédimentaire éolien peut augmenter d'un ordre de grandeur avec des pertes modestes de végétation de surface. L'analyse d'événements spécifiques par région dans ce Bulletin met en évidence les conséquences et les réponses localisées aux tempêtes de sable et de poussière majeures tout au long de l'année.

## Principaux événements de tempêtes de sable et de poussière en 2024

### Îles Canaries, décembre 2024

En décembre 2024, une poussée de poussière a été déclenchée par un système de haute pression au-dessus de l'Algérie, qui a généré une poussée d'harmattan sur une vaste région du nord-ouest de l'Afrique, en combinaison avec un système de basse pression dans l'Atlantique, à l'ouest de la péninsule ibérique.

Cette combinaison a rapidement transporté la poussière vers le nord depuis le désert du Sahara occidental, atteignant les îles Canaries. Ces épisodes de décembre transportent généralement de la poussière à basse altitude, ce qui a un impact significatif sur les concentrations de poussière en surface, là où vit la majeure partie de la population. En revanche, les épisodes de juin, juillet et août ont tendance à transporter la poussière à des altitudes plus élevées en raison de l'intensification des alizés au-dessus des îles Canaries, l'altitude du panache de poussière dépendant largement de la force de l'événement. L'extension verticale de la poussière affecte sa distance de propagation et influence non seulement le climat et la météo, mais aussi la qualité de l'air et la santé humaine.

La figure 2 présente une comparaison entre les mesures du Micro Pulse Lidar (MPL) de la NASA à Santa Cruz de Tenerife (Espagne) et les prévisions de poussière correspondantes de MONARCH. MONARCH est le système de prévision de référence du Centre régional de l'OMM pour la poussière à Barcelone. Les valeurs de concentration à différentes altitudes concordent bien avec la distribution verticale observée par lidar et prédite par le modèle. Deux couches de poussière – l'une s'étendant de la surface à 1 800 m, et l'autre entre 2 500 et 3 500 m – sont représentées par le modèle et le lidar, reflétant une distribution verticale typique au-dessus des îles Canaries. Les données de visibilité extraites des bulletins SYNOP corroborent ces valeurs, montrant une visibilité allant de 1 km à la surface à 20 km à 2 300 m d'altitude. De plus, une concentration maximale quotidienne de PM10 d'environ 400 µg m<sup>-3</sup>, mesurée à différentes stations de qualité de l'air du réseau Cabildo de Tenerife situées jusqu'à 600 m d'altitude, concordait avec les observations lidar.

Au 26 juillet 2024, les prévisions du profil de concentration de poussières de MONARCH sont disponibles sur le site web du Centre régional de l'OMM pour la poussière de Barcelone. Les informations sur la distribution verticale de la concentration de poussières sont très importantes.

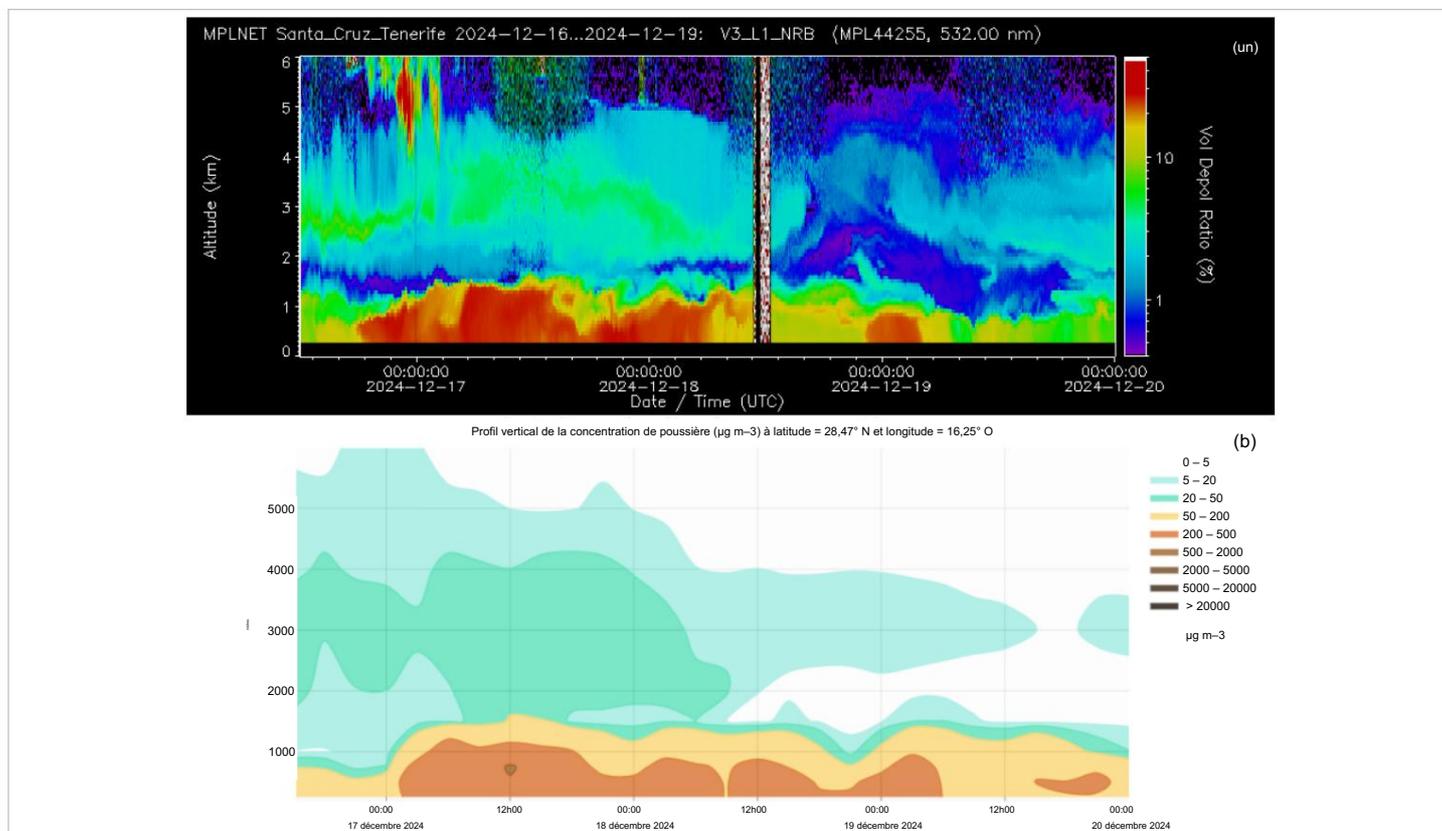


Figure 2. (a) Mesures Micro Pulse Lidar (MPL) de Santa Cruz de Tenerife. (b) Profil vertical MONARCH du 17 décembre 2024 au 20 décembre 2024.

Source : (a) NASA-MPLNet ; (b) Centre régional de l'OMM sur la poussière de Barcelone

utile pour les prévisionnistes météorologiques, car cela permet de déterminer si la poussière affectera les niveaux de concentration de poussière de surface. Le secteur de l'aviation est également fortement impacté par la poussière, et connaître l'altitude de concentration maximale de poussière le long des itinéraires de vol et à proximité des aéroports apporte une valeur ajoutée essentielle.

## Asie de l'Est, juin 2024

En 2024, l'Asie de l'Est a connu un total de 14 épisodes météorologiques de sable et de poussière, dont 10 au printemps (de mars à mai). Du 27 au 29 mars, des vents violents, dont la vitesse maximale dépassait 24 m/s, ont frappé l'est de la Mongolie et le centre de la Mongolie-Intérieure, sous l'influence d'un cyclone mongol en forte progression et d'un front froid de surface. Ces vents violents ont emporté d'importantes quantités de poussière, les transportant vers le sud-est depuis le sud de la Mongolie jusqu'à des régions densément peuplées comme la plaine de Chine du Nord et la plaine de Chine du Nord-Est (voir figure 3).

Certaines régions du centre et de l'est de la Mongolie intérieure ont connu de violentes tempêtes de sable, avec des concentrations maximales de PM10 dépassant 5 000 µg m<sup>-3</sup>. Aux premières heures du 28 mars, Pékin, affectée par ce temps poussiéreux, a enregistré une concentration maximale de PM10 supérieure à 1 000 µg m<sup>-3</sup>, et la visibilité est tombée à 1 km.

