

Les poussières sahariennes

STEFANO GUERZONI • EMANUELA MOLINAROLI

Des poussières du Sahara traversent la Méditerranée et retombent sur l'Europe, notamment sous la forme de «pluies rouges».

D'Europe, le désert du Sahara est lointain, et plus lointaine encore l'idée que le sable et la poussière provenant d'Afrique du Nord puissent se faire sentir dans tout le bassin méditerranéen et dans la majeure partie de l'Europe. Certains de ces effets sont pourtant manifestes : des pluies laissent des traces rouges sur les voitures, et les vents de sirocco violents apportent parfois du sable. D'autres conséquences sont

plus discrètes, mais tout aussi importantes : certains carbonates basiques des poussières réduisent l'acidité des pluies, et les poussières apportent des éléments nutritifs (des ions contenant du fer et du phosphore) qui favorisent la croissance des algues dans les eaux marines, habituellement pauvres en ces substances.

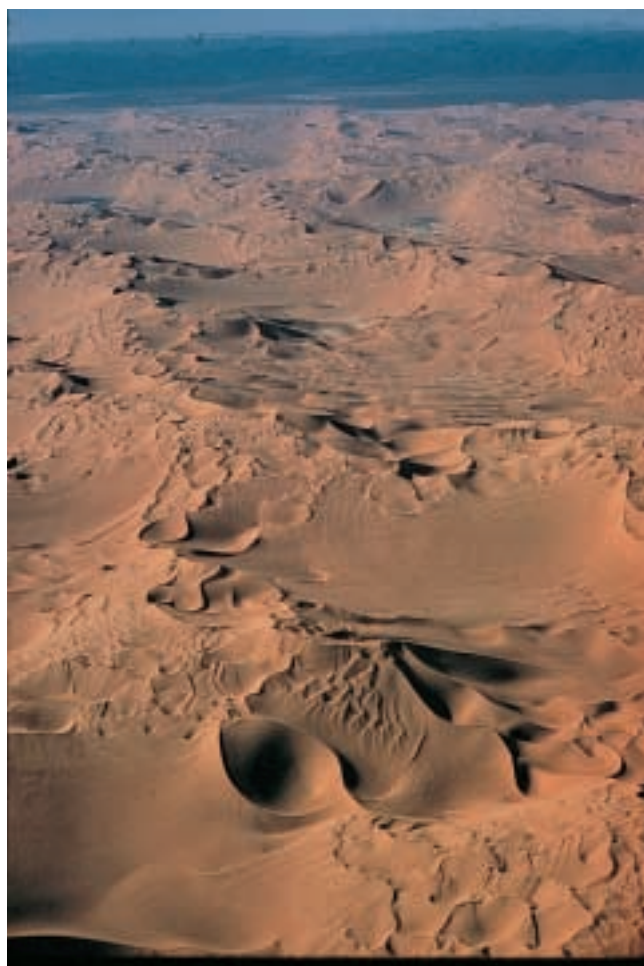
Ce transport des poussières est visible de l'espace : les astronautes à bord de la station *Skylab* ont observé

la trajectoire du sable du Sahara qui, soulevé par une tempête à l'Ouest du Sahara, traversait l'Atlantique et atteignait les Caraïbes. Chaque année, les vents transportent des centaines de milliers de tonnes de sable du Nord du Sahara vers l'Ouest et vers l'Europe. Sur les côtes méridionales de l'Europe, certains couchers de soleil ne sont pas rouges, mais d'un jaune d'or. Cette couleur est due à un voile de particules qui filtre la lumière

