



Tempête de sable passant au-dessus de la mission conjointe de l'Union africaine et des Nations Unies au Darfour du Nord (El Fasher, Soudan).
Crédit photo : MINUAD/Adrian Dragnea

Tempêtes de sable et de poussière : maîtriser un phénomène mondial

L'invasion du sable et de la poussière

En 2010, les autorités chinoises ont émis une alerte à la pollution de niveau 5 en raison de l'arrivée sur Beijing d'une violente tempête de sable partie de Mongolie et de Chine septentrionale, couvrant une zone de 810 000 kilomètres carrés et menaçant 250 millions de personnes¹. En mai 2016, une série de très fortes tempêtes de sable s'est abattue sur le comté de Rigan, dans le sud-est de l'Iran, ensevelissant 16 villages et causant des pertes estimées à 9 millions de dollars US². Quelques mois plus tard, d'épais nuages de sable et de poussière ont envahi Abu Dhabi, réduisant la visibilité dans la ville à 500 mètres et augmentant le nombre de patients asthmatiques hospitalisés de 20 %^{3,4}. Ces phénomènes ne sont que quelques exemples des menaces et dégâts causés récemment par les tempêtes de sable et de poussière dans toutes les régions du monde. On en dénombre de nombreux autres tout au long de l'histoire de l'humanité⁵.

Les tempêtes de sable et de poussière se forment lorsque des vents turbulents violents érodent les sols arides et semi-arides et soulèvent des particules de sédiments et de sable. Les tempêtes de sable se déplacent relativement près du sol. La distance parcourue par chaque particule dépend de sa taille et de la vitesse du vent. Les tempêtes de poussière soulèvent de grandes quantités de fines particules de sédiments et d'argile dans les couches plus élevées de l'atmosphère⁶.

Ces tempêtes peuvent parcourir des milliers de kilomètres à travers les océans et les continents, entraînant d'autres polluants et déposant des particules loin de leur sol d'origine. Les vents dispersent la poussière du Sahara – la principale source de la planète – vers le continent américain à l'ouest, l'Europe au nord et la Chine à l'est⁶. Le sable issu des régions d'Asie centrale et de Chine peut atteindre la péninsule coréenne, le Japon, les îles du Pacifique, l'Amérique du Nord, et aller même au-delà.

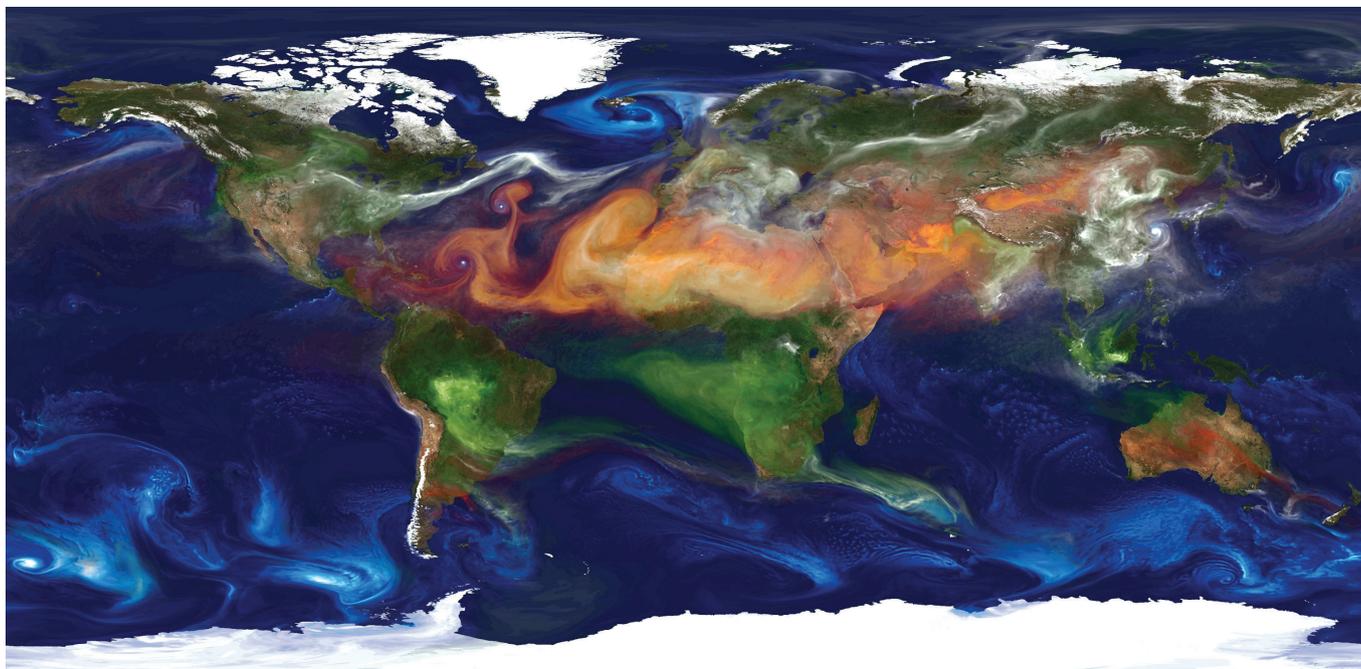


Une étude de cas réalisée en 2003 a déterminé que d'importantes quantités de poussière provenaient d'un panache parti de Chine en 1990 et ayant atteint les Alpes – parcourant ainsi plus de 20 000 kilomètres vers l'est en l'espace de deux semaines⁷. La poussière joue un rôle crucial dans les processus biogéochimiques de l'ensemble du système terrestre. Elle constitue l'une des matières premières des vastes étendues de loess⁸. Les dépôts de poussières minérales apportent des nutriments, tels que le fer et d'autres oligoéléments, aux écosystèmes terrestres et marins, stimulant ainsi la productivité primaire et la croissance du phytoplancton⁹. Par ailleurs, la poussière du Sahara est un engrais naturel pour la forêt tropicale amazonienne, de par ses apports en phosphore qui compensent les pertes dues à l'écoulement fluvial¹⁰. De la même manière, les forêts humides d'Hawaï reçoivent des nutriments par le biais des concentrations de poussières venues d'Asie centrale¹¹. En revanche, les poussières provenant d'Afrique et d'Asie sont susceptibles d'endommager les récifs coralliens des Caraïbes¹².