Il convient de noter que, du 21 au 24 juin, le nord de la Chine, y compris Pékin, a été frappé par un nouvel épisode de sable et de poussière. Il s'agissait d'un événement relativement rare, car les conditions météorologiques propices au sable et à la poussière

Les tempêtes de poussière qui touchent le centre et l'est de la Chine en plein été sont rares. La principale cause était la faible croissance de la végétation dans le sud de la Mongolie et dans la région sablonneuse d'Onqin Daga, due aux températures élevées et à la sécheresse de la fin du printemps et du début de l'été. Sous l'influence d'un cyclone mongol se déplaçant lentement vers l'est, des vents violents ont soulevé de multiples vagues de poussière et les ont transportées continuellement vers le sud, provoquant une concentration de PM10 à Pékin supérieure à 600 µg m<sup>-3</sup>. Cet événement a attiré l'attention du public sur la fréquence croissante des tempêtes de poussière estivales, provoquées par des conditions météorologiques extrêmes dans un climat en évolution.

## Asie de l'Ouest, décembre 2024

Entre le 14 et le 16 décembre 2024, une tempête de poussière hivernale exceptionnelle a gravement touché de vastes régions d'Asie occidentale, notamment l'Irak, le Koweït, le Qatar et la péninsule arabique. Cet épisode de poussière a eu des conséquences socio-économiques considérables. Il a entraîné d'importantes perturbations des activités, notamment l'annulation de nombreux vols, la fermeture généralisée des écoles et le report d'événements publics et en plein air.

La tempête de poussière a débuté tôt le 14 décembre et a continué à affecter gravement les villes situées sous le vent pendant plus de 48 heures. Durant cette période, elle a touché une vaste zone de plus de 650 000 km<sup>2</sup>.

La qualité de l'air s'est considérablement détériorée, les concentrations de poussière de surface atteignant des valeurs extraordinairement élevées, dépassant 5 000 µg m<sup>-3</sup> à plusieurs endroits

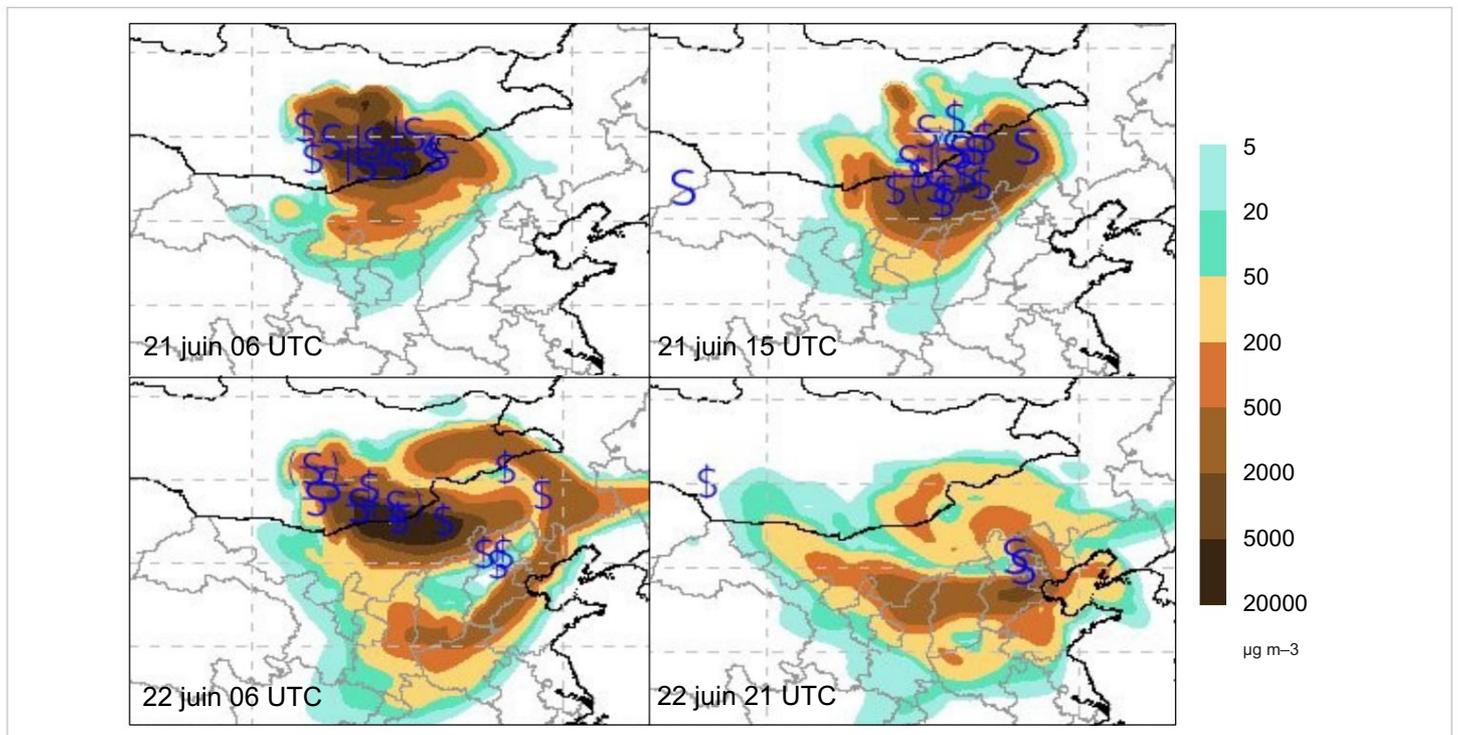


Figure 3. Comparaison entre le phénomène SDS observé (sur la base du rapport de visibilité, les symboles bleus indiquent les stations météorologiques où la poussière a été enregistrée) et les concentrations de poussière de surface prévues ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) par le système de prévision CMA les 21 et 22 juin 2024

Source : Carte tierce. Cette carte a été fournie par le Centre de prévision des poussières de l'OMM à Beijing le 3 juillet 2025 et peut ne pas être entièrement conforme aux directives cartographiques des Nations Unies et de l'OMM.

(Figure 4). En conséquence, la visibilité a considérablement diminué, tombant souvent en dessous de 1 km sur de vastes portions des régions touchées. Les villes les plus proches de la source de poussière, comme Salah Ad Din (Irak), Bagdad et Koweït, ont enregistré des concentrations de poussière significativement plus élevées que des villes plus éloignées comme Abou Dhabi, où les concentrations de poussière étaient nettement plus faibles. Originaires principalement du nord-ouest de l'Irak et du nord-est de la Syrie, l'événement a été caractérisé par une condition météorologique synoptique particulière et rare dans la région.

L'événement a été provoqué par une dynamique de courant-jet atypique et des interactions topographiques importantes.

## Recherches en cours

### Identification par télédétection de l'intensité de la poussière printanière

Le développement de technologies d'inversion de télédétection plus précises pour les aérosols de poussière est depuis longtemps un sujet d'actualité dans le domaine de l'environnement atmosphérique. Cependant, les données d'observation quadrillées de l'intensité de la poussière demeurent une lacune dans les opérations actuelles de surveillance et de prévision de la poussière. Sur la base des données du satellite géostationnaire Himawari-9, une étude récente (Jiang et al., 2024) établit une nouvelle méthode

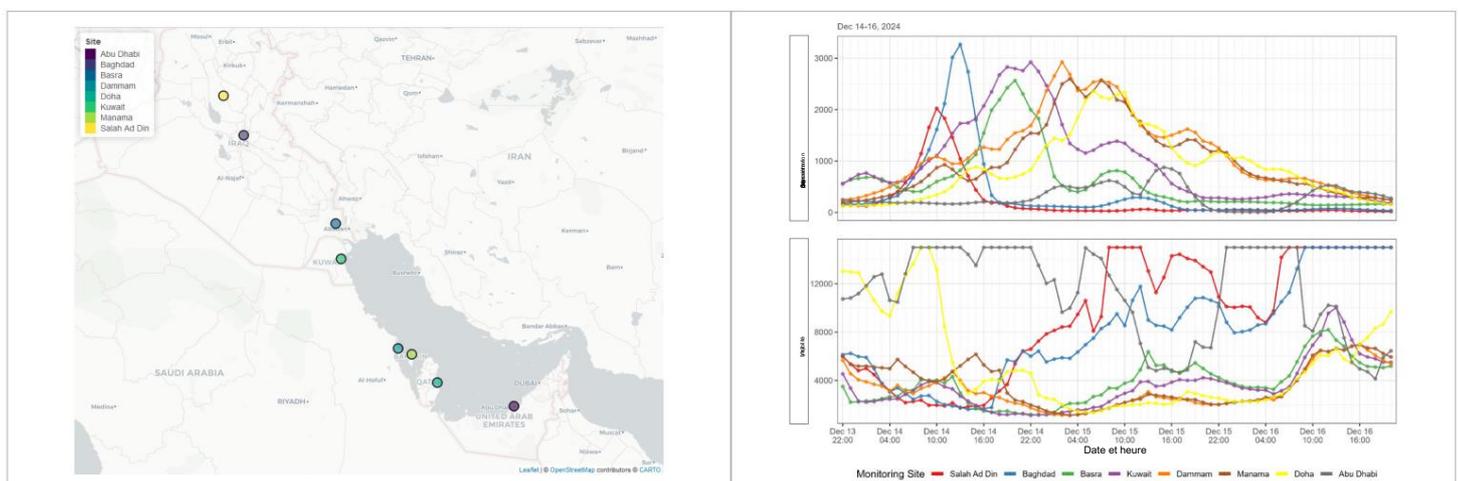


Figure 4. (a) Localisation géographique des principales villes touchées par la tempête de poussière du 14 au 16 décembre 2024. (b) Série chronologique des concentrations de poussière de surface ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) observées dans certaines villes d'Asie occidentale.

