



1. Les tempêtes de poussières transportent des micro-organismes infectieux et des produits chimiques dangereux qui ont un impact non négligeable sur les écosystèmes. Cette tempête au-dessus du Nord-Ouest de l'Afrique souffle vers l'Atlantique en survolant les îles Canaries, le 11 février 2001. L'image a été prise par le détecteur SeaWiFS, embarqué sur le satellite *Orb View-2*, qui observe des tempêtes similaires, chaque année depuis son lancement en août 1997.

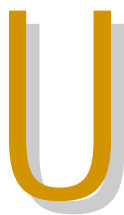
La mondialisation des poussières

Les vents transportent, d'un continent à l'autre, des poussières, mais aussi des micro-organismes et des substances toxiques. Ces « passagers clandestins » pourraient transporter des maladies et modifier les écosystèmes.

D. Griffin • C. Kellogg • V. Garrison • E. Shinn

D'après plusieurs rapports, il apparaît que la quantité de poussière qui tombe au large sur les navires traversant l'Atlantique est considérable, et que l'atmosphère est souvent rendue fort brumeuse; mais plus près de la côte africaine, la quantité est plus considérable encore. À plusieurs reprises, des navires se sont précipités sur la côte en raison de l'air brumeux: c'est pourquoi Horsburgh recommande à tous les navires d'éviter le passage entre l'archipel du Cap Vert et le continent.

Charles Darwin, 1846



Un tour d'horizon de la littérature scientifique révèle que de nombreux champs d'investigation sont jugés dignes d'intérêt de façon périodique: certaines idées sont à la mode pour un temps, puis sombrent dans l'oubli, avant de refaire surface comme si elles n'avaient jamais été émises.

L'aérobiologie, c'est-à-dire l'étude des micro-organismes, tels des bactéries et des pollens transportés par les airs, est l'un de ces domaines.

On estime à deux milliards de tonnes le poids des poussières qui s'élèvent chaque année dans l'atmosphère, soulevées principalement par des tempêtes, et qui circulent autour de la Terre. Cette matière en suspension contient des polluants, tels des herbicides et des pesticides, et de nombreux micro-organismes, tels des bactéries, des virus et des champignons. On évalue à environ 10^{18} le nombre de bactéries transportées par des aérosols et se déplaçant autour de la planète chaque année: cette quantité serait suffisante pour constituer un pont de bactéries jusqu'à Jupiter!

Il y a quelques années, quand nous avons montré que des micro-organismes vivants sont transportés au-dessus de l'océan Atlantique dans des nuages de poussière provenant des déserts africains, nous avons suscité deux types de réactions. Selon certains, il était impossible que les bactéries, les champignons ou les virus survivent à un tel voyage d'une semaine dans l'atmosphère: ils devaient être détruits par le rayonnement ultraviolet, et ne pas résister au manque de nutriments ou à la dessiccation. D'autres ont répondu que ce phénomène était connu depuis longtemps... et ils avaient raison. On sait depuis le XIX^e siècle que les micro-organismes survivent au transport par le vent sur de longues distances. Hélas, la connaissance de ce fait, tenu pour acquis, s'était perdue.

Aujourd'hui, on redécouvre l'impact et l'étendue des retombées de poussière, notamment issue de l'Afrique (voir la figure 1). Par exemple, chaque année, 13 millions de tonnes de sédiments africains transportés par le vent retombent sur le Nord du bassin de l'Amazone. Une seule grosse tempête transporte parfois plus de 200 tonnes de poussière. En outre, les tempêtes de poussière qui naissent en Afrique dégradent la qualité de l'air en Europe et au Moyen-Orient. Ainsi, la mince couche de poussière rouge qui recouvre parfois les automobiles en Europe de l'Ouest vient d'Afrique.