La poussière peut aussi s'avérer néfaste pour les animaux et les êtres humains, en particulier dans les régions arides et semi-arides. Chez les êtres humains, l'inhalation de particules fines peut déclencher

et aggraver l'asthme, la bronchite, l'emphysème et la silicose¹³. Les poussières fines peuvent également transporter divers polluants, spores, bactéries, champignons et allergènes. La poussière provoque fréquemment des infections oculaires, des irritations de la peau et des fièvres de la vallée. Dans les pays du Sahel, les fortes concentrations de poussières provenant du Sahara sont étroitement liées aux épidémies de méningite¹⁴. L'exposition chronique aux fines particules de poussière entraîne des décès prématurés dus à des maladies respiratoires et cardiovasculaires, des cancers du poumon et des infections aiguës des voies respiratoires inférieures¹⁵.

Les tempêtes de poussière causent également des dommages socio-économiques¹⁶⁻¹⁹. Parmi les coûts à court terme figurent les maladies et le décès du bétail, la destruction des cultures, la dégradation des bâtiments et autres infrastructures, l'arrêt des transports et l'enlèvement coûteux de plusieurs tonnes de résidus. Les pertes économiques imputables à une seule tempête peuvent s'élever à des centaines de millions de dollars. Les coûts à long terme comprennent l'érosion des sols, la pollution des écosystèmes, les problèmes de santé chroniques invalidants et la désertification.



Modélisation des aérosols dans le monde réalisée à l'aide d'une simulation GEOS 5 avec une résolution de 10 kilomètres. Les émissions de poussière sont représentées en brun/rouge.

Crédit photo : William Putman, NASA/Goddard Space Flight Center

Rôle de la nature, de la mauvaise gestion des terres et du changement climatique

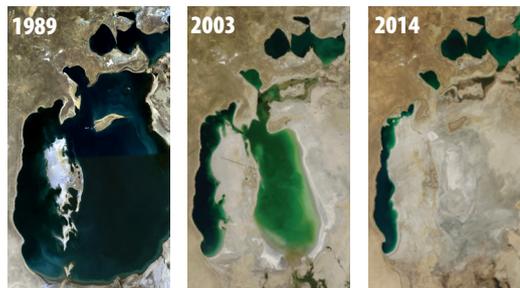
La récurrence des soulèvements de poussière varie considérablement sur différentes échelles de temps (saison, année, décennie, plusieurs décennies)²⁰. Une étude réalisée en 2012 visant à comparer des données recueillies par satellite entre 2003 et 2009 et des analyses similaires de données antérieures a montré qu'au cours des trois dernières décennies, des changements majeurs avaient été observés en Australie, en Asie centrale et sur les hautes plaines des États-Unis. Sur cette même période, la fréquence des tempêtes de poussière balayant l'Afrique du Nord, le Moyen-Orient et l'Amérique du Sud est restée stable^{21,22}. Des études plus poussées révèlent que ces régions sont régulièrement touchées par d'importants mouvements de poussière, tels que des tempêtes ou des nuages, d'origine naturelle ou anthropique²¹⁻²³.

Les causes anthropiques sont responsables d'environ 25 % des émissions de poussière à l'échelle mondiale. Elles sont le fait, d'une part, du changement d'utilisation des terres, notamment d'une extraction excessive de l'eau et d'un détournement de cette dernière à des fins d'irrigation, qui assèchent les étendues d'eau, et d'autre part, de la déforestation et des pratiques agricoles non viables qui exposent les sols à l'érosion éolienne. Il s'agit là de différentes formes de dégradation des terres. Dans les zones arides, le labour trop fréquent et trop profond des terres agricoles et l'élimination des résidus de récolte laissent les sols exposés. La suppression des haies et des andains pour faciliter l'utilisation d'équipements plus volumineux participe également à l'érosion éolienne. Par ailleurs, le surpâturage réduit la couverture des sols. Sur un sol dénudé, le vent soulève les particules fines contenant une grande partie des nutriments et des matières organiques contenues dans la terre. Les simulations réalisées par modélisation indiquent que depuis 1900, les émissions de poussière ont augmenté de 25 à 50 % à l'échelle mondiale sous l'effet conjoint de l'occupation des sols et du changement climatique²⁴.

Dans toutes les régions exposées aux tempêtes de poussière, la corrélation entre les activités anthropiques et l'augmentation des concentrations des poussières atmosphériques est visible, voire tangible. Le lac (asséché) d'Owens, en Californie, qui constitue aujourd'hui une source de poussière, a commencé à se tarir à la suite des détournements d'eau dus à la mise en service de l'aqueduc de Los Angeles, en 1913²⁵. La Patagonie, située dans la moitié sud de l'Argentine, est devenue une source majeure de poussière d'origine anthropique causée par les pratiques d'élevage non durables et la désertification qui en découle²⁶. En Asie du Sud, le bassin indo-gangétique forme une importante source de poussière résultant des activités agricoles intensives²⁷. En Australie, le défrichement et les besoins en eau liés à l'agriculture ont perturbé le régime hydrologique et conduit à un accroissement considérable des concentrations de poussière²⁷. De même, on assiste depuis 1970 à

Disparition progressive de la mer d'Aral entre 2000 et 2013

En raison de décennies de détournement de l'eau pratiqué à grande échelle, la mer d'Aral s'est asséchée pour devenir une source active de poussière.



Crédits photo
1989 – Global Land Cover Facility de l'université du Maryland
2003 – Jacques Desloîtres, NASA/Goddard Space Flight Center
2014 – Jesse Allen, NASA Earth Observatory

l'assèchement rapide du lac Balkhach (Kazakhstan) après la construction d'un barrage en amont du fleuve Ili.

Les décennies de détournement de l'eau, pratiqué à grande échelle sur les principaux fleuves de la région – le Syr Darya et l'Amu Darya – pour alimenter les imposants projets d'irrigation, ont fini par réduire le débit fluvial se déversant dans la mer d'Aral, entraînant une aridification et une désertification dans toute la région²⁸. Les vastes étendues du bassin de la mer d'Aral se sont transformées en poussières toxiques chargées en résidus persistants d'engrais et de pesticides chimiques, dont l'utilisation est interdite depuis des dizaines d'années²⁹.

