



# CONCEPTION ET EVALUATION D'UN MODELE CLIMATIQUE POUR LA PREDICTION ET L'ALERTE PRECOCE DES EPIDEMIES DE MENINGITE A MENINGOCOQUE AU MALI

## DESIGN AND EVALUATION OF A CLIMATE MODEL FOR PREDICTION AND EARLY WARNING OF MENINGOCOCCAL MENINGITIS EPIDEMICS IN MALI

| Koundioun Dembélé <sup>1\*</sup> | Souleymane Sanogo <sup>1</sup> | Modibo Sangaré <sup>2</sup> | and | Abdramane Ba <sup>1</sup> |

<sup>1</sup> Université des Sciences des Techniques et des Technologies de Bamako (USTT-B) | FST | Laboratoire d'Optique, de Spectroscopie, et des Sciences de l'Atmosphère (LOSSA) | Bamako | BPE3206 | Mali |

<sup>2</sup> Université des Sciences des Techniques et des Technologies de Bamako (USTT-B) | FMOS | Bamako | Mali |

| Received | 20 October 2017 |

| Accepted | 31 October 2017 |

| Published 06 November 2017 |

### RESUME

**Introduction.** La méningite à méningocoque représente un problème de santé publique majeur en Afrique en général, et au Mali en particulier, où des épidémies récurrentes surviennent pendant la saison sèche. **Contexte.** Cette étude analyse la dynamique spatio-temporelle des épidémies de méningite et leur diffusion à l'échelle des districts, afin d'élaborer un modèle de prédiction de ces épidémies à partir des observations climatiques. **Objectifs.** La démarche consiste à (i) examiner la variation d'année en année du taux d'attaque de la méningite et des paramètres climatiques pour six districts sanitaires du Mali (Bamako, Koutiala, Nara, Ségou, Sikasso et Mopti) ; (ii) identifier des meilleurs prédicteurs climatiques pour la conception du modèle prédictif (iii) calibrer et valider le modèle prédictif du taux d'attaque de la méningite. **Méthode.** Les analyses bivariante et multivariée associée aux tests statistiques, sont appliquées aux dix ans de données de surveillance des méningites et aux données climatiques des six districts sanitaires. **Résultats.** Il ressort des résultats que le logarithme du taux d'attaque est mieux exprimé par les variables climatiques. La vitesse du vent, l'humidité relative et l'indice d'aérosol ont été retenues comme meilleurs prédicteurs pour la conception du modèle. La validation du modèle montré qu'à part Koutiala, les coefficients de détermination entre les taux d'attaque observés et prédits sont statistiquement significatifs et excèdent le niveau de significativité 95% pour tous les districts sanitaires concernés. Les erreurs obtenues sont relativement faibles comparées aux différentes valeurs moyennes pour tous les districts sanitaires concernés. **Conclusions.** Cette étude a mis en évidence la performance et la validité des modèles climatiques de prévision de méningites ainsi que leurs représentativités dans la zone soudano-sahélienne du Mali.

**Mots clés :** Méningite ; Epidémie ; Modèle climatique ; Prédications ; Mali.

### ABSTRACT

**Introduction.** Meningococcal meningitis is a major public health problem in Africa in general, and in Mali in particular, where recurring epidemics occur during the dry season. **Context.** This study analyzes the spatio-temporal dynamics of meningitis epidemics and their distribution at the district level, in order to develop a model for predicting these epidemics from climatic observations. **Objectives.** The approach consists of (i) examining the year-to-year variation in the meningitis attack rate and climatic parameters for six Mali health districts (Bamako, Koutiala, Nara, Ségou, Sikasso and Mopti); (ii) identify better climate predictors for the design of the predictive model; and (iii) calibrate and validate the predictive model of meningitis attack rate. **Method.** The bivariate and multivariate analyses associated with the statistical tests are applied to the ten years data of meningitis surveillance and the climate observation of the six health districts. **Results.** From the results, the logarithm of the attack rate is better expressed by the climatic variables. Wind speed, relative humidity and aerosol index were selected as the best predictors for model design. The validation of the model showed that, apart from Koutiala, the coefficients of determination between observed and predicted attack rates are statistically significant and over 95% significance level for all selected health districts. The errors obtained are relatively low compared to the different mean values for all the health districts concerned. **Conclusions.** This study highlighted the performance and validity of climatic models for predicting meningitis and their representativeness in the Sudano-Sahelian zone of Mali.

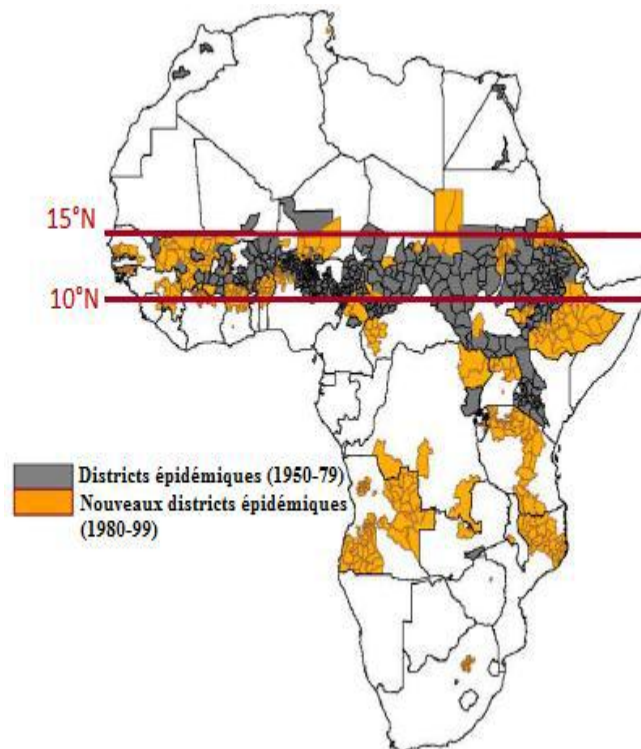
**Keywords:** Meningitis; Epidemiology; Climate model; predictions; Mali

## 1. INTRODUCTION

La méningite signifie «l'inflammation des méninges». Les méninges sont les membranes qui entourent le cerveau et la moelle épinière. Elles peuvent s'enflammer à la suite d'une infection du liquide entourant ces membranes. La méningite est une maladie redoutable. Elle apparaît soudainement, frappe tous les âges, particulièrement les nourrissons, les enfants et les jeunes et peut tuer en quelques heures. De plus, un nombre non négligeable de survivants à cette maladie garde des séquelles permanentes importantes comme la surdité, la paralysie cérébrale ou le retard mental.