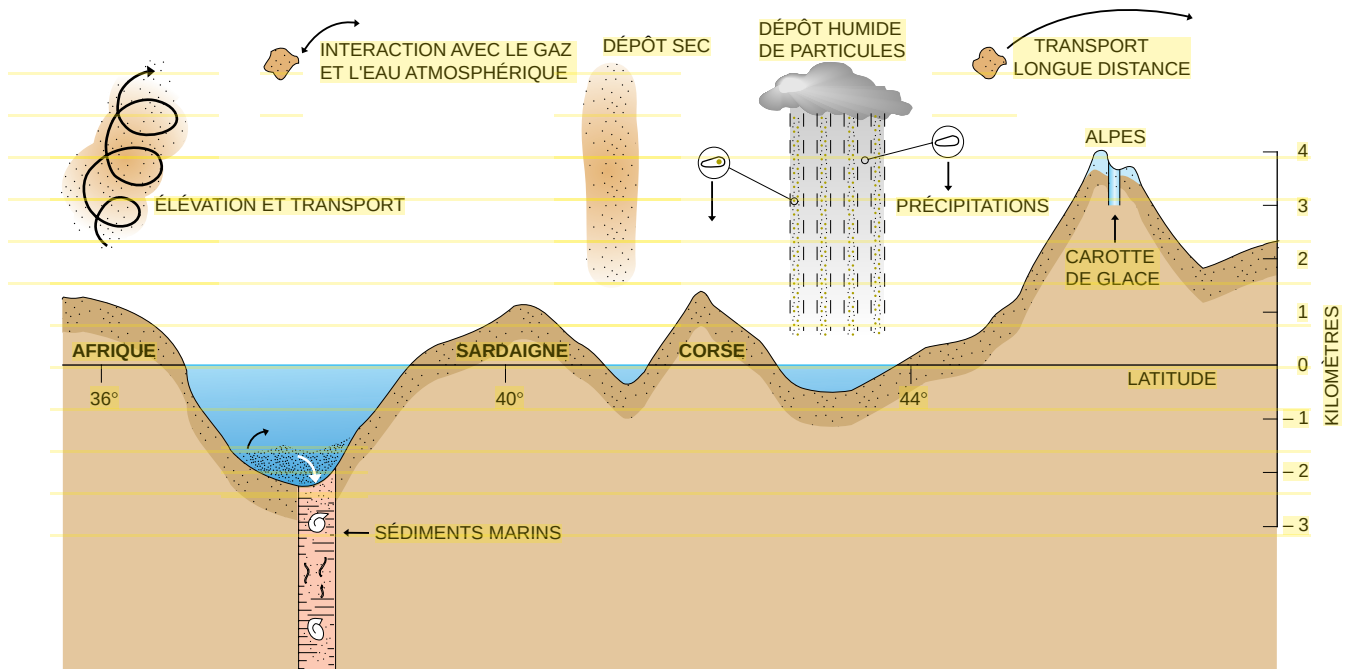


Pierre Boulet/Cosmos

1. LA COLORATION DORÉE de certains levers et couchers de soleil (à gauche), caractéristique du Sahara, résulte de la présence de poussières en suspension dans l'atmosphère. Ce spectacle



est parfois observable dans le Midi de la France. L'environnement saharien s'érode facilement, à l'image de la région de Tassili (à droite).



2. DESTINATIONS POSSIBLES des poussières sahariennes le long d'un profil Sud-Nord, de l'Afrique jusqu'aux Alpes. Les particules provenant du désert africain sont d'abord soulevées et transportées en altitude, où elles interagissent avec le gaz et l'eau. Elles sont ensuite déposées dans la mer et sur la terre, par l'intermédiaire de précipitations sèches ou humides. Dans la mer, cette

poussière reste dans la colonne d'eau ou sédimente sur le fond, avec les particules transportées par les fleuves, les glaciers et celles qui se forment aux dépens de substances dissoutes dans l'eau et par l'intervention d'organismes vivants. Sur la terre, les particules sont piégées dans les glaces, tant alpines que polaires.

solaire. Outre leur aspect esthétique, ces poussières modifient le bilan d'énergie de la Terre et perturbent le climat.