Le changement climatique anthropique est un facteur important de génération de poussière, en sus des quantités produites naturellement ou par la mauvaise gestion des terres. De nombreuses régions actuellement marquées par des concentrations importantes de poussière vont probablement s'assécher davantage et contribuer ainsi à l'augmentation des poussières atmosphériques. Parmi elles figurent les régions méditerranéennes d'Afrique et d'Europe, le Sahara septentrional, l'Asie occidentale, l'Asie centrale, le sud-ouest des États-Unis et le sud de l'Australie^{30,31}. À son tour, la concentration plus importante de poussière dans l'atmosphère peut avoir une incidence sur le système climatique. Elle peut bouleverser l'équilibre radiatif de la Terre, aggravant ainsi les sécheresses dans les zones arides³². À l'inverse, la poussière pourrait augmenter les précipitations dans certaines régions en ensemençant les nuages³³.

Les tempêtes de sable et de poussière sont ainsi liées à plusieurs questions environnementales et de développement qui dépassent les frontières nationales, régionales et continentales. Dans les régions où elles se forment, le changement climatique anthropique viendra exacerber les effets produits par les décennies de gestion non viable des terres et des ressources hydriques. Toutefois, cette menace peut être diminuée grâce à l'adoption de mesures rapides et efficaces.

Sources et impacts des tempêtes de sable et de poussière

Les changements d'utilisation des terres tels que l'agriculture, le détournement de l'eau et la déforestation sont responsables de **25 % des émissions de poussière au niveau mondial.**

Depuis 1900 les émissions de poussière **ont augmenté de 25 à 50 %** à cause des activités humaines.

Les tempêtes de sable et de poussière sont fréquentes dans les **régions arides et semi-arides.**

À mesure que le **climat change**, la variabilité accrue et l'augmentation des phénomènes extrêmes aggrave la dangerosité des tempêtes de poussière.

Les **initiatives de restauration de l'environnement** contribuent à diminuer la fréquence et la gravité des tempêtes de poussière au niveau local.

Les tempêtes de sable et de poussière transportent des **particules de tailles très variées.**

Les tempêtes de sable et de poussière se forment quand des vents turbulents et violents érodent les sols arides et soulèvent des particules de sable et de sédiments.

Quand elles sont inhalées, les particules inférieures à **10 microns** (un centième de millimètre) peuvent entraîner des problèmes cardiaques et pulmonaires.

Les **régions arides** risquent de s'assécher davantage, et les tempêtes de poussière d'y être plus fréquentes. Cette tendance concerne notamment les **régions méditerranéennes d'Europe et d'Afrique, le nord du Sahara, l'Asie de l'Ouest et du centre, le sud-ouest des États-Unis et le sud de l'Australie.**

Lors de tempêtes de poussière, la concentration de poussière atteint **100 à 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Les tempêtes de poussière peuvent transporter divers **polluants, spores, champignons, bactéries et allergènes.**

Une tempête de poussière qui a traversé le nord-ouest de la Chine en 1993 a tué près de **120 000 animaux d'élevage**, détruit **373 333 hectares de cultures** et comblé plus de 2 000 km de fossés d'irrigation.

Au cours d'une tempête de poussière qui s'est produite en Iran en janvier 2017, la concentration de particules fines a dépassé **10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

La poussière issue du Sahara peut causer des épidémies de méningite dans le Sahel.

Les tempêtes de poussière abîment les cultures, tuent le bétail et érodent les sols fertiles.

Pour l'OMS, la qualité de l'air est bonne lorsque la concentration de particules fines ne dépasse pas **50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Les pertes économiques imputables à une seule tempête de poussière peuvent atteindre des **centaines de millions de dollars.**



Limiter les dommages en œuvrant à plus petite échelle

À court et moyen terme, les efforts déployés en vue d'atténuer les menaces des tempêtes de sable et de poussière doivent se concentrer sur la mise en place de stratégies de protection³⁴. Les systèmes d'alerte rapide et les procédures de réduction des catastrophes sont évidemment des ingrédients essentiels de la préparation et les programmes régionaux sont actuellement modifiés pour améliorer ces services. Les mesures prises pour faire face en temps réel aux tempêtes de sable et de poussière comprennent la diffusion de conseils aux services publics, la fermeture des écoles, des aéroports, des voies ferrées et des routes, et la mise en place de services d'urgence hospitaliers.

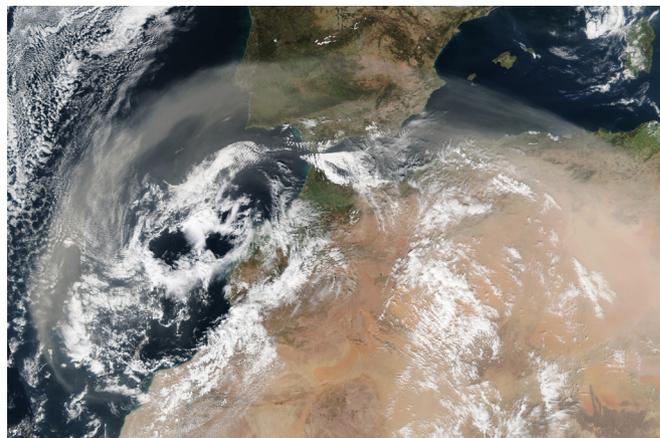
La préparation à ce type de catastrophes passe d'abord par la sensibilisation du public aux risques qu'elles entraînent, par le biais de l'enseignement scolaire, des médias et réseaux sociaux et des télécommunications. D'autres mesures de préparation consistent notamment à adopter des mécanismes de protection physique efficaces des biens de valeur, tels que planter ou ériger des barrières en amont des zones peuplées et des principales infrastructures afin de favoriser le dépôt de poussière à l'extérieur de ces zones. Certaines mesures consistant à construire des routes rectilignes et à supprimer les obstacles permettent de détourner les vents dominants et leur charge des sites devant être protégés.

