

DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES DU PALUDISME AU SÉNÉGAL À PARTIR DE DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES DE STATIONS ET DE RÉANALYSES

DIOUF I. ⁽¹⁾, DEME A. ⁽¹⁾, RODRIGUEZ FONSECA B. ⁽²⁾, CISSE M. ⁽³⁾, NDIONE J-A. ^(4, 1), GAYE A.T. ⁽¹⁾

(1) Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de l'Océan - Siméon Fongang, Ecole Supérieure Polytechnique de l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD), BP 5085, Dakar-Fann, Dakar, Sénégal [ivedioufpc@yahoo.fr, abdoulaye.deme@ucad.edu.sn, atgaye@gmail.com]

(2) Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Físicas Departamento de Meteorología, 28040 Madrid, Spain [brfonsec@fis.ucm.es]

(3) Programme national de lutte contre le paludisme (PNLP), BP 25279 Dakar-Fann, Dakar, Sénégal, [mcdoussouye@yahoo.fr]

(4) Centre de Suivi Ecologique, BP 15 532, Fann Résidence, Dakar, Sénégal [jacques-andre.ndione@cse.sn]

Résumé – Le climat joue un rôle très important sur le développement du paludisme, une maladie à transmission vectorielle qui constitue un problème de santé publique notamment en Afrique Sub-saharienne. Les températures élevées sont favorables à la croissance rapide des moustiques et au raccourcissement du cycle de reproduction de l'agent pathogène plasmodium, alors que la pullulation des vecteurs moustiques dans les gîtes larvaires est modulée par les précipitations. Du fait des données d'observations difficilement accessibles, cette étude est composée d'une forte composante de simulations de paramètres du paludisme avec le Liverpool Malaria Modèle (LMM) développé par Hoshen et al (2004). Les entrées du modèle sont des données météorologiques de stations et de différents réanalyses. Les résultats de cette étude ont montré qu'un décalage de deux mois est souvent observé entre les maxima des précipitations et de l'incidence du paludisme au Sénégal. La forte occurrence de paludisme est bien centrée sur la période Septembre-Octobre-Novembre correspondant à la fin de saison des pluies, une période très chaude et humide. Ce constat est tant retrouvé avec les données de stations au Sénégal qu'avec les réanalyses. Cette étude intégrant l'information climatique voire environnementale pourrait être utile dans la prévention du paludisme au Sénégal et ailleurs.

Mots-clés : climat, paludisme, simulation, Sénégal, Sahel.

Abstract – **Determination of malaria parameters using meteorological data sets of Senegal stations and reanalyses products.** Climate is an important factor for malaria development, a vector-borne disease which is a really public health problem, particularly in Sub-Saharan Africa. High temperatures favor the quick growth of mosquitoes and the shortening of the reproductive cycle of the pathogen known as plasmodium, while the proliferation of vectors in breeding sites is driven by precipitations. Due to the difficult access to observations datasets, this study has an important component of simulations of malaria parameters using the Liverpool Malaria Model (LMM) developed by Hoshen et al (2004). The inputs of the model are meteorological data of stations and different reanalyses products. The results of this study showed that a two-month lag is often observed between the maxima of precipitations and the incidence of malaria in Senegal. Malaria occurrence period is centered on the September-October-November period corresponding to the end of the rainy season, a warm and humid period. These findings are highlighted both with stations datasets and reanalyses. These results taking account the main climate and environmental behaviors could be useful for the prevention of malaria in Senegal and elsewhere.

Keywords: climate, malaria, simulation, Senegal, Sahel.

