

## DÉFINITION D'UN ÉVÉNEMENT DE POUSSIÈRES DÉSERTIQUES AU SAHEL : APPORT DE NOUVELLES MESURES DE PM<sub>10</sub> AU BURKINA FASO

MARTINY N. <sup>(1)</sup>, ROUCOU P. <sup>(1)</sup>, POHL B. <sup>(1)</sup>, CAMBERLIN P. <sup>(1)</sup>, CHIAPELLO I. <sup>(2)</sup>

(1) UMR 6282 BIOGEOSCIENCES CNRS/Université de Bourgogne, Centre de Recherches de Climatologie, Faculté des Sciences Gabriel, 6 Bd. Gabriel, 21000 Dijon [nadege.martiny@u-bourgogne.fr; pascal.roucou@u-bourgogne.fr; benjamin.pohl@u-bourgogne.fr; pierre.camberlin@u-bourgogne.fr]

(2) UMR 8518 Laboratoire Optique Atmosphérique, UFR Physique, Bâtiment P5, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655 Villeneuve d'Ascq [isabelle.chiapello@loa.univ-lille1.fr]

**Résumé** – Cette étude porte sur les poussières désertiques de la saison sèche dans une zone rurale sahélienne dont les populations sont exposées à des risques sanitaires majeurs comme les épidémies de méningites (Martiny & Chiapello, 2013). L'objectif est ici de définir ce qu'est un « événement » de poussières, notion qualifiant les moments les plus exposés aux poussières dans un contexte déjà poussiéreux, mais qui reste cependant assez floue, notamment par manque de vérité-terrain. L'analyse de nouvelles mesures de PM<sub>10</sub> au Burkina Faso nous a permis de définir les événements de poussières comme des épisodes dont les concentrations sont supérieures à 189µg/m<sup>3</sup> pendant au moins 10h. Nous avons ensuite classé les événements en 5 catégories selon leurs concentrations. Sur le premier trimestre 2013, un total de 11 événements de poussières a été répertorié à Dedougou. Parmi eux, 4 ont été classés comme étant intense, très intense ou extrême.

**Mots-clés** : événement de poussières désertiques, saison sèche, Sahel, vérité-terrain.

**Abstract** – *Definition of a Sahelian desert dust event based on new PM<sub>10</sub> measurements in Burkina Faso.* This study is dedicated to the desert dust of the dry season in an inhabited Sahelian rural area whose populations are widely exposed to sanitary risks such as meningitis outbreaks (Martiny & Chiapello, 2013). Here, the objective is to give a definition of a dust “event”, a concept describing the dustiest moments in a dusty environment, but that remains rather unclear, notably because of the lack of ground-truth measurements. The analysis of new PM<sub>10</sub> measurements in Burkina Faso has enabled us to define the dust events as episodes which experience concentrations greater than 189µg/m<sup>3</sup> for at least 10h. Five types of dust events have been defined depending on the concentrations measured. On the first trimester of the year 2013, a total of 11 events have been recorded in Dedougou, and among them, 4 have been classified as intense, very intense or extreme events.

**Keywords** : desert dust event, dry season, Sahel, ground-truth.

### Introduction

Au Sahel, les aérosols minéraux plus communément appelés « poussières désertiques », présentent un cycle saisonnier très marqué et dont le calendrier ne coïncide que partiellement avec celui du régime d'Harmattan. Ainsi, si la saison sèche s'étend d'octobre à mars, nous pouvons distinguer une période « sans » poussières de juillet à décembre et une période « avec » poussières de janvier à juin. Cette dernière peut elle-même être scindée en deux sous-périodes : de janvier à mars (JFM) puis d'avril à juin. C'est en JFM que les alizés continentaux, de direction Nord/Nord-Est, gagnent en vitesse dans les basses couches atmosphériques, et apportent avec eux des quantités importantes de poussières désertiques depuis le Sahara jusqu'au Sahel. Ainsi, JFM est la période de poussières « basses couches », celle pendant laquelle les populations sont le plus exposées à une qualité de l'air dégradée et à des risques sanitaires importants tels que les grandes épidémies de méningites bactériennes (Martiny & Chiapello, 2013). D'avril à juin, le régime de Mousson se met en place, et les poussières, bien que toujours présentes au Sahel, le sont beaucoup moins fréquemment en surface, réduisant les risques sanitaires liées à leur présence.