Source : Carte tierce. Cette carte a été fournie par le Centre régional de l'OMM pour la poussière de Djeddah le 3 juillet 2025 et peut ne pas être entièrement conforme aux directives cartographiques des Nations Unies et de l'OMM.

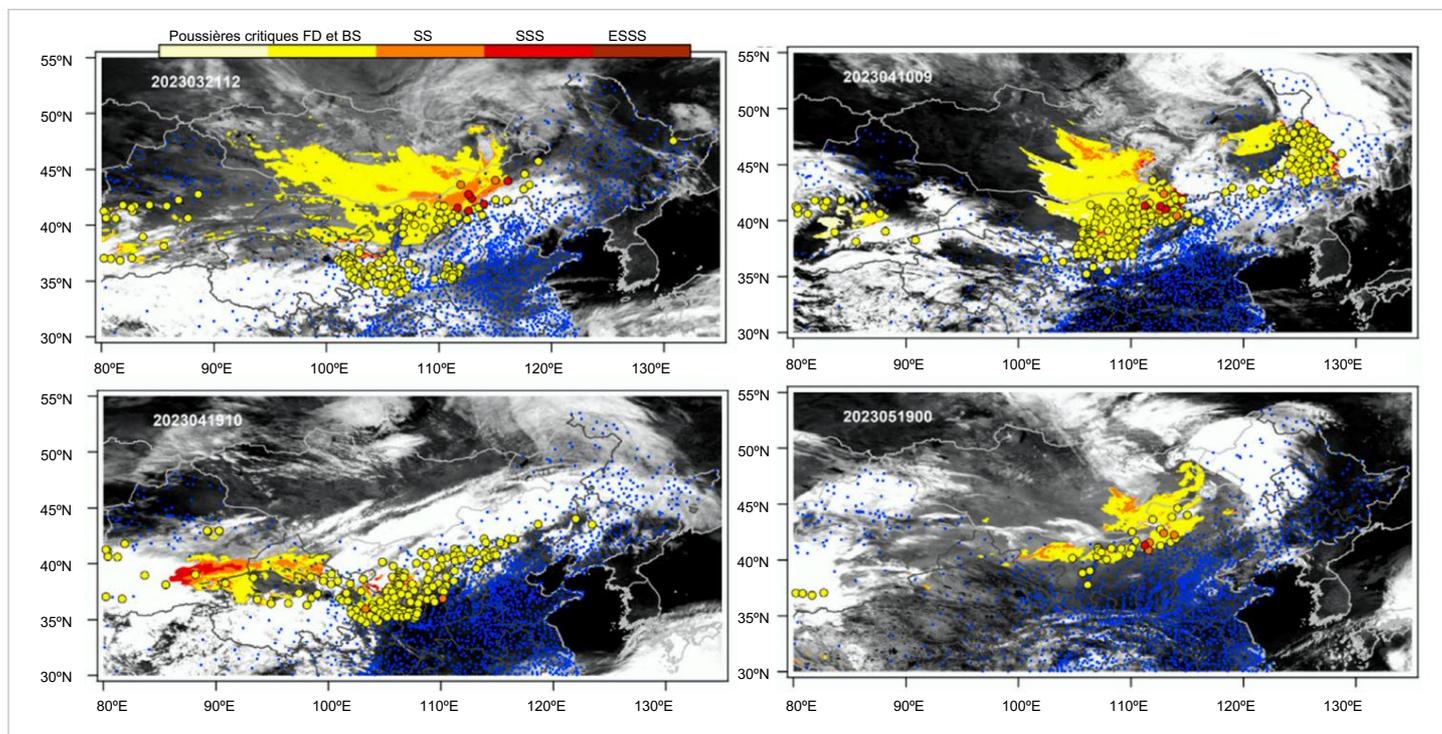


Figure 5. Comparaison des résultats d'identification par satellite du niveau de poussière avec les observations des stations proches de la surface à 12h00 UTC le 21 mars (en haut à gauche), 09h00 UTC le 10 avril (en haut à droite), 10h00 UTC le 19 avril (en bas à gauche) et 00h00 UTC le 19 mai 2023 (en bas à droite). Les fonds noir et blanc des figures représentent les images des nuages à l'heure correspondante. Les points bleus indiquent la répartition des stations d'observation au sol.

FD = poussière flottante ; BS = sable soufflé ; SS = tempête de sable ; SSS = tempête de sable violente ; ESSS = tempête de sable extrêmement violente.

Source : Carte tierce. Cette carte a été tirée de Jiang et al. (2024) le 1er mai 2025 et peut ne pas être entièrement conforme aux directives cartographiques des Nations Unies et de l'OMM.

Pour identifier les épisodes de poussière printanière. Cette méthode prend en compte l'impact des différentes surfaces terrestres, telles que les déserts ou les villes, sur les mesures du satellite. En vérifiant les différences de température de luminosité de fond depuis l'espace plusieurs fois par jour, la méthode consiste à rechercher des modèles correspondant aux niveaux de poussière mesurés au sol. Cela permet d'estimer de manière fiable l'intensité des conditions de poussière près de la surface. Les résultats de l'application de cette méthode (voir Figure 5) indiquent que l'algorithme peut identifier efficacement la présence ou l'absence de poussière, avec un taux d'erreur inférieur à 3 %. Concernant l'intensité de la poussière, l'identification du sable soufflé et de la poussière flottante concorde relativement bien avec les observations au sol, mais des incertitudes notables subsistent quant à la détermination de leur intensité pour les événements extrêmes. Deux sources d'erreur importantes dans les résultats d'identification de la poussière de cette étude sont : premièrement, les différences entre les observations au sol et l'identification par satellite causées par la poussière non terrestre en altitude ; deuxièmement, le choix des seuils d'identification de la poussière.

#### Cartographie en temps réel de la surface PM10 sans interruption sur 24 heures

La cartographie à grande échelle de la concentration de PM10 en surface reste un objectif clé pour la surveillance des tempêtes de sable et de poussière. Les approches de fusion de données satellitaires basées sur la profondeur optique des aérosols (AOD) découplent efficacement la relation non linéaire AOD-PM10, facilitant ainsi l'acquisition de données PM10 à haute résolution. Cependant, ces méthodes sont limitées par leur incomplétude spatiale et l'absence de données.

de données nocturnes. Zhang et al. (2025) ont introduit un cadre de récupération en temps réel des PM10 de surface basé sur la visibilité quadrillée (RT-SPMR) pour la Chine. Ce cadre utilise des entrées de données multisources, la visibilité quadrillée servant de variable clé (Zhang et al., 2024a) et emploie des modèles d'apprentissage automatique mis à jour dynamiquement pour produire des données PM10 sur 24 heures sur une grille de 6,25 km.

Prenant comme exemple la tempête de poussière record de mars 2021, le modèle RT-SPMR a démontré son efficacité pour suivre l'évolution à petite échelle du processus d'intrusion de poussière, notamment dans les zones sous-observées (figure 6). Par conséquent, le cadre opérationnel RT-SPMR offre une capacité complète de surveillance en temps réel de la pollution aux PM10 en Chine et présente un potentiel significatif pour améliorer la précision des modèles de prévision des tempêtes de poussière en améliorant le champ initial de PM10.

#### Répartition mondiale des poussières diffusantes et absorbantes récupérées à partir des observations AERONET

Le réseau robotique aérosol (AERONET, <https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>), AERONET, un réseau mondial de photomètres solaires, fournit des mesures cohérentes des propriétés optiques des aérosols dans divers environnements depuis plus de 30 ans. Des scientifiques du monde entier ont utilisé les données d'AERONET pour étudier les caractéristiques des aérosols dans des lieux précis et à l'échelle mondiale. En analysant le comportement de la lumière lorsqu'elle traverse ces particules, les chercheurs ont pu identifier différents types d'aérosols et estimer la quantité de chaque type.

