CHANGEMENT CLIMATIQUE ET PALUDISME : ROLE MODERATEUR DE LA COUVERTURE FORESTIERE

CLIMATE CHANGE AND MALARIA: THE MODERATING ROLE OF FOREST COVER

Idrys Fransmel **OKOMBI**, *Université Marien Ngouabi*, idrysfransmel@gmail.com
Marie-Alphonse **ITOUA**, *Université Marien Ngouabi*, mariealphonseitoua00@gmail.com

RESUME :
Le changement climatique est assimilé à un facteur favorable à la propagation de certaines maladies infectieuses classées comme maladies à transmission vectorielle, à l'instar du paludisme. Bien que la littérature ait traité du rôle du changement climatique sur le paludisme, on sait encore peu de chose au sujet des facteurs modérateurs des effets du changement climatique sur le paludisme. L'objetif de cette étude est d'examiner la relation entre le changement climatique et le paludisme, en tenant compte du rôle modérateur de la couverture forestière. Pour y parvenir, nous utilisons les méthodes à effets fixes et à effets fixes avec des pentes spécifiques aux individus (FEIS), sur la période couvrant 2000-2022. Les résultats obtenus inquent que le changement climatique augmente la propagation du paludisme. Cependant, nos résultats suggèrent que la couverture forestière diminue la prévalence du paludisme. Toutefois, nos résultats suggèrent que l'effet Positif du changement climatique sur la prévalence du paludisme s'amoindrit lorsque le changement climatique interagit avec la couverture forestière. Par ailleurs, nos résultats montrent que l'éducation, l'urbanisation et le développement économique diminue le paludisme. Etant donné l'importance des forêts dans la lutte contre le changement climatique et le paludisme, il serait bénéfique pour les décideurs politiques de faire de la lutte contre la déforestation, une priorité.
Mots clés : Changement climatique, paludisme, couverture forestière.

ABSTRACT
Climate change is considered a factor that facilitates the spread of certain infectious diseases classified as vector-borne diseases, such as malaria. Although the literature has addressed the role of climate change on malaria, little is yet known about the factors that moderate the effects of climate change on malaria. The objective of this study is to examine the relationship between climate change and malaria, taking into account the moderating role of forest cover. To achieve this, we use fixed-effects and fixed-effects with individual-specific slopes (FEIS) methods, covering the period from 2000 to 2022. The results indicate that climate change increases the spread of malaria. However, our results suggest that forest cover reduces the prevalence of malaria. Nevertheless, our results suggest that the positive effect of climate change on malaria prevalence diminishes when climate change interacts with forest cover. Furthermore, our results show that education, urbanization, and economic development reduce malaria. Given the importance of forests in combating climate change and malaria, it would be beneficial for policymakers to make the fight against deforestation a priority.
Keywords: Climate change, malaria, forest cover.

INTRODUCTION

Le paludisme demeure un problème mondial de santé publique. Environ 40 % de la population mondiale vit dans plus de 140 pays exposés au paludisme (Ricci, 2012). Il représente une grave maladie à transmission vectorielle, qui touche des milliards de personnes dans le monde et fait plus d'un demi-million de victimes chaque année (Megersa et Luo, 2025). Cette maladie induit des coûts importants aux individus, à la société et au gouvernement. Autrement dit, le paludisme exerce un effet sur la santé et la richesse des nations. Par ailleurs, il est considéré comme une maladie de la pauvreté et une cause de pauvreté. Selon Tefera, Sinkie et Daka (2020), le paludisme engendre des coûts directs et indirects. Pour l'auteur, les coûts directs font référence aux dépenses effectuées par les ménages et par l'Etat dans la perspective de prévenir et de traiter la maladie. En revanche, les coûts indirects correspondent aux revenus due à la maladie ou à un décès, puis à la diminution de la productivité du facteur travail (Arrow, 2004), et par voie de conséquent, la diminution de la croissance économique. Ces différentes conséquences du paludisme ont nourri la littérature sur les déterminants du paludisme. Pour Gallup et Sachs (2001), le niveau général de développement, en particulier l'urbanisation, affecte la prévalence du paludisme, mais elle ne constitue pas le principal déterminant. Pour Tefera, Sinkie et Daka (2020), pauvreté et la vulnérabilité des ménages accroit l'exposition au risque accru de charges du paludisme. Autrement dit, le paludisme et la pauvreté sont intimement liés (Breman, 2001). Un axe important de la littérature met en exergue le rôle déterminant des conditions climatiques sur le paludisme. A ce titre la littérature met en évidence les effets des changements climatiques (Caminade, McIntyre et Jones, 2019), de la température (Eikenberry et Gumel, 2018 ; Diouf et al., 2020), des précipitations (Stensgaard et al., 2016 ; Tapias-Rivera et Gutierrez, 2023), de l'humidité (Wu et Huang, 2022), de l'inondation (Rey, 2012), de la sécheresse (Al Noman, Das et Nesa, 2023) et de la tempête (Babaie et al., 2018) sur le paludisme.

Toutefois, le rôle modérateur de la déforestation dans la relation entre les facteurs climatiques et le paludisme est largement ignoré dans la littérature, et ce malgré le fait que la déforestation représente d'une part, le deuxième facteur de changement climatique d'origine humaine (Stuart-Smith, Clarke, Harrington et Otto, 2021), et d'autre part, la forêt constitue une des meilleures contributions que les pays en développement peuvent apporter à l'atténuation du réchauffement climatique en séquestrant du carbone. Cette étude cherche à combler cette lacune de la littérature en examinant le rôle modérateur de la déforestation dans la relation entre le changement climatique et le paludisme en Afrique. Le cas africain paraît opportun pour plusieurs raisons. Premièrement, en Afrique, le paludisme est endémique dans plus de 30 pays (Ricci, 2012). Il cause plus d'un demi-million de décès dans le monde par an (Al-Awadhi, Ahmad et Iqbal, 2021). En outre, la plupart des décès liés au paludisme enregistrés en Afrique, concerne les femmes enceintes et les jeunes enfants (Van Eijk

et al., 2015). Aussi, les pays africains sont considérés comme les plus vulnérables au changement climatique (Slingo et al., 2005). Les niveaux élevés de vulnérabilité ainsi que la capacité financière et institutionnelle limitée à s'adapter, le faible PIB par habitant et la grande pauvreté tendent à exacerber les conséquences du changement climatique en Afrique (Guillaumont et Simonet, 2001). Par ailleurs, l'Afrique dispose des forêts qui ont une grande capacité de stockage de carbone au monde (Jiang, et al., 2023). Toutefois, en raison de la déforestation, de la dégradation de l'environnement, de la croissance démographique et des effets du changement climatique, l'Afrique est de plus en plus en danger (Nzabarinda et al. 2021). Au regard de ce qui précède, la question à laquelle cet article cherche à répondre est la suivante : la déforestation, affecte-t-elle la relation entre le changement climatique et le paludisme en Afrique ?