Introduction

Le paludisme est une maladie à transmission vectorielle dont l'existence et la transmission dépendent de trois principaux facteurs: le parasite plasmodium, l'anophèle vecteur et l'hôte humain. Au-delà de ces facteurs essentiels, le risque de transmission du paludisme peut être maintenu ou renforcé par des conditions environnementales, ou des conditions climatiques ainsi que des facteurs socio-économiques (OMS, 1993). Dans la problématique climat-santé, de nombreuses études tentent aujourd'hui de mieux comprendre l'influence des paramètres climatiques sur l'épidémiologie du paludisme (Gupta *et al.*, 1998). L'alternance des saisons ou la fréquence d'événements météorologiques extrêmes tels que des inondations ou sécheresses peuvent modifier la distribution du paludisme. Les mutations climatiques peuvent moduler la transmission du paludisme à travers l'augmentation de la température (Freeman *et al.*, 1996). Des températures élevées réduisent aussi la durée du cycle de reproduction du parasite à l'intérieur du moustique. La perturbation sur le système de précipitations en intensité et fréquence peut moduler le développement de la population de moustiques (Bouma *et al.*,

1995). La pluviométrie est également un facteur clé qui détermine l'existence des espèces anophèles, leur abondance et la durée de la saison de transmission du paludisme (Lindsay *et al.*, 1996 ; Besancenot *et al.*, 2004).

Au Sénégal et au Sahel de manière générale, depuis les années 70, les précipitations ont diminué de près de 30% avec de sécheresses persistantes en 1972, 1983 et 1991 à 1992 (Hulme *et al.*, 1992 ; Janicot *et al.*, 1993 ; Lebel *et al.*, 2009). L'endémicité du paludisme au Sénégal a été étudiée dans les Niayes du Sénégal par Carnevale *et al.* (1984); Doumbo *et al.* (1989) et Prost (1991). Ces études ont révélé la disparition de l'espèce *funestus*, l'un des vecteurs déterminants du paludisme dans la zone sahélienne. Les autres anophèles ont vu leur densité diminuée de manière significative (Fontenille *et al.*, 2003). Dans les Niayes du Sénégal, les indices parasitologiques chez les enfants ont diminué de 50% en 1967 à 8% en 1992 et l'incidence a été réduite de plus de 82%. La baisse d'occurrence de paludisme est probablement liée à la disparition de anophèles *funestus* et la diminution de la population des anophèles *gambiae*, attribuée à des changements environnementaux occasionnés par des activités selon Lemasson *et al.* (1997). En revanche, depuis le début des 2000's, les saisons des pluies plus humides que précédemment ont favorisé la multiplication de vecteurs du paludisme dans la région du Sahel. Il a été même constaté dans certaines régions le retour de l'espèce *funestus* beaucoup plus tôt (Mouchet *et al.*, 1993, Dia *et al.*, 2008).

Il faut noter que même si la sécheresse au Sahel avait entraîné une réduction considérable de la population de moustiques comme l'a montré Mouchet *et al.* (2006), mais également la disparition de certaines espèces de moustiques, l'épidémiologie du paludisme reste élevée dans cette région. Ce paradoxe s'explique en grande partie par une baisse de l'efficacité des médicaments antipaludéens. En outre, quelques phénomènes climatiques exceptionnels comme des inondations qui contrastent avec les années de faibles pluviométries, peuvent déclencher des épidémies de paludisme notamment au sein des populations vulnérables.

Au Sénégal, plus d'efforts devraient être consacrés pour l'intégration de l'information climatique, voire environnementale dans la politique de prévention du paludisme. Cet article se veut une contribution au suivi et à l'évaluation des paramètres de paludisme saisonnier en simulant la distribution du paludisme à l'aide du modèle LMM (*Liverpool Malaria Model* ; Hoshen *et al.* (2004).) et son interface DMC (*Disease Cradle Model*) développé dans le cadre du projet QWeCI (<https://www.liv.ac.uk/qweci> et <http://qweci.uni-koeln.de>).

1. Données et méthodes

Dans cette étude, les nombres de cas de paludisme utilisés sont collectés par le Programme National de Lutte contre le Paludisme au Sénégal (PNLP). Nous utilisons également des données météorologiques de stations et des données (20thCR, NCEP, ERA40 et ERAinterim). Le domaine d'étude est représenté sur la Fig. 1 avec les stations considérées: Saint-Louis (16.05°N, 16.45°W), Linguère (15.38°N, 15.12°W), Dakar (14.73°N, 17.5°W), Kaolack (14.13°N, 16.07°W), Tambacounda (13.77°N, 13,68 °W) et Ziguinchor (12.55°N, 16.27°W). Les données climatiques de réanalyses utilisées ont été obtenues à partir de diverses sources:

- National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) : Twentieth Century réanalyse projet (Compo *et al.*, 2011) de 1910 à 2009 (2,5 x 2,5 lat-lon résolution) et NCEP / NCAR projet réanalyse (Kalnay *et al.*, 1996), de 1960 à 2009 (2,5 x 2,5 lat-lon résolution) ;
- Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT) : ERA40 (Uppala *et al.*, 2005) de 1958 à 2001 (2,5 x 2,5 lat-lon résolution) et ERA interim (Simmons *et al.*, 1989) 1979-2013 (1.5x1.5 lat-long résolution).

