

Modélisation épidémiologique des pathologies climato-dépendantes au nord-Togo: Cas de la Fièvre Aphteuse dans la région des Savanes

E. PASSIKE POKONA¹, P. YAKA², J. A. NDIONE³

(Reçu le 14/03/2021; Accepté le 12/07/2021)

Résumé

S'il est vrai que le climat affecte la santé humaine, nombreuses sont les raisons qui portent à croire qu'il influe également sur l'épidémiologie de la Fièvre Aphteuse (FA). La mise en place d'outils opérationnels comme les modèles d'alerte précoce semble d'une grande utilité pour l'aide à la décision pour le contrôle de cette maladie qui affecte énormément le cheptel. Pour ce faire, une étude a été menée dans la région des savanes au Togo avec des données climatologiques et épidémiologiques de 2009 à 2017. La méthodologie adoptée a consisté à générer un modèle de régression linéaire sur la base des paramètres climatologiques fortement corrélés à la maladie. Le modèle final a été obtenu après élimination des variables les moins pertinentes par la méthode «d'élimination descendante», avant de passer à sa validation sur la base de trois (03) tests statistiques, notamment le facteur d'inflation de la variance, Durbin-Watson et Goldfeld-Quandt. La robusticité dudit modèle a été vérifiée grâce au diagramme de Taylor. Il ressort que des paramètres climatologiques fortement corrélés à la FA, les pluies et la durée d'insolation se sont avérés les prédicteurs les plus pertinents du modèle. Ce dernier est en mesure de reproduire assez bien la saisonnalité de la maladie (début, pic et fin). En plus, il présente un coefficient de corrélation (r) relativement élevé de 75% avec un écart type normalisé de 1,05 très proche de celui de la référence (1). Des mesures doivent être prises pendant les saisons pluvieuses ainsi que les mois à caractères festifs, car ces périodes favorisent le développement et la propagation de la FA.

Mots clés: Modèle épidémiologique, paramètres climatologiques, Fièvre Aphteuse, Région des Savanes, Togo

Epidemiological modeling of climate-dependent pathologies in northern Togo: Case of foot-and-mouth disease in the Savannah region

Abstract

If climate influences human health, there are many reasons to believe that, it also influences the epidemiology of Foot and Mouth Disease (FMD). Thus, the implementation of operational tools such as early warning models seems to be a great tool for the control of this disease, which considerably impacts livestock. Therefore, a study was conducted in the savanes region of Togo with climatological and epidemiological data for a period of nine (09) years (from 2009 to 2017). The methodology adopted consisted in generating a linear regression model on the basis of climatological parameters strongly correlated to the disease. The final model was set after dismissing less pertinent variables of the unrefined model by using the «Backward elimination». Then, three (03) statistical tests (the variance inflation factor test, the Durbin-Watson test and the Goldfeld-Quandt test) were used for the model's validation, before checking its robustness with Taylor diagram. Results showed that among climatological parameters strongly correlated with FMD, only precipitation and sunshine duration were found to be the most pertinent variable of the model. It has shown to be relatively good predictive accuracy by reproducing quite well, the seasonality of the disease (beginning, peak and end). It also has a relatively high correlation coefficient (r) of 75% with a normalized standard deviation of 1.05 very close to the reference (1). Appliances should be taken during the rainy seasons and festive months because these periods are propitious to the development and spreading of FMD.

Keywords: Epidemiological model, climatological parameters, Foot and Mouth Disease (FMD), Savanes Region, Togo

INTRODUCTION

L'idée que la santé humaine et les maladies sont liées au climat remonte à l'antiquité. En effet, le médecin grec Hippocrate (400 ans avant J C) relatait que les épidémies sont liées à la variabilité saisonnière du climat, et que celui qui veut s'appliquer convenablement à la médecine doit considérer, par rapport aux saisons de l'année, les effets que chacune d'elles peuvent produire. À l'instar de cette idée antique, nombreuses sont les études entreprises pour tenter de préciser les relations entre le climat et les pathologies aussi bien humaines, végétales qu'animales. Ainsi, la variation de la température, des pluies et de l'hygrométrie de l'air ambiant pourrait donc influencer sur l'évolution des écosystèmes. Ce qui affecterait de façon significative le cycle de développement des agents pathogènes ou des vecteurs biologiques et favoriserait leur prolifération.