Cette maladie sévit à l'état sporadique ou endémo-épidémique selon la forme dans la quasi-totalité des pays du monde. Le nombre d'individus potentiellement exposé à la bactérie *Neisseria meningitidis* est estimé à 400 millions [1]. Selon l'OMS l'incidence annuelle en Afrique est de 25000 à 250000 [2] avec une incidence plus élevée en Afrique de l'Ouest. On compte plusieurs formes de méningites (bactériennes, parasitaires, virales). Les formes bactériennes (90%) sont les plus graves et peuvent être dues à plusieurs germes, particulièrement *Neisseria meningitidis*, *Streptococcus pneumoniae* et *Haemophilus influenzae* de type b.

Une « ceinture » de la méningite bactérienne située entre les latitudes 10°-15°N et qui s'étend du Sénégal à l'ouest jusqu'à l'Éthiopie, à l'Est a été identifiée en Afrique subsaharienne. Ces 26 pays sont : Bénin, Burkina Faso, Burundi, Cameroun, Côte d'Ivoire, Érythrée, Éthiopie, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Kenya, Mali, Mauritanie, Niger, Nigéria, Ouganda, République centrafricaine, République démocratique du Congo, Rwanda, Sénégal, Soudan, Soudan du Sud, Tanzanie, Tchad et Togo (Figure 1) [3].



**Figure 1** : Localisation de la « ceinture » de la méningite sur l'Afrique (Cuevas et al. 2007) [3]

Les travaux réalisés en épidémiologie et en climatologie depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle ont pu mettre en évidence l'existence d'une concordance spatiale et temporelle des épidémies de méningite bactérienne pendant la saison sèche. En effet les épidémies de méningite débutent lorsque le taux d'humidité (mousson) est au plus bas, au cœur de la saison sèche [3, 4, 5 6]. A cette même période, les conditions de vent (*l'harmattan*) et d'aérosols désertiques sont également à leurs niveaux maximaux [3, 6 ; 7]. Le déclenchement de l'épidémie serait ainsi lié à la mise en place des conditions atmosphériques sèches qui stimuleraient l'invasion du méningocoque. A l'inverse, la fin des épidémies de méningite est liée à l'arrivée de la saison humide [3,4] la hausse de l'humidité atmosphérique réduisant le risque de transmission. Une étude a montré [8], qu'au Niger entre 1996 et 2002, les mois ayant des incidences de méningite les plus faibles étaient ceux ayant eu de pluviométrie élevée. Sur huit années, la semaine de démarrage des épidémies au Mali était corrélée avec la semaine du «maximum de l'hiver», un indice défini par les auteurs et basé sur la vitesse du vent [7].

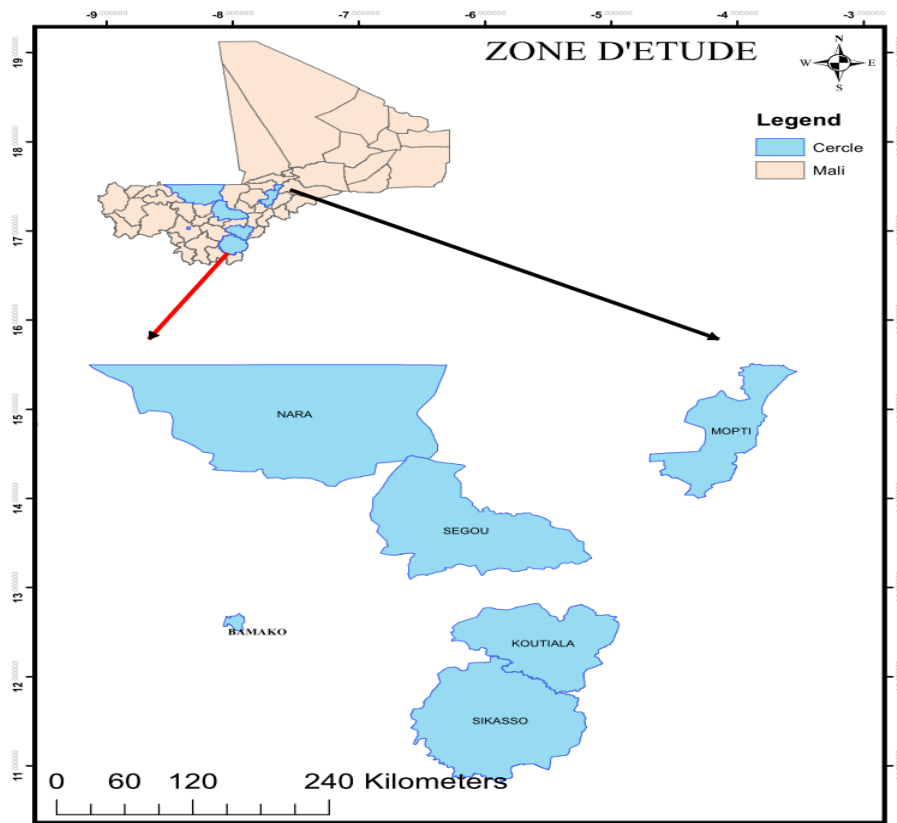
Des études précédentes ont démontré un lien fort entre la saisonnalité des poussières atmosphériques et celle des méningites à l'échelle des districts, avec une différence de phase moyenne de 11 jours [9]. Il a été observé au Niger et au Mali une coïncidence entre le démarrage de la saison des méningites et l'arrivée des poussières dans les basses couches de l'atmosphère d'une part, et entre la fin de la saison des méningites et la remontée de l'humidité liée à l'arrivée de la mousson d'autre part [10].