▶ Vidéo : l'ambitieuse initiative africaine de la Grande muraille verte



Lien de la vidéo (en anglais) : https://www.youtube.com/watch?v=jL_nRHg-0I4
Crédit photo : travail du sol au Sénégal par IFPRI/Milo Mitchell, reproduit sous licence CC BY-NC-ND 2.0

© TIME



Panache de poussière se déplaçant de l'Afrique du Nord vers l'Europe et l'océan Atlantique, 21 février 2017

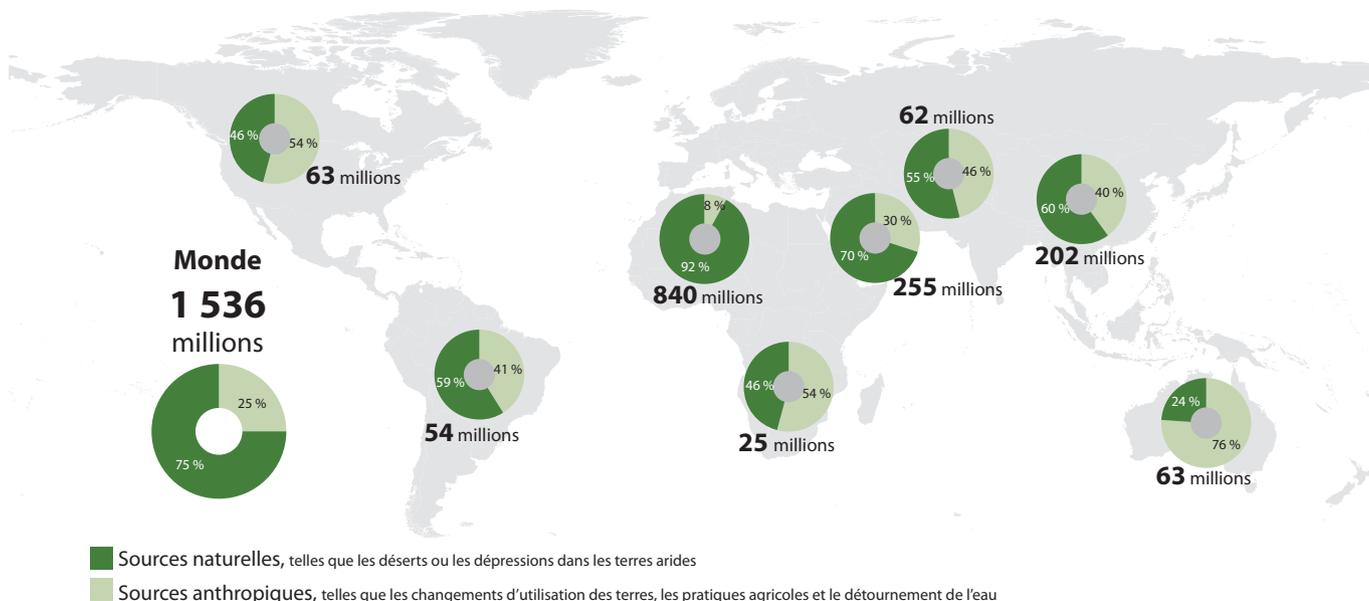
Crédit photo : image de la NASA par Jeff Schmaltz, LANCE/EOSDIS Rapid Response

À moyen et à long terme, les mesures d'atténuation de la menace que représentent les tempêtes de sable et de poussière doivent privilégier les stratégies préventives promouvant une gestion durable des terres et des ressources hydriques sur tous les types de terrains, y compris les terres cultivées, les pâturages, les déserts et les zones urbaines. De telles stratégies doivent être associées aux mesures d'adaptation et d'atténuation du changement climatique, ainsi qu'aux actions de préservation de la biodiversité. Ces mécanismes intégrés essentiels sont actuellement insuffisants dans de nombreuses régions vulnérables³⁴.

Le projet écologique de la Grande muraille verte de Chine est une initiative intégrée lancée en 1978 en vue d'enrayer l'érosion effrénée des sols. Cette dernière a en effet envenimé les problèmes existants liés aux inondations et aux tempêtes de poussière couvrant de larges étendues, dues à des décennies d'exploitation non durable des ressources naturelles. Les résultats de recherche et les enseignements tirés des expériences passées suggèrent que l'établissement de liens entre les méthodes ayant porté leurs fruits à l'échelle locale et communautaire – y compris l'exploitation d'espèces végétales locales déjà adaptées aux contextes spécifiques – et le déploiement de ces méthodes à plus grande échelle sont une approche efficace³⁵. Ces informations soulignent à nouveau l'importance de promouvoir les services écosystémiques, tels que la production alimentaire, le stockage du carbone, la rétention de l'eau et des sols, l'atténuation des inondations et la création d'habitats pour la biodiversité permettant de préserver le capital naturel, ainsi que la prévention des tempêtes de sable et de poussière³⁶. Les observations sur les efforts déployés dans le cadre du projet de la Grande muraille verte de Chine font ressortir une amélioration considérable de l'indice de végétation des zones adjacentes au projet et



Sources d'émissions de poussière (tonnes/an)



Source des données : Ginoux et al. (2012)³⁷

concluent que ces efforts ont permis de réduire efficacement l'intensité des tempêtes de poussière, même en tenant compte des effets du changement climatique et des pressions d'ordre anthropique^{37,38}. Dans le désert de Kubuqi, en Mongolie-Intérieure, les investissements communautaires publics et privés réalisés pour planter des espèces locales d'arbres, d'arbustes et de graminées sur plus de 5 000 kilomètres carrés de terres désertiques ont permis de réduire la fréquence des tempêtes de poussière, ainsi que leurs dommages sur les habitations et les infrastructures³⁹.

En Afrique, l'initiative de la Grande muraille verte pour le Sahara et le Sahel enregistre également de bons résultats en œuvrant à l'échelle locale et communautaire⁴⁰. L'initiative est passée d'une perspective visant exclusivement la plantation d'arbres à une vision de développement durable beaucoup plus large. Ainsi, au Sénégal, l'initiative a commencé par planter plus de 270 kilomètres carrés d'arbres indigènes ne nécessitant aucun arrosage. Par la suite, d'autres espèces de végétaux et d'animaux sont réapparues et ont contribué à restaurer l'écosystème. Des communautés implantées en Mauritanie, au Tchad, au Niger, en Éthiopie et au Nigéria développent une culture maraîchère commerciale le long des zones arides, offrant ainsi aux jeunes populations un travail et une raison de renoncer à la migration. Là aussi, ces projets basent leur réussite sur la sélection rigoureuse d'espèces végétales bien adaptées aux conditions

locales, dont les besoins correspondent aux ressources en eau disponibles et qui sont connues des membres des communautés locales, qui seront à terme responsables de la restauration et de la préservation du paysage⁴¹.