L'objectif de cette étude est d'examiner le rôle modérateur de la déforestation dans la relation entre le changement climatique et le paludisme en Afrique. Cette étude apporte une contribution importante à la littérature existante. En effet, la littérature existante ne s'est pas intéressée à examiner l'importance de la déforestation dans la relation entre le changement climatique et le paludisme. Dans ce cas, cette étude contribue à la littérature existante en étudiant le rôle modérateur de la déforestation dans la relation entre le changement de température et le paludisme. Le reste de l'article est organisé de la manière suivante : la section 2 fait le point de la littérature sur le sujet. La section 3 procède à la spécification du modèle. La section 4 présente les résultats de l'étude.

2-REVUE DE LA LITTERATURE

2-1. Arguments théoriques

La relation entre le couvert forestier, le changement climatique et le paludisme est complexe et ne se réduit pas à un simple effet des précipitations sur la prolifération des moustiques. Certes, les écosystèmes forestiers contribuent au cycle hydrologique en favorisant les précipitations locales et en maintenant l'humidité des sols (Bonan, 2008 ; Spracklen et al., 2012). Cependant, plusieurs mécanismes écologiques suggèrent que la forêt peut agir comme un facteur modérateur réduisant l'effet du changement climatique sur la transmission du paludisme (Patz et al., 2005 ; Myers et Patz, 2009).

Premièrement, le couvert forestier exerce un effet régulateur sur le microclimat local. Les forêts réduisent les températures extrêmes grâce à l'ombrage et à l'évapotranspiration, tout en maintenant une humidité relativement stable (Bonan, 2008 ; Ellison et al., 2017). Or, le changement climatique favorise généralement l'expansion du paludisme par l'augmentation des températures, qui accélère le développement du parasite dans le moustique et accroît l'activité des vecteurs (Patz et al., 2005 ; Caminade et al., 2014). En limitant les hausses excessives de température, les

zones fortement boisées peuvent ralentir ces processus biologiques et atténuer l'impact du réchauffement climatique sur la transmission du paludisme (Myers et Patz, 2009 ; Ellison et al., 2017).

Deuxièmement, toutes les retenues d'eau ne constituent pas des habitats favorables aux moustiques vecteurs du paludisme. Les principaux vecteurs africains du genre Anopheles se reproduisent préférentiellement dans des eaux peu profondes, stagnantes, ensoleillées et relativement dépourvues de prédateurs (Minakawa et al., 1999 ; Munga et al., 2006). Les écosystèmes forestiers denses réduisent l'ensoleillement direct des points d'eau, modifient leur température et favorisent une plus grande biodiversité aquatique, incluant des prédateurs naturels des larves de moustiques (Yasuoka et Levins, 2007 ; Vittor et al., 2009). Ainsi, malgré une disponibilité en eau parfois plus importante, les conditions écologiques créées par la forêt peuvent être moins favorables à la prolifération des vecteurs (Yasuoka et Levins, 2007).

Troisièmement, la déforestation est souvent associée à la création d'espaces ouverts, de flaques temporaires, d'ornières et de zones de stagnation exposées au soleil qui constituent des sites de reproduction particulièrement adaptés aux moustiques (Patz et al., 2000 ; Vittor et al., 2006). Plusieurs travaux montrent que la conversion des forêts en terres agricoles ou en zones d'habitation favorise l'augmentation de certaines populations d'Anopheles (Afrane et al., 2008 ; Olson et al., 2010). Dans cette perspective, la conservation du couvert forestier limite la formation de ces habitats artificiels et réduit le potentiel de transmission du paludisme (Vittor et al., 2006 ; Afrane et al., 2008).

Quatrièmement, les forêts contribuent à la résilience écologique face aux perturbations climatiques. En amortissant les variations de température et d'humidité induites par le changement climatique, elles réduisent la sensibilité des écosystèmes aux conditions favorables à l'expansion des vecteurs (Bonan, 2008 ; Ellison et al., 2017). Dès lors, même lorsque le changement climatique tend à accroître le risque palustre, cet effet devient moins prononcé dans les régions bénéficiant d'un couvert forestier important (Myers et Patz, 2009 ; Caminade et al., 2014).

2-2. Revue de la littérature

La littérature empirique établit largement que le changement climatique constitue un déterminant majeur de la propagation du paludisme. À l'échelle mondiale, Patz et al. (2005) montrent que l'augmentation des températures et les modifications des régimes de précipitations favorisent la survie des moustiques vecteurs ainsi que le développement du parasite responsable du paludisme. En utilisant des données climatiques mondiales couvrant la période 1901-2015, Caminade et al. (2014) concluent que le réchauffement climatique accroît l'aptitude de plusieurs régions à la

transmission du paludisme, particulièrement en Afrique subsaharienne. Dans le cas de l'Éthiopie, Siraj et al. (2014), à partir de données collectées entre 1990 et 2010, montrent qu'une hausse des températures est associée à une augmentation significative des cas de paludisme dans les zones d'altitude auparavant moins exposées. De même, Ryan et al. (2015), dans une étude portant sur plusieurs pays africains, mettent en évidence une extension des zones à risque palustre sous l'effet du changement climatique.

Parallèlement, plusieurs travaux soulignent que la couverture forestière influence significativement la relation entre le climat et le paludisme. Au Pérou, Vittor et al. (2006), à partir de données recueillies entre 1999 et 2004 en Amazonie, montrent que la déforestation accroît la densité du moustique Anopheles darlingi, principal vecteur du paludisme dans la région. Dans l'ouest du Kenya, Afrane et al. (2008), sur la période 2002-2006, constatent que la conversion des forêts en terres agricoles augmente la température locale et accélère le développement des moustiques et du parasite. En analysant les données du comté de Mâncio Lima au Brésil entre 2003 et 2008, Olson et al. (2010) concluent que les municipalités caractérisées par une forte déforestation enregistrent une incidence palustre plus élevée. Ces résultats sont corroborés par Yasuoka et Levins (2007), qui montrent que la déforestation crée des espaces ouverts et des gîtes larvaires ensoleillés particulièrement favorables à la prolifération des vecteurs.