Cette étude analyse la dynamique spatio-temporelle des épidémies de méningite et leur diffusion à l'échelle des districts, afin d'élaborer un modèle de prédiction de ces épidémies à partir des observations climatiques. Les objectifs spécifiques sont alors (i) d'examiner la variation d'année en année du taux d'attaque de la méningite et des paramètres climatiques pour six districts sanitaires du Mali (Bamako, Koutiala, Nara, Ségou, Sikasso et Mopti) ; (ii) d'identifier des meilleurs

prédicteurs climatiques pour la conception du modèle prédictif (iii) et de calibrer et valider le modèle prédictif du taux d'attaque de la méningite.

## 2. MATERIELS AND METHODES

Le travail est effectué sur 6 districts du Mali dont : Bamako, Sikasso, Nara, Koutiala, Ségou, Mopti (*Figure 2*). Le choix de ces districts sanitaires se justifie par la récurrence de l'épidémie et aussi par la disponibilité des données climatiques et des données épidémiologiques de surveillance des épidémies de méningite.



**Figure 2 :** Représentation des districts d'étude sur la carte du Mali.

### 2.1. Données épidémiologiques :

Elles nous ont été offertes par la Direction Nationale de la Santé du Mali. Ce sont des données hebdomadaires qui s'étendent du 1<sup>er</sup> janvier 2006 au 31 décembre 2015, ce qui représente dix ans de données consécutives.

### 2.2. Données climatiques :

Elles sont issues de l'agence Mali-Météo. Ce sont des données décennales de station de villes (Bamako, Sikasso, Nara, Koutiala, Ségou, Mopti) de 2006-2015. Elles comportent la température, la vitesse du vent, l'humidité relative et la précipitation.

Les données sur l'indice d'aérosol sont dérivées de l'Instrument de surveillance de l'ozone OMI (*Ozone Monitoring Instrument*) à bord du satellite Aura de la NASA. Des valeurs positives élevées indiquent la présence d'aérosols absorbants tels que la poussière de désert, la fumée et les cendres volcaniques. C'est des données décennales de 1<sup>er</sup> janvier 2006 au 31 décembre 2015 avec une résolution spatiale de 0,25° ce qui correspond à 25km, elles sont disponibles sur le site de International Research Institute for Climate and Society [11].

### 2.3. Procédures d'analyse :

Ce travail consiste à identifier l'année qui a eu la plus forte et la plus faible intensité d'épidémie de méningite entre 2006 et 2015 dans les 6 districts d'études, en faisant la courbe de variation interannuelle du taux d'attaque de la méningite dans 6 districts. En outre, il consiste à étudier les différentes corrélations entre les paramètres climatiques et le taux d'attaque, la conception, la calibration et la validation du modèle prédictif conçu à partir des paramètres climatiques de l'année ayant la plus forte intensité de la méningite. Pour atteindre les objectifs, les logiciels et formules

ont été utilisés qui sont : l'anomalie standardisée, le biais, le coefficient de détermination le p-value et l'erreur quadratique moyenne.