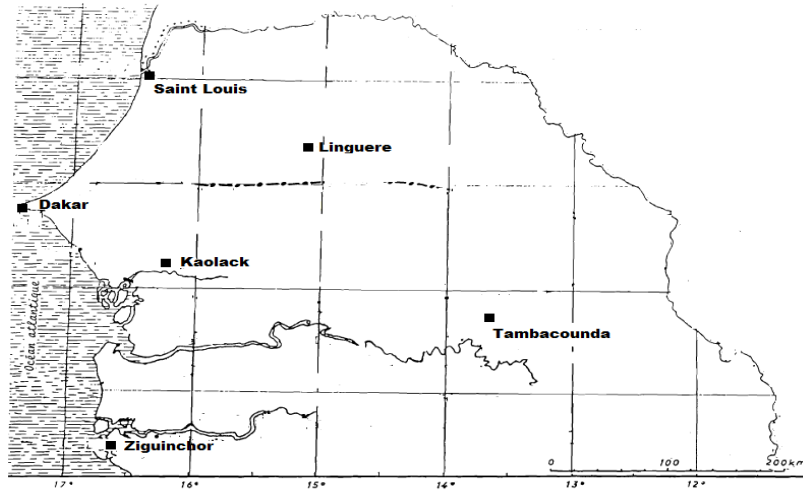


Figure 1. Zones d'étude avec les stations utilisées

2. Résultats et discussion

La Fig. 2 illustre un cas d'étude sur la saisonnalité d'occurrences de paludisme au Ferlo, notre observatoire à l'échelle locale. Cette figure montre des cas de paludisme enregistrés au poste de santé de Barkédji au cours de l'année 2012, site sentinelle de Linguère. Ces données du PNLP prennent en compte le nombre de cas suspects de paludisme, le nombre de cas testés, le nombre de cas confirmés (test positif) ainsi que le nombre de cas infirmés (test négatif). Cette méthode de collecte de données cliniques est adoptée depuis l'année 2009 qui constitue une année de référence pour cette base de données mise à jour du PNLP. Les sites sentinelles sont choisis en fonction de leur représentativité sur le risque de transmission du paludisme au Sénégal. L'étude est étendue à l'échelle nationale avec la Fig. 3 représentant le cycle annuel du nombre de cas de paludisme combinés pour les districts de Saint-Louis, Linguère, Dakar, Kaolack, Tambacounda et Ziguinchor.

La Fig. 4 représente le cycle annuel des précipitations de régions du Sénégal de profils pluviométriques différents, ainsi que la prévalence du paludisme respective pour chaque région. Ces figures mettent en évidence la forte pluviométrie au mois d'Août, mais aussi la différence de cumuls mensuels enregistrés entre régions, celles situées au Sud et Sud-Est étant plus humides. Cette disparité sur l'humidité se reproduit également sur le profil épidémiologique du paludisme avec une prévalence plus élevée dans les régions plus humides du Sud et Sud-Est notamment Ziguinchor et Tambacounda.

Pour ce qui est des températures, la Fig. 5 illustre l'évolution bimodale pour les toutes régions du Sénégal. Les deux pics de température sont notés aux mois de Mai et Octobre coïncidant respectivement avec le début et la fin de la saison des pluies. Du fait de sa position côtière, la région de Dakar connaît des températures les plus faibles, par contre, les températures les plus élevées sont observées au Nord, Nord-Est mais aussi au Sud-Est particulièrement à Tambacounda. Cette distribution des températures se reflète souvent sur la transmission du paludisme car la température affecte le cycle de vie du paludisme. La durée de la phase extrinsèque de la transmission dépend de la température. Les températures élevées augmentent le nombre de repas de sang prélevé et le nombre d'œufs pondus par l'anophèle.