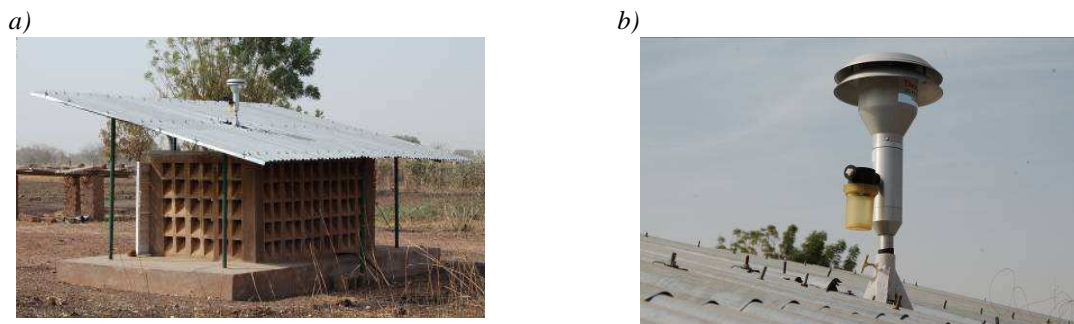
L'objectif de cette étude est de mieux caractériser les poussières de la période JFM dans une zone rurale sahélienne dont les populations sont exposées à des risques sanitaires majeurs. Cette démarche prend tout son sens dans le contexte d'une absence d'existence de norme de qualité de l'air dans la région (Delongueville *et al.*, 2010). Cette étude vise plus particulièrement à définir ce qu'est un « événement » de poussières, notion qualifiant les moments les plus exposés aux poussières dans un contexte déjà poussiéreux, car elle reste assez floue, notamment à cause d'un manque de vérité-terrain en Afrique. A partir de quelle(s) concentration(s) peut-on considérer qu'un événement de poussières se produit ?

Peut-on distinguer différents types d'événements au sein de la période JFM? Comment les hiérarchiser? Cette étude vise à répondre à ces questions en se basant sur de nouvelles mesures de PM<sub>10</sub> (matière particulaire dont le diamètre est inférieur à 10 microns) réalisées avec un instrument TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) récemment implanté au Burkina Faso. Ces mesures locales représentent une opportunité unique de quantifier et de comprendre les poussières désertiques, source de « pollution atmosphérique » principale à la période considérée, et qui plus est naturelle, dans une zone rurale sahélienne dont les populations sont exposées à des risques sanitaires majeurs. Dans un premier temps, l'instrument TEOM est présenté (§1), puis la saison sèche 2012-2013 analysée sous deux perspectives : les mesures satellitaires (§2.1) et les mesures sol de PM<sub>10</sub> (§2.2). La troisième et dernière partie est dédiée à la définition de ce qu'est un événement de poussières au Sahel, en se basant sur les mesures du TEOM de Dédougou sur JFM 2013.

## 1. Le TEOM de Dédougou

Le TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) a été implanté à Dédougou en mars 2012 sur un site de mesures de la Direction Générale de la Météorologie du Burkina Faso (Figure 1). Il est situé à environ 200 km à l'ouest de Ouagadougou (Lat. 12.65° N, Lon. 3.43° O), en zone soudano-sahélienne (pluviométrie moyenne de 850 mm/an). Son principe de mesure est simple et robuste : les particules en suspension dans l'air, aspirées par une pompe connectée à la base de la microbalance, et retenues par un filtre de collection, augmentent la masse du système oscillant du TEOM, produisant une décroissance de la fréquence naturelle de vibration qui est d'environ 200 Hz. Cette variation de fréquence est convertie en variation de masse  $dm$  selon :  $dm = K_0 (1/f_1^2 - 1/f_2^2)$ , où  $f_1$  est la fréquence initiale,  $f_2$  la fréquence finale, et  $K_0$  la constante de calibration.