Dans l'ensemble, ces études suggèrent que le couvert forestier agit comme un mécanisme d'atténuation des effets sanitaires du changement climatique. En régulant les températures locales, en limitant les variations microclimatiques extrêmes et en réduisant la formation d'habitats favorables aux moustiques, la forêt diminue la transmission du paludisme et affaiblit l'effet amplificateur du changement climatique sur cette maladie.

3. METHODOLOGIE

3-1. Spécification du modèle empirique

La spécification du modèle économétrique permettant d'estimer la relation entre le changement climatique et le paludisme est adapté de celui mis en avant par Foudjo et Keneck-Massil (2024) qui se sont inspirés de l'analyse de Grossman (1972). Cette dernière estime que la santé dépend de certaines variables à l'instar des variables environnementales, du style de vie et des facteurs socio-économiques. Dans le cadre de notre étude nous nous intéressant à l'examen de la relation entre le changement climatique et le paludisme, en tenant compte du rôle modérateur des forêts. Ainsi, le modèle peut être spécifié de la manière suivante :

$$PALU_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 CLICHANGE_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Pour tenir compte du rôle modérateur des forêts dans la relation entre le changement climatique et le paludisme, nous introduisons dans l'équation 1 la variable $FOREST_{it}$, la variable d'interaction $CLICHANGE_{it} * FOREST_{it}$ et les variables de contrôles qui expliquent le paludisme. Dès lors, l'équation 1 prend la forme suivante :

$$PALU_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 CLICHANGE_{it} + \alpha_2 FOREST_{it} + \alpha_3 CLICHANGE_{it} * FOREST_{it} + \alpha_4 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$PALU_{it}$, $CLICHANGE_{it}$, $FOREST_{it}$ et X_{it} représentent respectivement le paludisme, le changement climatique, la couverture forestière et le vecteur composé des variables de contrôle. Les variables de contrôle retenus dans la présente étude sont : l'éducation (SET), l'urbanisation (GURBPOP) et le développement économique (RGDP).

3-2. Variables et données

Le paludisme a retenu notre attention, étant qu'il tue plus de 400.000 personnes chaque année et, l'Afrique représente 94 % de ces décès. En outre la littérature considère le paludisme comme l'une des maladies dont l'expansion est favorisée par le changement climatique (Eikenberry et Gumel, 2018). Le paludisme est mésuré par l'incidence du paludisme (pour 1 000 personnes à risque). Les données relatives à cette variable sont tirées de la base de données de la Bnaque Mondiale (WID). Le changement climatique dans la présente étude est capté par le changement de température (en Degré Celsius) par rapport à une climatologie de référence, correspondant à la période 1951-1980. La série de données liées à cette variable provient de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO). La couverture forestière est ajoutée dans le modèle, car elle fait partie d'un portefeuille d'interventions antipaludiques (Bauhoff et Busch, 2020), puis la déforestation est considérée comme le deuxième facteur de changement climatique d'origine humaine (Stuart-Smith, Clarke, Harrington et Otto, 2021). La couverture forestière est mesurée par Surface forestière (% de la surface terrestre). Les données y relatives sont extraites de la base de données de la Banque Mondiale (WID). Selon Njau, Stephenson, Kachur et McFarland (2014), il existe une relation solide et significative entre l'éducation et l'infection infantile par le paludisme. Ainsi, cette variable est intégrée dans le modèle. L'éducation dans cette étude est approximée au Taux de scolarisation, secondaire (% brut). Les données y afférents sont tirées de la base de données de la Banque Mondiale (WID). L'urbanisation et le développement économique sont également assimilés dans la littérature comme des déterminants du paludisme (Hay, Guerra, Tatem, Atkinson et Snow, 2005). L'urbanisation et le développement économique sont respectivement captés par la population urbaine (% de la population totale) et la Croissance du PIB réel par habitant (% annuel). Les séries de données sur ces deux variables proviennent de la base de données de la Banque Mondiale (WID). L'étude porte sur un panel de 36 pays africains, sur la période couvrant 2000-2022.

4. RESULTATS

4.1. Résultats préliminaires et technique d'estimation

La figure 1 retrace l'évolution moyenne de l'incidence du paludisme (pour 1 000 personnes à risque) sur la période allant de 2000 à 2022. Il ressort qu'en moyenne l'incidence de paludisme fluctue autour d'une moyenne de 220,5392. La valeur la plus faible de l'incidence du paludisme est de 0, constatée en Algérie. La valeur maximale de l'incidence du paludisme est de 709,7933, constatée au Rwanda.

Figure 1 : Evolution moyenne du paludisme

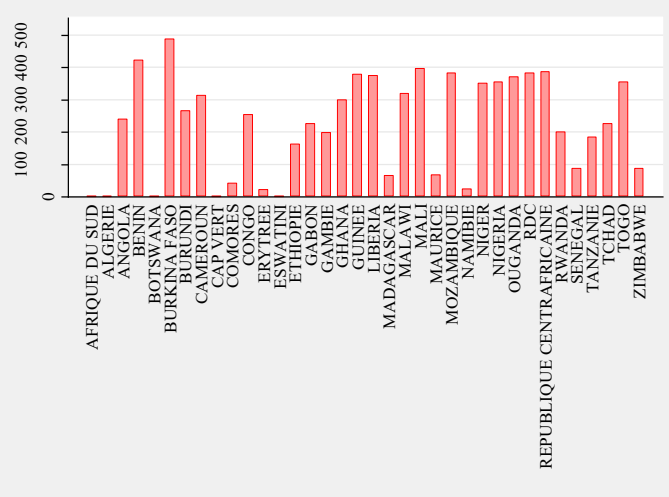
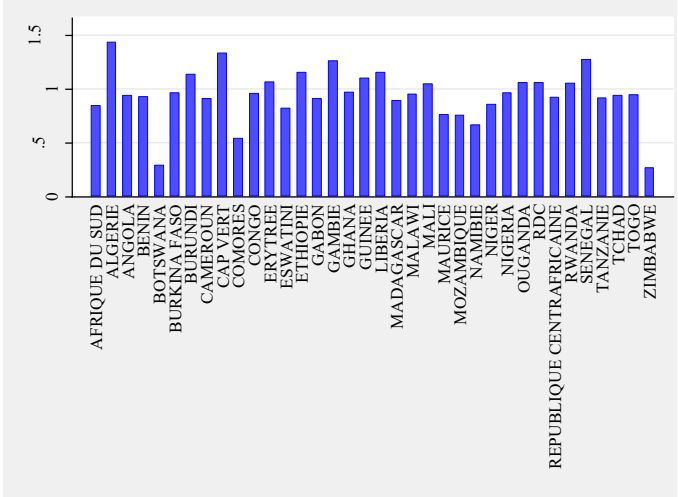