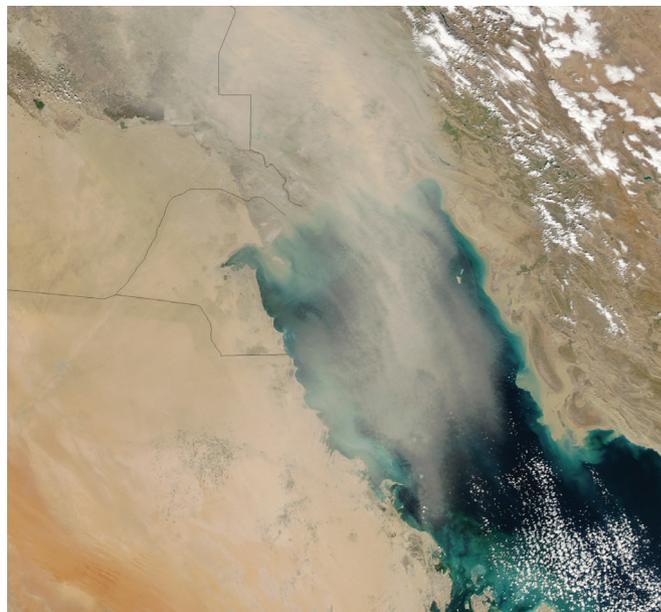
Pertes économiques imputables aux tempêtes de sable et de poussière



Un soutien multilatéral pour réduire les dégâts dus aux tempêtes de sable et de poussière

Les stratégies intégrées relatives aux menaces de tempête de sable et de poussière reflètent les mesures recommandées pour contenir la dégradation des terres, la perte de la biodiversité terrestre et le changement climatique, conformément aux trois Conventions de Rio : la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification, la Convention des Nations Unies sur la diversité biologique et la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Avec le soutien de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification, l'Asie occidentale et l'Asie du Nord-Est ont élaboré des plans d'action régionaux pour faire face aux tempêtes de sable et de poussière ; celui de l'Asie du Nord-Est est aujourd'hui pleinement opérationnel⁴².

Chaque Convention de Rio soutient les efforts de gestion des terres et des ressources en eau en partenariat avec les institutions et organismes multilatéraux compétents. Le consensus international sur ces questions est visible dans les objectifs de développement durable, en particulier les objectifs 1, 2, 5, 13 et 15, qui traitent de l'intégrité et de la gestion des terres et des ressources hydriques, et plus précisément la cible 15.3 : « D'ici à 2030, lutter contre la désertification, restaurer les terres et



Tempête de sable au-dessus du golfe Persique, 19 février 2017

Crédit photo : image de la NASA par Jeff Schmaltz, LANCE/EOSDIS Rapid Response

▶ Vidéo : Lutter contre la désertification : des nomades chinois œuvrent à la transformation d'un désert en oasis



Lien de la vidéo (en anglais) : <https://www.youtube.com/watch?v=gjTXPurYYJ0>
Crédit photo : lutter contre la désertification à Ningxia (Chine), par Bert van Dijk, reproduit sous licence CC BY-NC-SA 2.0

© CCTV English

sols dégradés, notamment les terres touchées par la désertification, la sécheresse et les inondations, et s'efforcer de parvenir à un monde sans dégradation des terres. » Les plans d'action, accords et cadres régionaux, tels que le Plan directeur régional pour la prévention et le contrôle des tempêtes de sable et de poussière en Asie du Nord-Est, et les plans d'action nationaux, comme ceux requis par la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification, définissent également des politiques d'atténuation des menaces de tempêtes de sable et de poussière.

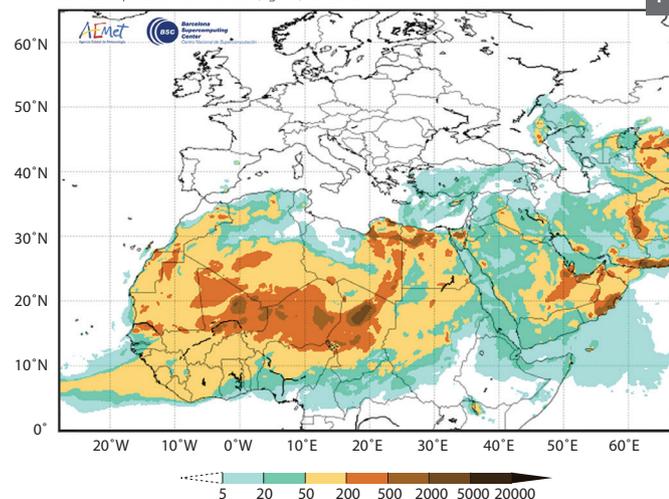
L'Organisation météorologique mondiale (OMM) a créé le Système d'alerte, d'avis et d'évaluation concernant les tempêtes de sable et de poussière dans le but d'améliorer la capacité des pays à fournir des prévisions, des observations, des informations et des connaissances précoces et fiables aux usagers⁴³. Ce système génère des prévisions mondiales et régionales des tempêtes de poussière et dispose de centres régionaux pour le continent américain, l'Asie, et l'Afrique du Nord, le Moyen-Orient et l'Europe⁴⁴.