Ces chiffres sont impressionnants, mais ils comptent moins que la nature des micro-organismes transportés. En effet, depuis quelques années, nous mesurons et identifions les microbes présents dans l'air des Caraïbes lors des tempêtes de poussière: environ 25 pour cent d'entre eux sont des bactéries ou des champignons pathogènes pour les



NOAA George E. Marsh Album

2. En avril 1935, pendant la sécheresse qui a dévasté les plaines du Sud des États-Unis, une tempête de poussière a balayé Stratford, au Texas.

cultures ou pour les coraux, et dix pour cent sont des pathogènes opportunistes pour les êtres humains, c'est-à-dire qu'ils infectent des individus dont le système immunitaire est affaibli. Ces retombées ont des conséquences directes sur la santé humaine. Ainsi, selon certains, l'épidémie de grippe qui tua 20 millions de personnes en 1917 résulterait, en partie, de la propagation de l'agent viral par une tempête de poussière : ce mode de transport expliquerait la rapidité avec laquelle le virus a envahi le monde.

Bien que le virus du SRAS ait théoriquement pu être véhiculé par des poussières, par delà les océans, les études épidémiologiques montrent qu'il s'est propagé par contact direct de personne contaminée à personne saine. Après avoir décrit ce que nous « savions » il y a environ 200 ans, sur le transport planétaire des poussières, nous ferons le point sur les données récentes acquises sur le transport aérien des sédiments autour du globe.

Du vieux dépoussiéré

Au début du XIX^e siècle, le biologiste allemand Christian Ehrenberg décrit des objets microscopiques trouvés dans la poussière atmosphérique et examine les « infusoires » (le terme historique qui désignait les micro-organismes) d'un échantillon de poussière recueilli par Darwin à bord du *Beagle*. Le père de la Théorie de l'évolution avait déjà fait le lien entre les microbes et la poussière lorsqu'il disait : « Les alizés, par exemple, transportent des spores de champignons mêlés à leur poussière, qui voyagent sur des milliers de kilomètres avant de se déposer. »

Louis Pasteur identifie des bactéries et des champignons vivants dans l'air des montagnes et note que leur quantité diminue fortement avec l'altitude. Cette variabilité atmosphérique est étudiée à la fin du XIX^e siècle à Paris par Pierre Miquel qui prélève, chaque jour, des échantillons dans le centre de Paris ainsi que dans un parc de la périphérie : il montre que les bactéries et les champignons sont plus abondants au pied de Notre-Dame que

dans le Bois de Boulogne. De plus, aux deux endroits, les micro-organismes sont plus nombreux l'été. Ses observations l'amènent à établir une classification des bactéries – toujours en vigueur – fondée sur leur morphologie : les *Micrococcus* (les petites sphères), les *Bacillus* (en forme de bâtonnet) et les *Vibrio* (en forme de boomerang). Au début du XX^e siècle, les bactériologistes analysent des échantillons prélevés par des ballons. Un des échantillons prélevé à 1 300 mètres au-dessus de Genève contient des bactéries et des champignons ! Les expérimentateurs sont incrédules et attribuent la présence de ces micro-organismes à une contamination du ballon.

Pourtant, au cours des décennies suivantes, on trouve des micro-organismes toujours plus haut. Par exemple, en 1908, des bactériologistes allemands recueillent des bactéries viables à 4 000 mètres au-dessus de Berlin. Toutes ces bactéries sont des variétés formant des spores (des formes de vie au ralenti qui apparaissent quand les conditions sont défavorables) et la plupart sont pigmentées (ces pigments absorbent la lumière en surface et réduisent les dommages qu'elle causerait en profondeur) : ces deux mécanismes de protection aident les organismes à survivre dans l'atmosphère. L'année suivante, Hahn montre que, dans les échantillons, la quantité de bactéries est proportionnelle à la quantité de poussière.