Le TEOM de Dédougou mesure en automatique à un pas de temps fin (15 minutes) et en continu (de jour comme de nuit) les concentrations en surface des particules de diamètre inférieur à 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>). A ce jour, deux cœurs de saison sèche ont été entièrement renseignés: JFM 2013 et JFM 2014 (JFM 2015 est en cours d'acquisition). Il est à noter que c'est le premier instrument de ce genre à être implanté dans une zone rurale assez densément peuplée dont les populations sont régulièrement touchées par des épidémies de méningites bactériennes de grande ampleur. Les autres TEOM installés dans des zones rurales sahéliennes, au nombre de 2 seulement (Banizoumbou au Niger et Cinzana au Mali), font partie du Sahelian Dust Transect (SDT) situé à 13.5° N (Marticorena *et al.*, 2010) et sont dédiés à l'étude des poussières dans des zones semi-arides (550 mm/an à Banizoumbou et 770 mm/an à Cinzana), très peu densément peuplées et peu impactées par des risques sanitaires.

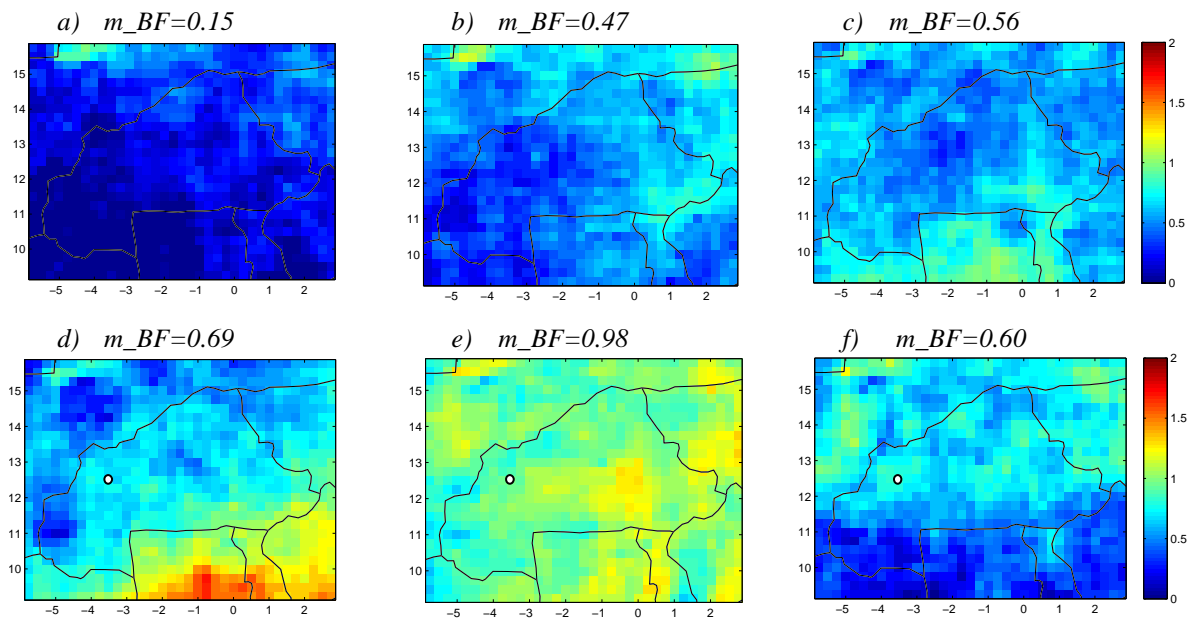


**Figure 1.** Le TEOM implanté à Dédougou (Burkina Faso) : a) vue de l'abri ; b) zoom sur la tête PM<sub>10</sub>

## 2. La saison sèche 2012-2013

### 2.1. Depuis l'espace

Le capteur OMI (Ozone Monitoring Instrument), qui mesure les luminances au sommet de l'atmosphère sur la gamme de longueurs d'onde 270 – 500 nm, est utilisé pour quantifier, sur l'ensemble de la colonne atmosphérique, les contenus en gaz (comme l'ozone) ou en aérosols (comme les poussières désertiques) absorbants dans l'ultraviolet. Les AI (Absorption Index) issus du capteur OMI, définis à partir des longueurs d'onde 354 et 388 nm (Torres *et al.*, 2007), sont des indices d'aérosols semi-empiriques quotidiens variant théoriquement entre 0 (atmosphère claire) et 1 (atmosphère turbide). Ils sont fréquemment utilisés en Afrique. Très sensibles à l'altitude des poussières, ils sont de qualité optimale lorsque les poussières se déplacent dans les hautes couches atmosphériques (Deroubaix *et al.*, 2013). Les AI OMI moyennés en mensuel sur l'ensemble de la saison sèche, illustrent très bien les deux temps de cette saison (Figure 2) : « sans » poussières d'octobre à décembre, avec des AI variant entre 0.15 et 0.56 en moyenne au Burkina Faso, « avec » poussières de janvier à mars, avec des AI plus élevés. Plus précisément, en JFM 2013 les AI les plus importants sont observés en février (0.98) puis en janvier (0.69) versus mars (0.60). La partie suivante, focalisée sur la saison des poussières « basses couches », i.e. JFM, vise à vérifier que le TEOM de Dédougou retrouve la même information.