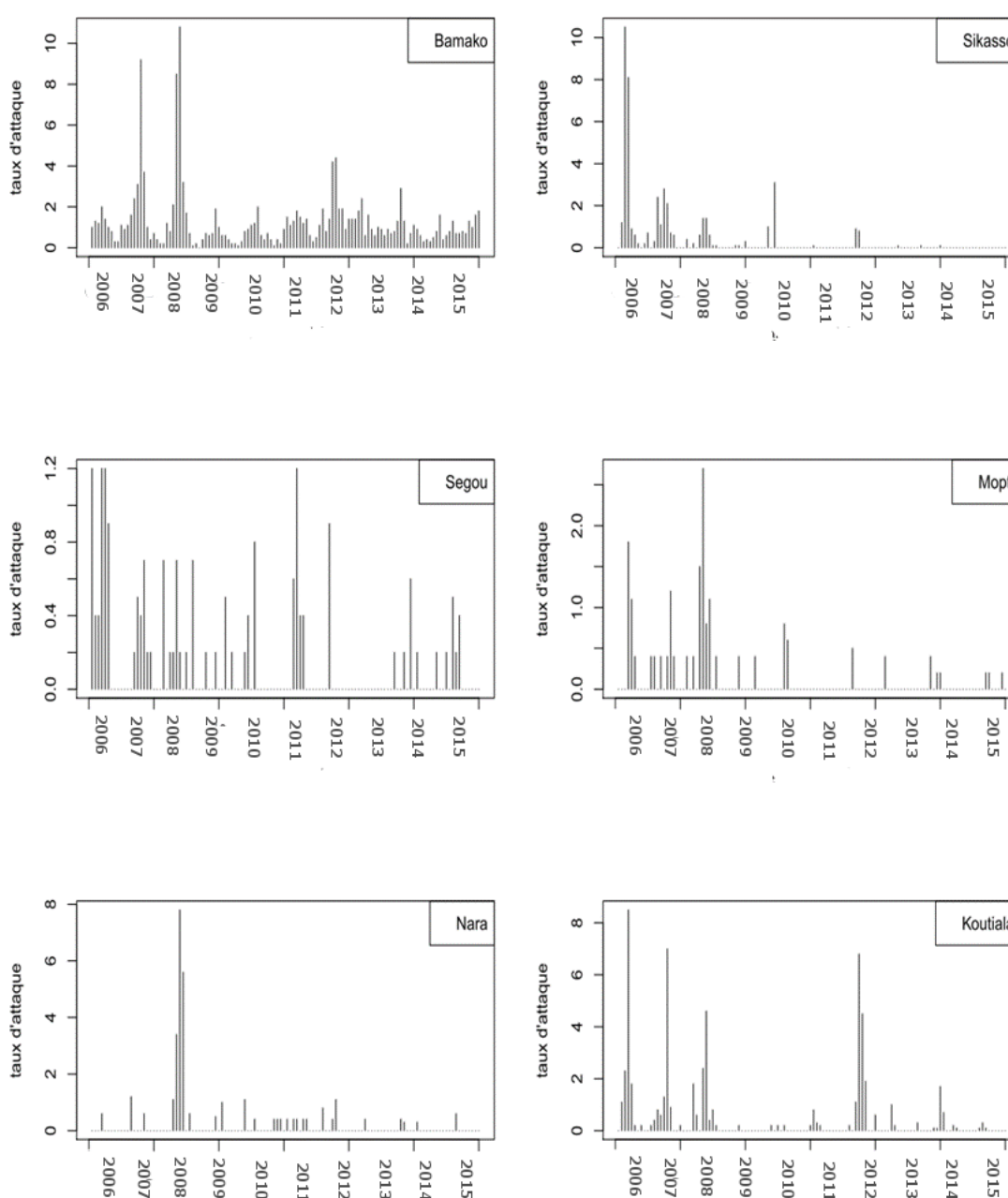
### 3. RESULTATS

#### 3.1. Variation interannuelle du taux d'attaque :

La courbe d'évolution du taux d'attaque en fonction du temps (Figure 3) est analysée dans le but d'identifier l'année ayant la plus forte et la plus faible intensité du taux d'attaque de la méningite au Mali. Le Tableau 1 montre la moyenne annuelle du taux d'attaque de la méningite calculée pour chaque année de 2006 à 2015. Ces valeurs confirment que les années 2008 et 2014 sont respectivement les années qui ont eu la plus forte et la plus faible intensité du taux d'attaque de la méningite.

**Tableau 1** : Le tableau montre les valeurs annuelles du taux d'attaque de la méningite au Mali de 2006 à 2015.

Année	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Taux	8,8	8,3	12,2	2,6	3,3	3,3	5,6	2,9	2,3	2,9

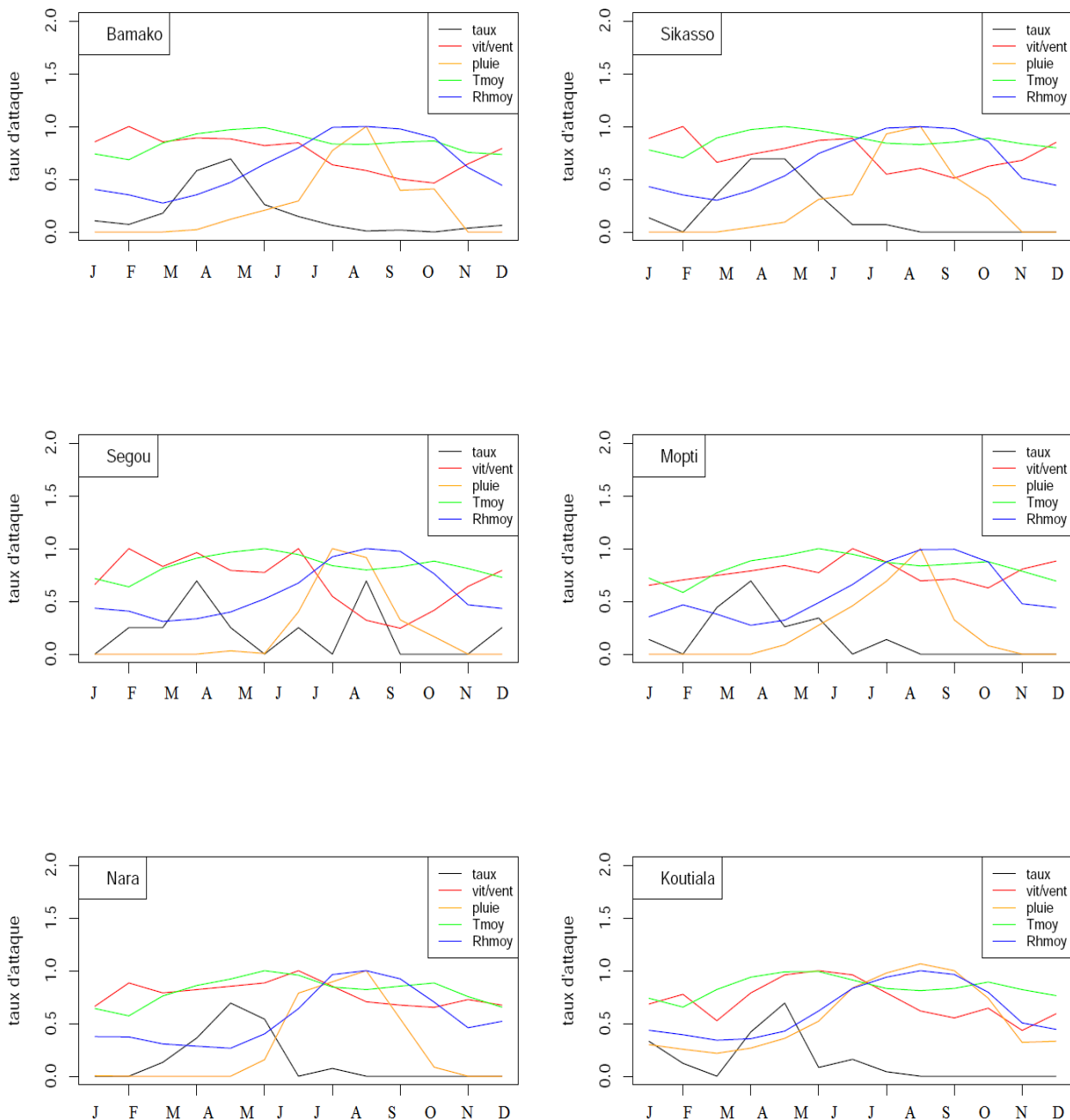


**Figure 3** : les six figures montrent l'évolution des valeurs mensuelles du taux d'attaque de la méningite au Mali de 2006 à 2015.