Les efforts intégrés de gestion des terres et des ressources en eau concernent également les activités agricoles, et l'Organisation

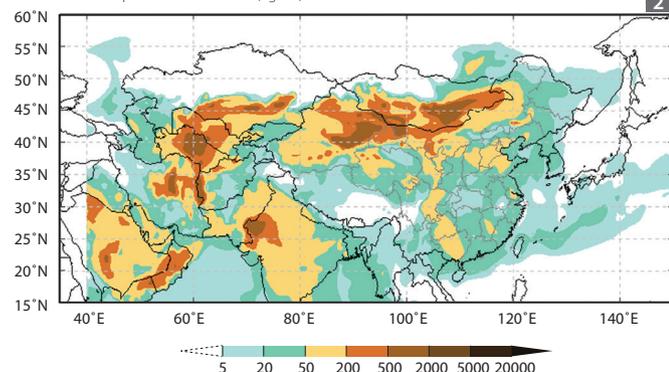


Prévisions en ligne des concentrations de poussière réalisées par les centres régionaux du Système d'alerte, d'avis et d'évaluation concernant les tempêtes de sable et de poussière de l'Organisation météorologique mondiale

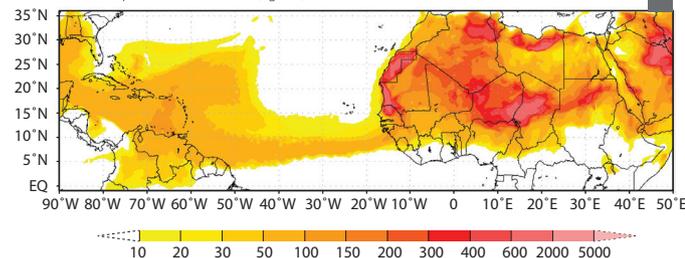
Concentration de poussière à la surface (ug/m³) 18 mai 2017



Concentration de poussière à la surface (ug/m³) 18 mai 2017



Concentration de poussière à la surface (ug/m³) 21 mai 2017



des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture encourage l'agriculture de conservation pour faire face aux menaces dans les régions arides. En 1992, un réseau appelé le Panorama mondial des approches et technologies de conservation (WOCAT) a débuté la collecte d'informations sur l'agriculture de conservation et les pratiques de gestion durable des terres auprès de spécialistes. En 2014, le réseau a été officiellement constitué en consortium et reconnu par la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification comme la source de données conseillée concernant les bonnes pratiques. En 2017, le WOCAT recensait plus de 2 000 utilisateurs inscrits, plus de 60 institutions participantes et près de 30 initiatives nationales et régionales⁴⁵.

L'agriculture est à l'origine d'environ 70 % des prélèvements d'eau douce⁴⁶. L'agriculture de conservation promeut également les pratiques d'utilisation de l'eau permettant d'éviter les pénuries et la désertification et de réduire la formation de tempêtes de sable et de poussière. Le 2030 Water Resources Group a rassemblé des études de cas réalisées dans le monde entier sur les solutions pratiques, reproductibles et actuellement disponibles en matière de gestion de l'eau. Celles-ci ont été compilées dans un catalogue en ligne intitulé « Managing Water Use in Scarce Environments » (Gérer l'utilisation de l'eau dans les environnements disposant de ressources limitées) ayant pour but d'inciter les politiques et les décideurs à avoir recours à ces solutions et à agir⁴⁷. Nombre d'entre elles présentent un intérêt manifeste pour la réduction des tempêtes de sable et de poussière.

Enfin, l'intégration et la coordination internationales des recherches doivent être améliorées pour : i) lever les fortes incertitudes quant à l'effet de la poussière sur les processus biogéochimiques mondiaux et les systèmes climatiques ; ii) améliorer les méthodes de suivi, de prévision et d'alerte rapide ; iii) évaluer les conséquences économiques et les coûts des tempêtes de sable et de poussière et des mesures d'atténuation correspondantes ; et iv) renforcer l'efficacité des mesures avant, pendant et après les interventions.

1 Afrique du Nord, Moyen-Orient et Europe centrale
<https://sds-was.aemet.es/>

2 Centre asiatique du Système d'alerte, d'avis et d'évaluation concernant les tempêtes de sable et de poussière de l'OMM
http://eng.nmc.cn/sds_was.asian_rc/

