

Effet du Changement Climatique sur la Productivité des Cultures Céréalières au Togo : Une Approche en Système de deux Equations

Etayibtalnam Koudjom

Doctorant en Sciences Economiques

Centre de Formation et de Recherche en Economie et Gestion (CERFEG), Université de
Lomé, 01 BP 1515, Lomé-Togo

emmakoudjom@gmail.com

Résumé : Les effets du changement climatique sont profondément enracinés dans le contexte social dans tous les pays au monde. Ce constat a conduit à la mobilisation des organisations internationales et de nombreux pays parmi lesquels le Togo qui, à travers sa politique nationale de lutte contre le changement climatique et les maladies infectieuses, en a fait un des domaines prioritaires d'intervention. L'objectif de cette recherche est d'examiner l'effet du changement climatique sur la prévalence du paludisme et par ricochet sur la productivité des cultures céréalières au Togo. Pour atteindre cet objectif, nous allons utiliser un modèle en système de deux équations pour déduire l'effet du changement climatique sur la productivité des cultures céréalières au Togo par l'intermédiaire du paludisme. Les bases de données de la Direction Nationale de la Météorologie (DNM), et le Questionnaire Unifié des Indicateurs de Base de Bien-être (QUIBB) de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques et Démographiques (INSEED-Togo) au titre de l'année 2015 seront utilisées. Les résultats attendus permettront de renforcer l'analyse et la compréhension des questions climatiques en mettant l'accent sur la santé et la productivité agricole des ménages.

Mots clés : Prévalence du paludisme, Changement climatique, Modèle en système de deux équations.

1. Contexte et problématique

Le changement climatique augmente la prévalence des maladies à transmission vectorielle, qui peuvent entraîner la baisse de la productivité des ménages dans divers secteurs d'activités économiques, particulièrement le secteur agricole (Baker et al., 2018; Hangoma et al., 2018). La communauté scientifique a reconnu que l'un des principaux effets du changement climatique est la propagation des maladies, notamment les maladies à transmission vectorielle et leurs conséquences. Mais jusqu'à présent, peu d'attention a été portée aux dommages causés par ces effets (Abiodun et al., 2018; Kakmeni et al., 2018; Schnitter et al., 2019). Le paludisme est probablement la maladie à vecteur sensible meurtrière liée au climat. Les éléments de preuves actuelles suggèrent que le réchauffement de la planète entraînera la prévalence de cette maladie et sa portée géographique (Githeko et al., 2000). En effet, la transmission du paludisme dépend de la disponibilité et de la productivité de l'habitat, de la reproduction des moustiques. La disponibilité de l'habitat de reproduction est liée à l'eau stagnante qui reste après la pluie alors que la prolifération de l'habitat est fonction de la température ambiante (Githeko, 2007). Plus encore, les précipitations augmentent l'abondance de l'élevage de l'habitat alors que la température plus élevée augmente le risque de paludisme (Hay et al., 2000). La durée de vie moyenne d'un moustique porteur de parasites du paludisme est d'environ 21 jours. Il faut 19 jours pour le parasite du paludisme à mûrir à l'intérieur du moustique à 22°C et 8 jours à maturité à 30°C. Ainsi, le plus grand impact du changement climatique sur la transmission du paludisme est susceptible d'être observé entre 14 à 18°C et entre 30 à 40°C (Patz et Reisen, 2001). Le Togo situé dans la zone tropicale avec une température moyenne comprise entre 25 et 30°C n'est pas épargné de cet impact. Les statistiques en sont alarmantes.

Au Togo, on note une augmentation de la prévalence du paludisme qui passe de 33532 en 2015 à 121650 en 2016 avec 6598 cas de décès (Programme National de Lutte contre le Paludisme [PNLP], 2016). L'évolution de la maladie est liée aux saisons. Les cas augmentent pendant la saison humide qui couvre la période de mai à novembre avec une recrudescence de juin à octobre qui correspond à la période des grandes pluies. Le paludisme est endémique avec une transmission stable. Il a motivé plus de 34,3% des consultations dans les formations sanitaires en 2013 contre 30% en 2012 et 25% en 2011 et constitue la première cause de morbidité et de mortalité dans le pays (Ministère de la Santé, 2013). Selon le ministère du développement à la base en 2016, le Salaire minimum interprofessionnel garanti des salariés au Togo est estimé à 35000 francs CFA. Alors que les patients atteints du paludisme dépensent en moyenne 33400 francs CFA pour se soigner, presque la totalité de leur salaire (Ministère de la Santé, 2017). A cet effet, le paludisme demeure toujours un réel problème de santé publique. Il représente la première cause de morbidité et de mortalité des enfants de moins de 5 ans et les femmes enceintes enregistrées dans les formations sanitaires. Ainsi, la variabilité des facteurs climatiques peut mettre en péril la santé humaine. Face à la vulnérabilité de la santé humaine au changement climatique, le paludisme peut être une menace pour la performance du secteur agricole dans un pays. De ce fait, le paludisme n'est pas seulement un problème de santé publique inquiétant mais également un problème de développement majeur de l'agriculture dans les pays les plus endémiques (Gallup et Sachs, 2001; Goodman et al., 2000). Les faits stylisés révèlent que sur la période de 2011 à 2015 le nombre de cas de paludisme a augmenté de 2,43% et la productivité des cultures céréalières a baissé de 14,94% dans le contexte togolais (QUIBB., 2015).

Les cas de paludisme sont souvent concentrés pendant la saison agricole (Chuma et al., 2006; Sauerborn et al., 1991). Plusieurs maladies infectieuses, notamment la fièvre dengue, la filariose lymphatique, la fièvre jaune, l'encéphalite japonaise..., affectent le développement agricole. Mais cette recherche met l'accent sur le paludisme en raison de sa gravité. Les personnes vivant

dans les zones d'endémie dont la plupart ont pour principale vocation l'agriculture, ont tendance à souffrir des poussées répétées de paludisme. Les décideurs en Afrique et dans le monde ont reconnu que l'amélioration de la productivité et de la capacité de production, de revenus, de l'agriculture est essentielle dans les programmes de réduction de la pauvreté et de promotion de la croissance économique. Le paludisme a été désigné comme l'épidémie des pauvres (Barat et al., 2004), parce que les conditions environnementales des pauvres favorisent l'élevage des moustiques et aussi parce que, les pauvres ne peuvent pas se permettre des mesures de contrôle régulières comme le dépistage des fenêtres, l'achat des moustiquaires imprégnées d'insecticide et les pulvérisations d'insecticides. Cependant, Gallup et Sachs (2001) ont soutenu que le paludisme n'est pas principalement une conséquence de la pauvreté, mais plutôt que l'étendue et la gravité du paludisme sont largement déterminées par le climat et l'écologie.