Grâce à un réseau de stations d'échantillonnage (en Sicile, en Sardaigne et en Corse), des géophysiciens ont estimé la quantité de matériaux déposés et ils ont élaboré un modèle du transport de ces particules africaines. Les concentrations moyennes en poussières sahariennes dans l'air diminuent de façon exponentielle lorsque la latitude augmente : d'environ 2 000 microgrammes par mètre cube dans les régions limitrophes au Sahara (35 degrés de latitude Nord), la concentration chute à moins d'un microgramme par mètre cube dans les Alpes et au-delà (entre 45 et 50 degrés de latitude). La quantité annuelle de poussières reçues par la terre et par la mer est ainsi comprise entre moins d'une tonne et plus de 100 tonnes par kilomètre carré.

L'apport n'est pas régulier, mais résulte principalement de quelques épisodes violents : les tempêtes de poussières. Les climato-

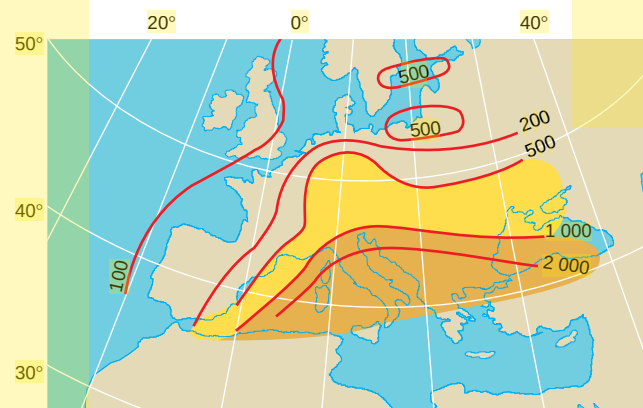
logues cherchent à prévoir l'impact climatique de ces poussières. Dans certains cas, l'impact est clair, comme pour l'éruption du Pinatubo, en 1991 : les poussières volcaniques ont été si abondantes (30 millions de tonnes) et projetées si haut (plus de 30 kilomètres) qu'elles sont restées dans l'atmosphère pendant plusieurs mois, diminuant la température moyenne du Globe de 0,5 °C.

Chaque grain de poussière parti d'Afrique interagit de façons variées avec l'air, le gaz et l'eau le long d'un

trajet qui atteint quelques centaines, voire quelques milliers de kilomètres. Ces longs transports ne se limitent pas uniquement au bassin méditerranéen et à l'Europe méridionale : les poussières sahariennes se déposent souvent dans toute la France, en Allemagne et, dans certains cas, à des latitudes supérieures (pays scandinaves et pôle Nord). Un événement important est survenu en mars 1991. Après l'avoir examiné, nous verrons comment l'analyse des poussières sahariennes qui arrivent aux pôles révèle les changements climatiques naturels. Puis nous examinerons les conséquences variées de ces épisodes de transport.

Une grande tempête de sable

Le 8 mars 1991, vers midi, le ciel au-dessus de la région de Sidi Bouzid, en Tunisie, fut obscurci par des nuages de poussières en provenance du désert. Simultanément, des vents chauds soufflèrent pendant plusieurs jours sur le Sahara ; la température enregistrée par de nombreuses stations météorolo-



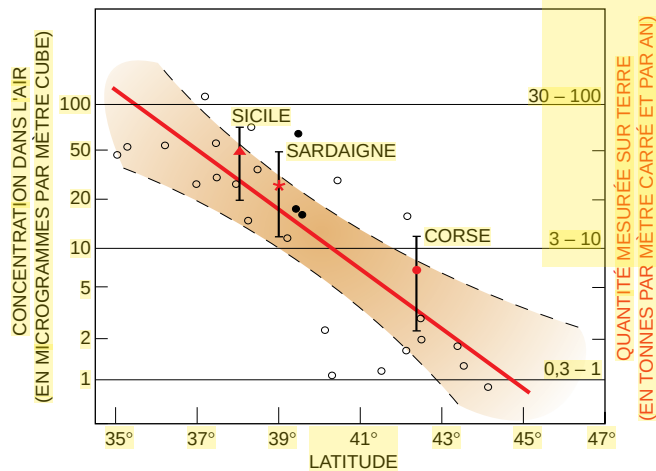
3. LE CONTINENT AFRICAIN enrichit l'atmosphère européenne en calcium. Les lignes rouges indiquent des zones de quantités égales de calcium (quantités annuelles moyennes relevées au niveau du sol, en milligramme par mètre carré). Cet enrichissement est lié à la dissolution partielle des carbonates présents dans les poussières désertiques transportées.