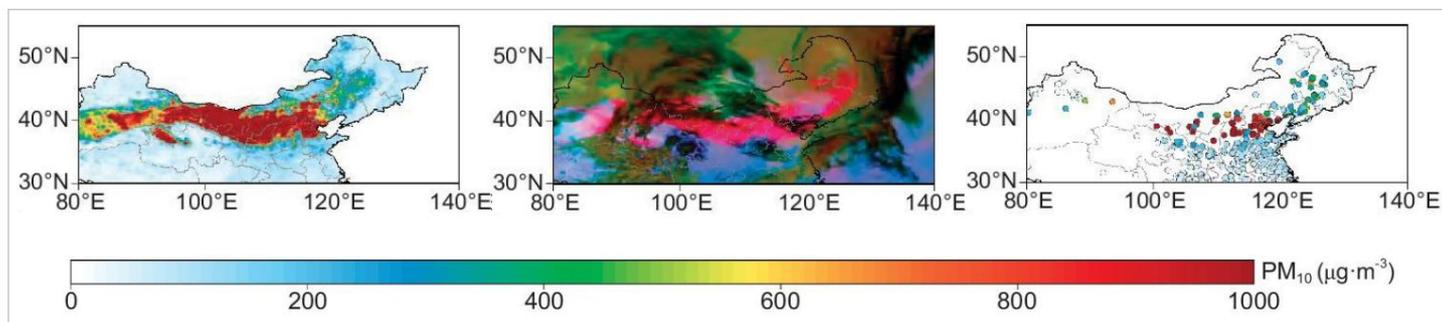


Figure 6. Suivi d'un processus d'incursion de tempête de poussière à grande échelle à l'aide de PM10 sans interruption, à partir d'un modèle de récupération de PM10 en temps réel basé sur la visibilité (RT-SPMR). Les panaches de poussière, révélés par les récupérations de PM10 sans interruption (à gauche), les images composites RVB de poussière Himawari-8 (au centre) et les observations de PM10 (à droite), ont été observés à 16 h 00 CST (heure normale de Chine) le 15 mars 2021.

Source : Carte tierce. Cette carte a été tirée de Zhang et al. (2025) le 1er mai 2025 et pourrait ne pas être entièrement conforme aux directives cartographiques des Nations Unies et de l'OMM.

présent dans l'air. Les activités de coopération internationale sont fondamentales pour soutenir les mesures à long terme.

À titre d'exemple, la coopération scientifique officielle entre l'Espagne et Cuba soutient depuis plus de 15 ans les observations, le transfert de savoir-faire et la recherche conjointe sur les propriétés optiques des aérosols à Cuba. Antuña-Marrero et al. (2025) décrivent l'origine, l'évolution, les obstacles et les résultats scientifiques obtenus grâce à cette coopération. La première étape a été la mise en place, en 2007 à Camagüey, dans l'est de Cuba, de mesures in situ de PM. Plus tard, en 2008, un photomètre solaire CIMEL a été installé au même endroit. Les données de Camagüey, combinées à celles des stations AERONET de Ragged Point (Barbade), de Guadeloupe et de La Parguera (Porto Rico), ont permis de déterminer la climatologie des propriétés optiques des aérosols dans les îles des Caraïbes (voir Rodríguez Vega et al., 2022).

Pour mieux comprendre l'impact des aérosols sur le climat et la météo, les chercheurs examinent des caractéristiques spécifiques telles que la quantité de lumière absorbée ou diffusée par les particules, ainsi que leur taille. Certaines méthodes antérieures estimaient la quantité de chaque composant d'un aérosol à l'aide de certaines propriétés optiques issues des données AERONET, mais ces estimations pouvaient parfois être inexactes.

Une étude récente (Zhang et al., 2024b) a utilisé une nouvelle approche d'inversion des composantes permettant de récupérer directement la concentration des composants d'aérosols à partir des mesures de radiance et d'AOD spectrales d'AERONET. Cette méthode a été développée dans le cadre de la méthode GRASP (Generalized Retrieval of Atmosphere and Surface Properties).

Algorithme de recherche de composants permettant une analyse détaillée de la composition des aérosols. L'étude a analysé les données recueillies sur 191 sites AERONET entre 2012 et 2021. L'objectif était de caractériser la variabilité spatiale et temporelle des principaux composants des aérosols, notamment la poussière, le carbone noir, la matière organique et les sulfates, et d'évaluer leur rôle respectif dans les effets radiatifs des aérosols.

Les poussières absorbantes (principalement des oxydes de fer) et diffusantes sont principalement réparties dans des régions telles que le désert du Sahara, l'Asie de l'Ouest et l'Asie du Sud (illustrées dans les figures 7(a) et (b)).

Français Le Sahara demeure la plus grande source mondiale de poussière atmosphérique, avec des concentrations annuelles en colonnes dépassant 1 580 mg/m<sup>2</sup> (diffusion) et 20 mg/m<sup>2</sup> (absorption) sur des sites comme Cinzana (Mali), Banizoumbou (Niger) et Dakar (Sénégal). Durant la période juin-juillet-août (JJA), ces concentrations augmentent considérablement, atteignant plus de 2 700 mg/m<sup>2</sup> (diffusion) et 50 mg/m<sup>2</sup> (absorption) à Cinzana et Banizoumbou, représentant 1,8 % à 2,0 % de la poussière totale.

Des niveaux élevés de poussière sont également enregistrés en Asie du Sud et de l'Ouest, avec des valeurs de 1 761 mg/m<sup>2</sup> à Pune (Inde) et de 1 523 mg/m<sup>2</sup> à Mezairaa (EAU). L'Asie du Sud présente de fortes variations saisonnières, avec un pic de poussière à JJA et un pic secondaire en septembre-octobre-novembre (SON).

Kanpur (Inde) enregistre des concentrations de poussières dispersées allant jusqu'à 2 530 mg/m<sup>2</sup> dans la JJA, tandis que Jaipur (Inde) enregistre des concentrations de poussières absorbantes à 22,6 mg/m<sup>2</sup>. En revanche, l'Asie de l'Est atteint un pic en mars-avril-mai (MAM), avec des valeurs atteignant 1 600 mg/m<sup>2</sup> (dispersion) et 11 mg/m<sup>2</sup> (absorption) à Pékin. En Asie de l'Ouest, les concentrations maximales dans la JJA dépassent 1 800 mg/m<sup>2</sup> au Koweït et à Mezairaa (EAU), tandis que la période décembre-janvier-février (DJF) présente une activité minimale, à savoir 1,1 mg/m<sup>2</sup> de poussières absorbantes à Sede Boker (Israël). En revanche, l'Europe continentale, l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud ont des niveaux de poussières

L'Amérique du Nord reçoit la poussière saharienne de la JJA via les vents d'est tropicaux. Le bassin amazonien reçoit tout au long de l'année d'importantes quantités de poussière africaine, provenant principalement de la dépression de Bodélé, qui alimentent les écosystèmes de forêt tropicale. Ces panaches mettent 7 à 10 jours à arriver et interagissent avec les aérosols marins, la combustion de la biomasse et les émissions locales liées à la déforestation, contribuant ainsi à la stabilité des profils d'aérosols grossiers. Les différences régionales dans la minéralogie de la poussière jouent un rôle essentiel dans la détermination des propriétés d'absorption et de diffusion. Par exemple, la poussière d'Afrique du Nord contient souvent de fortes concentrations de minéraux riches en fer, comme l'hématite, qui améliorent l'absorption et réduisent la réflectivité, notamment dans le spectre visible. En revanche, la poussière de régions comme l'Asie centrale ou l'Australie tend à être dominée par des silicates plus légers comme le quartz et le feldspath, ce qui entraîne une diffusion plus importante et une absorption plus faible. Ces variations minéralogiques entre les régions sources soulignent l'importance d'une caractérisation spécifique de la poussière à chaque région.