L'interaction entre la santé et la productivité de la main-d'œuvre agricole dans cette recherche est motivée par le fait que dans les pays à faible revenu, la force de travail et l'endurance doivent être accompagnées par une bonne santé des ménages ruraux. Les conséquences d'une mauvaise santé sur le marché du travail risquent d'être plus graves pour les pauvres qui risquent davantage de souffrir des problèmes de santé graves (Strauss et Thomas, 1998). Le changement climatique vient exacerber cette situation par la détérioration de leur état de santé. Dans de nombreux pays en développement, les protections sociales bénéficiant d'un soutien public ne sont pas disponibles. Ainsi, la maladie peut complètement dévaster et appauvrir les ménages. En Afrique, le paludisme est la maladie qui a les impacts les plus répandus sur la croissance économique et le bien-être des ménages (Greenwood et al., 2005). Ces impacts comprennent, les coûts de soins de santé, les journées de travail perdues pour cause de maladie, les journées perdues d'éducation, la diminution de la productivité et la perte d'investissement et du tourisme. Ces impacts font du paludisme la principale maladie parasitaire tropicale et l'une des trois principales causes de mortalité parmi les maladies transmissibles (Sachs et Malaney, 2002). Le paludisme peut aussi causer la morbidité par la fièvre, la faiblesse, la malnutrition, l'anémie, maladies de la rate et vulnérabilité à d'autres maladies. A cet égard, l'impact du paludisme sur l'agriculture mérite une attention particulière. Pendant de nombreux siècles, l'agriculture a joué un rôle central dans la croissance économique mondiale et le développement.

En outre, la pratique agricole togolaise est principalement pluviale à forte intensité de main-d'œuvre et en raison de la dépendance excessive à l'égard de la main-d'œuvre, la santé de la main-d'œuvre est essentielle à la production agricole. Le secteur agricole occupe une place prépondérante dans l'économie togolaise. Il constitue la première source de croissance du pays et renferme le plus vaste potentiel capable d'accroître le revenu des populations majoritairement agricoles et pauvres (QUIBB., 2015). 2/3 de la population active togolaise vivent de l'agriculture qui représente en moyenne près de 40% du PIB du pays et fournit plus de 20% des recettes d'exportations. Les systèmes productifs au Togo reposent principalement sur des exploitations agricoles familiales de très petites dimensions (inférieures à 10 ha) avec des productions agricoles relativement diversifiées (Blein et al., 2008). Au titre des cultures vivrières qui contribuent à 68,5% à la formation du Produit Intérieur Brut Agricole (PIBA) (Ministère de l'Agriculture, 2015), l'accent est mis sur la production intensive des céréales, en particulier le maïs, le mil, le riz paddy et le sorgho, parce qu'elles constituent la base de l'alimentation de la population. La production annuelle de céréales est estimée à 1400000 tonnes en 2012 et plus de 2000000 tonnes en 2015, avec des taux de croissance respectifs de 6,5% et de 7,7%.

Toutefois, la baisse de la productivité des agriculteurs induirait une réduction de l'offre alimentaire nette disponible et donc des approvisionnements alimentaires et une paupérisation des populations rurales. Ceci étant, les effets du changement climatique sur la productivité

agricole via le paludisme influencerait négativement l'atteinte des Objectifs de Développement Durable (ODD), dont l'objectif n° 2, 3 et 13 qui vise, à éliminer la faim et la famine, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir une agriculture durable, donner aux individus les moyens de mener une vie saine et aider au bien-être de tous à tous les âges, prendre des mesures d'urgence pour lutter contre le changement climatique et ses conséquences (UNICEF., 2015). A la lumière de tous ces constats, nous aboutissons à la principale question suivante : **Quel est l'effet du changement climatique sur la prévalence du paludisme et par ricochet sur la productivité des cultures céréalières au Togo ?**

2. Objectifs

L'objectif principal de cette recherche est d'examiner l'effet du changement climatique sur la prévalence du paludisme et par ricochet sur la productivité des cultures céréalières au Togo. Spécifiquement il s'agit :

- (i) D'analyser l'effet de la température et des précipitations sur la productivité des cultures céréalières au Togo par l'intermédiaire du paludisme ;
- (ii) D'estimer à partir de différents scénarios de la GIEC, l'effet des projections des variables climatiques sur la prévalence du paludisme et la productivité des cultures céréalières dans les années 2025, 2050 et 2100.

3. Hypothèses

De ces deux (2) objectifs spécifiques découlent deux (2) hypothèses dans le cadre de cette recherche :

- (i) Les variables climatiques affectent négativement la productivité des cultures céréalières au Togo par l'intermédiaire du paludisme ;
- (ii) Une importante variation des variables climatiques dans le futur augmente la prévalence du paludisme et diminue la productivité des cultures céréalières au Togo.

4. Revue de littérature

L'analyse économique de l'effet du changement climatique sur la productivité agricole via le paludisme a suscité plusieurs travaux de recherche antérieurs dans la littérature économique. L'augmentation des paramètres climatiques reste l'une des causes de la baisse du niveau de la productivité et du rendement des cultures dans les pays en développement. En plus, ces paramètres influencent négativement le revenu des exploitants agricoles et celui des pays à faibles revenus du fait que l'agriculture emploie la majorité de la population et contribue dans une grande proportion à la formation du PIB. Cette section nous permettra de présenter la revue théorique et empirique sur les études antérieures réalisées.

4.1 Argumentations sur le changement climatique et paludisme

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), le changement climatique et les fréquences altérées des événements extrêmes associés tels que la sécheresse et les inondations devraient avoir des impacts négatifs sur la santé humaine (GIEC., 2014). Les effets des paramètres climatiques (température et précipitations) sur la santé humaine sont exacerbés par la variabilité climatique. Par conséquent, la variabilité climatique est un problème de santé clé lié au changement climatique, y compris les vecteurs palustres qui peuvent être exacerbés par la température et les précipitations. De plus, le changement climatique augmente le risque d'exposition vaste et prolongée des épisodes du paludisme dans les pays en développement. De ce fait, l'on s'inquiète particulièrement des changements dans

la fréquence, la durée et la gravité de la sécheresse, de la température et des précipitations à l'avenir en raison du changement climatique (Collins et al., 2013). Plus encore, le changement climatique augmentera la fréquence et l'ampleur des phénomènes météorologiques extrêmes créant ainsi des risques qui auront une incidence sur les établissements de soins de santé à cause de l'augmentation de la prévalence du paludisme. Pour autant, les établissements de soins de santé auront besoin d'évaluer les risques liés au changement climatique et adopter des stratégies de gestion adaptative pour être résilients (Paterson et al., 2014). Par ailleurs, les conditions climatiques plus chaudes et plus sèches dans certaines régions augmentent le nombre et le taux de survie des moustiques, et donc les risques de paludisme et d'autres maladies infectieuses transmises par les moustiques ne sont qu'une évidence (McMichael et Lindgren, 2011).

