

La Cellule de l'InVS en régions Paca et Corse (Cire Sud) a été sollicitée afin de connaître les effets sanitaires des épisodes de vents de sable en provenance du Sahara et savoir s'il était utile de mettre en place une procédure d'information et d'alerte de la population lors du dépassement du seuil réglementaire en particules de diamètre inférieur à 10 μm (PM_{10}). Cette note aborde les aspects réglementaires, l'origine et les trajectoires des vents de sables ainsi que leur composition et enfin les effets sur la santé humaine.

Contexte réglementaire

Le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air¹ transpose la directive européenne 2008/50/CE² concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. Il précise notamment les normes à appliquer pour les particules de diamètre inférieur à 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) et introduit au niveau réglementaire les seuils d'information et d'alerte aux particules de diamètre inférieur à 10 μm (PM_{10}) auparavant préconisés par voie de circulaire. L'objectif de ce texte est de prévoir et de gérer les pics de pollution plus en amont.

Concernant les particules, les valeurs limites pour la protection de la santé sont fixées pour les PM_{10} à :

- 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de trente-cinq fois par année civile,
- 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle civile.

Pour les $\text{PM}_{2,5}$, elles sont fixées à 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle civile à compter du 1^{er} janvier 2015.

Concernant les PM_{10} , il existe également des seuils réglementaires d'information (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 24h) et d'alerte (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 24h).

L'article 20 de la Directive européenne 2008/50/CE prévoit que les pics de pollution en lien avec des phénomènes naturels ne doivent pas être considérés comme un dépassement aux fins de cette directive ; les Etats membres devant cependant prouver cette imputabilité. Dans ce cadre, l'arrêté du 21 octobre 2010 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air et à l'information du public³ prévoit, dans son article 4, que les organismes agréés de surveillance de la qualité de l'air fournissent les preuves appropriées, suivant des méthodes référencées par le Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air et approuvées par le ministre chargé de l'environnement, pour toutes les zones où les dépassements sont susceptibles d'être induits par des émissions dues au sablage ou au salage hivernal des routes ou des émissions de sources naturelles.

Origines des vents de sable désertiques

Les tempêtes de poussières au niveau du globe proviennent de dix sources principales : la mer de Salton (Californie du Sud), la Patagonie (Argentine, Chili), l'Altiplano (cordillère des Andes), la région du Sahel (Afrique de l'Ouest), le désert du Sahara (Afrique du Nord), le désert de Namibie (Afrique australe), la vallée de l'Indus (Pakistan, Inde), le désert du Taklamakan (région autonome du Xinjiang - Chine), le désert de Gobi (Mongolie, Chine) et le bassin du lac Eyre (Australie)⁴.

Les particules de poussières capturées par les vents à la surface du sol s'élèvent à des altitudes troposphériques par des régimes de forte convection qui se développent à travers le désert. Les poussières peuvent être transportées sur des milliers de kilomètres avant de se déposer par voie humide ou sèche.

L'estimation des émissions globales de poussières varient entre 1 000 et 3 000 millions de tonnes par an dont la plus grande partie provient du désert du Sahara (de 500 à 1 000 millions de tonnes par an)⁵⁶. La part des poussières émises en Asie est cependant en constante augmentation depuis une vingtaine d'année en lien avec le changement climatique et la désertification⁷.

Ces événements peuvent avoir un impact sur l'environnement (baisse de la température, modification de la formation des nuages, influence sur la productivité marine, accélération de l'aridification ...), sur l'activité humaine (perturbation des vols aériens, accidents) et sur sa santé⁸.

Les zones désertiques en Afrique du Nord

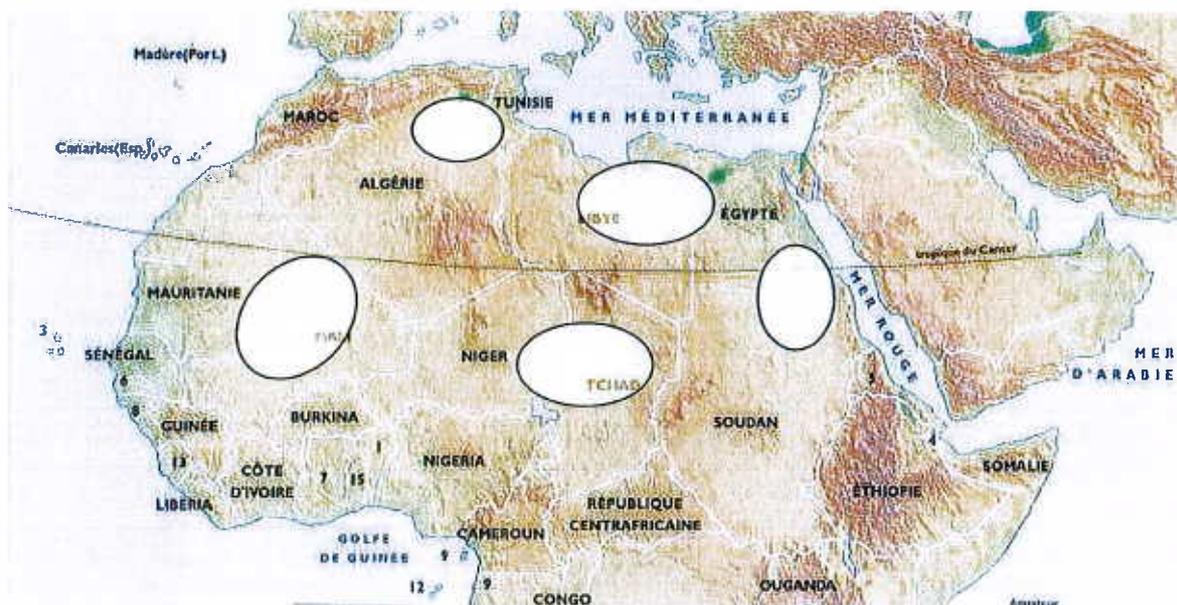
On distingue plusieurs sources prédominantes de poussières en Afrique du Nord^{9 10} (figure 1) :

- la dépression du Bodélé au Tchad, considérée comme la source de poussières la plus importante au monde,
- une zone géographique située entre la frontière entre le Mali et la Mauritanie et la frontière entre le Mali et l'Algérie,
- une zone géographique située au sud des montagnes de l'Atlas dans le nord de l'Algérie et en Tunisie,
- l'est du désert de Lybie,
- le désert de Nubie, situé entre l'Egypte et le Soudan.

La production de poussières en Afrique du Nord varie selon la saison¹¹:

- elle est très limitée pendant les mois d'octobre à décembre, période pendant laquelle seule la dépression du Bodélé a une activité substantielle,
- de janvier à mars, l'activité au niveau de la dépression du Bodélé augmente,
- la production de poussières est à son plus haut niveau entre avril et juin impliquant toutes les zones de production et plus particulièrement l'ouest du Sahara (Mauritanie, Mali),
- de juin à septembre, l'ouest du Sahara constitue toujours la source principale de poussières alors que le sud du Sahara est relativement inactif.

