

## THESIS / THÈSE

### DOCTEUR EN SCIENCES

**Evaluation des effets des conditions météorologiques et des aérosols désertiques sur les infections respiratoires aiguës basses chez les enfants : application dans les zones rurales du Bénin**

De Longueville, Florence

*Award date:*  
2013

*Awarding institution:*  
Universite de Namur

[Link to publication](#)

#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



UNIVERSITÉ  
DE NAMUR

---

GÉOGRAPHIE

**Evaluation des effets des conditions météorologiques  
et des aérosols désertiques sur les infections  
respiratoires aiguës basses chez les enfants :  
application dans les zones rurales du Bénin**

**Florence de Longueville**

*Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences*

Département de Géographie

Université de Namur

2013

© Presses universitaires de Namur & Florence de Longueville  
Rempart de la Vierge, 13  
B - 5000 Namur (Belgique)

Toute reproduction d'un extrait quelconque de ce livre, hors des limites restrictives prévues par la loi,  
par quelque procédé que ce soit, et notamment par photocopie ou scanner, est strictement interdite pour tous  
pays.

Imprimé en Belgique  
ISBN : 978-2-87037-820-5  
Dépôt légal: D / 2013 / 1881 / 42

## Composition du jury

**Nicolas Dendoncker**, Président du Jury

Professeur, Département de Géographie, Université de Namur

**Benjamin Sultan**, Examineur extérieur

Docteur, Chercheur IRD, LOCEAN/IPSL, Université Pierre et Marie Curie, Paris

**Godelieve Masuy-Stroobant**, Membre du comité de thèse

Professeur, Institut de Démographie, Université Catholique de Louvain

**Pierre Ozer**, Membre du comité de thèse

Professeur, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège

**Patrick Kolsteren**, Co-promoteur

Professeur, Instituut voor Tropische Geneeskunde, Antwerpen

**Sabine Henry**, Promotrice et Secrétaire du jury

Professeur, Département de Géographie, Université de Namur



## Résumé

Les effets du climat sur la santé humaine varient selon la région, la vulnérabilité des individus et la capacité d'adaptation des populations. Peu d'études tentent d'établir des relations entre infections respiratoires aiguës basses (IRAB) et conditions météorologiques alors qu'elles représentent la première cause des décès des enfants de moins de 5 ans à travers le monde. Le but de ce travail était de contribuer à la compréhension de la répartition spatio-temporelle des cas d'IRAB chez les populations infanto-juvéniles dans des zones rurales du Bénin en relation avec les facteurs météorologiques et les aérosols désertiques. Nous avons montré que la variabilité intra-annuelle des IRAB chez les enfants est fortement influencée par la saison des pluies. Le caractère plus marqué de la saison sèche semble augmenter la prévalence des IRAB dans l'ensemble de la zone d'étude. Des conditions particulièrement humides en saison des pluies sont associées à une croissance des cas d'IRAB, surtout dans le nord de la zone d'étude. Nous avons également dégagé le fait qu'il existe un pic d'IRAB au mois de mars dans tout le nord de la zone d'étude. Lors des épisodes de poussières sahariennes, les concentrations en  $PM_{10}$  dans l'air respiré sont multipliées par 18,5 dans le nord du Bénin. Dans le même temps, les taux mensuels d'IRAB augmentent de 12,5%. La diversité des résultats obtenus, tant dans l'espace que dans le temps, a prouvé l'importance du choix des échelles. A ce titre, la zone sanitaire s'est révélée être une échelle d'analyse pertinente. En ce qui concerne la résolution temporelle, la difficulté d'obtenir des données de santé journalières est apparue à plusieurs reprises comme une contrainte importante. Le thème de cette recherche est un sujet important, rarement abordé, dont on peut espérer qu'il conduise à des avancées significatives en termes de santé publique et qu'il débouche sur des applications utiles dans le domaine de la prévention.

## Abstract

The effects of climate on human health vary by region, according to people's vulnerability and resilience of populations. Few studies attempt to establish relationships between acute lower respiratory infections (ALRI) and weather conditions as ALRI are the leading cause of deaths among children under 5 worldwide. The aim of this study was to contribute to the understanding of the spatiotemporal distribution of ALRI cases amongst children in rural areas of Benin in relation to weather factors and desert dust. We have shown that the intra-annual variability of ALRI amongst children is strongly influenced by the rainy season. The strong character of the dry season seems to increase the prevalence of ALRI in the entire study area. Particularly wet conditions during the rainy season are associated with an increase in ALRI cases, especially in the north of the study area. We also identified that there is a peak in March in the north of the study area. During Saharan dust events,  $PM_{10}$  concentrations in the breathed air are multiplied by 18.5 in northern Benin. At the same time, the monthly ALRI rate increase of 12.5%. The diversity of the results, both in space and in time, proved the importance of the choice of scales. The health zone proved to be a relevant scale analysis. Regarding the temporal resolution, the difficulty of obtaining health data daily appeared repeatedly as an important constraint. The theme of this research is an important issue, rarely discussed, which can be expected to lead to significant advances in terms of public health and it leads to useful applications in the field of prevention.