À partir des années 1920, les échantillons atmosphériques sont prélevés par des avions. La plupart des nombreuses études rendent alors compte d'échantillons collectés entre 500 et 5 000 mètres d'altitude. En 1930, un vol dans la stratosphère, financé par la Société *National Geographic*, détecte des bactéries et des champignons viables à plus de 21 kilomètres au-dessus de la Terre ! Jusqu'à cette date, on n'avait collecté des échantillons qu'au-dessus des terres, et l'on ignorait la distance que peuvent parcourir les spores de champignons. Aussi, au début des années 1930, Fred Meier, du ministère de l'Agriculture des États-Unis, convainc Charles Lindbergh de prélever des échantillons au cours d'un vol entre le Maine et le Danemark, au-dessus d'étendues inhabitées de glace, d'eau et de montagnes. Dans ces régions, l'existence de populations fongiques endogènes est peu probable. Pourtant, les échantillons, prélevés sur des lames de microscope stériles huilées, recèlent quelques « prises » intéressantes. Parmi elles, une multitude de spores fongiques, de pollens, d'algues, de diatomées et d'ailes d'insectes. Ainsi, l'idée que des spores de champignons et divers micro-organismes sont transportés par les vents tout autour de la Terre fait son chemin. Encouragé, Meier met sur pied un programme ambitieux de collecte au-dessus de la mer des Antilles et de l'océan Pacifique qu'interrompt sa mort en 1938 dans un accident d'avion.

Trouver et identifier des micro-organismes aériens sont certes instructifs, mais il est temps de faire des mesures. La première étude quantitative à haute altitude a lieu au-dessus de l'Atlantique en juin et en août 1951. Cette période correspond à la saison de la poussière africaine dans les Caraïbes et dans le Sud-Est des États-Unis. Les mesures révèlent que les quantités de micro-organismes dépendent davantage de l'origine (tropicale ou polaire) des masses d'air que du lieu géographique

du prélèvement : l'air tropical contient 100 fois plus de spores que l'air polaire.

Les études sur le transport des micro-organismes par le vent restent en dormance pendant une quarantaine d'années. Bien que, dans les années 1920, on ait montré qu'un nombre considérable de bactéries est emporté avec la poussière dans l'atmosphère, et que l'on sache que certaines d'entre elles survivent à la lumière, à des températures extrêmes et à l'absence d'humidité de l'atmosphère, on « oublie » les bactéries atmosphériques. Pour quelles raisons ? On pense alors que la transmission aérienne des bactéries a une incidence quasi nulle sur la santé humaine et sur l'économie. L'étude du transport des champignons est privilégiée, car la plupart des maladies agricoles transmissibles graves sont d'origine fongique. En outre, les rares études sur la dispersion des bactéries issues, par exemple, d'usines de traitement des eaux usées, concluent que leur rayon de dispersion ne dépasse guère un kilomètre. Aussi n'est-il pas nécessaire d'entreprendre des études plus poussées. Et pourtant...

À la fin des années 1990, quand les recherches sur les transports aériens de bactéries sortent de l'oubli, les images