Figure 2 : Evolution moyenne du changement climatique



Source : auteurs

La figure 2 présente l'évolution moyenne du changement de température sur la période couvrant 2000-2022. Il ressort que l'évolution du changement climatique dans les pays africains fluctue autour d'une moyenne de 0.9439347°C. Cette valeur n'est pas troup éloignée du seuil de 1,5 °C, considérée dans l'Accord de Paris sur le climat comme le point à partir duquel les effets du climat seront de plus en plus néfastes pour les populations et pour la planète entière. Le niveau de température le plus faible est de -1,305, observé au Botswana. Cependant, la valeur la plus élevée du changement climatique est de 2,33, identifiée en Algérie.

Figure 3 : Evolution moyenne de la surface forestière

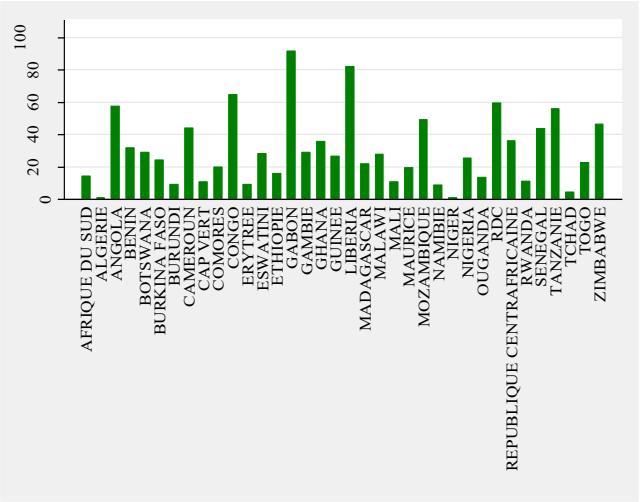
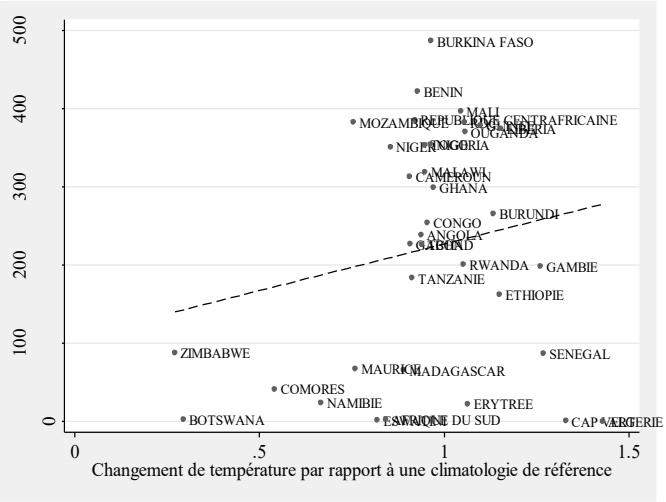


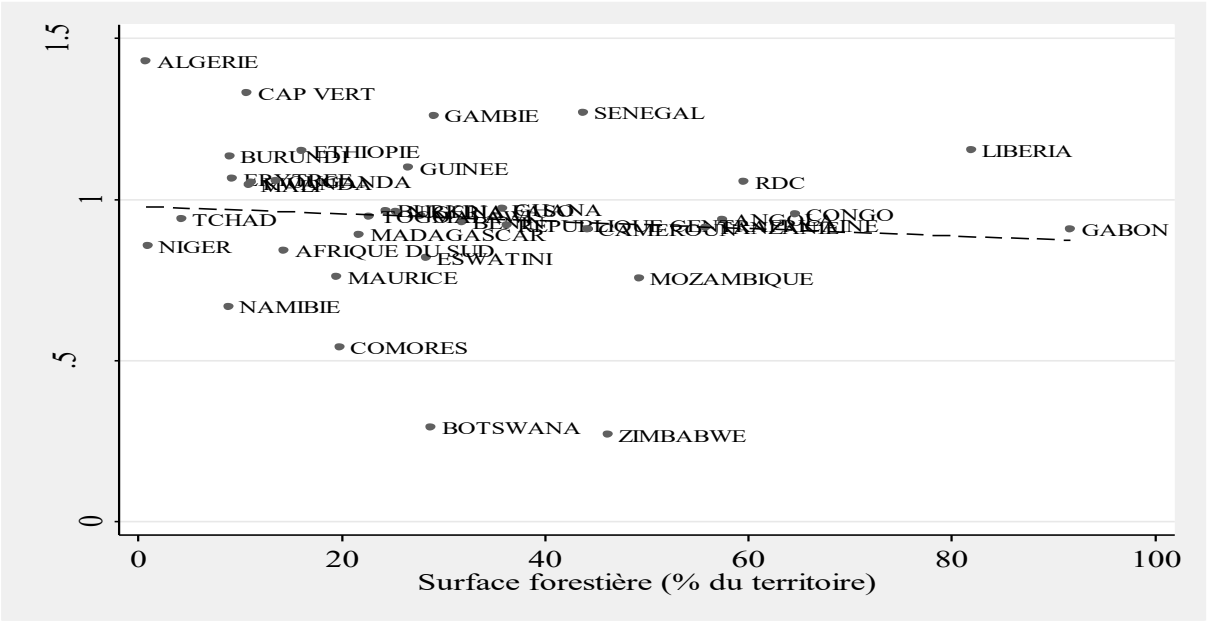
Figure 4 : Corrélation entre le changement climatique et le paludisme



Source : auteur

L'observation de la Figure 3 révèle qu'en moyenne, la valeur de la surface forestière s'établit autour de 30.077. Les niveaux minimum et maximum de la couverture forestière sont respectivement de 0,6629 (en Algérie) et 91,9781 (au Gabon). Par ailleurs, l'examen de la figure 4 met en évidence l'existence d'une relation positive entre le changement de température et l'incidence du paludisme, indiquant que le changement climatique augmente le paludisme.