## Liste des publications

[1] de Longueville F, Henry S, Ozer P. (2009). Saharan dust pollution: Implications for the Sahel? *Epidemiology* 20(5): 780.

[2] de Longueville F, Hountondji YC, 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 Environment* 409(1): 1-8.

[3] de Longueville F, Hountondji YC, Djivo VP, Henry S. (2013). Relations potentielles entre infections respiratoires aiguës basses et conditions météorologiques au Bénin. *Environnement, Risques et Santé* 12(2): 139-150.

[4] de Longueville F, Hountondji YC, Djivo VP, Henry S. (In press). Analysis of high Acute Lower Respiratory Infection levels in children under five linked to specific weather conditions: a case study in Benin (West Africa). *Global Health Perspectives*.

[5] de Longueville F, Ozer P, Doumbia S, Henry S (2013). Desert dust impacts on human health: an alarming worldwide reality and a need for studies in West Africa. *International Journal of Biometeorology* 57(1): 1-19.

[6] de Longueville F, Hountondji YC, Ozer P, Marticorena B, Chatenet B, Henry S. (2013). Saharan Dust Impacts on Air Quality: What Are the Potential Health Risks in West Africa? *Human and Ecological Risk Assessment*. DOI:10.1080/10807039.2012.716684

[7] de Longueville F, Hountondji YC, Djivo VP, Ozer P, Henry S. (En révision). Impacts des aérosols sahariens sur la santé respiratoire des enfants en Afrique de l'Ouest : étude préliminaire dans le Bénin septentrional. *Sciences et Changements Planétaires/Sécheresse*.



## Liste des acronymes

ADE	Asian dust event
ALRI	Acute respiratory infections
AMMA	African Monsoon Multidisciplinary Analysis
AQI	Air Quality Index
AQLV	Air Quality Limit Values
CENATEL	Centre National de Télédétection
CHF	Congestive Heart Failure
CI	Confidence interval
CIM	Classification Internationale des maladies
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
CRU	Climate Research Unit
CVD	Cerebrovascular Disease
CSA	Centre de santé d'arrondissement
CSC	Centre de santé de commune
CSCOM	Circonscription sanitaire de la commune
DDS	Direction Départementale de la Santé
EC	European Commission
ED	Emergency Department
EDS	Enquête Démographique et de Santé
EEZ	Équipe d'Encadrement de Zone
EPA	Environmental Protection Agency
FS	Formation sanitaire
HZ	Health zone
IDH	Indice de Développement Humain
IHD	Ischemic Heart Disease
INSAE	Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
IRA	Infections respiratoires aiguës
IRAB	Infections respiratoires aiguës basses
IRAH	Infections respiratoires aiguës hautes
MEPN	Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature
NCDC	National Climatic Data Center
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMD	Objectifs du Millénaire pour le Développement
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PCIME	Prise en Charge Intégrée des Maladies de l'Enfant
PEFR	Peak Expiratory Flow Rate
PIB	Produit intérieur brut
PM	Particulate Matter
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
RAC	Réseau Aérien de Communication
RR	Relative risk
RSV	Respiratory syncytial virus
SDD	Saharan dust day
SNIGS	Système National d'Information et de Gestion Sanitaires
UNFPA	United Nations Population Fund
UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund
VRS	Virus respiratoire syncytial
WHO	World Health Organization
ZS	Zone sanitaire