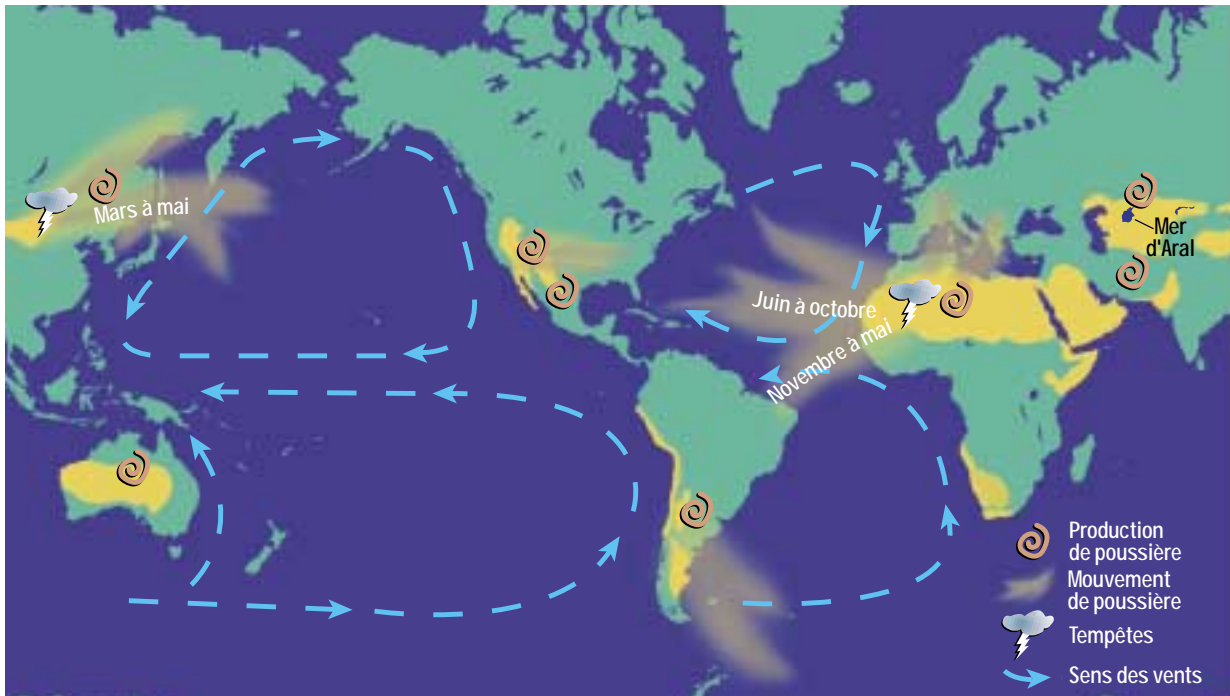
obtenues par satellite révèlent que d'énormes quantités de micro-organismes sont transportées dans l'atmosphère : les sols désertiques sont transformés en aérosols, aspirés dans l'atmosphère où ils forment de gigantesques nuages de poussière. L'énergie nécessaire pour cette aspiration massive dans l'atmosphère est fournie par des systèmes de hautes pressions et de tempêtes qui engendrent des vents puissants. Une fois en l'air, les aérosols et leurs minuscules hôtes sont ballottés au gré de la circulation atmosphérique et se déposent parfois à des milliers de kilomètres (voir la figure 4).

Le suivi des bactéries par satellite

Les plus importantes sources de sédiments aéroportés se situeraient en Afrique, au Sahara et au Sahel, où la sécheresse sévit depuis la fin des années 1960. Dans ces régions, par exemple au Mali, la nature de ces aérosols a été modifiée par les pratiques agricoles. Les installations sanitaires de base manquent. Le fleuve Niger, qui traverse les terres

3. Cette image par satellite du 30 octobre 2001 montre que la poussière africaine envahit régulièrement l'atmosphère au-dessus de l'Europe.





4. Les régions arides (en jaune) sont les premières sources de poussière atmosphérique. Dans ces régions, les tempêtes soulèvent les sédiments, qui sont ensuite transportés sur des milliers de kilomètres au-dessus des océans par les vents dominants (flèches). Les tempêtes emportent de la poussière vers l'Ouest de l'Afrique tout au long de l'année, mais lors de phénomènes saisonniers, les

vents entraînent les sédiments plus au Nord. Les tempêtes du continent asiatique ont lieu le plus souvent au printemps. Au cours des dernières décennies, les sécheresses et les pratiques agricoles dans de nombreuses régions, tels l'Afrique du Nord, le désert de Gobi et le pourtour de la mer d'Aral, ont entraîné une augmentation de l'étendue des zones arides et l'aggravation du problème.



5. Le stockage des déchets à ciel ouvert, par exemple ici à Djenné, au Mali, accroît la nocivité des tempêtes de poussières, car les substances toxiques qu'ils contiennent contaminent les sédiments de surface emportés dans l'atmosphère.

arides du Mali sur des milliers de kilomètres, charrie toutes sortes de déchets, des matières fécales animales aux excréments humains contenant des produits pharmaceutiques utilisés contre diverses maladies. Une fois par an, le fleuve dépose sur la plaine inondable de grandes quantités de fins sédiments, sur lesquels les cultivateurs font leurs plantations, ajoutant des pesticides et brûlant des ordures pour fertiliser le sol. Naguère, ces ordures étaient constituées de déchets animaux et végétaux, mais depuis une vingtaine d'années, elles contiennent des matières plastiques et des pneus. Nuit et jour, des centaines de petits feux brûlent et libèrent dans une fumée noire des effluves de plastiques, des hydrocarbures, de la dioxine et des métaux lourds. Ces produits de combustion sont facilement adsorbés par les particules argileuses du sol et sont entraînés avec elles, dans l'atmosphère, lors des tempêtes. Les petites particules adsorbent également des produits chimiques contenus dans l'atmosphère, par exemple d'autres pesticides, des produits de combustion et des éléments radioactifs.