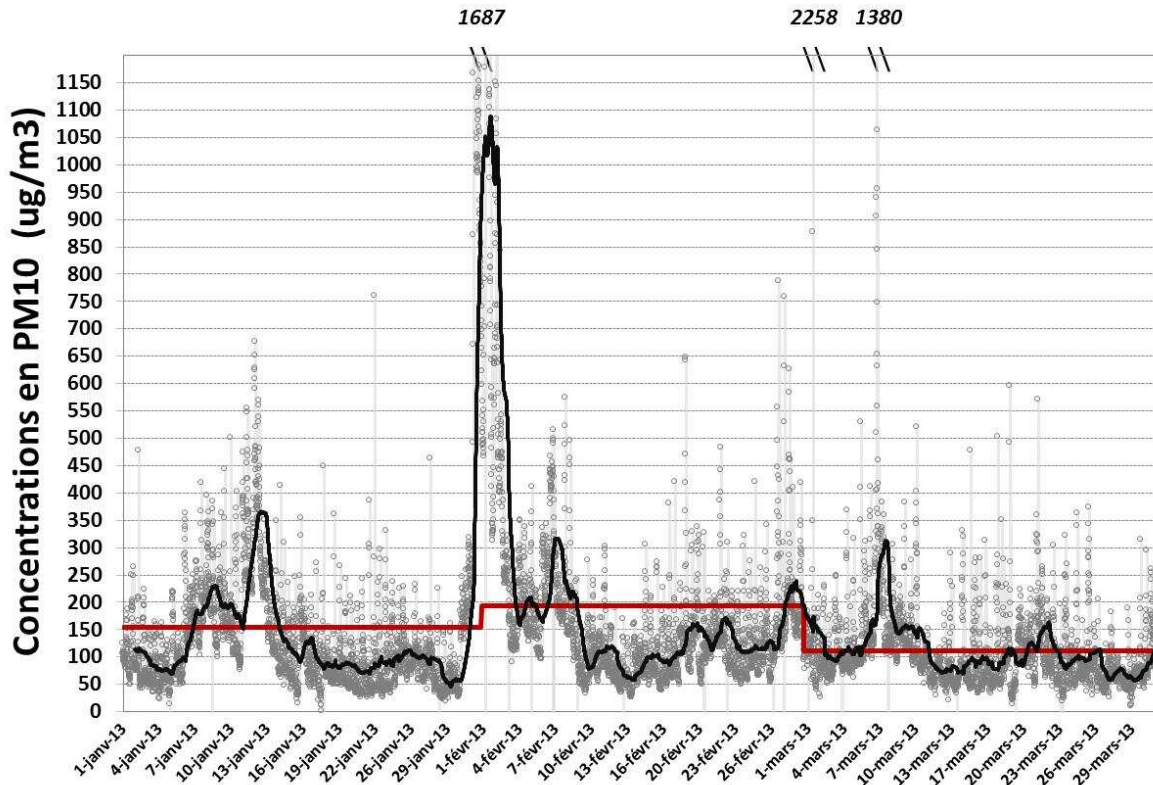


**Figure 2.** AI OMI mensuels à 25km de résolution spatiale au Burkina Faso pour la saison sèche 2012-2013 : a) octobre 2012, b) novembre 2012, c) décembre 2012, d) janvier 2013, e) février 2013, f) mars 2013.  $m_{BF}$  est la moyenne des AI au Burkina Faso. Le point blanc en d), e) et f) représente le TEOM de Dédougou.