### 3.2. Variation saisonnière du taux d'attaque de la méningite et les paramètres climatiques :

La figure 4 montre que le maximum de taux d'attaque de la méningite s'observe entre le mois Mars et Avril dans les six villes excepté Ségou où il y'a deux pics Mars-Avril et Aout et Octobre. Et le minimum du taux s'observe pendant la saison pluvieuse (Mai à Septembre). La pluviométrie s'interprète par le déplacement de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) qui amène l'air humide (mousson) pendant la saison de pluie en Afrique de l'Ouest. Les bactéries de la méningite ne peuvent pas survivre sous l'humidité.

Le minimum de taux d'attaque de la méningite correspond au maximum de l'humidité relative. L'humidité relative contribue à la cessation des épidémies, puisque dès que la saison des moussons installe en Mai les épidémies prennent fin. Une haute température associée à la poussière de la saison sèche serait également un facteur favorisant le déclenchement des épidémies de la méningite. Vu la complexité de ce phénomène un modèle climatique associant plusieurs paramètres climatiques serait mieux pour comprendre, expliquer et prédire ces épidémies.



**Figure 4 :** Les six figures montrent l'évolution mensuelle du taux d'attaque et les paramètres climatiques pour l'année 2008 dans Bamako, Sikasso, Ségou, Mopti, Nara et Koutiala.

### 3.3. Conception du modèle :

**3.3.1 La nature des relations et choix des meilleurs prédicteurs :** L'analyse par régression bivariante est appliquée d'abord entre chacun des variables climatiques et le taux d'attaque, ensuite entre variable climatique et le logarithme du taux d'attaque. Les coefficients de détermination de la régression linéaire et logarithmique sont déterminés entre les valeurs mensuelles du taux d'attaque et chaque variable climatique des six districts sanitaires sélectionnés. Les valeurs des coefficients de La régression logarithmique sont meilleures par rapport à celles de la régression linéaire. Pour pouvoir représenter des graphiques uniformes, toutes les valeurs ont été standardisées par rapport à leurs moyennes.

$$\text{Log}(Y + 1) = f(\text{Variablesclimatiques}) \quad (1)$$

$$\text{Log}(Y + 1) = C_0 + C_1 * V \quad (2)$$

$C_0$  et  $C_1$  sont des constantes

$Y$  représente le taux d'attaque et  $V$  représente une variable climatique

**3.3.2 Sélection des meilleurs prédicteurs climatiques :** Le principe du choix de meilleur prédicteur est basé sur le résultat du test de significativité du coefficient de corrélation ou du coefficient de détermination expliquant le lien entre la variable climatique et le taux d'attaque. Seuls les variables exprimant une variance significative sont à retenir dans la formulation du modèle. L'analyse des statistiques dans le tableau 2 permet de conclure que les paramètres, comme les températures minimales ( $T_{min}$ ) et maximales ( $T_{max}$ ), la précipitation (précip) présentent avec le logarithme des taux d'attaques des coefficients de détermination moins significatifs. Par ailleurs, la vitesse du vent, l'humidité relative maximale ( $RH_{max}$ ) et l'indice d'aérosol ( $IA$ ) expliquent la variation du logarithme du taux d'attaque avec un degré de significativité excédant 95% pour l'ensemble des districts sanitaires sélectionnés.

En résumé, ces trois variables climatiques exprimant des variances significatives et représentatives du logarithme des taux d'attaque seront retenues pour la conception du modèle.

**Tableau 2 :** Les coefficients de détermination entre le logarithme des taux d'attaques et les paramètres climatiques. Les variances exprimées excédant 95% et 99% de niveau de significativité sont indiquées respectivement par un astérisque et deux astérisques.

	Vitesse vent	T max	T min	RH max	RH min	Précip	T moy	RH moy	IA
Bamako	<b>0,152**</b>	<b>0,218*</b>	0,007635	<b>0,158**</b>	<b>0,167**</b>	<b>0,121*</b>	<b>0,099**</b>	<b>0,171**</b>	<b>0,109**</b>
Nara	<b>0,057**</b>	0,038	0,001803	<b>0,058*</b>	0,036	0,029	0,014	<b>0,050*</b>	<b>0,019*</b>
Sikasso	<b>0,046*</b>	<b>0,101**</b>	0,014	<b>0,120**</b>	<b>0,076*</b>	0,043	<b>0,062*</b>	<b>0,101**</b>	<b>0,120**</b>
Koutiala	0,006	0,126	0,037	<b>0,114**</b>	<b>0,078*</b>	0,049	<b>0,096**</b>	<b>0,100*</b>	0,145
Ségou	<b>0,068*</b>	<b>0,146**</b>	0,016	<b>0,123**</b>	<b>0,086*</b>	0,042	0,081	<b>0,108**</b>	<b>0,140**</b>
Mopti	<b>0,016*</b>	<b>0,085*</b>	0,016	<b>0,084*</b>	0,047	0,036	0,048	<b>0,069**</b>	<b>0,151**</b>

*RH max: humidité maximal; RH min: humidité minimale; Précip : précipitation; T moy : température moyenne; RH moy : humidité moyenne ; IA : indice d'aérosol.*

**3.3.3 Formulation mathématique :** La relation logarithmique liant le taux d'attaque de méningite aux variables climatiques s'exprime par :

$$\log(Y + 1) = C_0 + C_1 * V + C_2 * H + C_3 * A \quad (3)$$

$Y$  = taux d'attaque de la méningite

$C_0, C_1, C_2$  et  $C_3$  = les paramètres de l'équation (constantes)

$V$  = vitesse du vent

$H$  = humidité relative moyenne

$A$  = indice d'aérosol

Pour savoir maintenant à quelle date chaque paramètre climatique doit être pris par rapport à la date du taux d'attaque, une analyse par régression multivariée est effectuée entre le logarithme du taux d'attaque du mois  $t$  et les valeurs des paramètres climatiques observées aux mêmes mois  $t, t-1,$  et  $t-2$ .