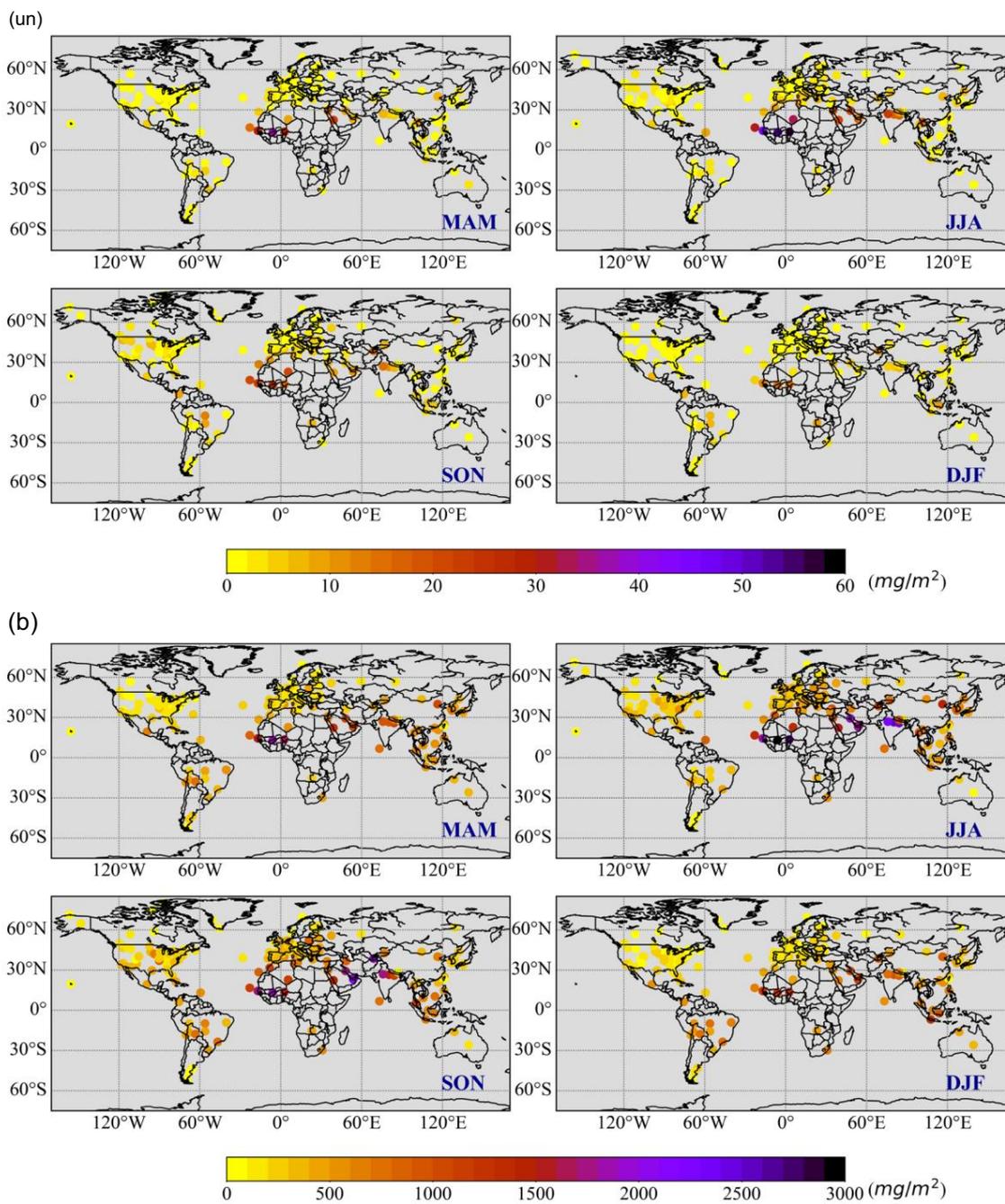


Figure 7. Distribution spatiale saisonnière de (a) la concentration massique de poussière absorbante et (b) de la colonne de poussière diffusante ( $mg/m^2$ ) dérivée des observations AERONET sur 191 sites en utilisant l'approche GRASP/Component pour la période

2012-2021. Source : Carte tierce. Cette carte a été tirée de Zhang et al. (2024b) le 1er juin 2025 et peut ne pas être entièrement conforme aux directives cartographiques des Nations Unies et de l'OMM.

### Premiers résultats modélisés de la minéralogie de la poussière mondiale à l'aide de la carte source NASA-EMIT

Les minéraux présents dans la poussière atmosphérique jouent un rôle crucial dans l'interaction de celle-ci avec les composants pertinents du système terrestre. Les oxydes de fer, tels que l'hématite et la goéthite, absorbent le rayonnement à ondes courtes (Sokolik et Toon, 1999 ; Di Biagio et al., 2019), influençant ainsi le bilan énergétique de la Terre, tandis que le quartz ou les feldspaths potassiques agissent comme des noyaux de glace efficaces (Atkinson et al., 2013 ; Harrison et al., 2019), contribuant à la formation de nuages en phase mixte. Les minéraux ferreux et phosphorés transportent des nutriments essentiels aux écosystèmes terrestres et marins (Mahowald et al., 2009 ; Yu et al., 2015), tandis que

affectent l'acidité des aérosols et interviennent dans les processus de la chimie atmosphérique. L'intégration de ces effets complexes dans les modèles du système terrestre (ESM), fondamentaux pour les évaluations climatiques, reste un défi en raison de nos connaissances limitées sur la minéralogie des sources de poussière et sa distribution granulométrique à l'émission (voir, par exemple, Gonçalves Ageitos et al., 2023 ; Obiso et al., 2024 ; Song et al., 2024).

Les ESM s'appuyaient jusqu'à présent sur des atlas minéralogiques des sols, créés par extrapolation d'un ensemble limité d'observations. Le spectromètre imageur haute résolution EMIT (Earth Surface Mineral Dust Source Investigation Spectrometer) de la NASA, embarqué dans l'espace planéaire, a permis la génération de

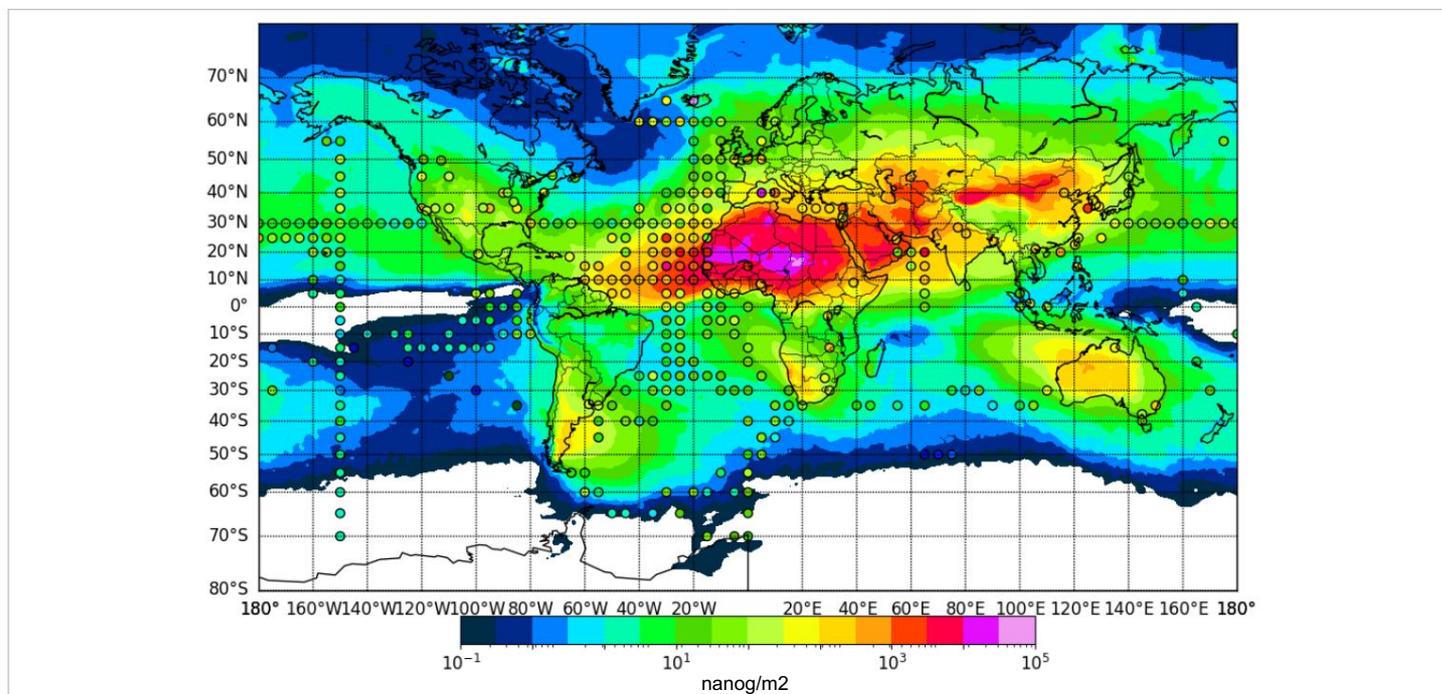


Figure 8. Fer simulé en 2019 dans les PM<sub>2,5</sub> en ng m<sup>-3</sup> par rapport aux observations de SPARTAN (<https://www.spartan-network.org/data>), ainsi que contre les observations climatologiques de la concentration en fer à la surface recueillies par Myriokefalitakis et al. (2018)

Source : Carte tierce. Cette carte a été fournie par le CEPMMT le 1er mai 2025 et peut ne pas être entièrement conforme aux directives cartographiques des Nations Unies et de l'OMM.

cartes d'abondance des minéraux du sol à l'échelle mondiale, contraintes par l'observation (Green et al., 2020 ; Thompson et al., 2023 ; Mahowald et al., 2024).