Les Figs. 6A, 6B & 6C montrent la position du premier quartile, troisième quartile, la valeur médiane et les valeurs minimale et maximales de EIR (*Entomological Inoculation Rate*), HBR (*Human Bite Rates*) et Nm (*Number of mosquitoes*). Le cycle annuel moyen pour les séries temporelles 1910-2009 (courbe marron) et 1979-2001 (courbe grise, période commune aux réanalyses utilisés sur la Fig. 8) sont superposée sur la Fig. 6. On illustre plus clairement la période Septembre-Octobre-Décembre comme étant celle de forte occurrence des

paramètres avec des pics Octobre. Cette période humide et chaude avec une importante couverture végétale est alors marquée par des conditions climatiques et environnementales propices à la transmission du paludisme. Sur les Fig. 7A, 7B & 7C, sur la variabilité interannuelle, la diminution des précipitations depuis les années 70 semble se refléter sur la variabilité interannuelle des paramètres du paludisme. Nos résultats sur les différents faciès du paludisme sont en accord avec ceux de Dia et al (2007).

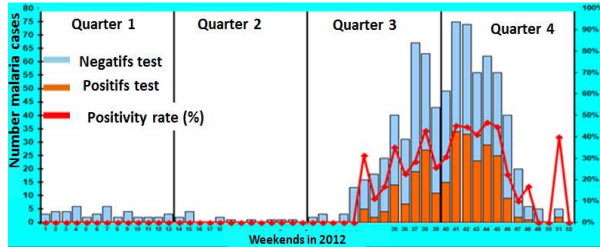


Figure 2. Site sentinelle de Linguère : Nombre de cas hebdomadaires enregistrés au poste de santé de Barkédji au cours de l'année 2012.

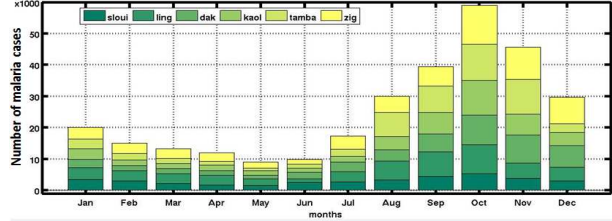


Figure 3. Cycle annuel du nombre de cas de paludisme combinés pour les districts de Saint-Louis, Linguère, Dakar, Kaolack, Tambacounda et Ziguinchor (moyenne sur la période 2000-2009).

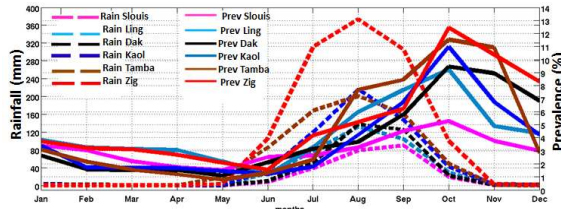


Figure 4. Cycle annuel des précipitations (axe des y de gauche) et de la prévalence du paludisme en % (axe des y de droite), période 2000-2009

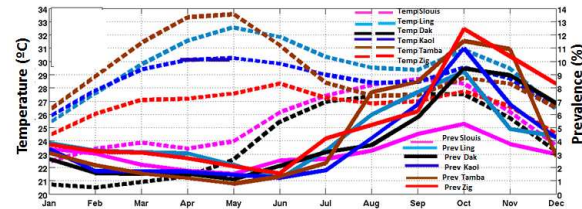


Figure 5. Cycle annuel des températures (axe des y de gauche) et de la prévalence du paludisme en % (axe des y de droite), période 2000-2009