### 2.2 Depuis le sol

Les concentrations en  $PM_{10}$  mesurées par le TEOM de Dédougou sont présentées de janvier à mars 2013 (Figure 3). En février la concentration moyenne mesurée est de  $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$  versus  $154 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en janvier et  $112 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en mars. Les mesures du TEOM sont donc en accord avec la variabilité mensuelle vue par le satellite. Une analyse au pas de temps quart-horaire de la période JFM 2013 indique que sur les 8631 valeurs de concentrations en  $PM_{10}$  mesurées, la valeur-symbole de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (norme de qualité de l'air européenne) a été dépassée 7866 fois, soit dans 91% des cas. Ceci signifie qu'en moyenne quotidienne (cadre d'application de la norme), les concentrations en  $PM_{10}$  mesurées sont quasiment toujours supérieures à cette valeur. Ceci indique également que le seuil maximal de 35 jours/an pour

lequel les concentrations en PM<sub>10</sub> ne doivent pas excéder 50 µg/m<sup>3</sup> (autre norme européenne) est largement dépassé à Dédougou.



**Figure 3.** Les concentrations en PM<sub>10</sub> mesurées à Dédougou en JFM 2013. Les cercles gris représentent les valeurs brutes mesurées par le TEOM au pas de temps quart-heure. En noir, une moyenne mobile réalisée sur 96 valeurs (soit 24h). En rouge, les concentrations moyennes pour chaque mois.

Les gammes de concentrations mesurées à Dédougou, similaires aux gammes de concentrations mesurées ailleurs au Sahel (Marticorena *et al.*, 2010), sont donc très élevées par rapport à celles mesurées en Europe. Ainsi même si les poussières sont de sources naturelles, ce qui sort du cadre européen, la nécessité de définir des normes de qualité de l'air propre au Sahel apparaît ici évidente. Ponctuellement, de très fortes valeurs (>1000 µg/m<sup>3</sup>) peuvent également être observées. Déterminent-elles l'occurrence des événements de poussières en plein cœur de la saison sèche ?

### 3. Définition d'un événement de poussières

Nous avons calculé les statistiques des concentrations en PM<sub>10</sub> sur la période JFM 2013 (Tableau 1), puis nous avons standardisé la série temporelle. Dans un premier temps, nous avons identifié les périodes pour lesquelles les anomalies étaient positives, condition que nous avons considérée comme nécessaire mais pas suffisante pour la détection d'un événement de poussières. Nous avons ensuite analysé le cycle diurne moyen des poussières (Figure 4). Il s'avère très marqué, avec un pic le matin et un pic le soir. Ceci est en accord avec les résultats obtenus à Banizoumbou et Cinzana, deux sites du SDT pour lesquels il a été montré que le cycle diurne est corrélé à la vitesse du vent en surface (Marticorena *et al.*, 2010). Nous avons ensuite défini un certain nombre de critères (CRIT1 à CRIT5) permettant de différencier les événements de poussières (Tableau 2). Ainsi, selon nos analyses, un événement de poussières peut être vu comme étant un épisode dont les concentrations sont élevées (>80<sup>ème</sup> percentile) pendant un laps de temps suffisamment long pour rompre le cycle diurne (>10h). Nous avons