3 Centre régional panaméricain
<http://sds-was.cimh.edu.bb/>

Références bibliographiques

- BBC (2010). China sandstorm leaves Beijing shrouded in orange dust. *BBC*, 20 March 2010. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/8577806.stm>
- Tehran Times (2016). Sand storm buries 16 villages in southeastern Iran. *Tehran Times*, 18 May 2016. <http://www.tehrantimes.com/news/402617/Sand-storm-buries-16-villages-in-southeastern-Iran>
- Emirates 24/7 News (2016). NCMS warns of active winds, low visibility. *Emirates 24/7 News*, 4 August 2016. <http://www.emirates247.com/news/emirates/ncms-warns-of-active-winds-low-visibility-2016-08-04-1.637979>
- The National (2016). Asthma attacks on the rise in UAE as winds whip up sand and dust. *The National*, 19 July 2016. <http://inbusiness.ae/2016/07/19/asthma-attacks-on-the-rise-in-uae-as-winds-whip-up-sand-and-dust>
- McLeman, R., Dupre, J., Berrang Ford, L., Ford, J., Gajewski, K. and Marchildon, G. (2014). What We Learned from the Dust Bowl: Lessons in Science, Policy, and Adaptation. *Population and Environment*, 35, 417–440. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24829518>
- Goudie, A.S. and Middleton, N.J. (2006). *Desert Dust in the Global System*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Grousset, F.E., Ginoux, P. and Bory, A. (2003). Case study of a Chinese dust plume reaching the French Alps. *Geophysical Research Letters*, 30(6), 1277. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2002GL016833/full>
- Pye, K. (1987). *Aeolian dust and dust deposits*. Academic Press, London
- Wang, F., Zhao, X., Gerlein-Safdi, C., Mu, Y., Wang, D. and Lu, Q. (2017). Global sources, emissions, transport and deposition of dust and sand and their effects on the climate and environment: a review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11, 13. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11783-017-0904-z>
- Yu, H., Chin, M., Yuan, T., Bian, H., Remer, L.A., Prospero, J.M., Omar, A., Winker, D., Yang, Y., Zhang, Y., Zhang, Z. and Zhao, C. (2015). The fertilizing role of African dust in the Amazon rainforest: A first multiyear assessment based on data from Cloud–Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations. *Geophysical Research Letters*, 42, 1984–1991. https://www.researchgate.net/publication/272754426_The_Fertilizing_Role_of_African_Dust_in_the_Amazon_Rainforest_A_First_Multiyear_Assessment_Based_on_CALIPSO_Lidar_Observations
- Chadwick, O.A., Derry, L.A., Vitousek, P.M., Huebert, B.J. and Hedin, L.O. (1999). Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. *Nature*, 397, 491–497. <https://www.nature.com/nature/journal/v397/n6719/pdf/397491a0.pdf>
- Garrison, V.H., Shinn, E.A., Foreman, W.T., Griffin, D.W., Holmes, C.W., Kellogg, C.A., Majewski, M.S., Richardson, L.L., Ritchie, K.B. and Smith, G.W. (2003). African and Asian dust: from desert soils to coral reefs. *BioScience*, 53, 469–480. <https://academic.oup.com/bioscience/article/53/5/469/241414/African-and-Asian-Dust-From-Desert-Soils-to-Coral>
- Derbyshire, E. (2007). Natural minerogenic dust and human health. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36, 73–77. https://www.wou.edu/las/physci/taylor/g473/med_geo/derbyshire_2007.pdf
- García-Pando, C.P., Stanton, M.C., Diggle, P.J., Trzaska, S., Miller, R.L., Perlwitz, J.P., Baldasano, J.M., Cuevas, E., Ceccato, P., Yaka, P. and Thomson, M.C. (2014). Soil dust aerosols and wind as predictors of seasonal meningitis incidence in Niger. *Environmental Health Perspectives*, 122(7), 679–686. <https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/122/7/ehp.1306640.pdf>
- WHO (2013). *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project*. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/182432/e96762-final.pdf
- Tozer, P. and Leys, J. (2013). Dust storms – what do they really cost? *The Rangeland Journal*, 35, 131–142. <http://www.publish.csiro.au/rj/pdf/RJ12085>
- Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbari, A. (2009). Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *International Journal of Environmental Studies*, 66(3), 343–355. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207230902720170?journalCode=genv20>
- Almasi, A., Mousavi, A.R., Bakhshi, S. and Namdari, F. (2014). Dust storms and environmental health impacts. *Journal of Middle East Applied Science and Technology*, 8, 353–356. https://www.researchgate.net/publication/271211840_Dust_storms_and_environmental_health_impacts
- Stefanski, R. and Sivakumar, M.V.K. (2009). Impacts of Sand and Dust Storms on Agriculture and Potential Agricultural Applications of a SDSWS. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 7(1), 012016. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1307/7/1/012016/pdf>
- Shao, Y., Klose, M. and Wyrwoll, K.H. (2013). Recent global dust trend and connections to climate forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 1–12. https://www.researchgate.net/publication/263182073_Recent_global_dust_trend_and_connections_to_climate_forcing_GLOBAL_DUST_TREND
- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E. and Gill, T.E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40, 2–31. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2000RG000095/full>
- Ginoux, P., Prospero, J.M., Gill, T.E., Hsu, N.C. and Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012RG000388/epdf>

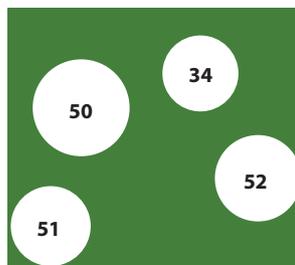
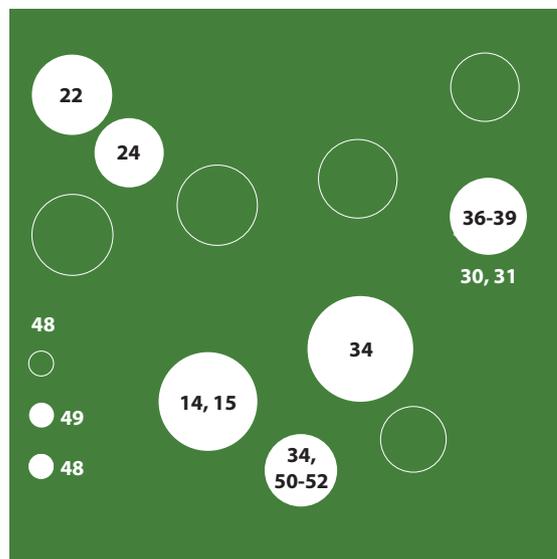