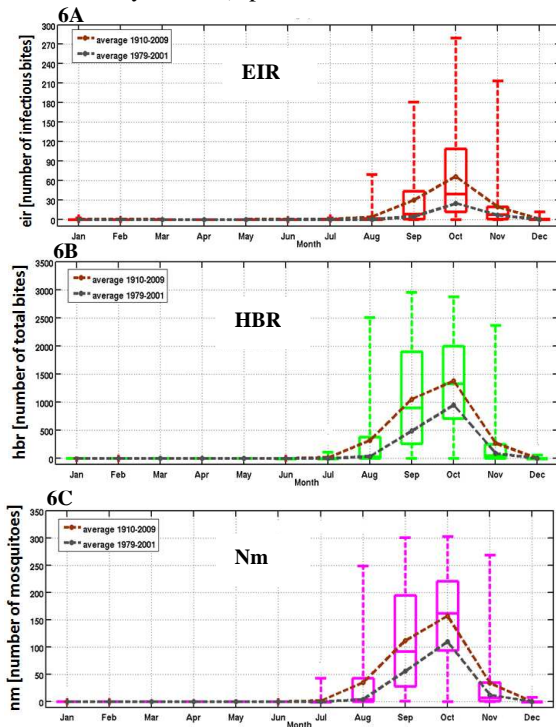


Figure 6. Diagramme en boîte de moustaches mettant en exergue les valeurs limites minimales, maximales, médianes, 25th and 75th percentiles des paramètres du paludisme (moyenne pour les 6 stations considérées au Sénégal) pour la série temporelle 1910-2009 (20CR): A) nombre de piqûres infectieuses de moustiques ou Entomological Inoculation Rates (EIR), B) nombre total de piqûres de moustiques ou Human Bites rates (HBR) et C) population de moustiques ou number of mosquitoes (Nm)

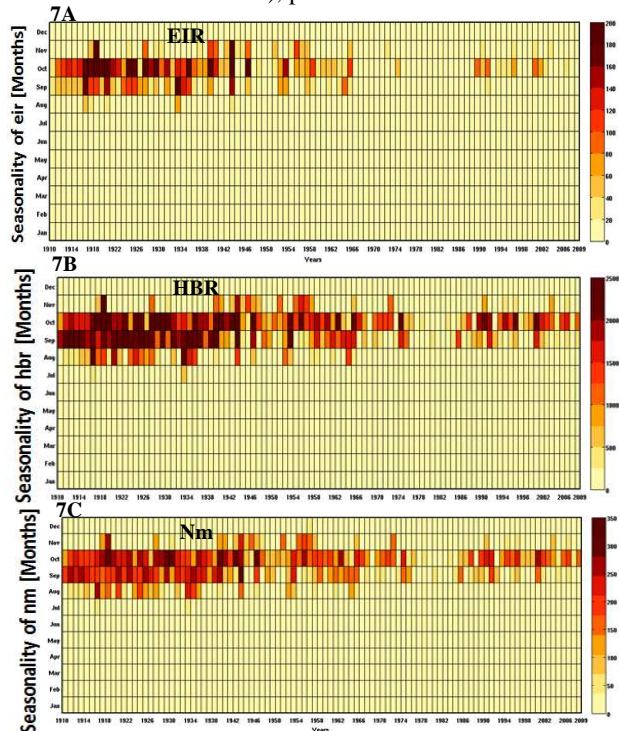


Figure 7. Variabilité intra et interannuelle des paramètres de paludisme (moyenne pour les 6 stations considérées au Sénégal) pour la série temporelle 1910-2009 (20CR): A) nombre de piqûres infectieuses de moustiques ou Entomological Inoculation Rates (EIR), B) nombre total de piqûres de moustiques ou Human Bites rates (HBR) et C) population de moustiques ou number of mosquitoes (Nm)

En considérant toutes les simulations faites avec les données météorologiques et de réanalyses, nous avons sur la Fig. 8 le cycle annuel du nombre de cas de paludisme observé (courbe rose pour l'axe des y de droite), superposé aux paramètres du paludisme simulés que sont: EIR sur la Fig. 8A, HBR sur la Fig. 8B et Nm sur la Fig. 8C.