Figure 5 : Corrélation entre la surface forestière et le changement climatique



Source : auteurs

L'observation de la figure 5 établit la relation entre la surface forestière et le changement climatique. Il ressort que la surface forestière est associée négativement au changement climatique, ce qui indique la couverture forestière amoindrit le changement climatique. Les résultats statistiques réportés dans le tableau 1 montrent que les scores moyens de l'incidence du paludisme, du changement climatique et de la couverture forestière sont respectivement de 220.52, 0.94 et 30.08. Ces valeurs moyennes sont inférieures à celles des écart-types. En effet, les écart-types de l'incidence du paludisme, du changement climatique et de la couverture forestière sont respectivement de 162.17, 0.42 et 21,79.

Tableau I : Statistique descriptive

Variable	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
PALU	220.52	162.17	0	709.79
CLICHANGE	0.94	0.42	-1.31	2.33
FOREST	30.08	21.79	0.66	91.97
SET	8.70	8.53	0.32	54.21
GRUPOP	1.46	1.19	-1.97	4.95
RGDP	1.58	4.48	-36.82	27.81

Source : auteur

Les résultats résumés dans le tableau 2 indiquent que le problème de corrélation ne se pose pas dans le cadre de cet article, étant donné que les coefficients de corrélation de la matrice de Pearson sont inférieurs à 0,80. Dans ce contexte, Gujarati (2003) suggère que le problème de multicolinéarité ne se pose pas. L'absence de multicolinéarité est également entérinée par les résultats des facteurs d'inflation de la variance (VIF) de Theil (1971), renseignés dans le tableau 2. Il en ressort que les VIF de toutes les variables indépendantes sont inférieurs à 10, cela suggère que le problème de multicolinéarité de peut pas être déclaré (Mason, 1939).

Tableau II : Matrice de corrélation et facteur d'inflation de la variance (VIF)

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	FIV	1/FIV
PALU	(1)	1.0000							
CLICHANGE	(2)	0.0115	1.0000					1.01	0.9881
FOREST	(3)	-0.2546	-0.0788	1.0000				1.03	0.9715
SET	(4)	-0.3913	0.1328	-0.0841	1.0000			1.35	0.7385
GRUPOP	(5)	-0.4969	0.0018	-0.0798	-0.5109	1.0000		1.37	0.7278
RGDP	(6)	-0.0055	0.0238	-0.0961	-0.0361	0.0602	1.0000	1.01	0.9853
Moyenne FIV								1.16	

Source : auteur

Dans la présente étude, la dimension temporelle T est égal à 23, supérieure à 20. Dans ce cas, Eberhardt, (2011) exige l'étude de la stationnarité des variables. A cet

égard, il nous a semblé intéressant d'effectuer le test de dépendance interindividuelle de Pesaran entre les pays, sur les variables de notre étude. Les résultats du test de Pesaran, présentés dans le tableau 3 rejette l'hypothèse nulle d'indépendance entre les pays, ce qui légitime l'application du test de racine unitaire de deuxième génération de Pesaran. Les résultats qui en découlent (voir tableau 3) révèlent que toutes les variables de notre modèle sont stationnaires à niveau.

Tableau III : Résultat des tests de dépendance interindividuel et de stationnarité de seconde génération

	Test de dépendances interindividuelles de Pesaran		**Test de seconde génération de Pesaran**	
	CD-test	p–value	t-bar	Prob
PALU	39.81	0.000	-2.070	0.028
CLICHANGE	63.47	0.000	-2.112	0.015
FOREST	57.15	0.000	-2.081	0.023
SET	78.37	0.000	-2.123	0.012
GRUPOP	16.39	0.000	-2.095	0.019
RGDP	16.61	0.000	-3.943	0.000

Source : auteur

Pour examiner la relation entre le changement climatique et le paludisme, les données de panel sont utilisées. Il existe trois types de panel, plus précisément les effets aléatoires, les effets fixes et les moindres carrés ordinaires (MCO). Pour trancher sur la validité des effets fixes ou aléatoires, le test de Hausman est adopté dans cette étude. L'hypothèse nulle rend compte de l'absence d'une corrélation entre le modèle à effets aléatoires et l'hypothèse alternative de l'existence d'une corrélation (modèle à effets fixes). Lorsque l'hypothèse nulle est rejetée, nous pouvons conclure à l'existence d'une corrélation entre les pays, légitimant l'utilisation du modèle de panel à effets fixes. En revanche, lorsque l'hypothèse nulle est acceptée, nous pouvons conclure à l'absence de la corrélation entre les pays. En conséquence, le modèle de panel à effets aléatoires est considéré comme le plus approprié. Par ailleurs, le test d'homogénéité des pentes est effectué dans la présente étude, en adoptant le test delta (Pesaran et Yamagata 2008). L'hypothèse nulle suggère que les coefficients de pente sont homogènes entre les unités transversales. En revanche, l'hypothèse alternative indique que les coefficients de pente sont hétérogènes dans la dimension transversale. Si la statistique du test Delta est suffisamment importante pour rejeter l'hypothèse nulle de l'homogénéité de la pente, il convient d'utiliser un estimateur permettant de tenir compte de l'hétérogénéité des pentes. Dans cette perspective, Wooldridge (2010) prône le modèle linéaire à effets fixes avec des pentes spécifiques aux individus (FEIS).

4.2. Résultats des estimations

4.2.1. Résultat de base

Les résultats des méthodes MCO, panel à effet fixe, à effet aléatoires et effets fixes avec pentes spécifiques à l'individu (FEIS) sont présentés dans le tableau 4. Le résultat montre que la probabilité relative à la statistique **chi2** est inférieure 5%, ce qui signifie que le modèle à effets fixes est approprié pour examiner la relation le changement climatique et le paludisme. Par ailleurs, les résultats du test Delta permettent de rejeter l'hypothèse nulle de l'homogénéité de la pente, indiquant que le modèle linéaire à effets fixes avec des pentes spécifiques aux individus (FEIS) est plus adéquat dans la présente étude.