Toutefois, l'effet de la sécheresse sur les maladies à transmission vectorielle est observé lorsque la sécheresse due à une élévation de la température est suivie des périodes de temps plus humide (Brown et al., 2014; Shaman et al., 2005). Les relations entre l'abondance des moustiques, l'infection, la prévalence des maladies infectieuses, le risque de la maladie et les variations saisonnières de la sécheresse et des précipitations peuvent être complexes, géographiquement variable et spécifique entre l'habitat/environnement et difficile à prédire (Reisen et al., 2009). Par ailleurs, les principaux effets du changement climatique sur la santé humaine proviennent des impacts directs des systèmes physiques sur le bien-être humain tels que les vagues de chaleur, les inondations et la sécheresse. Le changement climatique accélère la propagation des maladies infectieuses dans les pays en développement. En outre, le changement climatique est un phénomène complexe entraînant une modification des conditions et des procédés qui entraînent des maladies et des décès. D'où la complexité des effets directs du changement climatique sur la santé humaine en raison de l'augmentation des conditions et des événements climatiques extrêmes. Ce n'est pas le climat en soi qui affecte la santé humaine, mais plutôt ces conséquences qui endommagent la santé humaine (McMichael et Lindgren, 2011). Considéré comme une menace de la diversité biologique, le changement climatique provoque des situations paradoxales partout où il se manifeste.

Dans une étude menée à l'ouest du Kenya, il ressort que les effets de la température augmentent le risque de la transmission du paludisme dans la population humaine et affectent la productivité de ces habitants (Kweka et al., 2016). En outre, Kulkarni et al. (2016) ont fait le lien entre le changement de l'environnement et la distribution du vecteur de paludisme sur le mont Kilimandjaro. Les résultats indiquent que la déforestation et la présence d'une chaleur due à la température à cause d'une augmentation des altitudes créent des zones stables susceptibles à la fréquentation des vecteurs dans de grands espaces de terre et augmente la capacité de transmission du paludisme. Par conséquent, la température est un déterminant essentiel de la transmission du paludisme. De plus, Egbendewe-Mondzozo et al. (2011) à travers un modèle semi-paramétrique ont montré qu'un changement marginal du niveau de la température et des précipitations conduirait à un changement significatif du nombre de cas de paludisme dans la plupart des pays d'Afrique d'ici la fin du siècle. Autrement dit, certains pays verront une augmentation des cas confirmés du paludisme mais d'autres verront une diminution. Ainsi, un minimum de scénario de changement climatique augmente les coûts de traitement du paludisme de 20%. Certains pays verront leurs patients hospitalisés. Par ailleurs, les précipitations créent un habitat pour la reproduction des moustiques et un taux d'humidité élevé est nécessaire à la survie des moustiques (De Souza et al., 2010). Le changement de température favorise le développement des moustiques en fonction de la température et les conditions météorologiques locales (Munhenga et al., 2014).

De l'autre côté, Sadoine et al. (2018) ont évalué systématiquement les associations entre le risque de paludisme, les facteurs environnementaux et les interventions en utilisant un modèle

statistique. Les méta-analyses ont été menées sur un sous-ensemble de résultats en utilisant des modèles à effets aléatoires. Les résultats de cette étude indiquent que la propriété de la moustiquaire était statistiquement associée à une diminution du risque de paludisme lors de la prise en compte des effets de l'environnement. En général, les effets environnementaux sur la transmission du paludisme tout en contrôlant l'effet des interventions étaient variables et ne présentaient pas de schéma particulier. En plus, Turner et al. (2012) présentent un modèle de maladie à transmission vectorielle qui intègre explicitement les mouvements d'une ferme à l'autre ainsi que la dispersion des vecteurs. Le modèle comprend également un rapport vectoriel saisonnier par rapport à l'hôte et un rapport dynamique des zones de restriction qui évoluent au fur et à mesure que l'infection est détectée. Les mouvements de lots d'ovins ont été inclus dans la modélisation. De plus, ils ont enquêté sur la transmission des maladies vectorielles entre les fermes à l'Est de l'Angleterre. Les résultats indiquent que la plupart des paramètres qui influent sur la taille de l'éclosion se rapportent à ce qui suit et que l'infection ne peut généralement pas être maintenue sans transmission vectorielle. Les restrictions de mouvement sont efficaces pour réduire la taille de l'éclosion et une approche ciblée serait aussi efficace comme une interdiction totale de mouvement. Ils renforcent leur analyse en affirmant que le cadre du modèle est souple et peut être adapté à toutes maladies à transmission vectorielle.

Mordecai et al. (2013) ont construit un modèle sur la base des hypothèses écologiques réalistes sur la physiologie thermique des insectes. Ce modèle inclut des réponses thermiques non-linéaires dérivées empiriquement et prédit une transmission optimale du paludisme à 25°C. De plus, le modèle prédit que la transmission du paludisme diminue de façon spectaculaire à des températures élevées de 28°C. Ce qui modifie les prévisions sur la manière dont le changement climatique affectera le paludisme. Un vaste ensemble de données sur le paludisme indique que le risque optimal de transmission du paludisme en Afrique est à 25°C et la baisse est au-dessus de 28°C. Par ailleurs, l'utilisation de ces modèles de réponse thermique non-linéaire plus précis aidera à comprendre les effets de la réponse thermique actuelle et de la réponse thermique non-linéaire des régimes de température futurs sur la transmission des maladies vectorielles. En outre, les prévisions des modèles ont fait couler beaucoup d'encre dans des débats politiques du changement climatique. Ces modèles ont projeté qu'un climat plus chaud pourrait augmenter le paludisme causé par les parasites *Plasmodium falciparum* et *P. vivax* dans certaines parties de l'Afrique (Gething et al., 2010). Désormais, il est bien connu que la température a une influence majeure sur la transmission des parasites du paludisme à leurs hôtes.

Cependant, les modèles mathématiques ne sont pas toujours d'accord sur la façon dont la température affecte la transmission paludisme (Lunde et al., 2013). Ces derniers ont comparé six modèles de mortalité dépendant de la température pour le vecteur du paludisme *Anophèles gambiae sensu stricto*. De plus, ils ont fait une évaluation fondée sur une comparaison entre les modèles et les observations des semi-champs et les laboratoires. Les résultats de leurs recherches montrent comment différents calculs de mortalité peuvent influencer la dynamique prévisible de la transmission du paludisme. Ainsi, le réchauffement climatique étant une réalité, les changements prévus dans la transmission du paludisme dépendront de la nature de l'épidémie. Le modèle de mortalité est utilisé pour faire de telles prédictions. La plupart des pays d'Afrique Subsaharienne ont une moyenne annuelle de température comprise entre 20 et 28°C. Dans ces pays, établir un lien entre les fluctuations passées et futures de la température et les changements dans la transmission du paludisme est un défi. Pour croire aux projections des impacts potentiels à long terme et à grande échelle du changement climatique, il est essentiel que les modèles aient une représentation précise dans la transmission du paludisme, même au prix de la complexité.