Où se déposent ces particules, ces substances chimiques et ces micro-organismes ? Joe Prospero, de l'Université de Miami, enregistre la quantité de poussière qui est apportée aux Caraïbes et en Amérique depuis 1965. Il a montré que la quantité de poussières retombant sur les Caraïbes et sur l'Amérique a augmenté à mesure que la sécheresse en Afrique s'est aggravée. Par ailleurs, il a montré que, au-dessus de l'île de la Barbade, le nombre de bactéries et de champignons provenant de l'atmosphère augmente avec la concentration de poussière africaine dans la région.

La répartition de la poussière africaine varie selon les saisons au gré des vents dominants : de juin à octobre,

l'essentiel des sédiments africains se dépose sur les Caraïbes et sur l'Amérique du Nord ; de novembre à mai, il tombe sur l'Amérique du Sud. Parmi les agents pathogènes des cultures qui traversent l'Atlantique, on trouve les responsables de la rouille de la canne à sucre (*Puccinia melanocephala*), de la rouille du café (*Hemileia vastatrix*) et de la tavelure de la feuille de bananier (*Mycosphaerella musicola*), une maladie caractérisée par de petites taches. *Aspergillus sydowii*, l'agent pathogène d'une espèce de coraux (*Gorgonia ventalina*) répandue dans les Caraïbes, est également présent dans l'atmosphère des Antilles quand la poussière africaine abonde dans l'atmosphère. Cette espèce, ainsi que d'autres organismes des récifs coralliens, est en déclin depuis la fin des années 1970 (voir la figure 6), et nous pensons que de nombreuses autres maladies des coraux se répandent par l'intermédiaire de poussières provenant d'Afrique et d'Asie. La poussière africaine véhicule des agents pathogènes, mais, *a contrario*, elle a aussi des effets positifs sur la flore du monde occidental : elle contient du fer qui joue un rôle nutritif pour les plantes de la canopée de la forêt tropicale amazonienne. Toutefois, cet « engrais atmosphérique » a été incriminé, car il favoriserait l'efflorescence des algues *Karenia brevis*, créant des « marées rouges » sur les côtes de Floride.

Les poussières africaines ont un effet direct sur la santé humaine. Par exemple, elles seraient un vecteur de *Neisseria meningitidis*, la bactérie responsable de la méningite à méningocoque, en Afrique sub-saharienne où des épidémies dramatiques succèdent souvent aux tempêtes locales de poussière. Par ailleurs, dans les Caraïbes, on étudie si les tempêtes de poussière pourraient expliquer que les cas d'asthme ont été multipliés par 17 depuis 1973, c'est-à-dire depuis que la quantité de poussière africaine apportée dans la région a commencé à augmenter. Certaines particules de poussière sont si petites qu'une fois inhalées, elles ne peuvent plus être expirées. Les contaminants qu'elles véhiculent s'accumulent alors au fond des poumons, près des capillaires, où les effets sont délétères : les pesticides et les hydrocarbures polyaromatiques perturbent les glandes endocrines, les dioxines et certains éléments radioactifs sont cancérigènes et les métaux lourds sont toxiques pour les cellules.