- La corrélation de déphasage « phase0 » correspond à la corrélation entre le logarithme du taux d'attaque du mois  $t$  et les valeurs du paramètre climatique du même mois ;
- La corrélation de déphasage « phase1 » correspond à la corrélation entre le logarithme du taux d'attaque du mois

- t et les valeurs de la variable climatique à un mois en avance (t-1) ;
- La corrélation de déphasage « phase2 » correspond à la corrélation entre le logarithme du taux d’attaque du mois t et les valeurs de la variable climatique à 2 mois en avance (t-2) ;

Les variances obtenues à partir des coefficients de corrélation de déphasage 0, 1 et 2, respectivement pour des dates t, t-1 et t-2 sont indiquées dans le Tableau 3.

**Tableau 3** : Les variances issues de l’analyse bivariate de déphasage entre le logarithme du taux d’attaque et les variables climatiques. Les valeurs en gras avec un et deux astérisques excèdent respectivement les niveaux de significativité de 95% et 99%

Districts sanitaires	Humidité relative			Vitesse du vent			Indice d’aérosol		
	Phase0	Phase1	Phase2	Phase0	Phase1	Phase2	Phase0	Phase1	Phase2
Bamako	0.152**	0,144**	0,006	0,163**	0,030**	0,046	0,109*	0,118**	0,073*
Nara	0,057	0,021	0,003	0,061	0,098*	0,089*	0,038	0,059*	0,060
Sikasso	0,073	0,028**	0,001	0,045	0,049*	0,059	0,034	0,069**	0,090*
Koutiala	0,084*	0,012*	0,007	0,032	0,056	0,028	0,096*	0,102*	0,085*
Ségou	0,093*	0,019	0,003	0,007*	0,019**	0,001	0,081*	0,034	0,035
Mopti	0,053	0,015**	0,019	0,001	0,038*	0,0199	0,135**	0,133**	0,098*

En résumé, ces résultats démontrent que l’humidité relative et la vitesse du vent et doivent être prises à un mois en avance du taux d’attaque, l’indice d’aérosol doit être prise à un mois et deux mois en avance taux d’attaque. La Formule mathématique finale est :

$$\text{Log}(Y_t + 1) = C_0 + C_1 * V_{t-1} + C_2 * H_{t-1} + C_3 * A_{t-1} + C_4 * A_{t-2} \tag{4}$$

- Y<sub>t</sub> = taux d’attaque de la méningite à la date t
- V<sub>t-1</sub> = vitesse du vent à la date t-1
- H<sub>t-1</sub> = Humidité relative à la date t-1
- A<sub>t-1</sub> = L’indice d’aérosol à date t-1
- A<sub>t-2</sub> = L’indice d’aérosol à date t-2

### 3.4. Calibration du modèle :

Pour la calibration du modèle les données enregistrées de 2006 à 2013 sont utilisées pour déterminer les constantes du modèle pour les six districts (Tableau 4). Les statistiques de performance associées à la calibration du modèle sont aussi indiquées dans le tableau.

**Tableau 4** : Les paramètres des modèles prédictifs calibré pour différents districts. Les performances de calibration en variance exprimée (R<sup>2</sup>) excédant 95% de niveau de confiance sont indiquées en gras avec astérisque

	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	R <sup>2</sup>
<b>Bamako</b>	-0,333	0,114	0,002	-0,006	-0,061	<b>0,21**</b>
<b>Nara</b>	-0,021	0,049	-0,001	-0,004	0,002	<b>0,11**</b>
<b>Sikasso</b>	0,495	-0,027	-0,0001	-0,003	0,010	<b>0,13**</b>
<b>Koutiala</b>	0,153	0,044	-0,001	-0,009	-0,019	0,15
<b>Ségou</b>	0,297	-0,006	-0,0003	-0,004	-0,040	<b>0,09*</b>
<b>Mopti</b>	0,259	0,005	-0,001	-0,006	0,003	<b>0,17**</b>

Ces résultats montrent que les valeurs des coefficients de déterminations obtenues sont significatives.

En résumé, puisque les coefficients diffèrent d’un district à un autre, il ne peut pas y avoir un modèle unique calibré pour tout le Mali, donc le modèle logarithmique ainsi conçu est applicable uniquement par district sanitaire.

A titre d’exemple, le modèle calibré pour prédire la moyenne mensuelle du taux de méningite à Bamako est :

$$\text{Log}(Y_t + 1) = -0,333 + 0,114 * V_{t-1} + 0,002 * H_{t-1} - 0,006 * A_{t-1} - 0,061 * A_{t-2} \tag{5}$$

### 3.5. Validation du modèle de prédiction :

Les données climatiques de 2013 à 2015 ont été utilisées dans le modèle de prédiction développé pour estimer le taux d'attaque de méningite dans différents districts sanitaires. Les valeurs obtenues du modèle ont été comparées aux valeurs réellement enregistrées à Bamako pendant cette période.