La première version de la carte a été adoptée comme descripteur de source dans quatre ESM différents avec une représentation minéralogique explicite. Il s'agit notamment de MONARCH (Klose et al., 2021, et références citées) et du Système intégré de prévision (IFS-COMPO) du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT).

(Rémy et al., 2022). MONARCH est le système de prévision de référence du Centre régional de l'OMM sur la poussière de Barcelone et IFS-COMPO est au cœur du service de surveillance de l'atmosphère Copernicus (CAMS).

Un ensemble de simulations MONARCH, contraintes par des réanalyses, montre des améliorations par rapport aux simulations analogues réalisées avec les atlas de sols précédents, notamment dans la caractérisation des oxydes de fer et de la calcite par région.

La figure 8 présente une comparaison entre le fer simulé par IFS-COMPO dans les PM<sub>2,5</sub> et les observations du Réseau de particules de surface (SPARTAN), ainsi que les observations climatologiques de la concentration superficielle en fer. Cette version étendue du système CAMS est désormais utilisée pour créer un ensemble de données à long terme (2003-2026), avec un schéma amélioré d'émission de poussières développé dans le cadre du projet Horizon Europe CAMS Aerosol Advancement (CAMAERA), et sans assimilation de données sur la composition atmosphérique. Le résultat sera une simulation tri-horaire des émissions, des concentrations, des dépôts et de la charge de 12 espèces minéralogiques, qui sera mise à disposition de la communauté scientifique et du grand public via le CAMS Atmosphere Data Store (<https://ads.atmosphere.copernicus.eu/>).

## Autres nouvelles

### Décennie des Nations Unies sur les tempêtes de sable et de poussière

Le 10 juillet 2024, l'Assemblée générale des Nations Unies a officiellement proclamé par consensus la période 2025-2034 Décennie des Nations Unies pour la lutte contre les tempêtes de sable et de poussière. La résolution correspondante charge le Secrétaire général des Nations Unies de coordonner les efforts mondiaux, régionaux et nationaux pendant ces dix années, en se concentrant sur la prévention, l'arrêt et l'atténuation des effets néfastes des tempêtes de sable et de poussière. La résolution met l'accent sur le recours au financement volontaire, notamment du secteur privé.

La mise en œuvre est conçue pour être hautement collaborative, en s'appuyant sur la Coalition des Nations Unies pour la lutte contre les tempêtes de sable et de poussière afin de faciliter le partage de systèmes d'alerte précoce, de conseils scientifiques, de gestion durable des terres et d'efforts de reboisement.

### Lancement du satellite EarthCARE et son application à la surveillance des poussières en suspension dans l'air

Earth Cloud Aerosol and Radiation Explorer (EarthCARE) est une mission satellitaire développée par l'Agence spatiale européenne (ESA) et l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale (JAXA). Le satellite EarthCARE a été lancé le 28 mai 2024 à 22h20 UTC. Ses quatre instruments scientifiques, embarqués sur une plateforme unique, sont un lidar atmosphérique (ATLID), un radar profileur de nuages (CPR) avec fonction Doppler, un imageur multispectral (MSI) et un radiomètre à large bande (BBR). L'ensemble de données homogènes de profils verticaux d'aérosols à l'échelle mondiale d'EarthCARE, en synergie avec les observations au sol et les modèles numériques, devrait améliorer notre

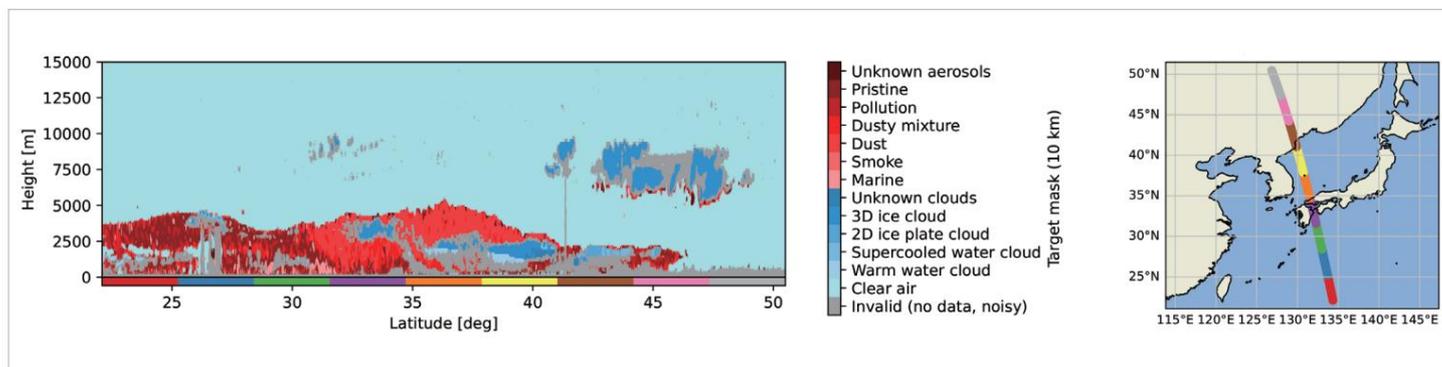


Figure 9. Distribution verticale des aérosols et des nuages au-dessus de la mer du Japon et de la mer de Chine orientale lors du survol nocturne d'ATLID le 25 mars 2025 (à gauche). La poussière correspond aux couleurs rouges. L'orbite d'EarthCARE est indiquée dans le panneau de droite.

Source : Carte tierce. Cette carte a été fournie par le Centre de recherche sur l'observation de la Terre de l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale (JAXA) le 1er mai 2025 et peut ne pas être entièrement conforme aux directives cartographiques des Nations Unies et de l'OMM.

Compréhension du transport à longue distance des poussières en suspension dans l'air et des variations d'altitude pendant le transport. Ce projet devrait contribuer aux évaluations d'impact sur le climat et la santé. Les produits de données EarthCARE sont accessibles au public et peuvent être téléchargés gratuitement (<https://portal.jaxa.jp/gpr/?lang=fr>).

Les tempêtes de poussière dans les déserts de Gobi et du Taklamakan, en Asie, se produisent principalement au printemps (de mars à mai) et peuvent atteindre la haute troposphère. Parfois, cette poussière est transportée vers l'est, au-dessus de l'océan, par les vents d'ouest ; un phénomène connu sous le nom de « sable jaune » au Japon. Le 25 mars 2025, l'Agence météorologique japonaise (JMA) a signalé le premier épisode de sable jaune de l'année à Tokyo. L'ATLID a observé la distribution verticale du panache de poussière associé au-dessus de la mer du Japon et de la mer de Chine orientale, comme le montre la figure 9. Le masque cible, qui classe les aérosols et les nuages, est inclus dans le produit de niveau 2 appelé ATL\_CLA.

#### Un indicateur de consensus multi-réanalyse pour le suivi des risques sanitaires liés aux tempêtes de sable et de poussière

La sécheresse, la mauvaise gestion des terres et l'expansion des zones incendiées contribuent à l'augmentation du risque de tempêtes de sable et de poussière. Le Groupe de travail sur la réanalyse des poussières, coordonné par le Système d'alerte, de conseil et d'évaluation des tempêtes de sable et de poussière de l'OMM (SDS-WAS), a élaboré un indicateur de tempêtes de sable et de poussière pour le secteur de la santé publique, en collaboration avec l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Cet indicateur utilise un consensus multi-réanalyses de pointe pour estimer les concentrations de poussières minérales en PM10 (« poussières-PM10 ») dans les régions arides et semi-arides, en les combinant à des données démographiques pour évaluer l'exposition humaine. À l'échelle mondiale, entre 2018 et 2022, environ 3,8 milliards de personnes, soit 48,9 % de la population mondiale, ont été exposées à des concentrations annuelles moyennes de poussières-PM10.

dépassant le seuil annuel recommandé par l'OMS de  $15 \mu\text{g m}^{-3}$  pour les PM10 totales. Cela représente une augmentation de 31 %, par rapport à 2,9 milliards de personnes (44,5 %) entre 2003 et 2007.

Entre 2003-2007 et 2018-2022, le nombre de jours pendant lesquels les personnes ont été exposées à des niveaux très dangereux de poussières PM10 ( $> 45 \mu\text{g m}^{-3}$ ) a augmenté dans 42 % des pays.