4.2 Argumentations sur le lien entre le paludisme et l'agriculture

Dans le contexte néoclassique, l'impact du paludisme sur le revenu par habitant à l'état stable est théoriquement indéterminé. Un taux d'épargne plus faible en raison des dépenses de soins de santé plus élevés, l'augmentation de risque de mourir renforce la préférence pour le présent, et donc un produit par habitant inférieur, une productivité du travail inférieure (absentéisme, fatigue) entraîne une réduction de la production par habitant (Berthélemy et Thuilliez, 2014). A l'instar de Berthélemy et Thuilliez (2014), Wheeler (1980) met en relation la satisfaction de besoins vitaux tels que la santé et la productivité de la main-d'œuvre. L'auteur suppose que ces processus ne sont pas séparables à court terme. Autrement dit, il constitue un système des équations simultanées décrivant le processus de production matériel et de reproduction des composantes qualitatives de la force de travail. Toutes choses égales par ailleurs, la production baisse en cas d'absence des travailleurs pour cause de paludisme, et la productivité décroît encore s'ils continuent de travailler étant souffrants même quand les maladies ne sont pas cliniquement identifiées (Goldberg et Waldman, 2000). Somme toute, le paludisme réduit les rendements des agriculteurs. Ainsi, l'existence d'une relation étroite entre les améliorations de l'état de santé et le développement économique de la population est souhaitable.

En plus, l'une des conclusions qui ressort de la littérature est d'essayer d'identifier un lien mécanique entre les dépenses de santé et l'état de santé d'une population qui serait un exercice sur le lien entre le paludisme et la productivité de l'individu. D'abord, les ressources doivent être réparties équitablement et efficacement si les objectifs du millénaire pour le développement doivent être atteints (Gauthier et Wane, 2008). Ensuite, les problèmes associés à l'efficacité de l'allocation deviennent clairs lorsque nous constatons des fuites importantes dans les budgets de la santé, qui n'atteignent que les utilisateurs finaux dans une mesure très limitée (Gauthier et Wane, 2008). De ce fait, l'augmentation de l'aide à la santé a impliqué logiquement le développement vertical des programmes avec une augmentation des mesures basées sur les performances afin d'éradiquer le paludisme. Toutefois, un taux de paludisme élevé dans les populations agricoles peut provoquer une baisse drastique de la productivité agricole, une baisse du revenu des fermiers et une insécurité alimentaire accrue d'où l'augmentation de la pauvreté (ESPD, 2005). L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 2011, trouve qu'une incidence accrue du paludisme réduit le tourisme, décourage les investisseurs étrangers et nationaux et empêche la mise en valeur des terres et surtout des ressources naturelles. A l'instar de l'OMS, Todaro (2000) résume ses travaux en affirmant que les femmes ont un pourcentage important que les hommes dans l'agriculture, consacrer le temps à la maison pour prendre soins de l'enfant qui est malade à cause du paludisme peut être une menace pour la productivité agricole et la sécurité alimentaire.

Par des investigations empiriques, Audibert et al. (2003) ont mené une étude en Côte d'Ivoire sur les ménages producteurs de coton. Les résultats de leurs études ont révélé que les ménages dont les membres actifs sont sains étaient plus productifs que les ménages dont les membres actifs étaient infectés par le paludisme. Ikeke et Ukaegbu (2015) ont mené également une étude sur la relation entre un mauvais état de santé et la productivité agricole au Nigéria en utilisant la fonction de production Cobb-Douglas tout en considérant la productivité totale des facteurs. Les résultats révèlent que les petits cultivateurs perdent 45% de leur production agricole et les grands cultivateurs perdent à leur tour 7,63% de production agricole. Du coup, le paludisme affecte négativement l'agriculture à court terme et à long terme. Ils indiquent que les variables significatives qui affectent cette production agricole sont la main-d'œuvre agricole, le capital, l'âge, l'expérience, l'extension des visites et les jours de mauvais état de santé. Par ailleurs, Audibert et Mathonnat (2001) ont fourni également d'importants résultats dans une étude menée en Côte d'Ivoire dans la zone Savannah. Ces auteurs ont constaté qu'il existe une relation négative importante entre une augmentation de la densité du taux d'infection du paludisme et les valeurs confirmées de la pauvreté entraînant ainsi la réduction du niveau de vie des ménages.

Ils soulignent aussi que le paludisme est un facteur qui encourage une accumulation de la pauvreté des ménages.

De plus, certains auteurs affirment que le paludisme affecte l'efficacité de tous les secteurs de l'économie et la productivité agricole (Nonvignon et al., 2016). Ils concluent en affirmant que 93% de tous les secteurs de l'économie y compris l'agriculture ont besoin d'un investissement du secteur privé pour contrôler le paludisme. De Silva et Marshall (2012) ont mené une recherche systématique sur le paludisme et son risque de transmission en Afrique Subsaharienne en montrant qu'un taux de prévalence du paludisme élevé dans les milieux urbains et péri-urbain, fait baisser significativement le statut social et économique des agents économiques. Dzadze et Gyasi (2014) ont exploré l'effet du paludisme sur le rendement agricole dans la région d'Ashanti au Ghana, concluent que l'incidence du paludisme réduit la capacité productive des agriculteurs et les fait perdre leur revenu agricole qui est estimé à \$US66, 67. Ainsi, une incidence importante du paludisme est une menace pour la sécurité alimentaire des ménages dans la région d'Ashanti au Ghana. A l'instar de Dzadze et Gyasi (2014), une étude montre une inefficacité des agriculteurs et une baisse de la production à cause des temps passés à la maison pour le traitement du paludisme (Alaba et Alaba, 2009; Asenso-Okyere et al., 2011). De plus, Udoudo et al. (2016) ont utilisé l'analyse de la chaîne de Markov, qui est une transformation de la fonction de production Cobb-Douglas pour mener l'étude sur le paludisme et la production agricole au Nigéria. Les résultats indiquent que le paludisme impacte négativement la production agricole au Nigéria. Cet impact réduit le PIB agricole de 7,62% chaque année. En plus, ils font une projection de la morbidité causée par le paludisme qui est estimée à 2040 par an au Nigéria.