Les statistiques utilisées pour évaluer la prédiction sont le coefficient de détermination ( $R^2$ ), l'erreur moyenne de Biais (Biais) et l'erreur quadratique moyenne (EQM). Le Tableau 5 résume la performance du modèle de prédiction.

Tous les coefficients de corrélation entre la prédiction et l'observation du taux d'attaque sont statistiquement significatifs et excèdent le niveau de confiance 95% pour tous les districts sanitaires concernés par l'analyse. Les erreurs obtenues sont relativement faibles comparées aux différentes valeurs moyennes. Ces résultats permettent de conclure sur la validité du modèle développé et aussi sur sa représentativité dans la zone soudano-sahélienne.

**Tableau 5 :** Les résultats de validation des modèles de prédiction indiquant les coefficients de détermination, l'erreur quadratique moyenne et la moyenne des biais. Les coefficients de détermination excédant 95% de niveau de confiance sont indiqués en gras avec astérisque.

	Bamako	Nara	Sikasso	Ségou	Koutiala	Mopti
$R^2$	<b>0,21**</b>	<b>0,11**</b>	<b>0,13**</b>	<b>0,09*</b>	0,15	<b>0,17**</b>
Biais	-0,598	0,165	-1,492	-0,127	-1,058	-0,121
EQM	2,135	0,357	3,170	0,408	2,539	0,514

## 4. DISCUSSION

Cette étude montre que le maximum du taux d'attaque correspond au minimum de la pluviométrie et intervient au moment où la vitesse du vent et la température sont maximales. En effet, lorsque le vent atteint son maximum, il peut soulever les poussières qui pourraient diminuer la résistance des muqueuses du système respiratoire selon plusieurs recherches [12, 5, 13, 14] et donc par conséquent favoriser le développement de la bactérie. Le maximum du taux d'attaque s'observe entre les mois de mars et d'avril dans les villes étudiées sauf la ville de Ségou où il y a deux pics (Avril et septembre). Ce maximum concorde avec les études déjà effectuées [15]. Cette observation s'explique par le fait que les puissants vents provenant de la dépression de Bodélé et des autres sources [17] vers la ceinture de la méningite, au début de l'hiver, provoqueraient un assèchement et une fragilisation des muqueuses des voies respiratoires supérieures, rendant les hôtes particulièrement assujetties à la déclaration d'une méningite [10]. La période Mars-Avril est caractérisée par une forte présence de poussière dans l'atmosphère avec des températures excessives.

Il est par ailleurs connu que l'Afrique de l'Ouest constitue une des sources d'aérosols les plus importantes au monde [17]. Ce phénomène de poussières désertiques joue un grand rôle dans l'occurrence des épidémies de méningite. D'une part, les aérosols auraient une influence sur le portage et la transmission avant la saison des épidémies [20, 13, 14] et d'autre part, les aérosols augmenteraient l'invasion de la bactérie de la méningite [14]. Ainsi lorsque le niveau de poussières augmente rapidement, cela pourrait être suivi d'une augmentation rapide de l'incidence de la méningite avec un décalage de quelques semaines lié au temps d'incubation de la maladie qui est 5 jours en moyenne avec des extrêmes de 3 et 14 jours.

## 5. CONCLUSION

La présente étude permet de renforcer et confirmer les études effectuées sur le rôle des paramètres climatiques sur le déclenchement et la cessation des épidémies de méningite au Mali. Les taux d'attaque de la méningite observés sont proportionnels aux vitesses du vent et à l'indice d'aérosol et inversement proportionnels à l'humidité relative de l'air ambiant. Le logarithme du taux d'attaque est mieux exprimé par ces variables climatiques. La vitesse du vent, l'humidité relative et l'indice d'aérosol ont été retenues comme les meilleurs prédicteurs pour la conception de modèle prédictif des épidémies de méningite au Mali. Les résultats de validation du modèle conçu ont montré qu'à part Koutiala, les coefficients de détermination entre la prédiction et l'observation du taux d'attaque sont statistiquement significatifs et excèdent le niveau de confiance 95% pour tous les districts sanitaires concernés par l'analyse. Les erreurs obtenues sont relativement faibles comparées aux différentes valeurs moyennes pour tous les districts sanitaires concernés. Ces résultats permettent de conclure sur la validité du modèle développé et aussi sur sa représentativité dans la zone soudano-sahélienne.



## Reconnaissance

Ces activités de recherche ont été pleinement soutenues par "International Science Programme ISP/ IPPS" à travers le Laboratoire d'Optique, de Spectroscopie et des Sciences Atmosphériques (LOSSA) de la Faculté des Sciences et Techniques de Bamako (FST). Nous remercions également la Direction Nationale de la Santé (DNS) du Mali pour nous avoir fourni les données épidémiologiques.

**Conflict of interest:** We declared no conflict of interest. The Waccbip funding statement "Dr. Modibo Sangare, MD, PhD was supported by a DELTAS Africa grant (DEL-15-007: Awandare). The DELTAS Africa Initiative is an independent funding scheme of the African Academy of Sciences (AAS)'s Alliance for Accelerating Excellence in Science in Africa (AESA) and supported by the New Partnership for Africa's Development Planning and Coordinating Agency (NEPAD Agency) with funding from the Wellcome Trust (107755/Z/15/Z: Awandare) and the UK government. The views expressed in this publication are those of the author(s) and not necessarily those of AAS, NEPAD Agency, Wellcome Trust or the UK government."