# Table des matières

<b>1. INTERET DE L'ÉTUDE, OBJECTIFS ET HYPOTHESES</b>	<b>17</b>
<b>1.1 INTÉRÊT DE L'ÉTUDE</b>	<b>17</b>
<b>1.2 OBJECTIFS</b>	<b>20</b>
<b>1.3 HYPOTHÈSES</b>	<b>21</b>
<b>1.4 STRUCTURE DU TRAVAIL</b>	<b>21</b>
<b>2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE</b>	<b>25</b>
<b>3. DONNEES EXPLOITEES</b>	<b>33</b>
<b>3.1 DONNÉES DE SANTÉ</b>	<b>33</b>
3.1.1 Le système de santé au Bénin	33
3.1.2 Description des données disponibles	34
3.1.2.1 <i>Données mensuelles d'IRAB</i>	34
3.1.2.2 <i>Annuaire de statistiques sanitaires</i>	36
3.1.3 Qualité des données IRAB	37
3.1.3.1 <i>Complétude</i>	37
3.1.3.2 <i>Fiabilité</i>	38
3.1.3.3 <i>Représentativité</i>	38
3.1.4 Validation des données IRAB	39
3.1.5 Transformation des données brutes en taux mensuels d'IRAB	40
3.1.6 Distribution statistique des données de santé	41
3.1.7 Perception des agents de santé et apport des données journalières	42
3.1.7.1 <i>Récolte des données journalières</i>	42
3.1.7.2 <i>Entretiens avec des agents de santé</i>	42
3.1.7.3 <i>Fonctionnement des formations sanitaires visitées</i>	43
3.1.7.4 <i>Les IRAB en consultations selon les agents de santé interrogés</i>	43
3.1.7.5 <i>Cohérence des discours avec les données IRAB mensuelles et journalières</i>	44
3.1.7.6 <i>Apport des données journalières</i>	45
3.1.7.7 <i>Discussion sur les données de santé acquises localement</i>	46
3.1.8 Répartition des taux d'IRAB en fonction des classes d'âge	49
3.1.9 Conclusions	50
<b>3.2 DONNEES METEOROLOGIQUES</b>	<b>50</b>
3.2.1 Description des données existantes	50
3.2.1.1 <i>Sources de données et variables disponibles</i>	50
3.2.1.2 <i>Caractéristiques des bases de données par source</i>	52
3.2.1.3 <i>Choix de la base de données de référence</i>	52
3.2.2 Mise en place de la base des données de référence	53
3.2.3 Contrôle de la qualité des données	54
3.2.3.1 <i>Température, humidité relative et précipitations</i>	54
3.2.3.2 <i>Le cas particulier de la visibilité</i>	57
3.2.4 Discussion et conclusion	58
<b>4. APPROCHE METHODOLOGIQUE</b>	<b>61</b>
<b>4.1 CHOIX DE L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE</b>	<b>61</b>
<b>4.2 ORGANIGRAMME DE L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE</b>	<b>64</b>
<b>5. RESULTATS - IRAB ET CONDITIONS METEOROLOGIQUES</b>	<b>69</b>
<b>5.1 IMPORTANCE DES IRAB DANS LA ZONE D'ÉTUDE</b>	<b>69</b>
<b>5.2 REROUPEMENT DES ZONES SANITAIRES SELON UNE CLASSIFICATION HIÉRARCHIQUE ASCENDANTE</b>	<b>70</b>
<b>5.3 TENDANCES DES TAUX D'IRAB SUR LA PÉRIODE D'ÉTUDE</b>	<b>72</b>
5.3.1 Données et Méthodes	74
5.3.2 Résultats et discussion	74
5.3.3 Conclusions	76