Pour certains, la perte de bien-être économique des agriculteurs en Tanzanie est due à une diminution de leur revenu purement agricole dont une partie est consacrée aux dépenses en santé. Ils expliquent ce résultat par un constat du niveau de production très faible des agriculteurs (Sarris et al., 2006). Pour autant, Goodman et al. (2000) examinent les impacts économiques du paludisme en Afrique Subsaharienne et aboutissent à la conclusion suivante : ils estiment que le fardeau du paludisme en Afrique est environ 10% de la charge totale de morbidité dans la région en termes de handicap de vie ajustée en premier lieu. En second lieu, qu'il y a besoin de recherche sophistiquée dans la région en ce qui concerne l'effet économique du paludisme en Afrique Subsaharienne. De l'autre côté, Madaki (2017) a mené une étude sur les effets du paludisme sur la production des cultures au Nigéria en utilisant une fonction de production double-log. Il trouve que les ménages affectés par le paludisme perdent 20% de leurs productions par rapport aux ménages sains. Il trouve aussi que la moyenne des coûts de traitements du paludisme par personne s'élève à US\$2,583 par an. Pour Nonvignon et al. (2016) tous les secteurs de l'économie y compris l'agriculture perdent environ US\$6,58 millions de productions à cause de 90% de coûts direct engendré par le paludisme.

Les cultures céréalières et le développement des maladies infectieuses dépendent fortement de la variabilité des facteurs climatiques (température, précipitations, humidité...). La capacité d'adaptation des ménages agricoles étant plus ou moins faible, l'agriculture togolaise reste victime aux impacts négatifs du changement climatique. A cet effet, notre première contribution dans cette recherche consiste à combler le gap dans la littérature par rapport à l'absence d'analyse de l'effet du changement climatique sur la prévalence du paludisme et par ricochet sur la productivité des cultures céréalières dans le contexte togolais. En plus, l'effet économique du paludisme sur la productivité des cultures céréalières sur la base du modèle de McArthur et McCord (2017) est estimé. Pour autant, l'effet de la variation des variables climatiques sur la productivité des cultures céréalières via le paludisme à partir d'un système de deux équations constitue notre apport sur le plan méthodologique. Il faut aussi noter que nous allons faire

recours au modèle probit (Bliss, 1935), qui sera spécifié dans la première équation du système. En définitive, cette recherche permettra aussi de mettre en évidence les simulations des variables climatiques sur le nombre de cas de paludisme et la productivité des cultures céréalières à l'horizon 2025, 2050 et 2100.

5. Méthodologie

Pour estimer l'effet du changement climatique sur la productivité des cultures céréalières par l'intermédiaire du paludisme, nous allons utiliser un système de deux équations qui sera estimé en deux étapes. Le paludisme étant une variable endogène, la première étape sera consacrée à l'analyse des déterminants du paludisme où nous allons mettre l'accent sur les variables climatiques pour montrer que ces variables sont des principaux déterminants significatifs de la prévalence du paludisme et obtenir aussi la variable ajustée du paludisme. Dans la seconde étape, nous allons introduire cette variable ajustée du paludisme dans la deuxième équation pour analyser l'effet économique du paludisme sur la productivité des cultures céréalières.

5.1 Cadre théorique du modèle en système de deux équations

a. La première équation

En statistique, un modèle probit est un type de régression où la variable dépendante ne peut prendre que deux valeurs, par exemple être affecté par le paludisme : oui ou non. Le nom provient de la probabilité plus unité (Bliss, 1935). Un modèle probit est une spécification populaire pour un modèle ordinal ou un modèle de réponse binaire qui utilise une fonction de liaison probit. Ce modèle est le plus souvent estimé à l'aide de la procédure standard du maximum de vraisemblance, une telle estimation étant appelée régression probit. Les modèles probit ont été introduits par Chester Bliss en 1934, et une méthode rapide pour calculer les estimations du maximum de vraisemblance a été proposé par Ronald Fisher dans une annexe à Bliss (1935). Supposons que la variable de réponse Y est binaire, c'est-à-dire qu'elle ne peut avoir que deux résultats possibles que nous indiquerons comme 1 et 0, par exemple Y peut représenter la présence ou l'absence du paludisme. Nous avons également un vecteur de variables explicatives X , qui sont supposées influencer le résultat Y . Plus précisément, nous supposons que le modèle prend forme :

$$Pr(Y = 1 | X) = \Phi(X'\beta) \quad (1)$$

Où Pr indique la probabilité, et Φ est la Fonction de Distribution Cumulative (FDC) de la distribution normale standard. Les paramètres β sont généralement estimés par le maximum de vraisemblance. Il est également possible de motiver le modèle probit comme modèle à variable latente. Supposons qu'il existe une variable aléatoire auxiliaire :

$$Y^* = X'\beta + \varepsilon \quad (2)$$

Où $\varepsilon \sim N(0, 1)$. Alors Y peut être considéré comme un indicateur pour savoir si cette variable latente est positive :

$$Y = 1_{\{Y^* > 0\}} = \begin{cases} 1 & \text{si } Y^* > 0 \text{ c'est à dire } -\varepsilon < X'\beta \\ 0 & \text{dans le cas contraire} \end{cases} \quad (3)$$

Soit $Y = \begin{cases} 1 & \text{l'individu est affecté par le paludisme} \\ 0 & \text{l'individu n'est pas affecté par le paludisme} \end{cases}$

L'utilisation de la distribution normale standard ne cause aucune perte de généralité par rapport à l'utilisation d'une moyenne et d'un écart-type arbitraire parce que l'ajout d'un montant fixe à la moyenne peut être compensé en soustrayant le même montant de l'interception, et la multiplication de l'écart-type par un montant fixe peut être compensée en multipliant les poids par ce même montant. Pour voir si les deux modèles sont équivalents, notons que :

$$\begin{aligned} Pr(Y = 1 | X) &= Pr(Y^* > 0) = Pr(X'\beta + \varepsilon > 0) \\ &= Pr(\varepsilon > -X'\beta) \\ &= Pr(\varepsilon < X'\beta) \text{ par symétrie de la distance normale} \\ &= \Phi(X'\beta) \end{aligned} \quad (4)$$

Ce modèle est estimé par la méthode du maximum de vraisemblance.