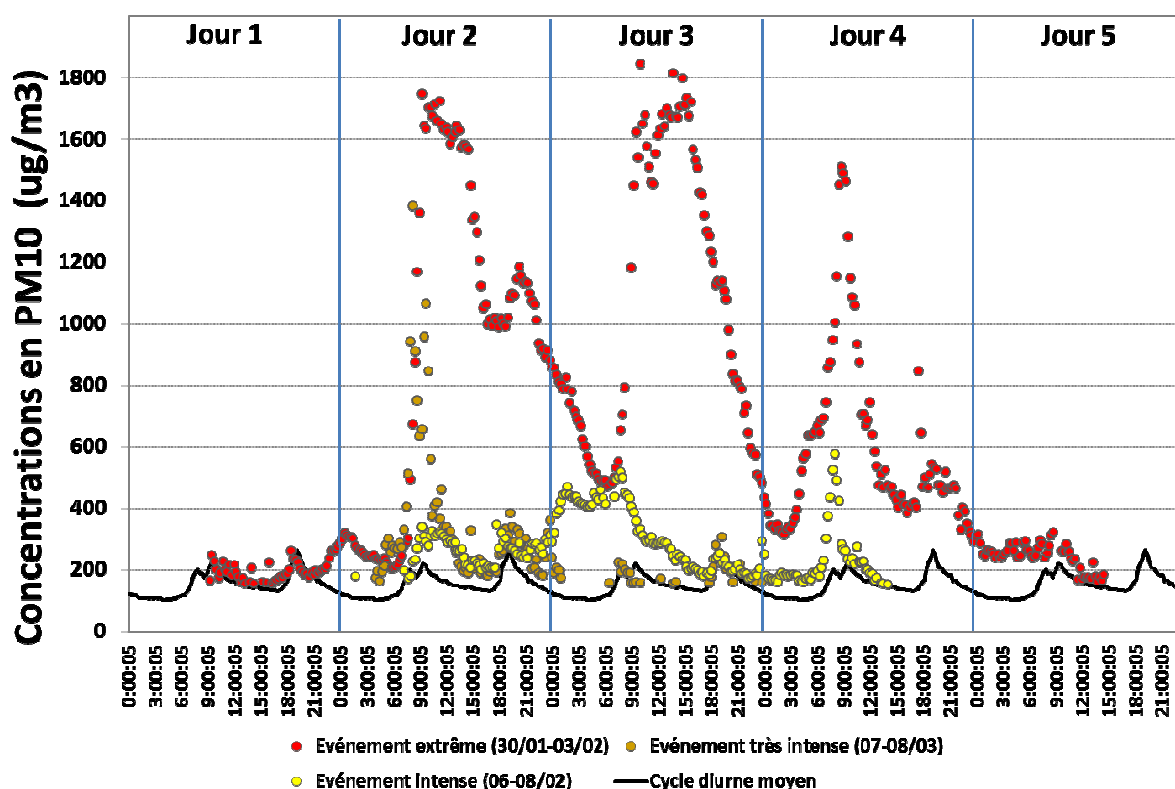
ensuite classé les événements en 5 catégories, de l'événement modéré à l'événement extrême, selon la valeur des concentrations mesurées (Tableau 2).

**Tableau 1.** Statistiques des concentrations quart-horaires des PM<sub>10</sub> ([PM10] en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en JFM 2013 :  $m$  est la moyenne,  $\sigma$  l'écart-type, 80e (90e, 97e, 98e, 99e) le 80<sup>ème</sup> (les 90<sup>ème</sup>, 97<sup>ème</sup>, 98<sup>ème</sup>, 99<sup>ème</sup>) percentile.

	m	$\sigma$	80e	90e	95e	97e	98e	99e
[PM10]	152	180	189	260	367	480	652	1121

**Tableau 2.** Définition des événements de poussières à Dédougou. Les valeurs 40, 8 et 4 correspondent au nombre de quarts d'heure consécutifs pour lesquels il y a dépassement de seuils. Le début (la fin) d'un événement correspond au quart d'heure à partir duquel [PM10] passe au-dessus (en-dessous) de la moyenne  $m$ .

Critère	Description	Nom de l'épisode	Nombre	Durée	[PM10]
CRIT1	40 x [PM10] > m & 8 x [PM10] > 80e	Evénement modéré	3	11h	207
CRIT2	CRIT1 & 8 x [PM10] > 90e	Evénement moyen	4	19h	229
CRIT3	CRIT2 & 4 x [PM10] > 97e	Evénement intense	2	54h	302
CRIT4	CRIT3 & 4 x [PM10] > 98e	Evénement très intense	1	21h	336
CRIT5	CRIT4 & 4 x [PM10] > 99e	Evénement extrême	1	99h	677



**Figure 4.** Exemple d'événements de poussières mesurés à Dédougou en JFM 2013 : répertoriés dans les catégories « intense », « très intense » et « extrême ».

En JFM 2013, nous avons répertorié un total de 11 événements dont 2 intenses, 1 très intense et 1 extrême (Tableau 2 & Figure 4). La caractéristique de ces événements est de présenter un ou plusieurs pics. Par exemple, dans le cas de l'événement extrême, qui dure plus de 4 jours, il y a une alternance entre des pics pouvant atteindre des concentrations supérieures à  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (~99<sup>ème</sup> percentile) et des minima relatifs à des concentrations entre  $300$  et  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (~95<sup>ème</sup> percentile). Comme précédemment décrit par Rajot *et al.* (2008), ceci est dû au cycle diurne des concentrations de poussières qui se trouve superposé à des phénomènes intenses et large échelle. Nous qualifions alors ces « événements » de poussières d'événements dits « d'Harmattan ».