giques d'Afrique du Nord augmenta. Les vents très rapides et turbulents étaient dus à une différence de pression entre un anticyclone (hautes pres-

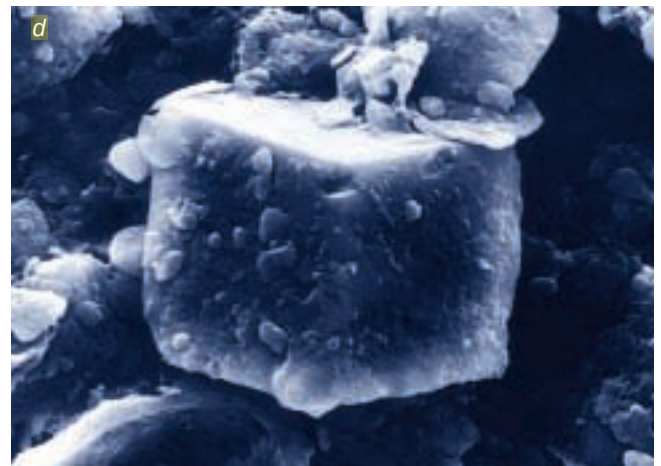
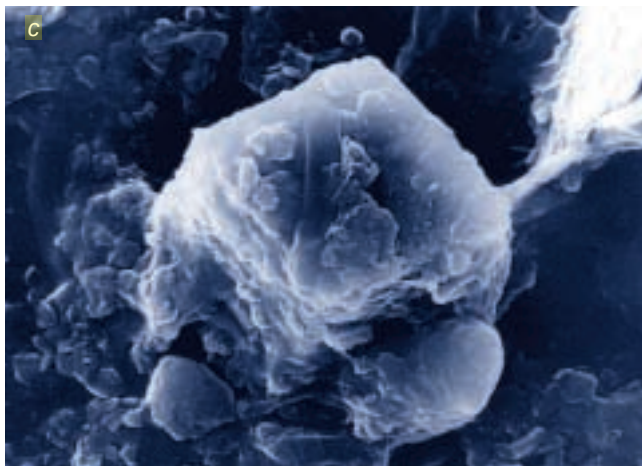
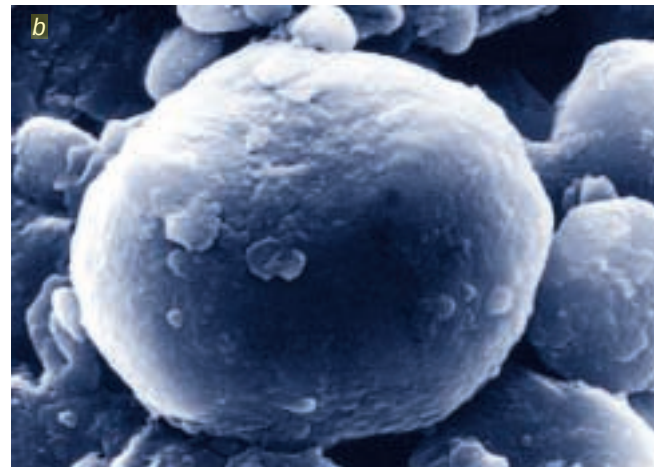
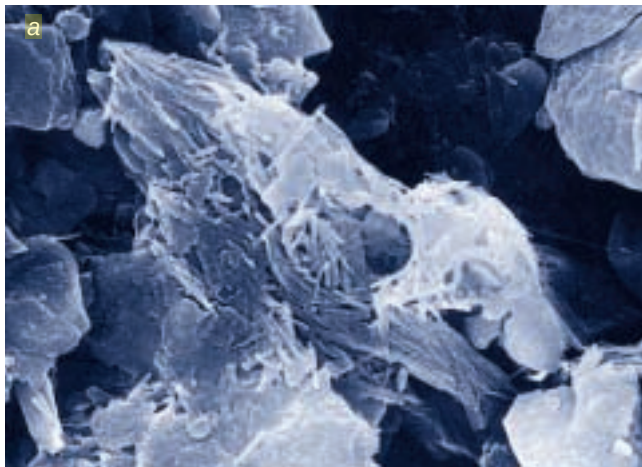
sions) situé au-dessus de l'Afrique orientale et une dépression située au-dessus de l'Atlas (voir la figure 6). Alors que l'anticyclone se déplaçait vers l'Est, la Tunisie fut balayée, le 8 mars, par des vents chauds dont la vitesse atteignait parfois 100 kilomètres par heure. L'après-midi de ce même jour, le trafic aérien fut bloqué à l'aéroport de Palerme en raison de nuages de poussières saha-