Supposons que l'ensemble de données $\{y_i, x_i\}_{i=1}^n$ contienne n unités statistiques indépendantes correspondant au modèle ci-dessus. Leur fonction de log-vraisemblance commune est alors :

$$\ln \mathcal{L}(\beta) = \sum_{i=1}^n (y_i \ln \Phi(X_i'\beta) + (1 - y_i) \ln (1 - \Phi(X_i'\beta))) \quad (5)$$

L'estimateur $\hat{\beta}$ qui minimise cette fonction sera cohérent, asymptotiquement normal et efficace dans la mesure où $E[XX']$ existe et n'est pas singulier. On peut montrer que cette fonction de log-vraisemblance est globalement concave dans β , et donc les algorithmes numériques standard d'optimisation convergeront rapidement vers le maximum unique. La distribution asymptotique pour $\hat{\beta}$ est donnée : $\sqrt{n}(\hat{\beta} - \beta) \xrightarrow{d} \mathcal{N}(0, \Omega^{-1})$, là où :

$$\Omega = E \left[\frac{\varphi^2(X'\beta)}{\Phi(X'\beta)(1 - \Phi(X'\beta))} XX' \right], \Omega^{-1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\varphi^2(x_i'\hat{\beta})}{\Phi(x_i'\hat{\beta})(1 - \Phi(x_i'\hat{\beta}))} x_i x_i' \quad (6)$$

Et $\varphi = \Phi'$ est la Fonction de Densité de Probabilité (FDP) de la distribution normale standard.

b. La deuxième équation

L'analyse de la fonction de productivité des cultures céréalières s'appuie sur l'étude de McArthur et McCord (2017). Nous utilisons les données d'enquête pour identifier l'effet économique du paludisme sur la productivité des cultures céréalières, à l'aide de la spécification suivante :

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 \hat{X} + \alpha_2 Z + \varepsilon \quad (7)$$

Où Y est la productivité des cultures céréalières ; \hat{X} est la variable ajustée du paludisme obtenue dans l'équation (1) ; et Z est le vecteur des variables de contrôle ; α_1 et α_2 sont des coefficients à estimer ; α_0 est une constante et ε le terme d'erreur.

5.2 Spécification empirique du modèle en système de deux équations

En considérant les deux modèles, on obtient le système de deux équations suivantes :

$$\begin{cases} (1) \text{ } Palu_i = \beta_0 + \beta_1 Temp_i + \beta_2 Precip_i + \beta_3 Humid_i + \theta_i X_{1i} + \varepsilon_{1i} \\ (2) \text{ } Y_{ik} = \alpha_0 + \alpha_1 Palu(\hat{X})_i + \delta_i Z_i + \varepsilon_{2i} \end{cases} \quad (8)$$

Où $Palu_i$ représente le paludisme dans le ménage i ; Y_i est la productivité des cultures céréalières dans le ménage i , pour les céréales on a : $k = \text{maïs, mil, riz paddy et sorgho}$;

$Palu(\hat{X})_i$ est la variable ajustée du paludisme qui va affectée négativement la productivité de l'exploitant agricole dans le ménage i ; $Temp_i$ est la température moyenne mensuelle ; $Precip_i$ sont des précipitations moyennes mensuelles ; $Humid_i$ est l'humidité moyenne mensuelle ; X_{1i} est le vecteur des variables de contrôle dans la première équation composé de : l'âge, le sexe, la situation matrimoniale, la région, le milieu de résidence, le niveau d'éducation, la catégorie socio-professionnelle (CSP), le niveau de vie et des dépenses de santé. Par contre, Z_i est le vecteur des variables de contrôle dans la deuxième équation qui comprend : la disponibilité en terre agricole, l'accès au crédit agricole, le revenu du ménage, l'âge, la région, le niveau d'éducation, la langue d'alphabétisation, la taille du ménage et la catégorie socio-professionnelle (CSP) ; $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ et θ_i sont des coefficients à estimer dans la première équation ; α_1 et δ_i sont des coefficients à estimer dans la seconde équation ; β_0 et α_0 sont respectivement les constantes de la première et de la deuxième équation ; ε_{1i} et ε_{2i} sont respectivement les termes d'erreur de la première et de la deuxième équation.

Rappelons que ce système de deux équations sera estimé en deux étapes : la première étape consiste à estimer la première équation. Après l'estimation de ce modèle nous allons obtenir la variable ajustée du paludisme \hat{X} , qui sera introduite dans la seconde équation comme variable exogène. Avant de passer à la deuxième étape, nous allons faire le test de Hausman pour obtenir les instruments qui vont nous faciliter l'estimation de la deuxième équation. S'agissant de la deuxième étape, nous allons appliquer la méthode des doubles moindres carrés (DMC) à la seconde équation. L'analyse économétrique des données en coupe transversale est généralement associée à des problèmes d'hétéroscédasticité, de multicolinéarité et de valeurs aberrantes dans les variables (Benhin, 2006). Étant donné que ces problèmes économétriques affecteront vraisemblablement la robustesse des résultats de la régression, ils seront corrigés en effectuant une régression robuste au lieu d'une régression ordinaire simple.

5.2 Prévisions des impacts climatiques

Afin d'analyser les effets futurs du changement climatique sur le nombre de personnes affectées par le paludisme et la productivité des cultures céréalières, nous allons utiliser les régressions estimées de notre modèle en système de deux équations pour explorer comment les scénarios de changement climatique pourraient affecter le nombre de cas de paludisme et la productivité des cultures céréalières. Ces projections utilisent les résultats des estimations en coupe transversale pour l'analyse intertemporelle à moyen terme, à long terme et à très long terme et supposent que toutes les autres variables restent constantes. Ainsi, les simulations se basent sur un ensemble de scénarios de changements climatiques prévus par le GIEC (2013), particulièrement les scénarios du RCP8.5, qui projettent comment le climat va changer à moyen terme (2025), à long terme (2050) et à très long terme (2100) pour chaque pays en Afrique.

5.3 Données

Les données pour l'analyse empirique proviennent de l'enquête Questionnaire Unifié des Indicateurs de Base de Bien-être (QUIBB) réalisée en 2015 par l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques et Démographiques (INSEED-Togo) sur 1690 ménages producteurs des cultures céréalières. En outre, les données mensuelles de température et de précipitations ont été recueillies au niveau de toutes les stations météorologiques dans l'ensemble du pays depuis 30 ans. Nous avons ensuite utilisé la méthode d'interpolation spatiale de Thin Plate Spline (Hong et al., 2005; Wahba, 1990) pour générer les températures et les précipitations dans différents ménages, dans chacune des préfectures en utilisant les informations sur la latitude et la longitude de chaque ménage. Compte tenu des limites de l'interpolation spatiale des données climatiques, la meilleure méthode pour améliorer la qualité

de l'estimation spatiale des variables est d'augmenter la densité du réseau de surveillance, et de tester la validité de l'interpolation en effectuant une contre interpolation (Hutchinson, 1998). Le logiciel QGIS a été utilisé pour effectuer l'interpolation. Des procédures similaires ont été adoptées dans la littérature (Di Falco et al., 2011; Gadédjisso-Tossou et al., 2016; McKenney-Easterling et al., 2000). Parmi ces ménages agricoles, 65,98% produisent le maïs ; 19,12% le sorgho et 14,91% le riz paddy.