<b>5.4 VARIABILITÉ INTRA-ANNUELLE DES TAUX D'IRAB</b>	<b>77</b>
5.4.1 Introduction	79
5.4.2 Données et méthodes	81
5.4.3 Résultats	81
5.4.3.1 Observation des séries temporelles	81
5.4.3.2 Analyse spectrale	83
5.4.3.3 Distributions moyennes annuelles	85
5.4.3.4 Liens qualitatifs avec les données météorologiques	87
5.4.4 Discussion	89
5.4.5 Conclusions	89
<b>5.5 VARIABILITÉ INTERANNUELLE DES TAUX D'IRAB</b>	<b>90</b>
5.5.1 Introduction	92
5.5.2 Zone d'étude et système de santé	93
5.5.3 Données	94
5.5.3.1 Données de santé	94
5.5.3.2 Données météorologiques	94
5.5.4 Méthodes	95
5.5.4.1 Justification de la démarche	95
5.5.4.2 Approche par mois	95
5.5.4.3 Approche par saison	95
5.5.5 Résultats	97
5.5.5.1 Population cible, nombre de cas et taux d'incidence en 2008	97
5.5.5.2 Approche par mois	98
5.5.5.3 Approche par saison	101
5.5.6 Discussion	102
5.5.7 Conclusions	103
<b>5.6 LES VALEURS EXTRÊMES DES TAUX D'IRAB</b>	<b>104</b>
5.6.1 Introduction	106
5.6.2 Study area and health care system	107
5.6.3 Materials and methods	108
5.6.3.1 Health data	108
5.6.3.2 Weather data	109
5.6.3.3 Health indicators	110
5.6.3.4 Weather indicators	110
5.6.3.5 Associations between ALRI indicators and weather indicators	112
5.6.4 Results	113
5.6.4.1 ALRIs burden in the study area	113
5.6.4.2 Seasonality of ALRI levels	113
5.6.4.3 Detection of high ALRI levels using HIMONTH and associations with weather conditions	114
5.6.4.4 Detection of high ALRI levels using HIPERC and associations with weather conditions	117
5.6.5 Discussion	119
5.6.6 Conclusion	121
<b>5.7 VARIABILITÉ SPATIALE DES TAUX D'IRAB</b>	<b>121</b>
5.7.1 Données	124
5.7.2 Méthodes	124
5.7.2.1 Mesures de corrélation spatiale	124
5.7.2.2 Corrélations avec d'autres facteurs	125
5.7.3 Résultats et discussion	125
5.7.3.1 Corrélation spatiale entre les taux d'IRAB des différentes zones sanitaires sur l'ensemble de la période d'étude	125
5.7.3.2 Corrélation spatiale entre les taux d'IRAB des différentes zones sanitaires année par année	126
5.7.3.3 Corrélation spatiale entre les taux d'IRAB des différentes zones sanitaires mois par mois	128
5.7.3.4 Existence de corrélations avec d'autres facteurs	130
5.7.4 Conclusions	130
<b>5.8 VARIABILITÉ DES TAUX D'IRAB EXPLIQUÉE PAR LES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET PRÉDICTION DES TAUX D'IRAB</b>	<b>130</b>
5.8.1 Méthodes	132
5.8.1.1 Modèles de régression linéaire	132
5.8.1.2 Modèles de régression logistique	133
5.8.2 Résultats et discussion	133

5.8.2.1 Prédiction des taux d'IRAB	133
5.8.2.2 Prédiction des valeurs particulièrement élevées des taux d'IRAB	138
5.8.3 Conclusions	138
<b>5.9 ÉVOLUTION PROBABLE DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES À PARTIR DES TENDANCES SUR LA PÉRIODE 1960-2008 ET EFFETS POTENTIELS SUR LES TAUX D'IRAB</b>	<b>139</b>
5.9.1 Données et méthodes	141
5.9.1.1 Les données météorologiques	141
5.9.1.2 Stabilité des saisons	141
5.9.1.3 Détermination des tendances	142
5.9.1.4 Evolution des taux extrêmes	142
5.9.2 Résultats et discussion	143
5.9.2.1 La saisonnalité	143
5.9.2.2 Analyse des tendances	145
5.9.2.3 Les extrêmes	152
5.9.2.4 Effets des changements climatiques sur la santé et apport de nos résultats	155
5.9.3 Conclusions	157
<b>6. RESULTATS - SANTE ET AEROSOLS</b>	<b>161</b>
<b>6.1 IMPACTS DES AÉROSOLS DÉSERTIQUES SUR LA SANTÉ DANS LE MONDE SUR LA BASE DE LA LITTÉRATURE</b>	<b>162</b>
6.1.1 Introduction	164
6.1.2 Data sources and method	164
6.1.3 Results and discussion	175
6.1.3.1 Analysis of published studies of impact of desert dust on human health	175
6.1.3.2 Classification of dust-health relationship	175
6.1.3.3 Dust-health relationship – publication date	177
6.1.3.4 Dust-health relationship – dust origin	177
6.1.3.5 Dust event definition – health effects	179
6.1.3.6 What is happening in West Africa	181
6.1.4 Conclusion	183
<b>6.2 EVALUATION DES RISQUES POTENTIELS DES AÉROSOLS SAHARIENS SUR LA SANTÉ DES POPULATIONS D'AFRIQUE DE L'OUEST SUR LA BASE DE DONNÉES DE QUALITÉ DE L'AIR</b>	<b>184</b>
6.2.1 Introduction	186
6.2.2 Data sources and method	187
6.2.2.1 Data	187
6.2.2.2 Air quality standard	189
6.2.2.3 Potential health effects	189
6.2.3 Results and discussion	190
6.2.3.1 Dust impacts on air quality	190
6.2.3.2 PM <sub>10</sub> reference values, comparison between stations	190
6.2.3.3 Annual and monthly PM <sub>10</sub> concentrations	192
6.2.3.4 Daily PM <sub>10</sub> concentrations	193
6.2.3.5 Potential Dust Impacts on Human Health	194
6.2.3.6 Comparison with US EPA-AQI	194
6.2.3.7 Comparison with results in specific literature	196
6.2.4 Conclusion	200
<b>6.3 EVALUATION DES RISQUES RÉELS DES AÉROSOLS SAHARIENS SUR LA SANTÉ DE POPULATIONS BÉNINOISES SUR LA BASE DE DONNÉES DE SANTÉ</b>	<b>201</b>
6.3.1 Introduction	203
6.3.2 Zone et période d'étude	204
6.3.3 Matériel et méthodes	205
6.3.4 Résultats	208
6.3.4.1 Identification des épisodes de poussières	208
6.3.4.2 Impacts sur la qualité de l'air respiré par les populations	210
6.3.4.3 Effets sur les IRAB chez les enfants de 0 à 4 ans	211
6.3.5 Discussion	213
6.3.6 Conclusions	214
<b>7. DISCUSSION, CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b>	<b>217</b>