D'Afrique et d'ailleurs

Les déserts d'Asie sont également une source de sédiments aéroportés pendant le printemps. En avril 2001, un gros nuage de poussière né dans le désert de Gobi, en Chine, a fait le tour du monde par l'Est, traversant la Corée, le Japon, l'océan Pacifique (en cinq jours), l'Amérique du Nord, l'océan Atlantique et enfin l'Europe. Le satellite TOMS de la NASA a suivi la progression de ce phénomène (voir la figure 8). La désertification en périphérie des déserts chinois entre 1975 et 1987 a été attribuée au pâturage intensif, à la déforestation et à des pratiques agricoles mal maîtrisées. Elle progresserait au rythme de 2 100 kilomètres carrés par an. Pendant les événements de tempête de poussière importants, quelque 4 000 tonnes d'aérosols des déserts d'Asie s'abattaient sur l'Arctique toutes les heures. Ce transport est attesté par l'identification de



6. Les coraux de la mer des Caraïbes et au large de la Floride, ici *Micropora annularis* (en 1988, en haut ; en 1998, au milieu ; en 2001, en bas), ont commencé à blanchir dès la fin des années 1970, et notamment depuis 1983. Certaines des maladies (ici la maladie des bandes noires) sont propagées par les poussières africaines et asiatiques. L'exemple le mieux connu est celui du champignon *Aspergillus sydowii*, présent dans la poussière africaine, qui a décimé l'espèce commune de corail *Gorgonia ventalina*.

pesticides et d'herbicides trouvés dans des tissus animaux et dans le lait de femmes allaitantes dans les populations indigènes de l'Arctique.

Ces tempêtes de poussières asiatiques ont des conséquences encore non élucidées sur le climat global et sur la santé humaine. En 1998, lors d'une tempête de poussière de ce type, 12 personnes sont mortes dans la région de Xinjiang, en Chine, tandis qu'une pluie jaune et boueuse s'abattait sur l'Est de la Chine et sur la Corée. En Amérique du Nord, ces tempêtes de poussière diminuent l'ensoleillement et confèrent au ciel un aspect blanc laiteux. Lors de ces événements, les agences de santé émettent souvent des bulletins d'alerte à la pollution de l'air.

Le fond des lacs asséchés est une autre source de poussières aéroportées, car les particules de leurs sédiments sont plus petites que celles des sédiments terrestres. Le lac Owens,

en Californie du Sud, que la ville de Los Angeles a vidé en 1913 à force d'y puiser de l'eau, a un fond sec de 280 kilomètres carrés environ: chaque année, quelque huit millions de tonnes de sédiments lacustres sont aspirés dans l'atmosphère. La surface du lac Tchad ne fait plus que 1350 kilomètres carrés alors qu'elle atteignait 25 000 kilomètres carrés en 1963. Cette réduction drastique résulte d'une sécheresse prolongée et de l'utilisation de l'eau pour l'agriculture. L'activité humaine autour du lac a contaminé les sédiments de surface qui sont arrachés par les vents. La surface de la mer d'Aral, qui représentait environ 60 000 kilomètres carrés en 1960, a été divisée par deux, car les eaux de source qui l'alimentaient ont été détournées pour l'agriculture. Aujourd'hui, pendant une tempête, la formation de nuages de poussières, riches en pesticides et en herbicides, y est fréquente.

Jusqu'où et combien de temps ?

Selon Peter Conrad, commandant de la mission *Apollo 12*, la chose la plus intéressante que l'homme ait trouvée sur la Lune sont les petites bactéries qui y avaient été apportées et qui survécurent. Il s'étonnait que personne n'en ait jamais parlé. Il évoquait les bactéries *Streptococcus mitis* isolées sur la sonde *Surveyor 3* qui était restée deux ans et demis sur la Lune.