On constate que le cycle saisonnier est bien reproduit par l'ensemble des réanalyses, avec plus ou moins une surestimation pour ERA40 et ERA interim. Le modèle semble être plus sensible au paramètre climatique température qu'aux précipitations. Cela est noté sur ERA40 et ERA interim dont les températures sont plus élevées. Cependant, surtout du point de vue de l'amplitude, une différence existe entre les différents réanalyses. Les simulations faites avec les données 20thCR et NCEP sont plus proches de celles obtenues avec les données météorologiques. Ces différences entre les réanalyses ont été également rencontrées dans les travaux de Manzanos *et al.* (2014). Cette disparité entre réanalyses s'explique souvent par des expériences spécifiques pour chaque type de réanalyse. De manière générale, il est confirmé que les pics des paramètres simulés coïncident bien avec celui du paludisme observé même si l'ordre de grandeur diffère entre observation et simulations.

Conclusion

En résumé, tant avec les observations qu'avec les simulations du modèle LMM, nous avons trouvé que la transmission du paludisme suit le caractère saisonnier et spatial des précipitations au Sénégal. La saison des pluies reste par excellence la période favorable à la pullulation des moustiques vecteurs du paludisme ; la période chaude en fin de saison des pluies voit survenir une forte occurrence de paludisme avec un pic en Octobre quel que soit le faciès épidémiologique.

En outre, nous envisageons d'étudier la prévisibilité des fortes occurrences de paludisme au Sénégal et au Sahel plus généralement. Avec des résultats préliminaires, nous avons noté une relation de causalité ou une coïncidence entre El Niño et les paramètres de paludisme. Cependant, ces résultats devraient être approuvés par un couplage des modèles LMM UNILIV et S4CAST UCM. Ainsi, nous cherchons à prédire le comportement des paramètres du paludisme des mois avant la saison des pluies.

Références bibliographiques

Besancenot J.-P., Ndione J.-A., Handschumacher P., Ibrahima M., et Laaidi K., 2004 : Climat, eau et santé au Sahel ouest-africain, Science et changements planétaires/Sécheresse. *Synthèse*, 15(3), 233-241.

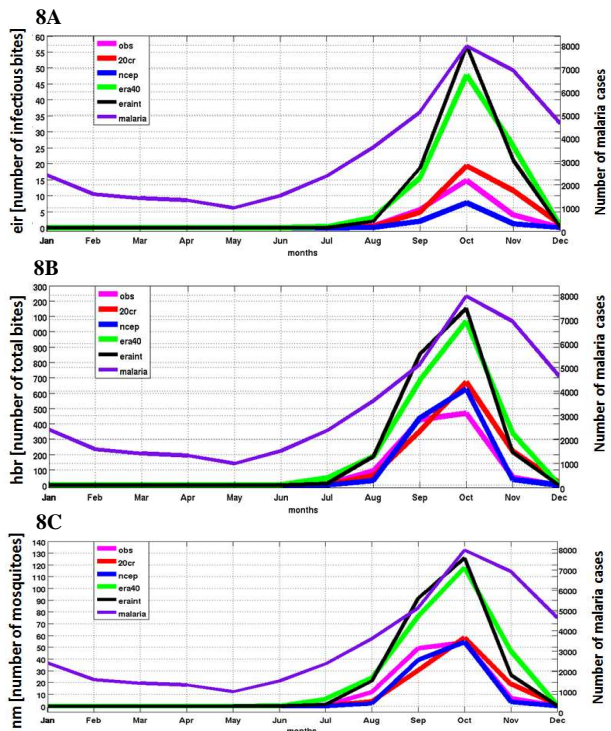


Figure 8. Cycle annuel des paramètres du paludisme : A) nombre de piqûres infectieuses de moustiques (EIR), B) nombre total de piqûres de moustiques (HBR) et C) population de moustiques (Nm) pour la période commune 1979-2001, ainsi que le nombre total de cas de paludisme pour les 6 stations considérées