Français et a diminué de 36 %. L'exposition variait considérablement, de seulement quelques jours dans les zones relativement peu touchées à plus de 87 % des jours – soit plus de 1 600 jours en cinq ans – dans les régions les plus exposées à la poussière. Il est à noter que les deux tiers des pays connaissant des niveaux d'exposition aux poussières minérales plus élevés se classent dans les catégories d'indice de développement humain (IDH) élevé ou très élevé, tandis que 47 % des pays ayant une exposition plus faible sont classés dans la catégorie IDH faible ou moyen. Cet indicateur et les conclusions associées ont été publiés dans le [rapport 2024 du Lancet Countdown on Health and Climate Change](#) (Romanello et al., 2024).

#### L'impact économique des tempêtes de sable et de poussière sur les États-Unis

Français Une évaluation récente de l'impact économique de la poussière et de l'érosion éolienne aux États-Unis (voir Feng et al., 2025) suggère que les impacts de la poussière et de l'érosion éolienne sont souvent sous-estimés. Cette étude a estimé leur coût à 154,4 milliards de dollars américains (US\$) en 2017, soit plus de quatre fois plus qu'en 1995. L'estimation de Feng et al. (2025) incluait les coûts pour les ménages, l'agriculture, l'énergie éolienne et solaire, la mortalité due à l'exposition aux poussières fines, les coûts de santé dus à la fièvre de la vallée (une maladie infectieuse causée par le champignon tellurique *Coccidioides*), le transport routier et l'atténuation des « points chauds » de poussière. Alors que les coûts de la poussière liés à l'agriculture semblent avoir diminué, le fardeau économique sur les autres secteurs analysés a augmenté, la plupart d'entre eux considérablement. Le coût réel pourrait être bien supérieur aux 154,4 milliards de dollars américains estimés, car des évaluations fiables à l'échelle nationale de nombreux autres impacts économiques de la poussière (par exemple, sur la morbidité humaine, le cycle hydrologique, l'aviation et l'agriculture de pâturage) n'étaient pas disponibles. Même sans ces effets non comptabilisés, l'estimation des auteurs des coûts des catastrophes liées à l'érosion éolienne et à la poussière en 2017 souligne qu'ils peuvent être du même ordre de grandeur que d'autres phénomènes météorologiques et géophysiques. L'étude souligne la nécessité de mener davantage de recherches quantitatives sur le coût économique de la poussière dans de nombreux secteurs de l'économie et suggère que les investissements dans la réduction de la poussière et le contrôle de l'érosion éolienne seraient très rentables.



Figure 10. Photo de groupe prise lors de la première Conférence internationale sur les tempêtes de sable et de poussière à Riyad, en Arabie saoudite. Parmi les participants figuraient Slobodan Nickovic (vice-président du Comité directeur mondial), les quatre présidents des nœuds régionaux SDS-WAS (Ana Vukovic Vimic pour l'Afrique du Nord, le Moyen-Orient et l'Europe ; Takashi Maki pour l'Asie ; Andrea Sealy pour les Amériques ; et Jumaan Alqahtani pour le Conseil de coopération du Golfe), ainsi que Sara Basart et Hesham Abdel Ghany (OMM).

Crédit photo : NCM

### Événements internationaux liés aux tempêtes de sable et de poussière en Arabie saoudite

La première Conférence internationale sur les tempêtes de sable et de poussière s'est tenue à Riyad, en Arabie saoudite, du 4 au 6 mars 2024. Elle était organisée par le Centre national de météorologie (NCM) d'Arabie saoudite, qui abrite également l'un des centres régionaux SDS-WAS de l'OMM pour la région du Conseil de coopération du Golfe. Une large représentation internationale de chercheurs et de prévisionnistes était présente, et l'événement comprenait des discussions sur, entre autres, la surveillance et la modélisation prédictive, les interactions poussière-climat, les impacts sur la santé et les stratégies d'atténuation.

Des représentants du Comité directeur mondial SDS-WAS de l'OMM ont assisté à l'événement (voir figure 10).

Il est tout à fait approprié que le trentième anniversaire de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNULCD) soit célébré à Riyad lors de la 16<sup>e</sup> réunion de la Conférence des Parties (COP16) du 2 au 13 décembre 2024. Lorsque la Convention a été créée en juin

En 1994, les Parties ont promis au monde de lutter contre la désertification et d'atténuer les effets de la sécheresse qui ont des effets dévastateurs sur la vie des populations à travers le monde, notamment les tempêtes de sable et de poussière.

Français Dans le cadre du programme de l'événement, la Journée de la résilience du 10 décembre visait à aborder les questions cruciales du renforcement de la résilience planétaire et sociétale face au changement climatique, à la dégradation des terres, aux sécheresses et aux tempêtes de sable et de poussière. Les séances plénières étaient organisées par la Banque mondiale et l'OMM. La Coalition des Nations Unies pour la lutte contre les tempêtes de sable et de poussière a également organisé un événement dédié aux tempêtes de sable et de poussière (Figure 11 à droite). De plus, le 4 décembre, un événement parallèle consacré aux tempêtes de sable et de poussière a été organisé conjointement par le NCM et l'OMM, avec la participation du Comité directeur mondial SDS-WAS de l'OMM (voir Figure 11 à gauche). Au cours de cet événement parallèle, le Dr Ayman Salem Ghulam (Représentant permanent du Royaume d'Arabie saoudite auprès de l'OMM) a annoncé un soutien financier de l'Arabie saoudite pouvant atteindre 10 millions de dollars américains sur les cinq prochaines années, afin d'améliorer les systèmes d'alerte précoce pour les tempêtes de sable et de poussière.



Figure 11. (À gauche) Photo de groupe lors de l'événement parallèle à la COP16 de la CNULCD sur les systèmes d'alerte précoce, le 4 décembre à Riyad. De gauche à droite : Takashi Maki, Jumaan Alqahtani, Daniel Tong, le Dr Ayman Salem Ghulam (directeur général, NCM et représentant permanent auprès de l'OMM), Ana Vukovic Vimic, Sara Basart (OMM) et Andrea Sealy. (À droite) Séance plénière de la Journée de la résilience lors de l'événement parallèle à la COP16 de la CNULCD sur les systèmes d'alerte précoce, le 10 décembre à Riyad. Carol Chouchani Cherrane (Commission économique et sociale des Nations Unies pour l'Asie occidentale (CESAO)) présente les intervenants de la session « Promouvoir les systèmes d'alerte précoce ». Crédit photo : OMM