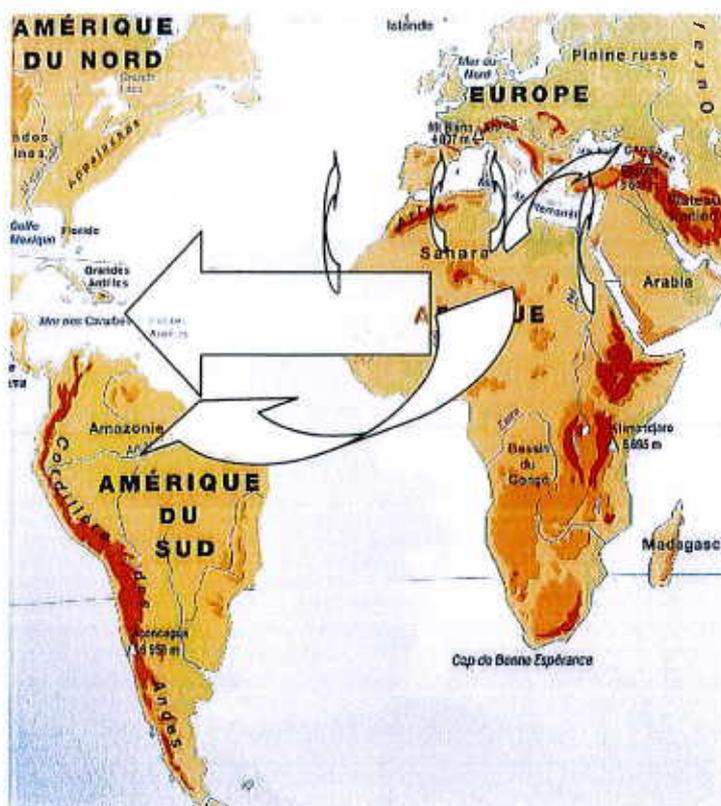
Figure 1 : Principales sources de poussières du Sahara



Le transport à longue distance des poussières s'effectue selon trois principales trajectoires principales (figure 2) :

- la première vers l'Ouest à travers l'Océan Atlantique jusqu'aux États-Unis, les Caraïbes (en été) et l'Amérique du Sud (en hiver)^{12 13},
- la seconde vers le Nord sur le bassin méditerranéen et l'Europe,
- la troisième vers l'Est de la Méditerranée et le Moyen-Orient.

Figure 2 : Principales trajectoires des poussières désertiques du Sahara



Au sein du continent africain, les poussières provenant du Sahara peuvent se disperser sur le Nigéria et vers le Golfe de Guinée, particulièrement en hiver alors que la dépression du Bodélé est balayée par l'harmattan, vent violent de Nord-Est.

Ainsi, 60% des flux de poussières des déserts du Nord de l'Afrique se dirigent vers le Golfe de Guinée, 28 % vers l'océan Atlantique et 12 % vers l'Europe¹⁴¹⁵.

Les principales sources de poussières touchant la Méditerranée proviennent essentiellement des régions désertiques d'Algérie, Tunisie, Lybie et Egypte¹⁶. Pendant l'été, selon certaines conditions météorologiques, une partie des poussières qui se dirigent vers l'Océan Atlantique, depuis l'Ouest du Sahara et le sud du Maroc, remontent également vers l'Europe de l'Ouest¹⁷.

Influence de l'Europe par les vents de sable du Sahara

Le programme EARLINET (<http://www.earlinet.org/>) a permis d'améliorer les connaissances sur la répartition spatiale et temporelle des vents de sable en provenance du Sahara à l'échelle du territoire européen¹⁸. Ainsi, ces phénomènes se développent principalement au printemps, même s'ils perdurent en été et au début d'automne. L'Europe du Sud et du Sud-Est est le territoire le plus concerné en raison des conditions climatiques (direction du vent) et de sa proximité avec le désert du Sahara. L'Europe du Sud-Ouest, dont fait partie la Corse, est aussi concernée mais dans une moindre mesure.

Au sein du bassin méditerranéen, l'influence des vents de sable en provenance de l'Afrique du Nord augmente de l'Ouest vers l'Est et du Sud vers le Nord, à la fois en terme de contribution à la moyenne annuelle en PM_{10} de l'atmosphère (environ $10 \mu g/m^3$ à l'Est et $2-3 \mu g/m^3$ à l'Ouest) mais aussi en nombre de jours de dépassement du niveau de $50 \mu g/m^3$ des PM_{10} liés à un phénomène de vent de sable (20-26 dépassements annuels à l'Est et jusqu'à 4 dépassements par an à l'Ouest)¹⁹.

La distribution saisonnière des épisodes de vents de sable est différente entre l'Est du bassin méditerranéen (occurrence plutôt en fin d'hiver et printemps) et la partie Ouest (occurrence plutôt en été) en lien avec les

conditions climatiques et le transport des poussières depuis l'Afrique du Nord²⁰. Il existe également des variations interannuelles liées aux événements extrêmes.

La persistance des particules dans l'atmosphère peut excéder 2 semaines dans des conditions météorologiques favorables, et notamment du fait des faibles précipitations sur le bassin méditerranéen. Les poussières sont cependant plus souvent déposées par voie sèche dans la partie Est de la Méditerranée alors que le dépôt s'effectuerait plutôt par voie humide dans la partie Ouest, prenant la forme de « pluies rouges ». Ceci pourrait expliquer les différences en termes de fréquence et d'intensité des pics de particules dans l'atmosphère entre les 2 zones. Deux études menées en Corse ont ainsi permis de montrer que les dépôts secs étaient beaucoup moins importants que les dépôts humides^{21 22}.

Composition des nuages de vents de sable

- *Taille et concentration en particules*

Des mesures granulométriques des particules réalisées à des centaines de kilomètres ou plus de la source de poussières ont montré que le diamètre médian descend rapidement en dessous de 10 μm . Ainsi, les particules de taille supérieure, qui ont une durée de vie dans l'atmosphère inférieure à 12 heures, ne traversent pas la Méditerranée.

Au cours des épisodes de vents de sable dans le bassin méditerranéen, l'élévation des niveaux de PM_{10} est surtout liée à une augmentation de la part des particules grossières (comprises entre 10 et 2,5 μm) et dans une moindre mesure des particules plus fines ($\text{PM}_{2,5}$)²³. Cette composition est différente au niveau du territoire américain : ainsi en Floride, 99 % des particules étaient de taille comprise entre 0,3 et 1 μm .

La concentration en particules pendant un épisode de poussières peut être très importante, avec des concentrations en maximum moyen horaire pouvant atteindre 2 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et des concentrations en maximum moyen journalier pouvant atteindre près de 1 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, comme le montrent les exemples présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Episodes de vents de sable en provenance du Sahara sur le bassin méditerranéen

Zone géographique	Concentration en poussières pendant l'épisode ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration habituelle en poussières ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Période	Référence bibliographique
Est Méditerranée				
Turquie	Max moyenne journalière = 222 Max moyenne journalière = 1 498 (station urbaine) 1 307 (station rurale)	-	avril 2001 - avril 2002	Koçak et al. ²⁴
Chypre		-	2002-2007	Kleanthous et al. ²⁵
Athènes (Grèce), Héraklion (Crète)	Max horaire PM_{10} = 400	-	2003-2006	Mitsakou et al. ²⁶
Athènes (Grèce)	Max moyenne journalière = 156	-	mars-avril 2009	Remoundaki et al. ²⁷
Crète	Max horaire PM_{10} = 2 800	Moy journalière PM_{10} = 15	février 2006	Polymenakou et al. ²⁸
Ouest Méditerranée				
Alpes (France)	Max moyenne horaire PM_{10} = 285	Moy journalière PM_{10} = 20-30	été 2000	Aymoz et al. ²⁹
Majorque	Max moyenne journalière = 286	-	février 2004	Pey et al. 2008
Ajaccio et sud France *	Max horaire PM_{10} = 443	Moy horaire PM_{10} = 19	février 2004	Masson et al. ³⁰
Espagne	Max moyenne journalière = 245 Max moyenne horaire = 598	-	juillet 2004	Sanchez et al. ³¹

* Au cours de cet épisode de vent de sable, le ratio $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$, habituellement compris entre 0,5 et 0,9, a chuté à 0,1 (mesure effectuée à Aix-en-Provence) indiquant une arrivée massive de particules de diamètre supérieur à 2,5 μm .

