

Ecole doctorale Environnements-Santé
Dossier de projet de thèse « Contrat doctoral Etablissements »
ANNEE 2025

1) Renseignements administratifs sur la direction de thèse¹ (1 page maximum) :

Directeur de thèse HDR :

Nom : **POHL**

Prénom : **Benjamin**

Section CNU : **37** (*Enveloppes fluides du système Terre et autres planètes*)

Grade : **DR2 CNRS**

HDR : Date de soutenance : **16/06/2015**

Discipline : **Sciences Terre — Climatologie**

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : **CRC / Biogéosciences, 6 boulevard Gabriel, 21000**

Dijon | benjamin.pohl@cnrs.fr | (+33) 3 80 39 38 21

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : **Biogéosciences, UMR6282 CNRS /**
Université Bourgogne Europe | Thomas Saucède

Co-directeur de thèse éventuel :

Nom : **ROUCOU**

Prénom : **Pascal**

Section CNU : **23** (*Géographie physique, humaine, économique et régionale*)

Grade : **Maître de conférences**

HDR : *non* **X**

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : **CRC / Biogéosciences, 6 boulevard Gabriel, 21000**

Dijon | pascal.roucou@u-bourgogne.fr | 03 80 39 38 23

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : **Biogéosciences, UMR6282 CNRS /**
Université Bourgogne Europe | Thomas Saucède

2) Descriptif du projet de thèse (devra inclure les rubriques suivantes) :

- nom et label de l'unité de recherche : **UMR6282 Biogéosciences**
- localisation : **6 boulevard Gabriel, 21000 Dijon**
- nom du directeur de thèse : **Benjamin POHL**
- nom du co-directeur de thèse : **Pascal ROUCOU**
- adresse courriel du contact scientifique : benjamin.pohl@cnrs.fr
- titre du projet : **Les événements de poussières désertiques sahariennes : définition, caractérisation, transport et impact sur la qualité de l'air en France**

- description du projet (2 pages maximum)

La zone saharo-sahélienne est la source la plus importante de poussières désertiques. Transportés sur de longues distances, ces aérosols jouent un rôle sur le climat de la terre via des forçages radiatifs directs et indirects, mais aussi sur l'environnement terrestre et marin notamment via un effet « boost » de l'activité photosynthétique des plantes. Les poussières désertiques peuvent aussi altérer la qualité de l'air et affecter la santé humaine en favorisant l'asthme, les infections respiratoires, les maladies cardio-vasculaires voire, au Sahel, les

¹ **ATTENTION** : selon l'article 16 de l'arrêté du 25 mai 2016, le total d'encadrants ne peut pas dépasser 2, sauf si l'un des encadrants appartient au monde socio-économique, qui peut venir en sus, ou en cas de co-tutelle; Le décompte des co-encadrements se fera au prorata du nombre d'encadrants : 1 pour 1 encadrant, ½ pour deux encadrants.

épidémies de méningites bactériennes saisonnières¹. Leur détection et leur caractérisation s'avèrent donc essentielles, car elles représentent de véritables enjeux climatiques, environnementaux et de santé publique, y compris en Europe. Si les poussières désertiques sont majoritairement transportées vers le Sud-Ouest dans le contexte d'une circulation d'Harmattan en saison sèche (~50%), elles peuvent aussi traverser l'océan Atlantique (~30%), ou remonter vers l'Europe (~15%) à d'autres périodes de l'année². Des études plus récentes³ suggèrent une intensification des événements de poussières désertiques atteignant le Sud de l'Europe pendant la dernière décennie. Ce phénomène est donc particulièrement important à documenter ; ce qui nécessite, au préalable, de définir et de caractériser un événement de poussières. En effet, jusqu'ici, aucune définition ne peut être généralisée à l'ensemble de l'espace sahélien.

L'objectif de cette thèse est triple : (i) attribuer une définition générale et caractériser un événement de poussières désertiques au Sahel : intensité, durée et extension spatiale. Le défi est ici de se fonder sur des méthodologies originales en climatologie, basées sur l'expérience de la détection des vagues de chaleur en Afrique de l'Ouest ; (ii) identifier et comprendre les circulations atmosphériques types associées à ces événements de poussières désertiques, en particulier celles remontant vers l'Europe. On s'intéressera particulièrement ici aux rivières d'aérosols atmosphériques et aux configurations en « méandres » des vents d'ouest des moyennes latitudes ; (iii) quantifier l'impact des poussières désertiques sur la qualité de l'air en France, en étudiant notamment sa possible dégradation (durée et saison(s) concernée(s)).