- Bouma, M.J., Dye C., et van der Kaay H.J., 1995 : El Niño Southern Oscillation as a possible early warning system for falciparum malaria epidemics in Northern Pakistan, *épidémiologie et de contrôle du paludisme dans le Nord du Pakistan. Dordrecht*, 45-57.
- Carnevale P., Robert V., Molez J.F., Baudon D., 1984 : Faciès épidémiologique des paludismes en Afrique sub-saharienne. *Etudes médicales*, **3**, 123-133.
- Compo G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D., Matsui N., Allan R.J., Yin X., Gleason B.E., Vose R.S., Rutledge G., Bessemoulin P., Brönnimann S., Brunet M., Crouthamel R.I., Grant A.N., Groisman P.Y., Jones P.D., Kruk M.C., Kruger A.C., Marshall G.J., Maugeri M., Mok H.Y., Nordli O., Ross T.F., Trigo R.M., Wang X.L., Woodruff S.D., Worley S.J., 2011: The twentieth century reanalysis project. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **137**(654), 1-28.
- Dia I., 2007 : La transmission vectorielle du paludisme au Sénégal. *Palu infos-Bulletin trimestriel du PNL*, **5**.
- Dia I., Konate, L., Samb B., Sarr, J-B, Diop A., Rogerie F., Faye M., Riveau G., Remoue F., Diallo M., Fontenille D., 2008 : Bionomics of malaria vectors and relationship with malaria transmission and epidemiology in three physiographic zones in the Senegal River Basin. *Acta Tropica* **105**, 145-153.
- Doumbo O., Sangare O., Touré Y., 1989 : Le paludisme dans le Sahel: l'exemple du Mali. In: Gentilini M, Viens P, editors. *Maladies tropicales transmissibles. John Libbey Eurotext*, 11-32.
- Fontenille D., Cohuet A., Ambene P.H.A., Nkondjio C.A., Wondji C., Kengne P., Dia I., Boccolini D., Duchemin J.B., Rajaonarivelo V., Dabire R., Akre M.A., Ceainu C., Le Goff G., Simard F., 2003 : Systématique et biologie des anophèles vecteurs de plasmodium en Afrique, données récentes. *Med Trop*, **63**, 247-253.
- Freeman T., Bradley M., 1996 : Temperature is predictive of severe malaria years in Zimbabwe. *Trans R Soc Trop Med Hyg*, **90**(3), 232.
- Gupta S., Hill A.S., 1998 : Dynamic Interaction in Malaria : Host Heterogeneity Meets Parasite Polymorphism. *Proc R Soc Lond B*, **261**, 361-370.
- Hoshen M.B., Morse A.P., 2004 : A weather-driven model of malaria transmission. *Malar J*, **3**(1), 32.
- Hulme M., 1992 : Rainfall changes in Africa 1931-1960 to 1961-1990. *Int. J. Climatol*, **12**, 685-699.
- Janicot S., et Fontaine B., 1993 : L'Evolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest. *La Météorologie*, **8**, 28-58.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven, D., Gandin, L. and Joseph D., 1996 : The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American meteorological Society* **77**(3), 437-471.
- Lebel T., Ali A., 2009 : Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime 1990-2007. *Journal of Hydrology*, **375**, 1-2.
- Lindsay S.W., Birley M.H., 1996 : Climate change and malaria transmission. *Ann. Trop. Med. Parasitol*, **6**, 573-588.
- Manzanas R., Amekudzi L.K., Preko K., Herrera S., Gutiérrez J.M., 2014 : Precipitation variability and trends in Ghana: An intercomparison of observational and reanalysis products. *Climatic Change*, **124**, 805-819.
- Mouchet J., Faye O., Julvez J., et Manguin S., 1996 : Drought and malaria retreat in the Sahel, West Africa. *Lancet*, **348**, 1735-1736.
- Organisation mondiale de la santé, 1999 : La situation du paludisme dans le monde en 1993. *Weekly Epidemiol Rec*, **3**, 17-22.
- Prost A., 1991. Les faits de santé aux cours et décours des sécheresses. *Sécheresse*, **2**, 40-47.
- Robert V., Planchon O., Lapetite J.M., Esteves M., 1999 : Rainfall is not a direct mortality factor for anopheline larvae. *Parasite*, **6**, 195-196.
- Sagna P., 2007 : Caractéristiques climatiques in Atlas du Sénégal. *Édition Jeune Afrique Paris, France*, 66-69.
- Simmons A., Uppala S., Dee D., and Kobayashi S., 2007 : ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. *ECMWF newsletter*, **110**(110), 25-35.

Uppala S.M., Kallberg P.W., Simmons A.J., Andrae U., Bechtold V., Fiorino M. and Woollen J., 2005 : The ERA-40 re-analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **131**(612), 2961-3012.