Une étude portant sur 7 sites ruraux en Italie sur la période 2003-2005³² a montré que la contribution des poussières en provenance du Sahara sur les valeurs moyennes mensuelles en PM_{10} variait entre 1 et 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2005, moins de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2004 et 1 à 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2003. Lors d'événements extrêmes, cette contribution pouvait atteindre 20 à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur certaines stations de mesure.

A Rome, sur la période 2001-2004, des épisodes de vents de sable en provenance du Sahara ont été relevés pendant 27 % de la période³³. En moyenne, chaque épisode était accompagné d'une augmentation de 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} et de 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des $\text{PM}_{2,5}$ sur un site proche du trafic automobile. Plus la taille des particules composant les PM_{10} était importante, mieux elles étaient corrélées aux épisodes de vents de sable.

- Contribution au dépassement des valeurs limites

Les épisodes de vents de sable contribuent au dépassement des valeurs limites pour la protection de la santé humaine, comme le montrent les résultats de certaines études (tableau 2). La contribution au dépassement est la proportion de jours avec un dépassement des valeurs limites qui ont été mis en relation avec un épisode de vents de sable.

Tableau 2 : Contribution des épisodes de vents de sable au dépassement des valeurs limites pour la protection de la santé humaine

Zone géographique	Indicateur / seuil	Contribution au dépassement	Période	Référence bibliographique
Est Méditerranée				
Crète	PM ₁₀ / 50 µg/m ³	stations urbaine : 50 % stations fond : 80 à 100 %	2000-2005	Gerasopoulos et al. ³⁴
Turquie *	PM ₁₀ / 50 µg/m ³	40 %	avril 2001 - avril 2002	Koçak et al.
Grèce **	PM ₁₀ / 50 µg/m ³	20 à 50 %	2003-2006	Mitsakou et al.
Ouest Méditerranée				
Espagne	PM ₁₀ / 50 µg/m ³	23 à 100 %	1996-1999	Rodriguez et al. ³⁵
Espagne ***	PM ₁₀ / 50 µg/m ³	jusqu'à 85 %	juillet 1996 – juillet 2005	Querol et al. ³⁶
Espagne †	PM ₁₀ / 50 µg/m ³	44 à 100 %	2001-2003	Escudero et al. ³⁷
Rome (Italie)	PM _{2,5} / 35 µg/m ³	17 à 55 %		
Navarre (Nord Espagne)	PM ₁₀ / 50 µg/m ³	28 %	2001-2004	Gobbi et al, 2006
Carthagène (Sud-Est Espagne)	PM ₁₀ / 50 µg/m ³	31 à 40 %	juillet 2001 - juin 2004	Zabalza et al. ³⁸
Madrid (Espagne)	PM ₁₀ / 50 µg/m ³	36 %	2004-2005	Negral, 2008
	PM ₁₀ / 50 µg/m ³	68 %	2005-2006	Coz et al.

* la partie minérale des PM₁₀ pendant ces événements a pu atteindre 68 %

** la contribution augmentait géographiquement du Nord au Sud

*** cette étude a permis de montrer que si ces épisodes avaient une influence sur le nombre de dépassements de la valeur guide, ils n'avaient cependant une influence sur la moyenne annuelle que sur les sites du sud de la péninsule ibérique ainsi qu'aux Canaries et Baléares

† Les stations du Sud étaient plus concernées par ce phénomène.

En Italie, la réduction du nombre de jours avec dépassement de la valeur de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} après soustraction de la contribution des vents de sable est variable selon l'année et la station de mesure : entre 5 et 25 % en 2003, entre 8 et 25 % en 2004 et entre 20 et 50 % en 2005.

A Madrid, sur la période 2003-2005³⁹, le dépassement des valeurs limites en particules a été observé plus souvent pendant les jours avec vents de sable :

- la valeur limite de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $\text{PM}_{2,5}$ a été dépassé pendant 18,3 % du temps lorsqu'il n'y avait pas d'intrusion de vents contre 47,3 % lorsqu'il y en avait,
- la valeur limite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} a été dépassé pendant 11,9 % du temps lorsqu'il n'y avait pas d'intrusion de vents contre 41,3 % lorsqu'il y en avait.

L'influence des aérosols marins peut également être importante dans les îles, comme cela a été montré aux Canaries, ou l'île de Majorque ou sur les côtes. Ainsi, entre avril 2001 et avril 2002, la moitié des jours avec un dépassement de la valeur de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} sur la côte méditerranéenne de la Turquie ont eu lieu sous l'influence d'un vent marin. Les sels marins pendant ces événements constituaient jusqu'à 77 % de la composition des PM_{10} .

- *Composition chimique*

Pendant les épisodes de vents de sable, on note une augmentation de la part des éléments minéraux^{40 41 42} : minéraux argileux, quartz, oxydes (SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , Fe_2O_3 , CaO) et carbonates (CaCO_3 , MgCO_3). La présence de fer donne sa couleur rouge aux poussières de sable. La part des silicates semble plus importante dans les $\text{PM}_{2,5}$ (60 à 70 % dans les particules grossières et 70 à 85 % dans les $\text{PM}_{2,5}$).

Le fer, le titane et le vanadium sont des constituants typiques des poussières sahariennes⁴³.

La composition chimique des poussières mesurée pendant des épisodes de vents de sable peut être mise en relation avec celle des sols d'origine (Nord de l'Algérie et Maroc, Lybie, Tunisie, Ouest Sahara, Mauritanie, Mali).

Dans certaines conditions, des réactions chimiques peuvent intervenir entre les éléments minéraux contenus dans les vents de sable et certains composants présents dans l'atmosphère. Sur l'île de Majorque, on a ainsi pu mesurer pendant des épisodes de vents de sable des pics de sulfates issus de la réaction chimique entre des carbonates de calcium ou de magnésium contenus dans les poussières en provenance d'Afrique et des composés d'acide sulfurique dans l'atmosphère local. A Carthagène, lors des épisodes influencés par les vents de sable du Sahara, une augmentation des composés inorganiques secondaires a été mesurée, en lien avec la réaction entre les particules de sable (principalement les carbonates de calcium) avec des gaz présents localement (NO_x , HNO_3 , SO_2 ou H_2SO_4).

- *Composition bactériologique*

Des études ont montré que les nuages de poussière en provenance du Sahara introduisaient dans l'atmosphère des microorganismes et d'autres matériels microbiologiques (pollens, fragments de cellules, champignons et moisissures).

Une étude à Erdemli (Turquie) a ainsi permis d'observer une augmentation significative de la prévalence des microorganismes dans les échantillons de poussières lors des jours avec intrusion de poussières en provenance d'Afrique du Nord⁴⁴.

On a longtemps cru que ces microorganismes ne pouvaient pas survivre pendant des trajets de plusieurs jours et qu'ils étaient détruits par les rayons ultraviolets. Des études récentes ont montré que ce n'était pas le cas et que certains de ces microorganismes pouvaient être des pathogènes opportunistes pour l'homme⁴⁵. On soupçonne même que les microbes qui survivent aux transports à longue distance et à l'exposition aux rayons ultraviolets - ainsi qu'aux conditions chaudes et arides de leurs sources - peuvent être capables de mieux supporter des conditions extrêmes que les espèces indigènes⁴⁶.

Des champignons connus pour causer des réactions allergiques, des infections pulmonaires ou des infections cutanées chez l'homme ont été retrouvés dans des poussières en provenance du Sahara prélevées aux Caraïbes: *Acremonium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Bipolaris*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Microsporium*, *Nigrospora*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Scopulariopsis* et *Trichophyton*.