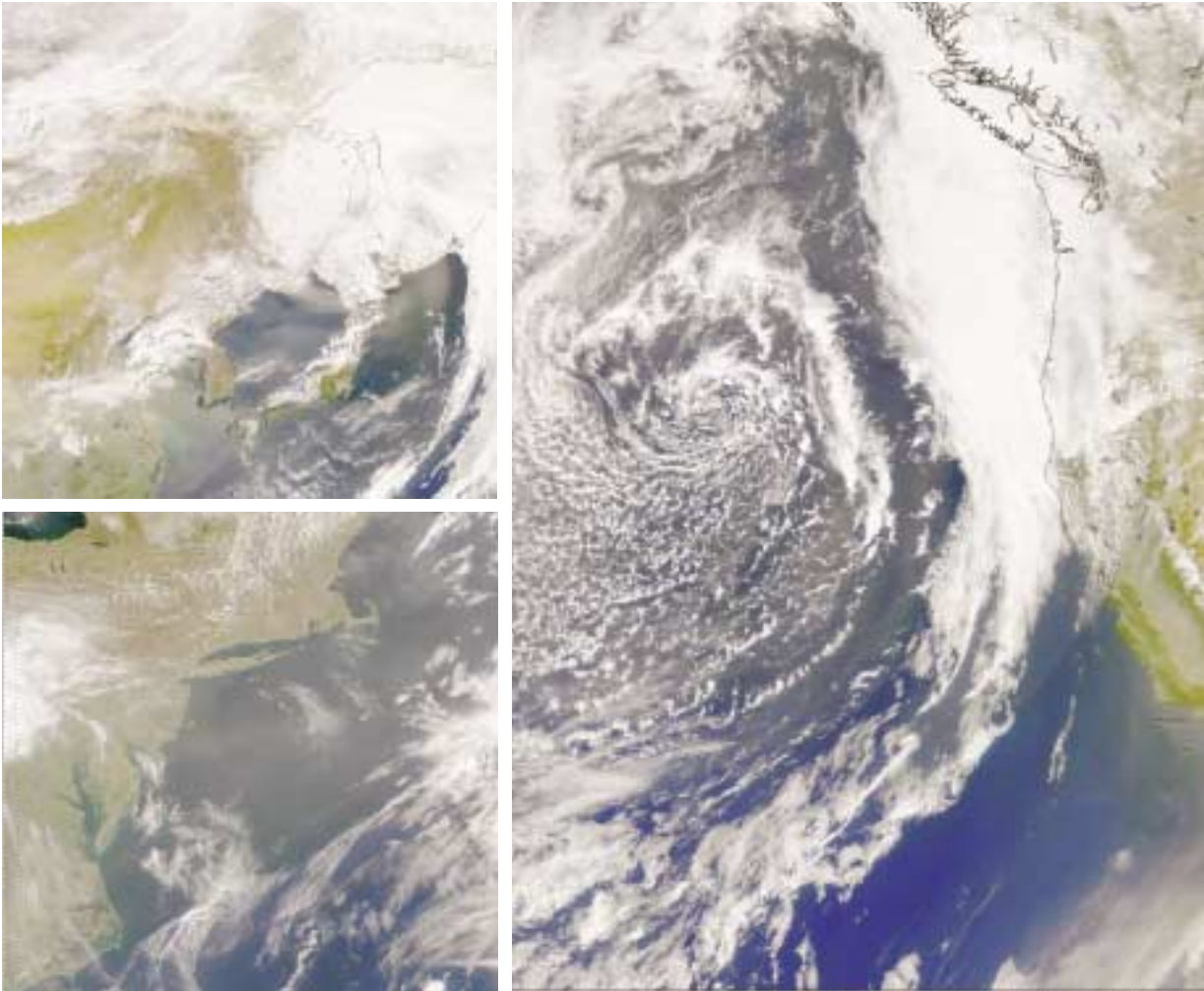
Les microbiologistes tentent de déterminer les limites de la résistance des micro-organismes: sur quelle distance, jusqu'à quelle altitude et durant combien de temps peuvent-ils survivre dans l'atmosphère? À la fin des années 1970, les fusées météorologiques soviétiques ont récolté, jusqu'à 77 kilomètres au-dessus de la surface de la Terre, des spores fongiques qu'ils ont pu réactiver! Ces champignons pigmentés ont été testés dans des conditions extrêmes: ils ont résisté au rayonnement ultraviolet, à de très basses températures, à des cycles de congélation et de décongélation répétés, et à un vide poussé. Un des microbiologistes du projet a également remarqué qu'on trouvait les micro-organismes en plus grand nombre dans l'atmosphère après une tempête de poussière que dans des conditions atmosphériques normales. Par ailleurs, des vols organisés par la NASA pour collecter les particules d'origine extraterrestre tombant sur la Terre ont recueilli des grains de pollen entre 17 et 19 kilomètres d'altitude.