## 6. REFERENCES

1. OMS. Rapport sur la santé dans le monde : pour un système de santé plus performant. 2000. 248p. Available : [http://www.who.int/whr/2000/en/whr00\\_fr.pdf](http://www.who.int/whr/2000/en/whr00_fr.pdf)
2. OMS. Rapport sur la santé dans le monde : réduire les risques et promouvoir une vie saine. 2002. 270p. Available: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/42522/1/WHR\\_2002\\_fr.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/42522/1/WHR_2002_fr.pdf)
3. Cuevas, L.E., Jeanne I., Molesworth A., Bell M., Savory E.C., Connor S.J. and Thomson M.C. Risk mapping and early warning systems for the control of meningitis in Africa. *Vaccine*. 2007. 25S: A12-A17. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17517453>
4. Greenwood B. Meningococcal meningitis in Africa. *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 1999 ;93:341-53. doi:10.1016/S0035-9203(99)90106-2. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0035920399901062>
5. Cheesbrough J.S., Morse A.P., Green S.D.R. Meningococcal meningitis and carriage in western Zaire: a hypoendemic zone related to climate? *Epidemiology and Infections*. 1995, 114: 75-92. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7867746>
6. Besancenot JP, Boko M, Oke PC. Weather conditions and cerebrospinal meningitis in Benin (Gulf of Guinea, West Africa). *Eur J Epi*. 1997;13:807-1510.1023/A:1007365919013. Available: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1007365919013>
7. Sultan, B. Influence of climate upon the meningitis onset in West Africa. *Med. Sci*. 2005,21, 470-471. Available: <https://www.erudit.org/fr/revues/ms/2005-v21-n5-ms895/010953ar/>
8. Vairet T. Analyse des conditions climatiques pré-épidémiques de la méningite au Mali (1993-2014) . mémoire de Master. 2015. Available: [http://climatologie.u-bourgogne.fr/documents/theses\\_master/2015/M1\\_Farion.pdf](http://climatologie.u-bourgogne.fr/documents/theses_master/2015/M1_Farion.pdf)
9. Agier, L., H. Broutin, E. Bertherat, M. H. Djingarey, C. Lingani, W. Perea, and S. Hugonnet. Timely detection of bacterial meningitis epidemics at district level: A study in three countries of the African meningitis belt. *Trans. Roy. Soc. Trop. Med.Hyg*. 2013,107,30-36, doi:10.1093/trstmh/trs010. Available: <http://doc.rero.ch/record/302527/files/trs010.pdf>
10. Martiny N., Chiapello I. Assessments for the impact of mineral dust on the meningitis incidence in West Africa, *Atmospheric Environment*, 2013. pp. 245-253. Available: [http://climatologie.u-bourgogne.fr/images/Martiny&Chiapello\\_AtmoEnv2013.pdf](http://climatologie.u-bourgogne.fr/images/Martiny&Chiapello_AtmoEnv2013.pdf)
11. International Research Institute for Climate and Society. Available: [www.iri.columbia.edu](http://www.iri.columbia.edu)
12. Moore PS. Meningococcal meningitis in sub-Saharan Africa: a model for the epidemic process. *Clin Infect Dis*. 1993,14:515-525. Available: [http://www.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0042-96862003001000010](http://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0042-96862003001000010)
13. Thomson MC, Connor SJ. Environmental information systems for the control of arthropod vectors of disease. *Med. Vet. Entomol*. 2000;14:227-44. doi:10.1046/j.1365-2915.2000.00250.x. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11016429>
14. Mueller JE, Et Gessner BD. A hypothetical explanatory model for meningococcal meningitis in the African meningitis belt. *International Journal of Infectious Diseases*. 2010, vol.14, issue.7, pp.553-562, 2010. DOI : 10.1016/j.ijid.2009.08.013. Available: [http://www.ijidonline.com/article/S1201-9712\(09\)00348-8/fulltext](http://www.ijidonline.com/article/S1201-9712(09)00348-8/fulltext)
15. Marion DROGREY. Analyses des épidémies de méningite à l'échelle du district sanitaire au Mali (1994 à 2014). Master 2015. Available: [http://climatologie.u-bourgogne.fr/documents/theses\\_master/2015/M1\\_Drogrey.pdf](http://climatologie.u-bourgogne.fr/documents/theses_master/2015/M1_Drogrey.pdf)
16. Thibaut V. Analyse des conditions climatiques pré-épidémiques de la méningite au Mali (1993-2014) . mémoire de Master. 2015. Available: [http://climatologie.u-bourgogne.fr/documents/theses\\_master/2015/M1\\_Vairet.pdf](http://climatologie.u-bourgogne.fr/documents/theses_master/2015/M1_Vairet.pdf)
17. Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., Gill, T.E. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Rev. Geophys*. 2002., 40 (1), 31. Available: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2000RG000095/full>
18. Martiny N., Dessay N., Yaka P., Toure O., Sultan B., Rebaudet S., Broutin H., Piarroux R., Chiapello I., Sagara I., Fontaine B., Sissoko M, Jeanne I., Doumbo O. & Gaudart J. Le climat, un facteur de risque pour la santé en Afrique de l'Ouest. *La Météorologie*. 2012. - Spécial AMMA. <http://hal.ird.fr/hal-00757107/document>
19. Prospero, J.M., Blades, E., Naidu, R., Mathison, G., Thani, H., Lavoie, M.C. Relationship between African dust carried in the Atlantic trade winds and surges in pediatric asthma attendances in the Caribbean. *Int. J. Biometeorol*. 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-008-0176-1>
20. Thomson, M. C., Molesworth A. M., Djingarey M. H., Yameogo K. R., Belanger F., and Cuevas L. E. Potential of environmental models to predict meningitis epidemics in Africa. *Trop. Med. Int.Health*. 2006,11,781-788,doi:10.1111/j.1365-3156.2006.01630.x. Available: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3156.2006.01630.x/full>

**Citer cet article :** Koundioun Dembele, Souleymane Sanogo, Modibo Sangare and Abdramane Ba. CONCEPTION ET EVALUATION D'UN MODELE CLIMATIQUE POUR LA PREDICTION ET L'ALERTE PRECOCE DES EPIDEMIES DE MENINGITE A MENINGOCOQUE AU MALI. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. 2017; 5(5): 350-358.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>