Les recherches envisagées dans cette thèse, à l'interface entre poussières et climat, seront menées en 3 volets.

— **Le premier volet, « Définition et caractérisation d'un événement de poussières désertiques »**, consiste à analyser les concentrations en PM₁₀ (particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm), à partir des mesures *in-situ* issues des analyseurs de référence du réseau INDAAF (International Network to study Deposition and Atmospheric chemistry in Africa) à Banizoumbou (Niger) et à Cinzana (Mali) et celui de l'équipe CRC de Biogéosciences à Dédougou (Burkina Faso). Les données de Banizoumbou et de Cinzana ont été pour partie analysées par l'équipe CRC, en partenariat avec le LISA à Paris (Laboratoire Interdisciplinaire des Sciences de l'Environnement) il y a une dizaine d'années, dans le but de caractériser les liens entre poussières désertiques africaines et santé humaine⁴. Avec l'ajout des relevés de Dédougou, il y a maintenant la possibilité de mieux définir ce que sont les événements de poussières désertiques à partir des concentrations en PM₁₀⁵. En combinant les mesures des 3 sites (de 2013 à aujourd'hui), le projet est d'examiner l'intensité, la durée et l'extension spatiale des événements de poussières, ce qui n'a jamais été réalisé à ce jour. Des méthodologies originales, et éprouvées pour la détection des vagues de chaleur en Afrique de l'Ouest⁶, seront appliquées.

— **Le deuxième volet, « Transport des poussières désertiques vers l'Europe »**, vise à analyser les circulations atmosphériques types associées aux événements de poussières désertiques détectées dans le volet précédent. Les circulations privilégiant des remontées de poussières vers l'Europe seront ensuite caractérisées puis détectées sur une période antérieure (2002-Présent, en accord avec la disponibilité des réanalyses climat-poussières CAMS : Copernicus Atmosphere Monitoring Service) si elles présentent suffisamment de spécificités. Dans les années 2010, des méthodes de détection des rivières atmosphériques, ces courants atmosphériques chauds et humides qui proviennent des régions subtropicales et permettent d'équilibrer le bilan hydrologique mondial, ont vu le jour⁷. Récemment, ces outils avancés ont permis de mettre en lumière le rôle des rivières atmosphériques dans des advections de températures vers l'Europe⁸. Nous posons ici l'hypothèse selon laquelle les rivières atmosphériques seraient susceptibles de favoriser les advections de poussières désertiques vers l'Europe. Ce pan de recherches original comporte une dimension internationale, puisque nous travaillerons en partenariat avec le CARISMA (Climate change impAct studies for RiSk Management) Research Center en Italie, qui a développé la méthodologie pour le suivi du Black Carbon en Afrique du Sud⁹.

— **Le troisième volet, « Impact sur la qualité de l'air en France »**, consiste à déterminer si les remontées de poussières désertiques vers l'Europe y impactent la qualité de l'air en France, avec une identification des zones les plus couramment affectées. Si l'occurrence

d'événements de poussières désertiques sur le bassin méditerranéen, l'Espagne, l'Italie du Nord et le Sud de la France est relativement courante au printemps et en été, il semble que la fréquence de ces événements ait augmenté sur les années récentes². Par ailleurs, des événements répertoriés dans les Alpes en septembre 2024 ou encore en Bourgogne Franche Comté depuis 2020 suggèrent que les poussières peuvent atteindre des latitudes plus septentrionales qu'auparavant. C'est dans ce contexte qu'un travail de détection des événements de poussières désertiques en BFC sur la période 2020-2024 a été initiée au CRC. Dans le cadre de la thèse, les analyses seront généralisées à l'échelle nationale sur la période 2013-Présent. Pour cela le/la doctorant(e) mobilisera les concentrations de PM mesurées par le réseau de surveillance nationale des AASQA (Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air). Ces recherches émergentes, dédiées à l'estimation de l'impact des poussières désertiques sur la qualité de l'air en France, pourront ensuite être étendues à l'Europe, ce qui constitueraient également un point innovant de la thèse.