Lors de nos recherches, nous avons enregistré une augmentation du nombre de micro-organismes aéroportés dans les îles Vierges, proches de Porto Rico, lors d'une tempête de poussière africaine: la concentration atmosphérique en micro-organismes vivants est alors dix fois supérieure à celle que l'on enregistre dans les conditions atmosphériques normales. Toutefois, les bactéries cultivables ne représentent que 0,1 à 1 pour cent du total des bactéries présentes. En d'autres termes, la majorité des organismes présents sont morts, ou bien ne peuvent être réactivés sur le milieu nutritif utilisé pour l'analyse. Le décompte des micro-organismes montre aussi la présence de particules virales dans les échantillons: nous identifions actuellement cette fraction des micro-organismes aéroportés.

Ainsi, les études – passées et présentes – montrent qu'à l'évidence, des micro-organismes et des particules microscopiques d'origine biologique sont transportés sur de



7. L'impact d'une tempête de poussière à des milliers de kilomètres de son point d'origine est illustré par ces vues des Caraïbes un jour dégagé (*en haut*) et lors d'une tempête de poussière africaine (*en bas*). Depuis 1973, le nombre de cas d'asthme sur l'île de la Barbade a augmenté à mesure que la sécheresse, qui multiplie les sources de poussière, s'est aggravée en Afrique.



8. De la poussière soulevée dans le désert de Gobi (en haut à gauche) le 13 avril 2001 a traversé d'Ouest en Est l'océan Pacifique, pour atteindre la côte Ouest de l'Amérique du Nord (à droite) le 15 avril. Puis elle a survolé le continent et gagné le large de la côte Est (en bas à gauche) le 22 avril.

grandes distances et à très haute altitude. En fait, il n'est guère étonnant que les micro-organismes tolèrent les conditions difficiles d'un transport intercontinental dans l'atmosphère, car ce sont les organismes les plus résistants et les mieux adaptés sur la Terre, la preuve en est qu'ils ont colonisé tous les milieux terrestres et aquatiques.

Un pont aérien

Le transport des aérosols d'un continent à l'autre, parfois jusqu'aux antipodes, et son impact sur la qualité de l'air, n'est plus à démontrer. Cependant, ce domaine de recherches que l'on a « réouvert » est encore à explorer : les micro-organismes pathogènes peuvent-ils être transportés dans la poussière et expliquer les foyers infectieux sporadiques ? Quels types de micro-organismes pathogènes survivent-ils à un transport atmosphérique prolongé ? Ces micro-organismes rivalisent-ils avec la communauté microbienne locale au point de la supplanter ? Les produits chimiques nocifs transportés sur des milliers de kilomètres dégradent-ils sur les écosystèmes ?

Ces questions, parmi toutes celles que soulèvent les résultats acquis, révèlent l'étendue de notre ignorance.

Les connaissances acquises sont fondées sur des prélèvements sporadiques, et non sur des études permanentes. En outre, les résultats sont sensibles à de nombreux facteurs, tels la localisation, l'altitude, la saison, les conditions météorologiques, le vent et les méthodes de prélèvement. La compréhension du transport atmosphérique de substances et d'organismes nocifs est d'une importance fondamentale pour la santé des populations. Il est temps de prendre en compte ce pont aérien qui enjambe les océans et par lequel communiquent les continents.

Cet article a été reproduit avec l'aimable autorisation de la revue *American Scientist*.

Dale GRIFFIN est microbiologiste au Centre de recherches marines côtières et régionales de Floride de l'*US Geological Survey*, où Christina KELLOGG est biologiste marin, Virginia GARRISON, spécialiste des récifs coralliens, et Eugene SHINN géologue.

J. PROSPERO, *African dust in America*, in *Geotimes*, pp. 24-27, nov. 2001.

E. SHINN et al., *African dust and the demise of Caribbean coral reefs*, in *Geological Research Letters*, vol. 27, pp. 3029-3032, 2000.

<http://toms.gsfc.nasa.gov/aerosols/aerosols.html>