Tableau IV : Résultat de l'effet du changement climatique sur le paludisme

	OLS	**Effets fixes**	**Effets aléatoires**	**effets fixes (FEIS)**
	(1)	(2)	(3)	(4)
CLICHANGE	0.56612***	0.20766***	0.20735**	0.20766***
	(0.17259)	(0.06036)	(0.09511)	(0.06899)
FOREST	-0.31595***	-0.08293***	-0.05874***	-0.08293***
	(0.06868)	(0.0192)	(0.02018)	(0.0196)
CLICHANGE*	0.02194***	0.00463***	0.00393***	0.00463***
FOREST	(0.00754)	(0.00126)	(0.00146)	(0.00176)
SET	-0.05567***	-0.03959***	-0.04341***	-0.03959***
	(0.00917)	(0.00723)	(0.01669)	(0.01042)
GRUPOP	-0.01117**	-0.01584**	-0.05233*	-0.01584**
	(0.00517)	(0.00792)	(0.02973)	(0.00784)
RGDP	-0.03514***	-0.00339***	-0.00417***	-0.00339***
	(0.01152)	(0.00114)	(0.00152)	(0.00114)
Observation	814	814	814	814
R2	0.5243			
R2-within		0.6827	0.5782	0.6827
F(6,772)		28.76		
		(0.0000)		
Test de		chi2(6)= 39.78		
Hausman		Prob>chi2 = 0.0000		
Wald chi2(6)			179.61	
			(0.0000)	
Test de	F(1, 35) = 10.166			
Wooldridge	Prob > F = 0.0030			
Test delta	11.079			

	Prob=0.000

Source : auteurs. Les erreurs standard robustes sont indiquées entre parenthèses. ***, **, * indiquent une signification statistique aux seuils de 1 %, 5 % et 10 %.

Les résultats qui en découlent suggèrent que le changement climatique entraine une augmentation du paludisme. Ce résultat est proche de celui trouvé par Eikenberry et Gumel (2018), suggérant que des températures plus élevées sont favorables à l'expansion du paludisme. Cependant, nos résultats montrent que la couverture forestière réduit le paludisme. Ce résultat est conforme à celui obtenu par Bauhoff et Busch (2020), lequel soutient que la couverture forestière fait partie d'un portefeuille d'interventions. Toutefois, nos résultats indiquent que l'ampleur de l'effet positif du changement climatique sur le paludisme s'amoindrit lorsque le changement climatique interagit avec la couverture forestière. Un tel résultat met en évidence le rôle modérateur de la couverture forestière dans la relation entre le changement climatique et le paludisme. Ce résultat est proche de l'analyse de Stuart-Smith, Clarke, Harrington et Otto (2021), selon laquelle, la déforestation représente le deuxième facteur de changement climatique d'origine humaine. Par ailleurs, nos résultats révèlent que l'éducation, l'urbanisation et le développement sont des déterminants importants du changement climatique. En effet, une augmentation de l'éducation entraine une diminution du paludisme. Ce résultat corrobore les arguments mis en avant par Njau, Stephenson, Kachur et McFarland (2014), soutenant l'existence d'une relation solide et significative entre l'éducation et l'infection infantile par le paludisme. De même, l'urbanisation et le développement économique sont des facteurs qui concourent à la diminution du paludisme. Ces résultats sont entérinent l'analyse de Hay, Guerra, Tatem, Atkinson et Snow (2005) qui estiment que l'urbanisation et le développement économique entrainent une diminution du paludisme.

4.2.2. Analyse de la robustesse

Dans la présente étude, problème d'endogénéité peut se poser pour au moins deux raisons. Premièrement, l'endogénéité peut être provoquée par l'omission de variables dans le modèle spécifié. Deuxièmement, le biais de simultanéité peut être présent dans cette étude, étant donné que le paludisme peut affecter l'éducation, en augmentant l'absence à l'école. Ainsi, l'analyse de la robustesse peut se faire en utilisant une méthode alternative, à savoir la méthode à variables instrumentales, qui à l'avantage de corriger le problème d'endogénéité. En introduisant s'quentiellement les variables dans le modèle, nous testons à la même occasion la robustesse basée sur le test de sensibilité. Les résultats y relatifs sont consignés dans le tableau 5.

Tableau V: Test de robustesse par l'utilisation de la méthode 2SLS

	2SLS					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
CLICHANGE	0.42569***	0.43861***	0.53263***	0.54802***	0.50854***	0.5416***
	(0.09992)	(0.14013)	(0.13282)	(0.16862)	(0.13073)	(0.14215)
FOREST		-0.20341***	-0.39649***	-0.39376***	-0.26498***	-0.36411***
		(0.02393)	(0.07744)	(0.06508)	(0.05798)	(0.07932)
CLICHANGE*			0.01509***	0.01571***	0.02294***	0.02246***
FOREST			(0.0052)	(0.00555)	(0.00733)	(0.0064)
SET				-0.1403***	-0.04773**	-0.04781***
				(0.05235)	(0.02121)	(0.01726)
GRUPOP					-0.01244**	-0.01297**
					(0.00631)	(0.0062)
RGDP						-0.01843**
						(0.00899)
Obsevation						
Test de Durbin-Wu-Hausman (P-Value)	0.0008	0.0017	0.0000	0.0005	0.0000	0.0128
Stock, Wright et Yogo (2002)	103.406	102.893	13.9956	14.1257	14.112	14.1481
Valeur critique (seuil de 5 %)	13.91	13.91	13.91	13.91	13.91	13.91
Test de sur-identification de Sargan (P-Value)	0.3988	0.5188	0.5434	0.7729	0.8266	0.8251

Source : auteurs. Les erreurs standard robustes sont indiquées entre parenthèses. ***, **, * indiquent une signification statistique aux seuils de 1 %, 5 % et 10 %.

Les résultats obtenus à l'aide de la méthode 2SLS n'ont pas significativement changés par rapport aux résultats de base. En effet, le changement climatique entraine une augmentation du paludisme. En outre, la couverture forestière affecte négativement le changement climatique. Il ressort également que la couverture forestière réduit l'ampleur de l'effet positif du changement climatique sur le paludisme.