Calendrier prévisionnel :

— **année 1** : acquisition, traitement et analyse des concentrations en PM₁₀ au Niger, Mali et Burkina Faso et des conditions météorologiques de surface afin de définir et de caractériser un événement de poussières désertiques (intensité, durée, extension spatiale).

— **année 2** : classification des circulations atmosphériques lors des événements de poussières précédemment détectés. Evolution temporelle de la fréquence des types de circulation. Application de l'algorithme de suivi des aérosols en particulier vers l'Europe.

— **année 3** : estimation de la dégradation de la qualité de l'air en France, à partir des mesures des AASQA, puis en Europe à partir des réanalyses CAMS.

Références :

¹ Martiny, N., & Chiapello, I. (2013). Assessments for the impact of mineral dust on the meningitis incidence in West Africa. *Atmospheric Environment*, 70, 245-253.

² Shao, Y., Fink, A. H., & Klose, M. (2010). Numerical simulation of a continental-scale Saharan dust event. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D13).

³ Cuevas-Agulló, E., Barriopedro, D., García, R. D., Alonso-Pérez, S., González-Alemán, J. J., Werner, E., ... & Basart, S. (2024). Sharp increase in Saharan dust intrusions over the western Euro-Mediterranean in February–March 2020–2022 and associated atmospheric circulation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 24(7), 4083-4104.

⁴ 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 of environment*, 133, 116-127.5.

⁵ Martiny, N., P. Roucou, B. Pohl, P. Camberlin, I. Chiapello (2015). Definition of a Sahelian desert dust event based on new PM₁₀ measurements in Burkina Faso. *28ème colloque de l'Association Internationale de la Climatologie*, Liège, Belgique, 1-4 juillet 2015.

⁶ Sambou, M. J. G., Pohl, B., Janicot, S., Landry Famién, A. M., Roucou, P., Badiane, D., & Gaye, A. T. (2021). Heat waves in spring from Senegal to Sahel: evolution under climate change. *International Journal of Climatology*, 41(14), 6238-6253.

⁷ Guan, B., & Waliser, D. E. (2015). Detection of atmospheric rivers: Evaluation and application of an algorithm for global studies. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(24), 12514-12535.

⁸ Vautard, R., Cattiaux, J., Hapfé, T., Singh, J., Bonnet, R., Cassou, C., ... & Yiou, P. (2023). Heat extremes in Western Europe increasing faster than simulated due to atmospheric circulation trends. *Nature Communications*, 14(1), 6803.

⁹ Gaetani, M., Pohl, B., Alvarez Castro, M. D. C., Flamant, C., & Formenti, P. (2021). A weather regime characterisation of winter biomass aerosol transport from southern Africa. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(21), 16575-16591.

- Financement du projet – partie Recherche (montants acquis, type de contrat)

— **Volet 1.** Les **mesures** de référence de PM_{10} au Sahel (Banizoumbou au Mali et Cinzana au Niger) issues du réseau international INDAAF sont accessibles en ligne, en open source, au pas de temps horaire sur la période 2013-Présent.

— **Volet 1.** Les **mesures** de référence de PM_{10} à Dédougou au Burkina Faso, qui sont issues du même type d'instrument que ceux déployés au Mali et au Niger (INDAAF), sont livrées directement à Biogéosciences par le biais d'une collaboration avec l'ANAM-BF (Agence Nationale de la Météorologie du Burkina Faso) depuis 2013.

— **Volet 2.** L'outil de **détection des rivières d'aérosols** sera pris en main par le doctorant à Biogéosciences en utilisant les **ressources** de calcul haute performance et de stockage / archivage du mésocentre régional MesoBFC. Son adaptation aux poussières désertiques sera le fruit d'un travail collaboratif entre Biogéosciences, en impliquant également d'autres collègues du CRC, et le CARISMA Research Center en Italie.

— **Volet 3.** Les données issues des réseaux de **mesures fixes des AASQA** en France sont accessibles en ligne, en open source, au pas de temps horaire. Nous avons développé par ailleurs un partenariat de longue date sur les plans de la recherche et de l'enseignement avec l'AASQA locale ATMO-BFC nous permettant l'accès, au besoin, à des données non disponibles sur les réseaux ouverts au public.