<b>7.1 PRINCIPAUX APPORTS DE LA RECHERCHE</b>	<b>217</b>
7.1.1 Identification des variations des taux d'IRAB à une échelle spatiale cohérente	217
7.1.2 Première évaluation des effets des aérosols désertiques sur la santé en Afrique de l'Ouest	218
<b>7.2 CONFRONTATION DES RÉSULTATS AUX HYPOTHÈSES DE DEPART</b>	<b>218</b>
7.2.1 Synthèse des principaux résultats obtenus	218
7.2.2 H1 : L'existence d'un gradient des taux d'IRAB de la zone soudanienne à la zone guinéenne	221
7.2.3 H2 : La croissance de la prévalence des IRAB lors de conditions météorologiques extrêmes	221
7.2.4 H3 : L'influence des conditions météorologiques sur la répartition spatio-temporelle des IRAB	222
7.2.5 H4 : L'augmentation des cas d'IRAB à cause des aérosols sahariens en zone soudanienne	223
<b>7.3 LIMITES ET POINTS FORTS DE L'ÉTUDE</b>	<b>227</b>
<b>7.4 RECOMMANDATIONS ET PROPOSITIONS D' ACTIONS</b>	<b>230</b>
7.4.1 Sur l'exploitation des données sanitaires du Bénin	230
7.4.2 Sur l'amélioration du système de récolte des données sanitaires au Bénin	230
7.4.3 Zones et de périodes à étudier plus en profondeur	232
7.4.4 Aide pour cibler des actions de lutte contre les IRAB	232
7.4.5 Support à la mise en place de stratégie d'adaptation aux changements climatiques dans le domaine de la santé	233
7.4.6 Apport dans le cadre des Objectifs Millénaires pour le Développement (OMD)	234
<b>7.5 PISTES DE RECHERCHES</b>	<b>234</b>
7.5.1 Prolongation de la période d'étude	234
7.5.2 Intégration de nouvelles données	235
7.5.3 Utilisation de données alternatives	235
7.5.4 Modifications de l'approche méthodologique	236
7.5.5 Analyse multi-échelle	236
7.5.6 Extension de la zone d'étude	236
7.5.7 Renforcement de la démarche participative	237
7.5.8 Reproduction de l'étude	238
<b>7.6 CONCLUSION GENERALE</b>	<b>238</b>
 <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	 <b>243</b>
 <b>ANNEXES</b>	 <b>265</b>
<b>ANNEXE 1 PHOTOGRAPHIES DES CARNETS DE CONSULTATIONS (EXTÉRIEUR ET INTÉRIEUR)</b>	<b>267</b>
<b>ANNEXE 2 LIGNES D'ENTRETIEN AVEC LES AGENTS DE SANTÉ</b>	<b>269</b>
<b>ANNEXE 3 PHOTOGRAPHIES DE PAGES DE CARNETS D'OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES</b>	<b>270</b>
<b>ANNEXE 4 PHOTOGRAPHIE DU TABLEAU DE CONVERSION DES CLASSIFICATIONS PCIME AU SNIGS</b>	<b>272</b>
<b>ANNEXE 5 CARTE DES STRUCTURES DE SANTÉ PUBLIQUES</b>	<b>273</b>
<b>ANNEXE 6 RESULTATS EXHAUSTIFS DES CORRELATIONS ENTRE IRAB ET MÉTEO DANS LES QUATRE ZONES SANITAIRES</b>	<b>274</b>
<b>ANNEXE 7 RÉSULTATS EXHAUSTIFS DES ASSOCIATIONS ENTRE IRAB ET VALEURS EXTREMES DE METEO</b>	<b>278</b>
 <b>LISTE DES FIGURES</b>	 <b>279</b>
 <b>LISTE DES TABLEAUX</b>	 <b>282</b>