## Conclusions et perspectives

A l'heure actuelle, les mesures de concentrations en  $PM_{10}$  du TEOM de Dédougou constituent une vérité-terrain unique en milieu rural dont les populations sont régulièrement affectées par les épidémies de méningites. A ce jour, 2 cœurs de saison sèche (JFM) ont été intégralement renseignés 24h/24, à un pas de temps de 15mn. Dans un premier temps, notre étude a permis de montrer que les concentrations en  $PM_{10}$  retrouvent la variabilité intra-saisonnière des poussières telle qu'elle est vue par le capteur OMI. Une analyse plus fine menée au pas de temps quart-horaire sur JFM 2013 a ensuite permis de montrer que les concentrations sont très élevées avec une moyenne de  $152 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ce qui correspond à 3 fois la norme de qualité de l'air européenne. Notons que cette norme vaut pour des concentrations quotidiennes et non liées à des événements naturels. Pour autant, selon l'OMS, les particules fines, quelle que soit leur origine, pénètrent en profondeur dans les poumons, et peuvent être à l'origine d'inflammations et de l'aggravation de l'état de santé des personnes fragilisées et/ou atteintes de maladies cardiaques et pulmonaires. Les concentrations mesurées à Dédougou (et au Niger et au Mali, Marticorena *et al.*, 2010), montrent qu'il est essentiel de définir une norme de qualité de l'air adaptée à l'Afrique sahélienne. Pour ce faire, il est important dans un premier temps de définir et de comprendre ce que sont les événements de poussières qui sont à l'origine de la hausse des concentrations en  $PM_{10}$  dans ces régions. A l'heure actuelle, aucune définition précise de ces événements n'a vraiment été donnée, les mesures au sol étant très lacunaires en Afrique. Ainsi, dans cette étude, nous nous sommes attachés à définir un événement de poussières en adoptant une démarche quantitative : ainsi nous avons caractérisé un événement par des concentrations en  $PM_{10}$  supérieures à  $189 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pendant un laps de temps d'au moins 10h (> cycle diurne). Nous avons ensuite classé les événements en 5 catégories selon les concentrations mesurées. En JFM 2013, nous avons répertorié 11 événements, dont la durée augmente généralement avec l'intensité. Il sera ensuite intéressant d'appliquer la méthode à d'autres saisons sèches à Dédougou (mêmes seuils), puis aux 2 autres sites sahéliens (seuils différents). Se posera enfin la question de la transposition de la méthode pour la détection des événements de poussières dans les produits aérosols issus de la télédétection spatiale, ou des simulations issues des modèles climatiques régionaux.

## Références bibliographiques

- Deroubaix A., Martiny N., Chiapello I., Marticorena B., 2013 : Suitability of OMI aerosol index to reflect mineral dust surface conditions: Preliminary application for studying the link with meningitis epidemics in the Sahel. *Remote Sensing Env.*, **133**, 116-127.
- De Longueville F., Hountondji Y.C., Henry S., Ozer P., 2010 : What do we know about effects of desert dust on air quality and human health in West Africa compared to other regions? *Science of The Total Env.*, **409**, 1-8.
- Marticorena B., Chatenet B., Rajot J.-L., Traoré S., Coulibaly M., Diallo A., Koné I., Maman A., NDiaye T., Zakou A., 2010 : Temporal variability of mineral dust concentrations over West Africa: analyses of a pluriannual monitoring from the AMMA Sahelian Dust Transect. *Atmos. Chem. Phys.*, **10**, 8051-8101.
- Martiny N., Chiapello I., 2013 : Assessments for the impact of mineral dust on the meningitis incidence in West Africa. *Atmospheric Env.*, **70**, 245-253.
- Rajot J.-L., Formenti P., Alfaro S., Desboeufs K., Chevaillier S., Chatenet B., Gaudichet A., Journet E., Marticorena B., Triquet S., Maman A., Mouget N., Zakou A., 2008 : AMMA dust experiment: an overview of measurements performed during the dry season special observation period (SOP0) at the Banizoumbou (Niger) supersite. *J. Geophys. Res.*, **113**, D00C14, doi :10.1029/2008JD009906.
- Torres O., Tanskanen A., Veihelmann B., Ahn C., Braak R., Bhartia P. K., Veeckind P., Levelt P., 2007 : Aerosols and surface UV products from ozone monitoring instrument observations: An overview. *J. Geophys. Res.*, **112**, D24S47, doi:10.1029/2007JD008809.