## Références

- Atkinson, JD ; Murray, BJ ; Woodhouse, MT et al. Importance du feldspath pour la nucléation de la glace par la poussière minérale dans les nuages à phases mixtes. *Nature* 2013, 498, 355–358. DOI : [10.1038/nature12278](https://doi.org/10.1038/nature12278).
- Di Biagio, C. ; Formenti, P. ; Balkanski, Y. et al. Complexe Indices de réfraction et albédo de diffusion unique des aérosols de poussière mondiaux dans le spectre des ondes courtes et relation avec la taille et la teneur en fer. *Chimie et physique atmosphériques* 2019, 19, 15503–15531. <https://doi.org/10.5194/acp-19-15503-2019>.
- Eibedingil, IG; Gill, TE; Kandakji, T. et coll. Effet de « Héritage spatial et temporel de la sécheresse » sur les sources de poussière dans les régions adjacentes. *Dégradation des terres et développement* 2023, 35, 1511–1525. <https://doi.org/10.1016/j.1016.org/10.1002/ldr.5002>.
- Feng, IY; Gill, TE; Van Pelt, RS et al. Coûts économiques de l'érosion éolienne aux États-Unis. *Nature Sustainability* 2025, 8, 307–314. <https://doi.org/10.1016/org/10.1038/s41893-024-01506-4>.
- Gelaro, R. État et projets de réanalyse à la NASA/GMAO. Conférence internationale sur la réanalyse, Rome, 13-17 novembre 2017. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20170011574>.
- Gonçalves Ageitos, M. ; Obiso, V. ; Miller, RL et coll. Modélisation de la composition minéralogique des poussières : sensibilité aux atlas minéralogiques des sols et à leurs impacts climatiques attendus. *Chimie et physique atmosphériques* 2023, 23, 8623–8657. <https://doi.org/10.1016/98.org/10.5194/acp-23-8623-2023>.
- Vert, RO ; Mahowald, N. ; Ung, C. et coll. La Terre Enquête sur les sources de poussières minérales de surface : une mission de spectroscopie d'imagerie en sciences de la Terre. Conférence aérospatiale de l'IEEE, Big Sky, États-Unis, du 1er au 14 mars 2020 ; IEEE. <https://doi.org/10.1109/AERO47225.2020.9172731>.
- Harrison, AD ; Levier, K. ; Sánchez-Marroquin, A. et al. Capacité de nucléation de glace du quartz immergé dans l'eau et son importance atmosphérique par rapport au feldspath potassique. *Chimie et physique atmosphériques* 2019, 19, 11343–11361. <https://doi.org/10.5194/acp-19-11343-2019>.
- Jiang, Q.; An, L.; Wang, F. et al. Méthode d'identification des niveaux d'intensité de poussière printanière basée sur plusieurs paramètres de télédétection. *Télédétection* 2024, 16. <https://doi.org/10.3390/rs16142606>.
- Klose, M. ; Jorba, O. ; Gonçalves Ageitos, M. et al. Cycle des poussières minérales dans le modèle de chimie atmosphérique non hydrostatique en ligne multi-échelle (MONARCH) Version 2.0. *Développement de modèles géoscientifiques* 2021, 14, 6403–6444. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-6403-2021>.
- Mahowald, Nouveau-Mexique ; Engelstaedter, S. ; Luo, C. et coll. Dépôts atmosphériques de fer : répartition mondiale, variabilité et perturbations anthropiques. *Revue annuelle des sciences marines* 2009, 1, 245–278. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163727>.
- Mahowald, N. ; Li, L. ; Miller, R. et al. EMIT L4 Earth System Model Products V001 [ensemble de données]. Centre d'archives actives distribuées des processus terrestres EOSDIS de la NASA, 2024. <https://doi.org/10.5067/EMIT/EMITL4ESM.001>.
- Myriokefalitakis, S.; Ito, A.; Kanakidou, M. et al. Revues et synthèses : Étude comparative du modèle de dépôt atmosphérique de fer du GESAMP. *Biogéosciences* 2018, 15, 6659–6684. <https://doi.org/10.5194/bg-15-6659-2018>.
- Obiso, V. ; Gonçalves Ageitos, M. ; Pérez García-Pando, C. et al. Les variations régionales, contraintes par l'observation, de l'absorption des ondes courtes par les oxydes de fer soulignent l'effet refroidissant de la poussière. *Chimie et physique atmosphériques* 2024, 24, 5337–5367. <https://doi.org/10.5194/acp-24-5337-2024>.
- Rémy, S. ; Kipling, Z. ; Huijnen, V. et al. Description et évaluation du schéma des aérosols troposphériques dans le Système intégré de prévision (IFS-AER, cycle 47R1) du CEPMMT. *Développement de modèles géoscientifiques*. 2022, 15, 4881–4912. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-4881-2022>.
- Rodríguez Vega, A. ; Antuña-Marrero, JC ; Barriopedro, D. et al. Climatologie des aérosols au-dessus des îles des Caraïbes : types d'aérosols, schémas synoptiques et transport. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 2022, 61, 369–391. <https://doi.org/10.1000/10...org/10.1175/JAMC-D-21-0015.1>.
- Romanello, M.; Walawender, M.; Hsu, S.-C. et al. Rapport 2024 du Lancet Countdown sur la santé et le changement climatique : Face aux menaces record dues à une action tardive. *The Lancet* 2024, 404 (10465), 1847–1896. DOI : [10.1016/S0140-6736\(24\)01822-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)01822-1).
- Sokolik, IN; Toon, OB Constitution de Mineralogical Composition en modèles des propriétés radiatives des aérosols minéraux des longueurs d'onde UV aux IR. *Journal de recherche géophysique : Atmosphères* 1999, 104, 9423–9444. <https://doi.org/10.1029/1998JD200048>.
- Chanson, Q. ; Ginoux, P. ; Gonçalves Ageitos, M. et al. Modélisation des impacts de la minéralogie des poussières sur la réponse climatique rapide. *Chimie et physique atmosphériques* 2024, 24, 7421–7446. <https://doi.org/10.5194/acp-24-7421-2024>.

Thompson, DR ; Green, RO ; Bradley, C. et al. Étalonnage en orbite et performances du spectromètre imageur EMIT. Télédétection environnementale. 2024, 303. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113986>.

Webb, NP; Wheeler, B.; Edwards, BL et al. Variations de l'ampleur du transport sédimentaire éolien associées aux seuils de dégradation et de restauration dans les zones arides. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences 2025, 130. <https://doi.org/10.1016/j.1016.org/10.1029/2024JG008581>.

Français Yu, H. ; Chin, M. ; Yuan, T. et al. Le rôle fertilisant de la poussière africaine dans la forêt amazonienne : une première évaluation pluriannuelle basée sur les données des observations par lidar nuage-aérosol et par satellite infrarouge Pathfinder. Geophysical Research Letters 2015, 42, 1984–1991. <https://doi.org/10.1016/91.org/10.1002/2015GL063040>.

Zhang, X.; Gui, K.; Zeng, Z. et al. Cartographie de la Visibilité horaire continue de la surface en Chine : un cadre de récupération en temps réel utilisant un modèle d'ensemble empilé basé sur l'apprentissage automatique. Sciences du climat et de l'atmosphère 2024a, 7. <https://doi.org/10.1000/1000000000.org/10.1038/s41612-024-00617-1>.

Zhang X. ; Lei, L.; Che H. et coll. Composants d'aérosol Dérivé des mesures mondiales AERONET par GRASP : un nouvel ensemble de données mondiales à valeur ajoutée sur les composants des aérosols et son application. Bulletin de l'American Meteorological Society , 2024b, 105 (10), E1822–E1848. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0260.1>.

Zhang, X.; Gui, K.; Zhao, H. et al. Cartographie en temps réel des PM10 de surface sans interruption sur 24 heures en Chine. Revue nationale des sciences 2025, 12 (2). <https://doi.org/10.1093/nsr/nwae446>.

#### Sites Web et contacts SDS-WAS de l'OMM

SDS-WAS de l'OMM :

<https://community.wmo.int/fr/activites-zones/gaw/science-pour-services/sds-was>

Courriel : [gaw@wmo.int](mailto:gaw@wmo.int)

Centre régional pour l'Afrique du Nord, le Moyen-Orient et l'Europe (NAMEE) :

<http://dust.aemet.es>

Courriel : [dust@aemet.es](mailto:dust@aemet.es)

Centre régional pour l'Asie :

<http://www.asdf-bj.net/> Courriel : [xiaoye@cma.gov.cn](mailto:xiaoye@cma.gov.cn)

Centre régional pour les Amériques :

<http://sds-was.cimh.edu.bb/> Courriel : [asealy@cimh.edu.bb](mailto:asealy@cimh.edu.bb)

Centre régional du Conseil de coopération du Golfe (CCG)

Pays :

<http://dust.ncm.gov.sa/> Courriel : [sdsc@ncm.gov.sa](mailto:sdsc@ncm.gov.sa)

#### Comité de rédaction

Andrea Sealy (Institut caribéen de météorologie et Hydrologie (CIMH)), Jumaan Saad Alqahtani (NCM), Sara Basart (OMM), Takashi Maki (Météorologie Institut de recherche, JMA), Slobodan Nickovic (République Service hydrométéorologique de Serbie), Daniel Tong (Université George Mason), Ana Vuković Vimić (Université de Belgrade), Xiaoye Zhang (Académie chinoise de Sciences météorologiques, CMA)

#### Tous les auteurs (par ordre alphabétique)

Melanie Ades, Saud Alamoudi, Sultan Alduaji, Turki Alharbi, Juan Carlos Antuña-Marrero, Shunsuke Aoki, Sara Attarchi, Victoria Cachorro, Emanuele Emili, Johannes Flemming, Ángel de Frutos, Gerardo García-Castrillo, Carlos Pérez García-Pando, Thomas E. Gill, Maria Gonçalves, Ke Gui, Qi Jiang, Saviz Sehat Kashani, Takuji Kubota, Li Lei, Alaa Mhaswish, Masataka Muto, Scott Van Pelt, Mehdi Rahnama, Samuel Remy, Toshiyuki Tanaka, Enza Di Tomaso, Tsuyoshi Thomas Sekiyama, Yaqiang Wang, Ernest Werner, Peng Xian

Organisation météorologique mondiale

[wmo.int](http://wmo.int)

#### NOTE

Les appellations employées et la présentation des informations contenues dans le présent document n'impliquent de la part des Secrétariats de l'OMM ou des Nations Unies aucune prise de position quant au statut juridique des pays, zones ou territoires, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières. La représentation et l'utilisation des frontières, des noms géographiques et des données connexes sur les cartes, listes, tableaux, documents et bases de données du présent document ne sont pas garanties exemptes d'erreurs et n'impliquent aucune approbation ou acceptation officielle de la part de l'OMM ou des Nations Unies.

La mention de sociétés ou de produits spécifiques n'implique pas qu'ils soient approuvés ou recommandés par l'OMM de préférence à d'autres de nature similaire qui ne sont ni mentionnés ni annoncés.