Une répartition des microorganismes suivant leur taille a été effectuée sur des échantillons d'air prélevés en Crète pendant une arrivée massive de sables sahariens en février 2006. Cette étude a montré que la composition bactériologique de l'air était différente selon les échantillons recueillis. Les bactéries sporulées, comme *Firmicutes*, étaient plus abondantes dans les particules de grandes tailles (> 7,9 µm et comprises entre 3,3 et 7,9 µm) tandis que la quantité de clones affiliés à *Actinomycètes* et *Bacteroidetes* augmentait dans les particules d'aérosols de taille réduite (< 1,6 µm). Des clones, génétiquement liés à des agents pathogènes liés à des maladies humaines telles que la pneumonie, la méningite et la bactériémie, ou à des agents pathogènes suspectés d'induire des infections telles que l'endocardite ont été identifiés⁴⁷.

- Radioactivité

Différentes études ont montré des augmentations des activités en ¹³⁷Cs et ⁴⁰K lors d'épisodes de vents de sable^{48 49} mais compte tenu des niveaux rencontrés dans l'air ambiant, le possible impact sanitaire lié à l'inhalation de ces radionucléides est très faible.

Une augmentation de l'activité en ¹³⁷Cs a également été notée en France fin février 2004 lors d'un épisode de vent de sable. L'activité en ¹³⁷Cs a ainsi atteint 7,4 µBq/m³ à Ajaccio et l'activité moyenne sur l'ensemble de l'épisode était 4,5 fois plus élevée que la valeur régionale habituelle à La Seyne sur Mer (1,96 pour 0,43 µBq/m³).

De même, un signal important de ¹³⁷Cs a été observé dans l'eau de pluie collectée à Monaco le 11 novembre 2001 pendant une tempête de sable en provenance du Sahara (24 mBq/l pour 2,3 mBq/l du 12 au 30 novembre). Compte tenu de la brièveté du phénomène, ce signal était moins marqué dans l'atmosphère (37 mBq/g le 11 novembre pour 33 mBq/g les 18 et 19 novembre).

Des phénomènes similaires ont été mesurés à Ténérife et les auteurs précisent que la limite journalière de 0,4 µBq/m³ en ¹³⁷Cs pourrait être un bon indicateur du dépassement en PM₁₀ de la valeur réglementaire de 50 µg/m³ (probabilité de 80 % mesurée entre mai 2002 et décembre 2006).

Effets sur la santé des vents de sable

Les effets sanitaires des aérosols dépendent de leur composition en éléments chimiques et microbiologiques et également de la taille des particules qui les composent : les grosses particules (PM₁₀) sont plus susceptibles d'être déposées dans les bronches et ainsi affectent les capacités respiratoires (asthme, maladie pulmonaire obstructive chronique, pneumonie et autres infections des voies respiratoires). En revanche, les particules fines (PM_{2,5}) sont plus susceptibles d'atteindre les alvéoles, provoquent une inflammation systémique et conduisent à des effets cardiovasculaires⁵¹.

Une modélisation de la dose inhalée de poussières provenant du Sahara a été effectuée en Grèce. Cette dernière montre que 64 % de la masse de poussières inhalée s'arrête au niveau du système respiratoire supérieur alors que seulement 10 % atteint les poumons. Cependant, compte tenu des concentrations pendant les pics de vents de sable, les doses de poussières reçues dans les poumons peuvent être comparables à celles reçues lors d'une exposition à un air urbain pollué ou à une ambiance polluée par de la fumée de tabac.

Depuis ces dernières années des études épidémiologiques se sont penchées sur l'impact des vents de sable sur la santé humaine. Elles portent principalement sur la mortalité à court terme et sur les hospitalisations. Elles concernent particulièrement le territoire européen mais également les Caraïbes, particulièrement touchées par les intrusions de vents en provenance du Sahara et l'Asie soumises aux poussières des déserts de Mongolie et de Chine (principalement le désert de Gobi). La comparaison des résultats des études portant sur les effets sanitaires des vents de sable en provenance d'Afrique et d'Asie doit être faite avec précaution. La composition des sables en provenance d'Asie peut en effet contenir plus de polluants d'origine anthropique par mélange avec des polluants produits au niveau des zones densément peuplées et industrialisées survolées par ces nuages⁵².

- Mortalité

• Etudes menées en Europe

Différentes études épidémiologiques, menées essentiellement en Espagne, Italie et Grèce, ont analysé les liens entre mortalité et particules grossières et fines, en utilisant le plus souvent un modèle cas-croisé stratifié sur le temps qui compare l'exposition aux particules des jours cas à cette même exposition pour les jours témoins. Il a ensuite été recherché si la présence d'un épisode de vent de sable modifiait ou pas la relation observée. Il semble

que l'impact sur la santé des $PM_{2,5-10}$ sur la mortalité soit plus élevé lors des jours avec vent de sable alors que les $PM_{2,5}$ joueraient un rôle plus important les jours sans vent de sable⁵³. Les résultats concernant les PM_{10} ne sont pas toujours cohérents.

Une étude, menée à Barcelone entre mars 2003 et décembre 2004, a observé un impact supérieur des $PM_{2,5-10}$ sur la mortalité non accidentelle pendant les jours soumis aux vents de sable du Sahara. L'excès de risque de décès le plus élevé, observé le lendemain de l'exposition, atteignait ainsi 8,4 % (IC₉₅ % [1,5 % – 15,8 %]) pour une augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des $PM_{2,5-10}$ les jours avec poussières du Sahara comparé à 1,3 % (IC₉₅ % [- 0,8 % – 3,4 %]) les jours sans ($p = 0,05$). Cette observation n'était pas retrouvée pour les $PM_{2,5}$. Des résultats similaires ont été montrés à Madrid sur la période 2003-2005⁵⁴ mais un peu moins élevés avec un excès de risque de 2,8 % (IC₉₅ % [0,1 % – 5,8 %]) les jours avec épisode de poussières sahariennes pour les $PM_{2,5-10}$ contre 0,6 % (IC₉₅ % [- 1,1 % – 8,1 %]) pour les jours sans ($p = 0,01$).

Une étude, menée à Rome sur la période 2001-2004, a analysé l'effet des poussières sahariennes sur la mortalité toute cause hors morts violentes, la mortalité cardiovasculaire, cardiaque, cérébrovasculaire, respiratoire⁵⁵. Aucune modification significative de l'effet des $PM_{2,5}$ sur la mortalité n'a été observée selon la présence ou l'absence de poussières sahariennes. L'effet des $PM_{2,5-10}$ était significativement plus important pendant les jours avec épisode de vents de sable avec un excès de risque de mortalité cardiaque de 9,7 % (IC₉₅ % [4,2 % – 15,5 %]) et cardiovasculaire de 7,9 % (IC₉₅ % [3,2 % – 12,9 %]) en lien avec une augmentation interquartile des $PM_{2,5-10}$ (10,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cet effet était aussi plus élevé pour la mortalité respiratoire de 19,4 % (IC₉₅ % [0,3 % – 42,1 %]) mais non significatif. L'effet des PM_{10} sur la mortalité cardiaque était également plus fort les jours avec épisode de poussières.

En revanche, à Athènes, sur la période 2001-2006⁵⁶, l'effet des PM_{10} sur la mortalité était plus important les jours sans vents de sable.

L'impact des épisodes de vents de sable a aussi été analysé chez les personnes âgées de plus de 75 ans, sous-groupe habituellement plus sensible à la pollution de l'air. L'effet modificateur des vents de sables est présent quel que soit l'âge mais pour les $PM_{2,5-10}$. L'impact est plus important sur la mortalité des 75 ans et plus. En Emilie-Romagne (Italie)⁵⁷, une association significative a été observée entre la présence de vents de sable et la mortalité respiratoire chez les personnes de plus de 75 ans (excès de risque le lendemain de l'exposition de 22,0%, IC₉₅ % [4,0 % – 43,1 %] toute l'année et de 33,9 %, IC₉₅ % [8,4 % – 65,4 %] pendant la saison chaude, favorable aux intrusions sahariennes).