Tableau 1 : la statistique descriptive des variables d'intérêts

Variabes	Désignation	Moyenne	Ecart-type
Paludisme	Paludisme : 1=Oui, 0=Non	0,699	0,459
Prévalence du paludisme	Le nombre de cas de paludisme dans un ménage	1,309	1,309
Productivité céréalière	Production par unité du facteur travail	1,251	3,533
	Température moyenne en (°C)	27,645	0,788
	Ecart-type de la température	1,691	0,373
Variabes climatiques	Précipitations moyennes (mm)	95,222	9,474
	Ecart-type des précipitations	63,117	10,779
Dépenses de santé	Les dépenses de santé mensuelle en milliers de FCFA	7,864	6,370

Source : QUIBB (2015)

6. Résultats attendus

Aux termes des travaux de cette recherche, les résultats ci-dessous sont attendus :

- (i) Le changement climatique influence négativement la productivité des cultures céréalières au Togo par l'intermédiaire du paludisme ;
- (ii) Une importante variation des variables climatiques dans le futur augmenterait le nombre de cas de paludisme ; ce qui diminuerait la productivité des cultures céréalières au Togo.

7. Bibliographie

- Abiodun, G. J., Witbooi, P., & Okosun, K. O. (2018). Modelling the impact of climatic variables on malaria transmission. *Haceteppe Journal of Mathematics and Statistics*, 47(2), 219-235.
- Alaba, O. A., & Alaba, O. B. (2009). Malaria in rural Nigeria: implications for the Millennium Development Goals. *African development review*, 21(1), 73-85.
- Asenso-Okyere, K., Asante, F. A., Tarekegn, J., & Andam, K. S. (2011). A review of the economic impact of malaria in agricultural development. *Agricultural economics*, 42(3), 293-304.
- Audibert, M., & Mathonnat, J. (2001). *Systèmes de production rizicole et maladies parasitaires dans l'Afrique de l'Ouest: caractéristiques socio-économiques des ménages agricoles en zone de forêt ivoirienne*.
- Audibert, M., Mathonnat, J., & Henry, M.-C. (2003). Social and health determinants of the efficiency of cotton farmers in northern Cote d'Ivoire. *Social Science & Medicine*, 56(8), 1705-1717.
- Baker, R. E., Mahmud, A. S., & Metcalf, C. J. E. (2018). Dynamic response of airborne infections to climate change: predictions for varicella. *Climatic change*, 148, 547-560.
- Barat, L. M., Palmer, N., Basu, S., Worrall, E., Hanson, K., & Mills, A. (2004). Do malaria control interventions reach the poor? A view through the equity lens. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 71(2), 174-178.

- Benhin, J. K. (2006). *Climate change and South African agriculture: Impacts and adaptation options*.
- Berthélemy, J.-C., & Thuilliez, J. (2014). *The economics of malaria in Africa*. Retrieved from
- Blein, R., Soulé, B. G., Faivre Dupaigne, B., & Yérima, B. (2008). Les potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO), Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde(FARM).
- Bliss, C. I. (1935). The calculation of the dosage-mortality curve. *Annals of Applied Biology*, 22(1), 134-167.
- Brown, L., Medlock, J., & Murray, V. (2014). Impact of drought on vector-borne diseases—how does one manage the risk? *Public health*, 128(1), 29-37.
- Chuma, J. M., Thiede, M., & Molyneux, C. S. (2006). Rethinking the economic costs of malaria at the household level: evidence from applying a new analytical framework in rural Kenya. *Malaria journal*, 5(1), 76.
- Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J.-L., Fichet, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski, W. J., Johns, T., & Krinner, G. (2013). Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility.
- De Silva, P. M., & Marshall, J. M. (2012). Factors contributing to urban malaria transmission in sub-Saharan Africa: a systematic review. *Journal of tropical medicine*, 2012.
- De Souza, D., Kelly-Hope, L., Lawson, B., Wilson, M., & Boakye, D. (2010). Environmental factors associated with the distribution of *Anopheles gambiae* ss in Ghana; an important vector of lymphatic filariasis and malaria. *PloS one*, 5(3), e9927.
- Dzadze, P., & Gyasi, B. (2014). The effect of malaria on staple food crop production in the Ejisu-Juaben Municipality of the Ashanti Region of Ghana. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 6(3), 87-93.
- Egbendewe-Mondzozo, A., Musumba, M., McCarl, B. A., & Wu, X. (2011). Climate change and vector-borne diseases: an economic impact analysis of malaria in Africa. *International journal of environmental research and public health*, 8(3), 913-930.
- ESPD. (2005). *Enhancing health system: Malaria negative impact in Africa. Economic and Social Policy Division*. Retrieved from Addis Ababa : Economic Commission for Africa.
- Gadédjisso-Tossou, A., Egbendewe, A. Y., & Abbey, G. A. (2016). Assessing the impact of climate change on smallholder farmers' crop net revenue in Togo. *Journal of agriculture and environment for international development*, 110(2), 229-248.
- Gallup, J. L., & Sachs, J. D. (2001). The economic burden of malaria. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 64(1), 85-96.
- Gauthier, B., & Wane, W. (2008). Leakage of public resources in the health sector: an empirical investigation of Chad. *Journal of African Economies*, 18(1), 52-83.
- Gething, P. W., Smith, D. L., Patil, A. P., Tatem, A. J., Snow, R. W., & Hay, S. I. (2010). Climate change and the global malaria recession. *Nature*, 465(7296), 342.
- GIEC. (2014). *Human health : impacts, adaptation and co-benefits*: New York.
- Githeko, A. K. (2007). Malaria, Climate Change and Possible Impacts on Populations in Africa. In *HIV, Resurgent Infections and Population Change in Africa* (pp. 67-77): Springer.
- Githeko, A. K., Lindsay, S. W., Confalonieri, U. E., & Patz, J. A. (2000). Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *Bulletin of the World Health Organization*, 78, 1136-1147.
- Goldberg, C. B., & Waldman, D. A. (2000). Modeling employee absenteeism: Testing alternative measures and mediated effects based on job satisfaction. *Journal of Organizational Behavior: The International Journal of Industrial, Occupational and Organizational Psychology and Behavior*, 21(6), 665-676.
- Goodman, C., Coleman, P., & Mills, A. (2000). *Economic analysis of malaria control in sub-Saharan Africa*.