23. Stanelle, T., Bey, I., Raddatz, T., Reick, C. and Tegen, I. (2014). Anthropogenically induced changes in twentieth century mineral dust burden and the associated impact on radiative forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 526–546. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2014JD022062/epdf>
24. Mahowald, N.M., Kloster, S., Engelstaedter, S., Moore, J.K., Mukhopadhyay, S., McConnell, J.R., Albani, S., Doney, S.C., Bhattacharya, A., Curran, M.A.J. and Flanner, M.G. (2010). Observed 20th century desert dust variability: impact on climate and biogeochemistry. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 10875–10893. https://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/staff/klostersilvia/Mahowald_et_al_ACPD_2010.pdf
25. Gill, T.E. (1996). Eolian sediments generated by anthropogenic disturbance of playas: Human impacts on the geomorphic system and geomorphic impacts on the human system. *Geomorphology*, 17, 207–228. https://www.researchgate.net/publication/222233193_Eolian_sediments_generated_by_anthropogenic_disturbance_of_playas_Human_impacts_on_the_geomorphic_system_and_geomorphic_impacts_on_the_human_system
26. McConnell, J.R., Aristarain, A.J., Banta, J.R., Edwards, P.R. and Simões, J.C. (2007). 20th-Century doubling in dust archived in an Antarctic Peninsula ice core parallels climate change and desertification in South America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(14), 5743–5748. <http://www.pnas.org/content/104/14/5743.full.pdf>
27. Marx, S.K., Kamber, B.S., McGowan, H.A. and Denholm, J. (2011). Holocene dust deposition rates in Australia's Murray-Darling Basin record the interplay between aridity and the position of the mid-latitude westerlies. *Quaternary Science Reviews*, 30(23), 3290–3305. https://www.researchgate.net/publication/232391398_Holocene_dust_deposition_rates_in_Australia's_Murray-Darling_Basin_record_the_interplay_between_aridity_and_the_position_of_the_mid-latitude_westerlies
28. Groll, M., Opp, C. and Aslanov, I. (2012). Spatial and temporal distribution of the dust deposition in Central Asia – results from a long term monitoring program. *Aeolian Research*, 9, 49–62. https://www.researchgate.net/publication/257708671_Spatial_and_temporal_distribution_of_the_dust_deposition_in_Central_Asia_-_results_from_a_long_term_monitoring_program
29. Ataniyazova, O.A. (2003). *Health and ecological consequences of the Aral Sea crisis*. In the 3rd World Water Forum, Regional Cooperation in Shared Water Resources in Central Asia, Kyoto, March 18 2003, Panel III: Environmental Issues in the Aral Sea Basin. http://www.caee.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/papers/ataniyazova_wwf3.pdf
30. Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioac, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W-T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A. and Whetton, P. (2007). Regional Climate Projections. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter11.pdf>
31. IPCC (2013). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_TS_FINAL.pdf
32. Han, Y., Dai, X., Fang, X., Chen, Y. and Kang, F. (2008). Dust aerosols: a possible accelerant for an increasingly arid climate in North China. *Journal of Arid Environments*, 72(8), 1476–1489. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196308000372>
33. Twohy, C. H., Kreidenweis, S. M., Eidhammer, T., Browell, E. V., Heymsfield, A. J., Bansemir, A. R., Anderson, B. E., Chen, G., Ismail, S., DeMott, P. J. and Van den Heever, S. C. (2009). Saharan dust particles nucleate droplets in eastern Atlantic clouds. *Geophysical Research Letters*, 36, L01807. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008GL035846/epdf>
34. UNEP, WMO and UNCCD (2016). *Global Assessment of Sand and Dust Storms*. United Nations Environment Programme, Nairobi. https://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/global_assessment_of_sand_and_dust_storms.pdf
35. Xu, J. (2011). China's new forests aren't as green as they seem: impressive reports of increased forest cover mask a focus on non-native tree crops that could damage the ecosystem. *Nature*, 477(7365), 371–372. <http://www.nature.com/news/2011/110921/full/477371a.html>
36. Ouyang, Z., Zheng, H., Xiao, Y., Polasky, S., Liu, J., Xu, W., Wang, Q., Zhang, L., Xiao, Y., Rao, E. and Jiang, L. (2016). Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 352(6292), 1455–1459. http://csis.msu.edu/sites/csis.msu.edu/files/Ecosystems_China_2016.pdf
37. Tan, M. and Li, X. (2015). Does the Green Great Wall effectively decrease dust storm intensity in China? A study based on NOAA NDVI and weather station data. *Land Use Policy*, 43, 42–47. https://www.researchgate.net/publication/268692474_Does_the_Green_Great_Wall_effectively_decrease_dust_storm_intensity_in_China_A_study_based_on_NOAA_NDVI_and_weather_station_data
38. Viña, A., McConnell, W.J., Yang, H., Xu, Z. and Liu, J. (2016). Effects of conservation policy on China's forest recovery. *Science advances*, 2(3), e1500965. <http://advances.sciencemag.org/content/2/3/e1500965.full>
39. UNEP (2015). Review of the Kubuqi Ecological Restoration Project: A Desert Green Economy Pilot Initiative. United Nations Environment Programme, Nairobi. http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8652/-Review_of_the_Kubuqi_Ecological_Restoration_Project_A_Desert_Green_Economy_Pilot_Initiative-2015Review_of_the_Kubuqi_Ecological_Restoration_Project..pdf?sequence=2&isAllowed=1

40. UNCCD (2017). Great Green Wall. United Nations Convention to Combat Desertification Secretariat, Bonn. <http://www.greatgreenwall.org/great-green-wall/>
41. Sacande, M. and Berrahmouni, N. (2016). Community participation and ecological criteria for selecting species and restoring natural capital with native species in the Sahel. *Restoration Ecology*, 24(4), 479-488. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.12337/abstract>
42. UNCCD (2005). *A Master Plan for Regional Cooperation for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms*. The Regional Master Plan for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms in North East Asia Volume 1. United Nations Convention to Combat Desertification Secretariat, Bonn. http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/dustsandstorms_northeastasia.pdf
43. WMO (2015). *Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (SDS-WAS): Science and Implementation Plan 2015-2020*. World Weather Research Programme Report 2015-5. World Meteorological Organization, Geneva. https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/Final_WWRP_2015_5_SDS_IP.pdf
44. WMO (2017). Sand and Dust Storm Warnings website. World Meteorological Organization, Geneva. <https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/environment/sand-and-dust-storm/sand-and-dust-storm-warnings>
45. WOCAT SLM (2017). The Global Database on Sustainable Land Management of the World Overview of Conservation Approaches and Technologies website. University of Bern, Berne. <https://qcat.wocat.net/en/wocat/>
46. FAO (2016). AQUASTAT website. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm
47. 2030 WRG (2015). The 2030 Water Resources Group website. <https://www.waterscarcitysolutions.org/#>

Références bibliographiques des illustrations

48. WHO (2006). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - Global update 2005*. Summary of risk assessment. World Health Organization, Geneva. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf
49. Financial Tribune (2017). Dust Storms Slam Khuzestan Again. *Financial Tribune*, 29 January 2017. <https://financialtribune.com/articles/environment/58374/dust-storms-slam-khuzestan-again>
50. Tozer, P. and Leys, J. (2013). Dust storms - what do they really cost? *The Rangeland Journal*, 35, 131-142. <http://www.publish.csiro.au/rj/pdf/RJ12085>



51. Jugder, D., Shinoda, M., Sugimoto, N., Matsui, I., Nishikawa, M., Park, S-U., Chun, Y-S. and Park, M-S. (2011). Spatial and temporal variations of dust concentrations in the Gobi Desert of Mongolia. *Global and Planetary Change*, 78, 14-22. https://www.researchgate.net/publication/241100103_Spatial_and_temporal_variations_of_dust_concentrations_in_the_Gobi_Desert_of_Mongolia
52. Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbari, A. (2009). Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *International Journal of Environmental Studies*, 66, 343-355. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207230902720170?journalCode=genv20>

Panache de poussière se déplaçant de l'Afrique de l'Ouest vers le bassin de l'Amazonie et le golfe du Mexique, 25 juin 2014. Pas moins de 40 millions de tonnes de poussière du Sahara se déposent chaque année dans le bassin de l'Amazonie. ►

Crédit photo : Norman Kuring/NASA Ocean Color Group