- *Etudes menées dans d'autres régions du globe*

Une étude menée à Séoul a montré que l'effet dose/réponse des PM_{10} sur la mortalité était plus important pendant les jours sans vent de sable⁵⁸. Les auteurs estiment que ces résultats peuvent être en partie liés au changement de comportement de la population qui a facilement conscience de la présence d'épisodes de vents de sable (au contraire de certaines pollutions atmosphériques) ; ces épisodes faisant, par ailleurs, l'objet de procédures d'alerte et d'information dans ce pays.

Deux études menées aux Etats-Unis d'Amérique concluent qu'il n'y a pas d'évidence que les particules grossières des vents de sable puissent augmenter la mortalité à court terme⁵⁹ ou que l'augmentation de la mortalité à court terme est plus importante pendant les jours avec une pollution locale provenant de sources de combustion que les jours avec épisodes de vents de sable⁶⁰.

- *Morbidité*

- o *Etudes menées en Europe*

Une étude, menée à Nicosie (Chypre) sur la période 1995-2004⁶¹, a évalué l'association entre les niveaux de PM_{10} et les hospitalisations toutes causes confondues, pour causes respiratoires et cardiovasculaires en tenant compte des intrusions de vents de sable. Une augmentation significative du risque d'hospitalisation toutes causes confondues a été mise en évidence lors des jours avec vents de sable (et à la limite de la significativité pour les causes cardiovasculaires). Le niveau de risque est similaire à celui rencontré lors des jours sans vents de sable ayant les concentrations en PM_{10} les plus élevés.

En Israël, une augmentation significative des passages aux urgences pour pathologies cardio-respiratoires a été observée sur la période 2006-2008. Une augmentation de 12,4 % du nombre des passages aux urgences a été notée les jours en présence de vents de sable⁶².

De rares études se sont intéressées à l'effet potentiel sur la santé des microorganismes contenus dans les vents de sables. Deux études ont été menées à ce sujet en Espagne à Barcelone. La première a mis en évidence un excès de méningite que les auteurs n'ont pas directement relié aux vents de sables compte-tenu du temps d'incubation⁶³. La deuxième portait sur d'éventuelles complications de la grossesse et aucun effet néfaste des épisodes de poussières sahariennes n'a été mis en évidence⁶⁴.

○ *Etudes menées dans d'autres régions du globe*

Aux Caraïbes, les résultats d'études analysant l'association des épisodes de vents de sable et les admissions hospitalières pour asthme sont contradictoires. Alors qu'une augmentation des admissions pédiatriques pour asthme chez les enfants est notée à Trinidad les jours avec vents de sable^{65 66}, ce n'est pas le cas à la Barbade⁶⁷. Les attitudes des parents d'enfants asthmatiques pendant les périodes de vents de sable (mesures préventives pour éviter une crise d'asthme) pourraient expliquer l'absence d'effets relevés dans certaines études⁶⁸. Des différences entre la qualité de l'air liées à l'industrialisation et la circulation automobile pourraient également expliquer les résultats antagonistes retrouvés sur les 2 îles.

Les effets sanitaires des brumes de sable désertique en provenance du Sahara ont été étudiés en Martinique par l'intermédiaire d'une étude écologique temporelle rétrospective entre le 1^{er} janvier 2001 et le 31 décembre 2006⁶⁹. Une augmentation plus marquée du risque d'hospitalisation pour pathologies respiratoires a été observée avec l'augmentation du niveau de PM₁₀ quand le niveau de particules passait de 80 à 90 µg/m³ (niveaux représentatifs d'épisodes denses de brumes de sable) par rapport à l'augmentation de concentration de 20 à 30 µg/m³ (niveaux représentatifs en l'absence de brumes de sable), même si ce risque n'est pas significatif. Pour les pathologies cardiaques, le risque relatif augmente de la même manière.

En Asie, une association significative a été trouvée entre les épisodes de vents de sable et les hospitalisations pour asthme chez les enfants à Toyama (Japon)⁷⁰. Une association entre les épisodes de vents de sable et les passages aux urgences pour pathologies cardio-respiratoires a été retrouvée à Tapei (Taïwan)⁷¹. Dans cette même ville, une association significative a été trouvée entre les épisodes de vents de sable et les admissions journalières pour accident vasculaire cérébral 3 jours après l'événement⁷² ainsi que les admissions pour ischémie cardiaque⁷³.

Une étude, menée à Séoul chez des enfants asthmatiques, a montré qu'ils présentaient plus de symptômes respiratoires, qu'ils utilisaient plus souvent leur bronchodilatateur et que leurs capacités respiratoires étaient diminuées pendant des épisodes de vents de sable⁷⁴. Les tests de provocation à la méthacholine réalisés avant et après la période d'étude ne montraient pas de différence significative, laissant supposer que les épisodes de vents de sable n'ont pas ou peu d'effets à long terme sur la réactivité bronchique des enfants asthmatiques.

Une association entre les concentrations en métaux fixés sur les particules pendant les épisodes de vents de sable à Séoul et une baisse de la capacité respiratoires des enfants a été observée sans qu'aucune différence ne puisse être faite entre les métaux d'origine naturelle ou d'origine anthropique.

En Afrique subsaharienne ; des études exploratoires ont permis de montrer l'influence du climat sur les épidémies hivernales de méningites dont les vents de sable transportés par l'harmattan^{75 76}. Des travaux complémentaires, incluant d'autres paramètres liés à la population, sont nécessaires pour mieux comprendre la dynamique des épidémies de méningite.

Au final, les études documentant l'impact spécifique des poussières transportées par les vents de sable sont encore peu nombreuses, mais leurs résultats suggèrent que l'impact de ces poussières sur la mortalité et la morbidité est du même ordre de grandeur que celui des particules en suspension en général⁷⁷, voire plus important pour la fraction grossière des particules.

Information de la population et prévision des épisodes de vents de sable

Compte tenu des résultats des études épidémiologiques, certains auteurs recommandent que les épisodes de vents de sable, alors qu'ils sont inévitables, fassent l'objet de messages d'alerte sanitaire, particulièrement en direction des populations vulnérables.

Depuis février 2001⁷⁸, un système précoce d'alerte des phénomènes climatiques défavorables a ainsi été mis en place aux Canaries. En annexe 1, se trouve un modèle de message en cas de risque d'intrusions de vents de sable. Un site Internet permet aussi au grand public d'accéder aux prévisions d'intrusions de poussières d'Afrique (<http://www.calima.ws>).

Lors de prévision d'intrusion de vents de sable, le système d'alerte du Ministère de la protection environnementale d'Israël appelle les personnes prédisposées à rester à l'intérieur des locaux pendant la durée des épisodes.

Des sites Internet permettant de prévoir les épisodes de vents de sable en provenance du Sahara ont été mis en place :

- L'Université d'Athènes a mis à disposition du public un site Internet permettant de prévoir les épisodes de vents de sable en provenance du Sahara que ce soit au niveau du bassin méditerranéen ou de l'Atlantique Nord : <http://forecast.uoa.gr/dustindx.php>. Le système de prévision SKIRON fonctionne quotidiennement et permet de disposer de 72 heures de prévision météorologique.
- Les résultats du Dust Regional Atmospheric Model (DREAM⁷⁹) sont également disponibles sur le site du Barcelona Supercomputing Center : <http://www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM>. Ce modèle permet de prévoir ou simuler le cycle atmosphérique des poussières minérales désertiques sur le bassin méditerranéen sur une période de 3 jours.

ANNEXE 1
Message de prévention aux Canaries

Vague de chaleur et Calima

Aux Canaries, en l'absence d'alizés, il est habituel d'avoir des poussières en suspension dans l'atmosphère, phénomène qu'on appelle Calima ou Sirocco.