Le climat étant donc considéré comme l'un des principaux facteurs de l'occurrence et de l'extension spatiale des maladies infectieuses, et l'Afrique étant l'un des continents en proie aux effets du changement climatique, une attention

particulière mérite d'y être portée en termes de suivi épidémiologique. Ainsi, dans le contexte ouest-africain et plus précisément dans le domaine de la santé animale, la situation des données épidémiologiques des maladies animales réémergentes indique une multiplicité de foyers isolés pour plusieurs pathologies. Au nombre des dites pathologies, figure la Fièvre Aphteuse (FA) considérée comme une maladie transfrontalière à déclaration obligatoire auprès de l'Organisation Mondiale de la Santé Animale (PNA, 2014). De plus, en cas d'épizootie de FA, des mesures restrictives sont imposées aux pays touchés par la maladie et les éleveurs connaissent une perte de revenus due à la dépréciation de la valeur marchande des animaux qui peut parfois atteindre 50 % (Han-Couacy et al., 2006).

Dans le cas spécifique du Togo, alors que l'élevage représente 20 % des activités du secteur rural après l'agriculture qui contribue à près de 40 % au Produit Intérieur Brut (Atakpama et al., 2015), la FA constitue un véritable frein au développement de ce secteur donc à sa contribution à l'économie nationale (Perry et al., 2002). Eu égard à toutes

¹ AGRHYMET, Togo

² FAO, Dakar, Sénégal

³ Centre de suivi écologique, Dakar, Sénégal

ces considérations, la mise en place d'outils d'aide à la prise de décision comme l'utilisation de modèles opérationnels, capables de combiner des données et des informations climatologiques, environnementales et épidémiologiques pour prévoir les occurrences des épidémies de FA est d'une grande utilité pour le contrôle de cette maladie affectant considérablement la santé du cheptel.

À cet effet, la présente étude se veut contributive à une meilleure compréhension des relations entre le climat et la santé animale afin d'améliorer la surveillance et la gestion de la FA au nord Togo. De façon spécifique, l'étude vise à identifier les principaux paramètres climatologiques qui influencent l'occurrence de la FA dans la région des savanes; identifier les périodes favorables à l'occurrence de la FA au nord Togo et développer un modèle de prévision de la pathologie sur la base des paramètres climatologiques.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Présentation de la zone d'étude

Située entre 0°10 et 1°00 de longitude Est et 9°55 et 11°05 de latitude Nord, la région des Savanes est la région la plus septentrionale du Togo (Figure 1) et couvre une superficie de 8533

km², soit 15 % du territoire national (MAEP, 2014). Elle jouit d'un climat soudanien caractérisé par une saison des pluies qui s'étend de juin à septembre et une saison sèche qui s'étend d'octobre à mai (DGMN, 2018). Les hauteurs moyennes annuelles de pluies sont d'environ 1050.0 mm et la moyenne annuelle des températures maximales gravite autour de 34°C. Quant à la moyenne annuelle des températures minimales, elle tourne autour de 23°C. L'humidité relative moyenne varie de 50 à 70% (Afidégnon, 2003). La vitesse moyenne du vent est d'environ 2 m/s et la durée journalière moyenne d'insolation est d'environ 7 h (DGMN, 2018).

Justification du choix de la zone d'étude

La région des Savanes est la zone d'élevage par excellence d'espèces sensibles à la maladie telles que les bovins, les ovins et les caprins au Togo. En effet, en plus de sa faune qui abrite les artiodactyles sauvages sensibles à la FA tels que les buffles, elle regroupe 32,5% d'espèces domestiques sensibles élevées contre 24,8% dans la région des plateaux; 17,0% dans la région de la Kara; 14,5% dans la région Maritime et 11,2% dans la région Centrale (MAEP, 2014). Cette région demeure également la principale porte d'entrée de la transhumance sur le territoire national (Sokemawu, 2008).

Données d'étude (Tableau 1)