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'examiner l'effet du changement climatique sur le paludisme, en tenant compte du rôle modérateur la couverture forestière. Pour y parvenir, nous avons utilisé les modèles à effets fixes et effets fixes avec des pentes

spécifiques aux individus (FEIS), sur la période couvrant 2000 à 2022. Les résultats obtenus révèlent que le changement climatique entraine une augmentation du paludisme. Cependant, la couverture forestière réduit le paludisme. Néanmoins, l'ampleur de l'effet du changement climatique sur le paludisme s'amoindrit lorsque le changement climatique entre en interaction avec la couverture forestière. Par ailleurs, les résultats de l'étude montrent que l'éducation, l'urbanisation et le développement économique réduisent le paludisme.

Nos résultats impliquent que pour réduire le paludisme en Afrique, les initiatives de préservation des forêts sont nécessaires. Les pays africains devraient mettre en place des politiques de protection et de gestion durable des forêts. Les mesures visant à réduire les exportations de grumes devrait également être privilégiée. Par ailleurs, les pays développés devraient inciter financièrement les pays africains à diminuer leurs émissions liées à la déforestation. Dans cette optique, les initiations comme le fonds bleu du bassin du Congo devraient être vivement encouragée.

Bibliographie

AFRANE, Y.A., ZHOU, G., LAWSON, B.W., GITHEKO, A.K., Yan, G. (2008). Effects of microclimatic changes caused by land use and land cover on duration of gonotrophic cycles of Anopheles gambiae in western Kenya highlands. Journal of Medical Entomology, 45, 974–980.

AL-AWADHI, M., AHMAD, S., IQBAL, J. (2021) Current Status and the Epidemiology of Malaria in the Middle East Region and Beyond. Microorganisms 2021, 9, 338.

AL NOMAN, A., DAS, D., NESA, Z., TARIQUZZAMAN, M., SHARZANA, F., RAKIBUL HASAN, M., RIAZ, B.K., SHAROWER, G., RAHMAN, M.M. (2023). Importance of Wolbachia-mediated biocontrol to reduce dengue in Bangladesh and other dengue-endemic developing countries. Biosafety and Health, 5, 69–77.

ARROW, K.J. (2004). The Human and Economic Burden of Malaria. https://www.ncbi.nlm.nih.gov › books › NBK215634.

BABAIE, J., BARATI, M., AZIZI, M., EPHTEKHARI, A., SADAT, S.J. (2018) A systematic evidence review of the effect of climate change on malaria in Iran. BMJ 2018, 42, 331–340.

BAUHOFF, S., BUSCH, J. (2020). Does deforestation increase malaria prevalence? Evidence from satellite data and health surveys. World Development, 127, 104734.

BONAN, G.B. (2008). Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. Science, 320, 1444–1449.

BREMAN, J.G. (2001). The ears of the hippopotamus: manifestations, determinants, and estimates of the malaria burden. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 64(1–2 Suppl.), 1–11.

Caminade, C., Kovats, S., Rocklov, J., Tompkins, A.M., Morse, A.P., Colón-González, F.J., Stenlund, H., Martens, P., Lloyd, S.J. (2014). Impact of climate change on global malaria distribution. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111, 3286–3291.

CAMINADE, C., MCINTYRE, K.M., JONES, A.E. (2019). Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases. Annals of the New York Academy of Sciences, 1436, 157–173.

DIOUF, I., FONSECA, B.R., CAMINADE, C., THIAW, W.M., DEME, A., MORSE, A.P., NDIONE, J.A., GAYE, A.T., DIAW, A., NGOM NDIAYE, M.K. (2020). Climate variability and malaria over West Africa. Am. J. Trop. Med. Hyg. 2020, 102, 1037.

EBERHARDT, M. (2011). "Panel time-series modeling: New tools for analyzing xt data," United Kingdom Stata Users' Group Meetings 2011 22, Stata Users Group.

EIKENBERRY, S.E., GUMEL, A.B. (2018). Mathematical modeling of climate change and malaria transmission dynamics. Infectious Disease Modelling, 3, 74–89.

ELLISON, D., MORRIS, C.E., LOCATELLI, B., SHEIL, D., COHEN, J., MURDIYARSO, D., GUTIERREZ, V., van NOORDWIJK, M., CREED, I.F., POKORNY, J., et al. (2017). Trees, forests and water: cool insights for a hot world. Global Environmental Change, 43, 51–61.

FOUDJO, S.I., KENECK-MASSIL J. (2024). Climate vulnerability and child health outcomes in developing countries: Do women's political empowerment and female education make the difference? Social Science & Medicine 351 (2024) 116979.

GALLUP, J.L., SACHS, J.D. (2001). The economic burden of malaria. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 64(1–2 Suppl.), 85–96.

GROSSMAN, M. (1972). On the concept of health capital and the demand for health. Journal of Political Economy, 80, 223–255.

GUILLAUMONT P., SIMONET, C. (2001). To What Extent Are African Countries Vulnerable to Climate Change? Lessons from a New Indicator of Physical Vulnerability to Climate Change. https://ferdi.fr › ferdi-i08-to-what-extent-are-afri.

GUJARATI, D.N. (2003). Basic Econometrics (4th ed.). New York: McGraw-Hill.

HAY, S.I., GUERRA, C.A., TATEM, A.J., ATKINSON, P.M., SNOW, R.W. (2005). Urbanization, malaria transmission and disease burden in Africa. Nature Reviews Microbiology, 3, 81–90.

JIANG, X., ALBRIGHT, R., CREECY, E., LI, K.F., LIANG, M.C., NEWMAN, S., WANG, X., GAMALATHGE, T.D.K., YUNG, Y.L. *(2023).* Congo basin rainforest is a net carbon source during the dry season Earth Space Sci, 10 (2) (2023). 2022EA002644.

MASON, E.S. (1939). "Price and production policies of large-scale enterprise". American Economic Review 29(1), 61–74.

MEGERSA, D. M., & LUO, X.-S. (2025). Effects of Climate Change on Malaria Risk to Human Health: A Review. *Atmosphere*, *16*(1), 71. https://doi.org/10.3390/atmos16010071.

MINAKAWA, N., SONYE, G., YAN, G. (1999). Relationships between occurrence of Anopheline larvae and environmental factors in western Kenya highlands. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 61, 486–491.