Cette situation se met en place lentement, ce qui permet de prendre des mesures de précaution :

- Essayez de garder les portes et les fenêtres fermées et éviter de sortir si vous souffrez de maladies respiratoires chroniques ;
- Assurez vous d'avoir vos traitements médicaux habituels ;
- Buvez beaucoup de liquides et éviter les environnements secs ;
- Ne faites pas d'exercice physique aussi longtemps que cette situation dure ;
- Si vous vous sentez mal, consultez votre médecin ;
- Dans cette situation, la visibilité est considérablement réduite, si vous devez prendre la route, prenez des précautions extrêmes, allumez les lumières et ralentissez.

Traduction depuis le site du gouvernement des Canaries :

<http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/interno.asp?url=/udg/sgt/centroeducativos/Calima.htm&categoria=2123>

¹ Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat. Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air. JO du 23/10/2010. [Consulté le 04/01/2012]. Disponible à partir de l'URL :

http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=20101023&numTexte=2&pageDebut=19011&pageFin=19015

² Union européenne. Directive 2008/50/CE du parlement européen et du conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. JO Union européenne L152 du 11 juin 2008 [consulté le 06/12/2011].

Disponible à partir de l'URL :

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:FR:PDF>

³ Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat. Arrêté du 21 octobre 2010 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air et à l'information du public. JO du 23/10/2010. [Consulté le 04/01/2012]. Disponible à partir de l'URL :

http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=20101023&numTexte=6&pageDebut=19020&pageFin=19023

⁴ Taylor DA. Dust in the wind. *Environ Health Perspect.* 2002 ; 110(2) : A80-7.

⁵ Goudie AS. Dust storms : recent developments. *J Environ Manage.* 2009 Jan;90(1):89-94.

⁶ De Longueville F, Hountondji YC, Henry S, Ozer P. What do we know about effects of desert dust on air quality and human health in West Africa compared to other regions ? *Sci Total Environ.* 2010 ; 409(1) : 1-8.

⁷ Griffin DW. Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health. *Clin Microbiol Rev.* 2007 ; 20 (3) :459-77.

⁸ Pérez C, Nickovic S, Baldasano JM, Sicard M, Rocadenbosch F, Cachorro VE. A long Saharan dust event over the western Mediterranean Lidar, Sun photometer observations, and regional dust modelling. *J. Geophys. Res.*, 111, D15214, doi:10.1029/2005JD006579, 2006.

⁹ Engelstaedter S, Tegen I, Washington R. North African dust emissions and transport. *Earth-Science Reviews.* 2006 ; 79 (1-2) : 73-100.

¹⁰ Prospero JM, Ginoux P, Torres O, Nicholson SE, Gill TE. 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.* 2002 ; 40 (1) : 31 pp. [Consulté le 26/01/2012]. Disponible à l'URL : http://esp.cr.usgs.gov/info/dust/prospero_toms_dust_sources_paper.pdf

¹¹ Middleton NJ, Goudie AS. Saharan dust : sources and trajectories. *Trans Inst Br Geogr.* 2001 ; 26 (2) : 165-181.

¹² Koren I, Kaufman YJ, Washington R, Todd MC, Rudich Y, Vanderlei Martins J, Rosenfeld D. The Bodélé depression : a single spot in the Sahara that provides most of the mineral dust to the Amazon forest. *Environmental Research Letters.* 2006 ; 1 (1) : 5 pp. [Consulté le 26/01/2012].

Disponible à partir de l'URL : http://iopscience.iop.org/1748-9326/1/1/014005/pdf/1748-9326_1_1_014005.pdf

¹³ Kaufman YJ, Koren I, Remer LA, Tanre D, Ginoux P, Fan S. Dust transport and deposition observed from the Terra-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) spacecraft over the Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research.* 2005 ; 110 (D10) : 16pp.

¹⁴ D'Almeida G.A. A Model for Saharan Dust Transport. *J. Climate Appl. Meteor.* 1986 ; 25 : 903-916. [Consulté le 20/01/2012].

Disponible à l'URL :

<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0450%281986%29025%3C0903%3AAMFSDT%3E2.0.CO%3B2>

¹⁵ De Longueville F, Henry S, Ozer P. Saharan dust pollution : implications for the Sahal ? *Epidemiology.* 2009 ; 20(5) : 780.

¹⁶ Stuut JB, Smalley I, O'Hara-Dhand K. Aeolian dust in Europe : African sources and European deposits. *Quaternary International.* 2009 ; 198 : 234-245.

¹⁷ Molinaroli E. Mineralogical characterisation of Saharan dust with a view to its final destination in Mediterranean sediments. In : Guerzoni S, Chester R. *The impact of desert dust across the Mediterranean.* Dordrecht : Kluwer Academic Publishers ; 1996. p. 153-162.

¹⁸ Papayannis A. et al. Systematic lidar observations of Saharan dust over Europe in the frame of EARLINET (2000-2002), *J. Geophys. Res.*, 113, D10204, doi:10.1029/2007JD009028, 2008. [Consulté le 01/06/2011]. Disponible à l'URL : <http://www.bsc.es/media/1780.pdf>