- Greenwood, B. M., Bojang, K., Whitty, C. J., & Targett, G. A. (2005). Malaria. *Lancet*. (365), 1487-1498.
- Hangoma, P., Aakvik, A., & Robberstad, B. (2018). Health Shocks and Household Welfare in Zambia: An Assessment of Changing Risk. *Journal of International Development*, 30(5), 790-817.
- Hay, S., Omumbo, J., Craig, M., & Snow, R. (2000). Earth observation, geographic information systems and Plasmodium falciparum malaria in sub-Saharan Africa. *Advances in parasitology*, 47, 173-215.
- Hong, Y., Nix, H. A., Hutchinson, M. F., & Booth, T. H. (2005). Spatial interpolation of monthly mean climate data for China. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(10), 1369-1379.
- Hutchinson, M. F. (1998). Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines. Part I: Two dimensional smoothing of data with short range correlation. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 2(2), 139-151.
- Iheke, O., & Ukaegbu, H. (2015). Effect of Poor Health and Farmers' Socioeconomic Variables on Total Factor Productivity of Arable Crop Farm Households in Abia State, Nigeria. *Nigerian Journal of Agriculture, Food and Environment*, 11(3), 141-146.
- Kakmeni, F. M. M., Guimapi, R. Y., Ndjomatchoua, F. T., Pedro, S. A., Mutunga, J., & Tonnang, H. E. (2018). Spatial panorama of malaria prevalence in Africa under climate change and interventions scenarios. *International journal of health geographics*, 17(1), 2.
- Kulkarni, M. A., Desrochers, R. E., Kajeguka, D. C., Kaaya, R. D., Tomayer, A., Kweka, E. J., Protopopoff, N., & Mosha, F. W. (2016). 10 years of environmental change on the slopes of Mount Kilimanjaro and its associated shift in malaria vector distributions. *Frontiers in public health*, 4, 281.
- Kweka, E. J., Kimaro, E. E., & Munga, S. (2016). Effect of deforestation and land use changes on mosquito productivity and development in Western Kenya Highlands: implication for malaria risk. *Frontiers in public health*, 4, 238.
- Lunde, T. M., Bayoh, M. N., & Lindtjorn, B. (2013). How malaria models relate temperature to malaria transmission. *Parasites & vectors*, 6(1), 20.
- Madaki, M. J. (2017). The effects of malaria on crop production in Yobe State, Nigeria. *International Journal of Information Research and Review* (3525-3529).
- McArthur, J. W., & McCord, G. C. (2017). Fertilizing growth: Agricultural inputs and their effects in economic development. *Journal of development economics*, 127, 133-152.
- McKenney-Easterling, M., DeWalle, D. R., Iverson, L. R., Prasad, A. M., & Buda, A. R. (2000). The potential impacts of climate change and variability on forests and forestry in the Mid-Atlantic Region. *Climate Research*, 14(3), 195-206.
- McMichael, A. J., & Lindgren, E. (2011). Climate change: present and future risks to health, and necessary responses. *Journal of internal medicine*, 270(5), 401-413.
- Ministère de l'Agriculture. (2015). *Stratégie de relance de la production agricole: Lomé*.
- Ministère de la Santé. (2013). *Plan National de Développement Sanitaire du Togo de 2012-2015: Lomé*.
- Ministère de la Santé. (2017). *Plan National de Développement Sanitaire du Togo de 2015-2017: Lomé*.
- Mordecai, E. A., Paaijmans, K. P., Johnson, L. R., Balzer, C., Ben-Horin, T., de Moor, E., McNally, A., Pawar, S., Ryan, S. J., & Smith, T. C. (2013). Optimal temperature for malaria transmission is dramatically lower than previously predicted. *Ecology letters*, 16(1), 22-30.
- Munhenga, G., Brooke, B. D., Spillings, B., Essop, L., Hunt, R. H., Midzi, S., Govender, D., Braack, L., & Koekemoer, L. L. (2014). Field study site selection, species abundance

- and monthly distribution of anopheline mosquitoes in the northern Kruger National Park, South Africa. *Malaria journal*, 13(1), 27.
- Nonvignon, J., Aryeetey, G. C., Malm, K. L., Agyemang, S. A., Aubyn, V. N., Peprah, N. Y., Bart-Plange, C. N., & Aikins, M. (2016). Economic burden of malaria on businesses in Ghana: a case for private sector investment in malaria control. *Malaria journal*, 15(1), 454.
- Paterson, J., Berry, P., Ebi, K., & Varangu, L. (2014). Health care facilities resilient to climate change impacts. *International journal of environmental research and public health*, 11(12), 13097-13116.
- Patz, J. A., & Reisen, W. K. (2001). Immunology, climate change and vector-borne diseases. *Trends in immunology*, 22(4), 171-172.
- Programme National de Lutte contre le Paludisme [PNLP]. (2016). *Plan national de lutte contre le paludisme au Togo*: Lomé.
- QUIBB. (2015). *Profil de pauvreté 2006-2011-2015 au Togo*: INSEED-Togo.
- Reisen, W. K., Carroll, B. D., Takahashi, R., Fang, Y., Garcia, S., Martinez, V. M., & Quiring, R. (2009). Repeated West Nile virus epidemic transmission in Kern county, California, 2004–2007. *Journal of Medical Entomology*, 46(1), 139-157.
- Sachs, J., & Malaney, P. (2002). The economic and social burden of malaria. *Nature*, 415(6872), 680.
- Sadoine, M. L., Smargiassi, A., Ridde, V., Tusting, L. S., & Zinszer, K. (2018). The associations between malaria, interventions, and the environment: a systematic review and meta-analysis. *Malaria journal*, 17(1), 73.
- Sarris, A., Savastano, S., & Christaensen, L. (2006). *Agriculture and Poverty in Commodity-dependent African Countries: A Rural Household Perspective from the United Republic of Tanzania*: Food & Agriculture Org.
- Sauerborn, R., Shepard, D., Ettling, M., Brinkmann, U., Nougara, A., & Diesfeld, H. (1991). Estimating the direct and indirect economic costs of malaria in a rural district of Burkina Faso. *Tropical medicine and parasitology: official organ of Deutsche Tropenmedizinische Gesellschaft and of Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)*, 42(3), 219-223.
- Schnitter, R., Verret, M., Berry, P., Chung Tiam Fook, T., Hales, S., Lal, A., & Edwards, S. (2019). An assessment of climate change and health vulnerability and adaptation in Dominica. *International journal of environmental research and public health*, 16(1), 70.
- Shaman, J., Day, J. F., & Stieglitz, M. (2005). Drought-induced amplification and epidemic transmission of West Nile virus in southern Florida. *Journal of Medical Entomology*, 42(2), 134-141.
- Strauss, J., & Thomas, D. (1998). Health, nutrition, and economic development. *Journal of economic literature*, 36(2), 766-817.
- Todaro, M. P. (2000). Urbanization and rural-urban migration: theory and practice. *Economic Development. Seventh Edition. Ed. Addison Wesley Longman. Essex*.
- Turner, J., Bowers, R. G., & Baylis, M. (2012). Modelling bluetongue virus transmission between farms using animal and vector movements. *Scientific reports*, 2, 319.
- Udoudo, M. G. M., Umoh, G. S., & Akpaeti, A. J. (2016). Malaria and Agricultural Production in Nigeria. *Asian Development Policy Review*, 4(4), 91-99.
- UNICEF. (2015). *Les Objectifs du Développement Durable (ODD)*: Paris.
- Wahba, G. (1990). *Spline models for observational data* (Vol. 59): Siam.
- Wheeler, D. (1980). Basic needs fulfillment and economic growth: a simultaneous model. *Journal of development economics*, 7(4), 435-451.