Un ordinateur sera acquis sur les crédits de l'équipe de Biogéosciences à l'arrivée du doctorant au 1^{er} octobre 2025. Les missions ou participations à colloque du doctorant seront prises en charge sur des projets de recherches acquis par les encadrants ou sur les crédits de l'équipe CRC à Biogéosciences.

- connaissances et compétences requises

Master en sciences du climat, de l'atmosphère ou de l'environnement atmosphérique.

Connaissances du climat dans le fuseau Eurafrique / des poussières désertiques en zone saharo-sahélienne / de la qualité de l'air / mesures / réanalyses climatiques et aérosols. Un attrait pour la physique de l'atmosphère serait un plus. Programmation en lignes de code (calcul parallèle haute performance en environnement type linux, progiciels de traitement statistique multivarié type R, Python, voire Matlab). Solides connaissances en statistiques multivariées, analyse spatiale, géomatique et manipulation de grandes quantités de données. Anglais (lu / écrit / parlé). Motivation pour le travail en équipe, et inter-équipe avec des collègues internationaux.

Résumé en français et anglais *(limité chacun à 1800 caractères)*

FR La zone saharo-sahélienne est la source la plus importante de poussières désertiques. Transportées sur de longues distances, elles jouent un rôle majeur sur le climat de la terre, ainsi que sur les environnements terrestres et marins. Ces poussières peuvent aussi altérer la qualité de l'air et affecter la santé humaine. Leur détection et caractérisation s'avèrent donc essentielles, car elles représentent de véritables enjeux climatiques, environnementaux et de santé publique, y compris en Europe. Si les poussières désertiques sont majoritairement transportées vers le Sud-Ouest dans le contexte d'une circulation d'Harmattan en saison sèche ouest-africaine, elles peuvent aussi remonter vers l'Europe à d'autres périodes de l'année. Ce phénomène, actuellement mal connu, est donc particulièrement intéressant à documenter. L'objectif de cette thèse est triple : (i) caractériser un événement de poussières désertiques au Sahel, le défi est ici de proposer une méthodologie générale fondée sur une approche de climatologie basée sur l'expérience de la détection des vagues de chaleur en Afrique de l'Ouest ; (ii) identifier les circulations atmosphériques types associées à ces événements de poussières désertiques, en particulier celles remontant vers l'Europe puis tester l'hypothèse selon laquelle ces dernières sont à relier à des « rivières atmosphériques d'aérosols » ; (iii) quantifier l'impact des poussières désertiques sur la qualité de l'air en France, en étudiant en particulier les moments de l'année pendant laquelle elle est la plus dégradée, ainsi que l'extension spatiale de la dégradation. Le cas de la Bourgogne Franche Comté depuis les années 2020 questionne tout autant que celui enregistré dans les Alpes en 2024.

GB The Saharan-Sahelian zone is the most significant source of desert dust. Transported over long distances, they play a major role in the Earth's climate, as well as in the terrestrial and marine environments. Desert dust can also alter air quality and affect human health. Their detection and characterization are therefore essential, because they represent major climatic, environmental and public health issues, even in Europe. If Saharan dust is mainly transported towards the South-West in the context of the Harmattan circulation during the West Africa dry season, it can also reach Europe at other periods of the year. This phenomenon, yet poorly understood, is therefore particularly interesting to document. The objective of this thesis is threefold: (i) characterize what is a desert dust event in the Sahel, the challenge here being to propose a general methodology based on a climatology approach, and based on the experience of detecting heat waves in West Africa; (ii) identify the typical atmospheric circulations associated with these desert dust events, in particular those going up towards Europe in order to test the hypothesis according to which the desert dust events in Europe may be linked to so-called "aerosol atmospheric rivers"; (iii) quantify the impact of desert dust on air quality in France, by studying in particular the frequency with which it is degraded, as well as the new areas concerned. The case of Bourgogne Franche Comté since the 2020s raises as many questions as the one recorded in the Alps in 2024.

Préciser le domaine de compétence dans la liste ci-dessous *(2 choix possibles maximum – ne pas modifier les intitulés : ils sont imposés par certains sites web) :*

- 1/ Terre, univers, espace
- 2/ Ecologie, Environnement
- 3/ Sciences de la donnée (stockage, sécurité, mesure, analyse)

Mots clés :

Poussières désertiques | Circulations atmosphériques | Rivières d'aérosols | Qualité de l'air | Mesures | PM₁₀