- ¹⁹ Querol X, Pey J, Pandolfi M, Alastuey A, Cusack M, Pérez N, Moreno T, Viana M, Mihalopoulos N, Kallos G, Kleanthous S. African dust contributions to mean ambient PM₁₀ mass-levels across the Mediterranean Basin. *Atmospheric Environment*. 2009; 43 (28): 4266-4277.
- ²⁰ Pey J, Querol X, Alastuey A. Variations of levels and composition of PM₁₀ and PM_{2,5} at an insular site in the Western Mediterranean. *Atmospheric Research*. 2009 ; 94 :285-299
- ²¹ Loÿe-Pilot MD, Martin JM. Saharan dust input to the Western Mediterranean: an eleven years record in Corsica. In : Guerzoni S, Chester R. *The impact of desert dust across the Mediterranean*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers ; 1996. p. 191-199.
- ²² Bergametti G, Gomes L, Remoudaki E, Desbois M, Martin D, Buat-Ménard MP. Present transport and deposition patterns of African dusts to the north-western Mediterranean. In : Leinen M, Sarnthein M editors. *Paleoclimatology and paleometeorology ; modern and past patterns of global atmospheric transport*. NATO ASI Series C 282. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers ; 1989. p. 227-252.
- ²³ Coz E, Gomez-Moreno JG, Pujadas M, Casuccio GS, Lersch TL, Artinano B. Individual particle characteristics of North African dust under different long-range transport scenarios. *Atmospheric Environment*. 2009; 43 : 1850 – 1863.
- ²⁴ Koçak M, Mihalopoulos N, Kubilay N. Contributions of natural sources to high PM₁₀ and PM_{2.5} events in the eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*. 2007 ; 41 (18) : 3806-3818.
- ²⁵ Kleanthous S, Bari MdA, Baumbach G, Sarachage-Ruiz L. Influence of particulate matter on the air quality situation in a Mediterranean island. *Atmospheric Environment*. 2009 ; 43 : 4745-4753.
- ²⁶ Mitsakou C., Kallos G., Papantoniou N., Spyrou C., Solomos S., Astitha M., and Housiadas C. Saharan dust levels in Greece and received inhalation doses. *Atmos. Chem. Phys*. 2008 ; 8 : 7181-7192.
- ²⁷ Remoudaki E, Bourliva A, Kokkalis P, Mamouri RE, Papayannis A, Grigoratos T, Samara C, Tsezos M. PM₁₀ composition during an intense Saharan dust transport event over Athens (Greece). *Sci Total Environ*. 2011 ; 409(20) : 4361-72.
- ²⁸ Polymenakou PN, Mandalakis M, Stephanou EG, Tselepidis A. Particle size distribution of airborne microorganisms and pathogens during an Intense African dust event in the eastern Mediterranean. *Environ Health Perspect*. 2008 ; 116(3) : 292-6. [Consulté le 27/12/2011]. Disponible à partir de l'URL : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2265054/pdf/ehp0116-000292.pdf>
- ²⁹ Aymoz G, Jaffrezo JL, Jacob V, Colomb A, George Ch. Evolution of organic and inorganic components of aerosol during a Saharan dust episode observed in the French Alps. *Atmos. Chem. Phys*. 2004 ; 4 : 2499-2512.
- ³⁰ Masson O, Piga D, Gurriaran R, D'Amico D. Impact of an exceptional Saharan dust outbreak in France : PM₁₀ and artificial radionuclides concentrations in air and in dust deposit. *Atmospheric Environment*. 2010 ; 44 : 2478-2486.
- ³¹ Sanchez ML, Garcia MA, Perez IA, de Torre B. Ground laser remote sensing measurements of a Saharan dust outbreak in Central Spain. Influence on PM₁₀ concentrations in the lower and upper Spanish plateaus. *Chemosphere*. 2007 ; 67 : 229-239.
- ³² Pederzoli A, Mircea M, Finardi S, di Sarra A, Zanini G. Quantification of Saharan dust contribution to PM₁₀ concentrations over Italy during 2003-2005. *Atmospheric Environment*. 2010 ; 44 : 4181-4190.
- ³³ Gobbi GP, Ciolli G, Marconi A, Cattani G, Malvestuto V, Barnaba F, Angelini F, Inglessis M. relating Saharan dust to particulate matter amounts in the city of Rome (Italy), a four-year study. *Chemical Engineering Transactions*. 2006 ; 10 : 375-380.
- ³⁴ Gerasopoulos E, Kouvarakis G, Babasakalis P, Vrekoussis M, Putaud JP, Mihalopoulos N. Origin and variability of particulate matter (PM₁₀) mass concentrations over the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*. 2006 ; 40 : 4679–4690.
- ³⁵ Rodriguez S, Querol X, Alastuey A, Kallos G, Kakaliagou O. Saharan dust contributions to PM₁₀ and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmospheric Environment*. 2001 ; 35 : 2433 – 2447.
- ³⁶ Querol X et al. Spatial and temporal variations in airborne particulate matter (PM₁₀ and PM_{2,5}) across Spain 1999-2005. *Atmospheric Environment*. 2008 ; 42 : 3964 - 3979.
- ³⁷ Escudero M, Querol X, Avila A, Cuevas E. Origin of the exceedances of the European daily Pm limit value in regional background areas of Spain. *Atmospheric Environment*. 2007 ; 41 : 730 - 744.
- ³⁸ Zabalza J, Ogulei D, Elustondo D, Santamaría JM, Alastuey A, Querol X, Hopke PK. Study of urban atmospheric pollution in Navarre (Northern Spain). *Environ Monit Assess*. 2007 ; 134 : 137 – 151. [Consulté le 28/12/2011]. Disponible à partir de l'URL : <http://www.springerlink.com/content/p7h1543t04291478/fulltext.pdf>

- ³⁹ Jiménez E, Linares C, Martínez D, Díaz J. Role of Saharan dust in the relationship between particulate matter and short-term daily mortality among the elderly in Madrid (Spain). *Sci Total Environ*. 2010 ; 408(23) : 5729 - 36.
- ⁴⁰ Negral L, Moreno-Grau S, Moreno J, Querol X, Viana MM, Alastuey A. Natural and anthropogenic contributions to PM10 and PM2,5 in an urban area in the western Mediterranean coast. *Water air soil pollut*. 2008 ; 192 : 227-238.
- ⁴¹ Vanderstraeten P, Lénelle Y, Meurrens A, Carati D, Brenig L, Delcloo A, Offer ZY, Zaady E. Dust storm originate from Sahara covering Western Europe : a case study. *Atmospheric Environment*. 2008 ; 42 : 5489-5493.
- ⁴² Pham MK, Povinec PP, Lee SH, Oregioni B. Transport atmosphérique de particules de l'Afrique du Nord à Monaco. *Bulletin du bureau national de météorologie*. 2003 ; 2003-2 (123) : 143-149.
- ⁴³ Perez L, Tobias A, Querol X, Künzli N, Pey J, Alastuey A, Viana M, Valero N, González-Cabré M, Sunyer J. Coarse particles from Saharan dust and daily mortality. *Epidemiology*. 2008 ; 19(6) : 800-7.
- ⁴⁴ Griffin DW, Kubilay N, Koçak M, Gray MA, Borden TC, Shinn EA. Airborne desert dust and aeromicrobiology over the Turkish Mediterranean coastline. *Atmospheric Environment*. 2007 ; 41 : 4050-4062.
- ⁴⁵ McCarthy M. Dust clouds implicated in spread of infection. *The Lancet*. 2001 ; 358 : 478.
- ⁴⁶ Shinn EA, Griffin DW, Seba DB. Atmospheric transport of mold spores in clouds of desert dust. *Arch Environ Health*. 2003 ; 58(8) : 498-504.
- ⁴⁷ Spivey A. Dust Storm Fallout : Tiniest Travelers Pose Greatest Infection Threat. *Environ Health Perspect*. 2008 ; 116(3) : A128. [Consulté le 27/12/2011]. Disponible à partir de l'URL : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2265062/pdf/ehp0116-a0128b.pdf>
- ⁴⁸ Karlsson L, Hernandez F, Rodriguez S, Lopez-Perez M, Hernandez-Armas J, Alonso-Perez S, Cuevas E. Using ¹³⁷Cs and ⁴⁰K to identify natural Saharan dust contributions to PM10 concentrations and air quality impairment in the Canary island. *Atmospheric Environment*. 2008 ; 42 : 7034-7042.
- ⁴⁹ Hernandez F, Hernandez-Armas J, Catalan A, Fernandez-Aldecoa JC, Karlsson L. Gross alpha, gross beta activities and gamma emitting radionuclides composition of airborne particulates samples in an oceanic island. *Atmospheric Environment*. 2005 ; 39 : 4057-4066.
- ⁵⁰ Hernandez F, Alonso-Perez S, Hernandez-Armas J, Cuevas E, Karlsson L, Romero-Campos PM. Influence of major African dust intrusions on the ¹³⁷Cs and ⁴⁰K activities in the lower atmosphere at the Island of Tenerife. *Atmospheric Environment*. 2005 ; 39 : 4111 - 4118.
- ⁵¹ Sandstrom T, Forsberg B. Desert dust: an unrecognized source of dangerous air pollution ? *Epidemiology*. 2008 ; 19(6) : 808-9.
- ⁵² Hong YC, Pan XC, Kim SY, Park K, Park EJ, Jin X, Yi SM, Kim YH, Park CH, Song S, Kim H. Asian Dust Storm and pulmonary function of school children in Seoul. *Sci Total Environ*. 2010 ; 408(4) : 754-9.
- ⁵³ Linares C, Tobias A, Díaz J. Is there new scientific evidence to justify reconsideration of the current WHO guidelines for particulate matter during dust intrusions ? *Science of the Total Environment*. 2010 ; 408 : 2283-2284. [Consulté le 13/12/2011]. Disponible à partir de l'URL : http://www.aureliotobias.es/pubs/c14_2010_Stoten.pdf
- ⁵⁴ Tobias A, Pérez L, Díaz J, Linares C, Pey J, Alastuey A, Querol X. Short-term effects of particulate matter on total mortality during Saharan dust outbreaks: A case-crossover analysis in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*. 2011 ; 412-413 : 386-389. [Consulté le 13/12/2011]. Disponible à partir de l'URL : http://www.aureliotobias.es/pubs/p92_2011_Stoten.pdf
- ⁵⁵ Mallone S, Stafoggia M, Faustini A, Gobbi GP, Marconi A, Forastiere F. Saharan Dust and Associations between Particulate Matter and Daily Mortality in Rome, Italy. *Environ Health Perspect*. 2011 ; 119(10) : 1409-1414. [Consulté le 16/12/2011]. Disponible à partir de l'URL : <http://ehp03.niehs.nih.gov/article/fetchArticle.action?articleURI=info%3Adoi%2F10.1289%2Fehp.1003026>
- ⁵⁶ Samoli E, Kougea E, Kassomenos P, Analitis A, Katsouyanni K. Does the presence of desert dust modify the effect of PM10 on mortality in Athens, Greece? *Science of The Total Environment*. 2011 ; 409(11) : 2049-2054.
- ⁵⁷ Sajani SZ, Miglio R, Bonasoni P, Cristofanelli P, Marinoni A, Sartini C, Goldoni CA, De Girolamo G, Lauriola P. Saharan dust and daily mortality in Emilia-Romagna (Italy). *Occup Environ Med*. 2011 ; 68 : 446-451. [Consulté le 28/12/2011]. Disponible à partir de l'URL : <http://oem.bmj.com/content/68/6/446.full.pdf>
- ⁵⁸ Lee JT, Son JY, Cho YS. A comparison of mortality related to urban air particles between periods with Asian dust days and without Asian dust days in Seoul, Korea, 2000-2004. *Environmental Research*. 2007 ; 105 : 409-413.
- ⁵⁹ Schwartz J, Norris G, Larson T, Sheppard L, Claiborne C, Koenig J. Episodes of high coarse particle concentrations are not associated with increased mortality. *Environ Health Perspect*. 1999 ; 107(5) : 339-42. [Consulté le