riennes qui provenaient du Sud. En Sardaigne, une station préleva des échantillons de poussière afin de les étudier et de les caractériser d'un point de vue physique (dimension des particules et composition minéralogique) et chimique (composition des particules elles-mêmes).

Ces analyses confirmèrent la provenance saharienne des poussières : elles comprenaient certains matériaux typiques des zones désertiques, tels la palygorskite (minéral feuilleté riche en magnésium), le quartz, la calcite



4. LA CONCENTRATION EN POUSSIÈRES dans l'air et leur transport vers la terre diminuent de manière exponentielle avec la latitude, du Sud vers le Nord. De 50 à 100 tonnes par kilomètre carré et par an à 10-20 degrés de latitude en Sicile et en Sardaigne, on passe à moins d'une tonne par kilomètre carré par an sur les Alpes. Sur ce graphique, on a reproduit deux types de mesures : les mesures satellitaires (cercles noirs, échelle à gauche) et les mesures au sol (formes rouges, échelle à droite).



5. CES MINÉRAUX, photographiés au microscope électronique, sont typiques des poussières désertiques. Ce sont de la palygorskite (a), un minéral argileux riche en magnésium ; du quartz (b), ou oxyde de silice ; de la calcite (c), ou carbonate de calcium, et de la dolomite (d), ou carbonate de calcium et de magnésium. Pour certains minéraux, tel le quartz, la morphologie

permet de reconnaître le transport éolien et la provenance désertique. La palygorskite est un minéral typique des sols arides et semi-arides dont les principales sources sont les alluvions des fleuves ou des lacs asséchés, ainsi que les lacs salés de l'Afrique Nord-occidentale. Les poussières sont souvent riches en carbonates qui réduisent l'acidité des pluies.

(carbonate de calcium) et la dolomite (carbonate de calcium et de magnésium). En France, cette tempête de poussières provoqua l'apparition de neige colorée dans les Pyrénées et de pluies rouges dans le Sud et dans le centre. Sur 150 000 kilomètres carrés, plus de 150 000 tonnes de poussières se déposèrent. Des dépôts de couleur ocre furent signalés en Angleterre le 7 et le 8 mars, au Nord de l'Allemagne le 8 et le 9 et en Belgique à l'aube du 9. Le 10 mars, presque 50 000 tonnes de poussière du désert avaient coloré la neige dans une vaste région située entre la Suède et la Finlande, proche du cercle polaire arctique. Le matériau déposé était composé de minuscules particules minérales (un à dix micromètres de diamètre) et de pollens d'aulne, de noisetier et d'armoïse, qui avaient voyagé sur plus de 5 000 kilomètres.