MUNGA, S., MINAKAWA, N., Zhou, G., MUSHINZIMANA, E., BARRACK, O.O.J., GITHEKO, A.K., YAN, G. (2006). Association between land cover and habitat productivity of malaria vectors in western Kenya highlands. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 74, 69–75.

MYERS, S.S., PATZ, J.A. (2009). Emerging threats to human health from global environmental change. Annual Review of Environment and Resources, 34, 223–252.

NJAU, J.D., STEPHENSON, R., KACHUr, S.P., MCFARLAND, D.A. (2014). Investigating the important correlates of maternal education and childhood malaria infections. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 91, 509–519.

NZABARINDA, V., BAO, A., XU, W., UWAMAHORO, S., JIANG, L., DUAN, Y., NAHAYO, L., Yu, T., Wang, T., Long, G. (2021). Assessment and Evaluation of the Response of Vegetation Dynamics to Climate Variability in Africa. *Sustainability*, *13*(3), 1234. https://doi.org/10.3390/su13031234.

OLSON, S.H., GANGNON, R., SILVEIRA, G.A., PATZ, J.A. (2010). Deforestation and malaria in Mâncio Lima County, Brazil. Emerging Infectious Diseases, 16, 1108–1115.

PATZ, J.A., DASZAK, P., TABOR, G.M., AGUIRRE, A.A., PEARL, M., EPSTEIN, J., WOLFE, N.D., Kilpatrick, A.M., Foufopoulos, J., Molyneux, D., Bradley, D.J. (2005). Unhealthy landscapes: policy recommendations on land use change and infectious disease emergence. Environmental Health Perspectives, 112, 1092–1098.

PATZ, J.A., GRACZYK, T.K., GELLER, N., VITTOR, A.Y. (2000). Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. International Journal for Parasitology, 30, 1395–1405.

PESARAN, M.H., YAMAGATA, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. Journal of Econometrics, 142, 50–93.

REY, J.R., WALTON, W.E., WOLFE, R.J., CONNELLY, C.R., O'CONNELL, S.M., BERG, J., SAKOLSKY-HOOPES, G.E., LADERMAN, A.D. (2012). North American wetlands and mosquito control. Int. J. Environ. Res. Public Health 2012, 9, 4537–4605.

RICCI, F. (2012). Social implications of malaria and their relationships with poverty. Mediterr J Hematol Infect Dis. 2012;4(1):e2012048. doi: 10.4084/MJHID.2012.048. Epub 2012 Aug 9. PMID: 22973492; PMCID: PMC3435125.

RYAN, S.J., MCNALLY, A., JOHNSON, L.R., MORDECAI, E.A., BEN-HORIN, T., PAAIJMANS, K.P., LAFFERTY, K.D. (2015). Mapping physiological suitability limits for malaria in Africa under climate change. Vector-Borne and Zoonotic Diseases, 15, 718–725.

SIRAJ, A.S., SANTOS-VEGA, M., BOUMA, M.J., YADETA, D., CARRASCAL, D.R., PASCUAL, M. (2014). Altitudinal changes in malaria incidence in highlands of Ethiopia and Colombia. Science, 343, 1154–1158.

SLINGO, J., CHALLINOR, A., HOSKINS, B., WHEELER, T. (2005). Introduction: Food crops in a changing climate. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 360, 1983–1989.

SPRACKLEN, D.V., ARNOLD, S.R., TAYLOR, C.M. (2012). Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. Nature, 489, 282–285.

STENSGAARD, A.S., BOOTH, M., NIKULIN, G., MCCREESH, N. (2016). Combining process-based and correlative models improves predictions of climate change effects on Schistosoma mansoni transmission in eastern Africa. Geospat. Health 2016, 11 (Suppl. S1), 406.

STUART-SMITH, R.F., CLARKE, L., HARRINGTON, M., OTTO, F.E.L. (2021). Filling the evidentiary gap in climate attribution. Nature Climate Change, 11, 651–655.

TAPIAS-RIVERA, J., GUTIERREZ, J.D. (2023). Environmental and socio-economic determinants of the occurrence of malaria clusters in Colombia. Acta Trop. 2023, 241, 106892.

TEFERA, A., SINKIE, S.O., DAKA, D. (2020). Economic burden of malaria and associated factors among rural households in Ethiopia. BMC Public Health, 20, 1565.

VAN EIJK, A.M., HILL, J., NOOR, A.M., SNOW, R.W., ter KUILE, F.O. (2015). Prevalence of malaria infection in pregnant women compared with children for tracking malaria transmission in sub-Saharan Africa: A systematic review and meta-analysis. Lancet Glob. Health 2015, 3, e617–e628.

VITTOR, A.Y., GILMAN, R.H., TIELSCH, J., GLASS, G., SHIELDS, T., LOZANO, W.S., PINEDO-CANCINO, V., PATZ, J.A. (2006). The effect of deforestation on the human-biting rate of Anopheles darlingi in the Peruvian Amazon. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 74, 3–11.

VITTOR, A.Y., PAN, W., GILMAN, R.H., TIELSCH, J., GLASS, G., SHIELDS, T., SÁNCHEZ-LOZANO, W., PINEDO-CANCINO, V., PATZ, J.A. (2009). Linking deforestation to malaria in the Amazon. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 81, 5–12.

WOOLDRIDGE, J.M. (2010). Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data (2nd ed.). Cambridge, MA: MIT Press.

WU, Y., HUANG, C.J.B. (2022). Climate change and vector-borne diseases in China: A review of evidence and implications for risk management. Biology 2022, 11, 370.

YASUOKA, J., LEVINS, R. (2007). Impact of deforestation and agricultural development on Anopheline ecology and malaria epidemiology. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 76, 450–460.

Annexe : Liste des pays

ANGOLA, BURUNDI, BENIN, BURKINA FASO, BOTSWANA, REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE, CAMEROUN, RDC, CONGO, COMORES, CAP VERT, ALGERIE, ERYTREE, ETHIOPIE, GABON, GHANA, GUINEE, GAMBIE, LIBERIA, MADAGASCAR, MALI, MOZAMBIQUE, MAURICE, MALAWI, NAMIBIE, NIGER, NIGERIA, RWANDA, SENEGAL, ESWATINI, TCHAD, TOGO, TANZANIE, OUGANDA, AFRIQUE DU SUD et ZIMBABWE.