- 26/12/2011] Disponible à partir de l'URL : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1566434/pdf/envhper00510-0049.pdf>
- ⁶⁰ Pope III CA, Hill RW, Villegas GM. Particulate air pollution and daily mortality on Utah's Wasatch Front. *Environ Health Perspect.* 1999 ; 107(7) : 567-573. [Consulté le 26/12/2011] Disponible à partir de l'URL : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1566678/pdf/envhper00512-0095.pdf>
- ⁶¹ Middleton N, Yiallourous P, Kleanthous S, Kolokotroni O, Schwartz J, Dockery DW, Demokritou P, Koutrakis P. A 10-year time-series analysis of respiratory and cardiovascular morbidity in Nicosia, Cyprus : the effect of short-term changes in air pollution and dust-storms. *Environ Health.* 2008; 7: 39. [Consulté le 27/12/2011]. Disponible à partir de l'URL : <http://www.ehjournal.net/content/7/1/39>
- ⁶² Gdalevich M, Nissan E, Kordova-Biezuner L, Grotto I, Scharf S, Huerta M. Measuring the Acute Health Effects of Dust Storms: A Matched Analysis. *Epidemiology.* 2009 ; 20(6) : S186.
- ⁶³ Tobias A, Cayla JA, Alastuey A, Querol X. Are Saharan dust intrusions increasing the risk of meningococcal meningitis ? *Int J Infect Dis.* 2011, 15 : e503. [Consulté le 13/12/2011]. Disponible à partir de l'URL : http://www.aureliotobias.es/pubs/c15_2011_IJID.pdf
- ⁶⁴ Dadvand P, Basagana X, Figueras F, Amoly E, Tobias A, de Nazelle A, Querol X, Sunyer J, Nieuwenhuijsen MJ. Saharan dust episodes and pregnancy. *J. Environ. Monit.* 2011 ; 13 : 3222-3228. [Consulté le 13/12/2011]. Disponible à partir de l'URL : http://www.aureliotobias.es/pubs/p90_JEM_2011.pdf
- ⁶⁵ Gyan K, Henry W, Lacaille S, Laloo A, Lamsee-Ebanks C, McKay S, Antoine RM, Monteil MA. African dust clouds are associated with increased paediatric asthma accident and emergency admissions on the Caribbean island of Trinidad. *Int J Biometeorol.* 2005 ; 49 : 371-376.
- ⁶⁶ Monteil MA. Saharan dust clouds and human health in the English-speaking Caribbean : what we know and don't know. *Envir Geochem Health.* 2008 ; 30 : 339-343.
- ⁶⁷ Prospero JM, Blades E, Naidu R, Mathison G, Thani H, Lavoie MC. Relationship between African dust carried in the Atlantic trade winds and surges in pediatric asthma attendances in the Caribbean. *Int J Biometeorol.* 2008 ; 52 : 823-832.
- ⁶⁸ Monteil MA, Antoine R. African dust and asthma in the Caribbean : medical and statistical perspectives. *Int J Biometeorol.* 2009 ; 53 : 379-381.
- ⁶⁹ Blateau A, Bouopda D, Le Tertre A, Gandar S, Quénel P. Effets sanitaires des brumes de sable désertique à la Martinique, 2001-2006. *Bulletin de veille sanitaire.* 2012 ; 3 : 11-15.
- ⁷⁰ Kanatani KT, Ito I, Al-Delaimy WK, Adachi Y, Mathews WC, Ramsdell JW; Toyama Asian Desert Dust and Asthma Study Team. Desert dust exposure is associated with increased risk of asthma hospitalization in children. *Am J Respir Crit Care Med.* 2010 ; 182(12) : 1475-81.
- ⁷¹ Chan CC, Chuang KJ, Chen WJ, Chang WT, Lee CT, Peng CM. Increasing cardiopulmonary emergency visits by long-range transported Asian dust storms in Taiwan. *Environ Res.* 2008 ; 106 : 393-400.
- ⁷² Yang CY, Chen YS, Chiu HF, Goggins WB. Effects of Asian dust storm events on daily stroke admissions in Tapei, Taiwan. *Environmental Research.* 2005 ; 99 : 79-84.
- ⁷³ Bell ML, Levy JK, Lin Z. The effect of sandstorms and air pollution on cause-specific hospital admissions in Tapei, Taiwan. *Occup Environ Med.* 2008 ; 65 : 104-111.
- ⁷⁴ Yoo Y, Choung JT, Yu J, Kim do K, Koh YY. Acute effects of Asian dust events on respiratory symptoms and peak expiratory flow in children with mild asthma. *J Korean Med Sci.* 2008 ; 23(1) : 66-71.
- ⁷⁵ Yaka P, Sultan B, Broutin H, Janicot S, Philippon S, Fourquet N. Relationships between climate and year-to-year variability in meningitis outbreaks: A case study in Burkina Faso and Niger. *Int J Health Geogr.* 2008 ; 7: pp34. [Consulté le 15/02/2012]. Disponible à partir de l'URL : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2504476/pdf/1476-072X-7-34.pdf>
- ⁷⁶ Sultan B, Labadi K, Guégan JF, Janicot S. Climate Drives the Meningitis Epidemics Onset in West Africa. *PLoS Med.* 2005 ; 2(1): pp6. [Consulté le 15/02/2012]. Disponible à partir de l'URL : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC545199/pdf/pmed.0020006.pdf>
- ⁷⁷ Perez L, Künzli N. Saharan dust : no reason to exempt from science or policy. *Occup Environ Med.* 2001; 68(6) : 389-90.
- ⁷⁸ Bulletin officiel des Canaries. 28 février 2001 – résolution 335. [Consulté le 27/12/2011]. Disponible à partir de l'URL : <http://www.gobiernodecanarias.org/boc/2001/027/boc-2001-027-003.pdf>
- ⁷⁹ Nickovic S, Kallos G, Papadopoulos A, Kakaliagou O. A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere. *Journal Of Geophysical Research.* 2001 ; 106 : 18,113-18. [Consulté le 30/12/2011]. Disponible à partir de l'URL : <http://www.bsc.es/media/929.pdf>