Une pluie de sang

Le premier cas bien décrit de transport de ce type fut ce que l'on nomma la «pluie de sang», entre le 9 et le 12 mars 1901 : à cette occasion, des poussières furent retrouvées jusqu'au Nord de l'Allemagne.

L'intérêt porté à ces phénomènes et à leurs effets n'est pas nouveau. Déjà, Aristote notait : «Les pluies du Sud et les premières pluies d'automne recueillent sur les lieux qu'elles traversent une grande quantité d'exhalaisons sèches, et le vent du Sud mêle beaucoup de terre à la pluie qui tombe.»

Pourquoi et comment les poussières sahariennes sont-elles transportées vers l'Europe ? Souvent, le transport survient lorsqu'une dépression sur l'Espagne ou sur la France déplace un air chaud et sec de l'Afrique du Nord vers l'Europe. Dans certains cas, cette couche d'air «africain» voyage au niveau de la mer, à environ 1,5 kilomètre d'altitude. D'autres fois, lorsqu'une dépression forte est présente au-dessus du Sahara, l'air chaud et sec est aspiré à des altitudes importantes, et il voyage au-dessus de l'air plus humide et plus froid de la Méditerranée, à près de six kilomètres d'altitude. La poussière est alors transportée très loin, jusqu'au Nord de l'Europe. De surcroît, si un anticyclone est simultanément présent sur le centre de l'Afrique du Nord, la poussière ne s'étend pas vers l'Est mais est «canalisée» vers le Nord,

comme ce fut le cas en mars 1991 (voir la figure 6).

Aujourd'hui, ces transports sont étudiés et quantifiés grâce à des satellites et à un réseau de stations d'échantillonnage. François Dulac et ses collègues du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, à Saclay, ont ainsi utilisé le satellite météorologique *Meteosat* pour étudier quantitativement le transport saharien. Cette méthode se fonde sur la mesure de la «perturbation optique» due aux poussières : les capteurs du satellite mesurent la lumière solaire réfléchiée par le système Terre-atmosphère ; très réfléchissantes, les poussières augmentent la quantité de lumière réfléchiée.

Grâce à l'étude statistique des images quotidiennes prises par *Meteosat* entre 1984 et 1994, ils ont estimé la quantité de poussières transportées sur la Méditerranée et ont découvert un cycle saisonnier : durant le printemps et l'été, la quantité transportée est maximale.

Ces mesures par satellite ne correspondent que partiellement à celles rassemblées depuis dix ans par les stations en Corse et en Sardaigne. Pourquoi ces différences ? Parce que les satellites ne fournissent pas d'images utiles lorsque le ciel est nuageux, et que, dès lors, ils sous-estiment le transport en période hivernale. En outre, les stations au sol détectent à la fois les dépôts secs et les dépôts humides (par les précipitations), tandis que les satellites ne voient que les dépôts secs. Bien que le climat du bassin méditerranéen soit considéré comme sec, plus de la moitié des poussières désertiques qui touchent le sol tombent avec les pluies.

Les climatologues comparent également les données saisonnières ou annuelles moyennes avec celles d'autres archives naturelles, telles les glaces. Les glaces des calottes polaires et des glaciers emprisonnent les poussières, qui restent alors inaltérées



6. ENTRE LE 6 ET LE 10 MARS 1991, une tempête a emporté des poussières du Sahara vers l'Europe. La zone hachurée indique la zone d'érosion, dans le Sahara, d'où provenait cette poussière. Les zones colorées indiquent les zones où l'on a retrouvé les dépôts les plus importants de poussières. On note une zone étendue dans le Nord de la Suède et de la Finlande. Au Sud des Alpes, la poussière tombée sur la neige semble avoir contribué à la fonte rapide du glacier qui a permis la découverte de l'homme des glaces, le 19 septembre 1991.