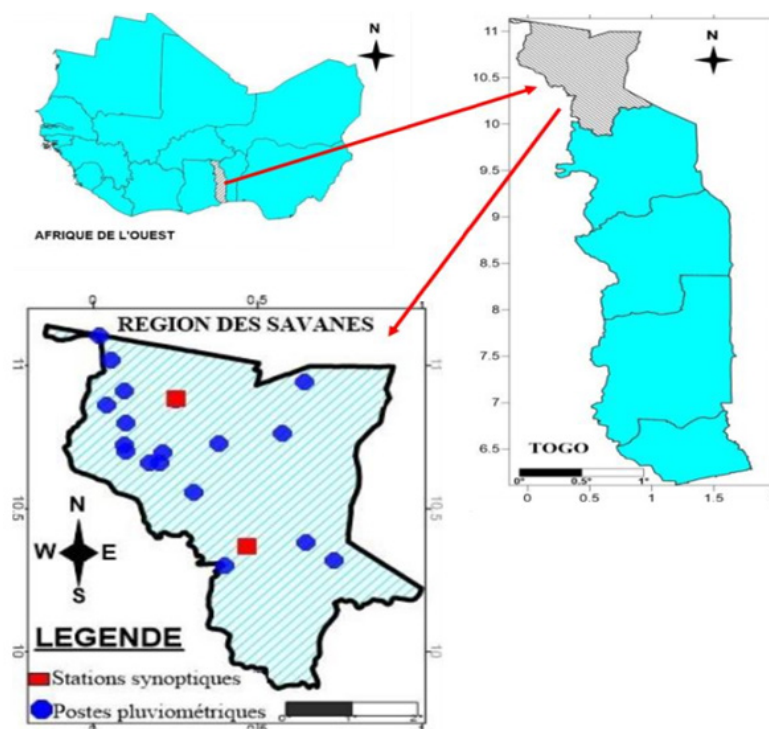


Figure 1: Cartographie de la zone d'étude

Tableau 1: Caractéristiques des données utilisées

Type de données	Paramètres concernés	Période et pas de temps	Source
Climatologiques	Pluies (RR) Températures maximales (Tmax) et minimales (Tmin) Humidité relative maximale (Ux) et minimale (Umin) Vitesse du vent (VENT) Durée d'insolation (INSO)	Données journalières de 2009 à 2017	Direction Générale de la Météorologie Nationale du Togo
Épidémiologiques	Nombre de cas déclarés de Fièvre Aphteuse (FA)	Données Mensuelles de 2009 à 2017	Direction Régionale de l'Élevage (Région des Savanes au Togo)

Méthodologie

La méthodologie adoptée se subdivise en six (06) étapes:

Étape 1: Traitement descriptif

Cette étape a eu pour but final de ressortir les saisons favorables au développement de la maladie. Elle a donc consisté en une représentation graphique mensuelle du régime saisonnier de la FA sur la période allant de 2009 à 2017.

Étape 2: Traitement statistique

Le traitement statistique a consisté en une détermination au seuil de 5%, des coefficients de corrélation (r) (Equation 1) entre les paramètres climatologiques et la FA.

$$r = Cov(X,Y) / XY \quad (\text{Équation 1})$$

Où:

- Cov (X,Y) désigne la covariance des variables X et Y;
- et X Y désignent leurs écarts types

Étape 3: Modélisation

La méthode de régression linéaire multiple a été exploitée pour générer le modèle (Équation 2). Pour ce faire, deux périodes ont été définies. Une période «training» allant de 2009 à 2016 utilisée pour générer le modèle et une période de validation allant de janvier à décembre 2017 qui a servi à la vérification du caractère prédictif du modèle généré compte tenu de la courte série des données. Sur ce, les paramètres climatologiques significativement corrélés à l'incidence de la maladie ont été utilisés comme prédicteurs pour générer le modèle. Ainsi, les variables explicatives retenues ont été notées «Xi» et le prédicant ou la variable à expliquer (données épidémiologiques) a été notée «Y». Le modèle de prédiction obtenu se présente sous la forme d'une équation de type:

$$Y = aX1 + bX2 + \dots + zXi \quad (\text{Équation 2})$$

Étape 4: Choix des variables les plus pertinentes

La méthode d'élimination descendante ou le «backward elimination» a été utilisée pour la retenir les variables les plus pertinentes du modèle. Cette méthode commence avec le modèle complet (toutes les variables explicatives) et à chaque étape, la variable associée à la plus grande p-value est éliminée du modèle jusqu'à ce que les variables restantes aient des p-value plus petites que le seuil fixé (Jolion, 2003).

Étape 5: Validation

La validation du modèle généré a été faite sur la base des trois (03) critères suivants:

- Les résidus sont linéairement indépendants (absence de colinéarité);

- La variance des résidus est la même pour toutes les valeurs des variables explicatives (Homoscédasticité);
- Et une absence d'autocorrélation des résidus.

A cet effet, trois tests ont été réalisés: (i) le Facteur d'inflation de la variance (VIF); (ii) le test de Goldfeld-Quandt ; (iii) et enfin, le test de Durbin Watson (Tableau 2).

Étape 6: Test de robusticité du modèle

Le test de robusticité a permis de vérifier le caractère prédictif du modèle généré. Pour ce faire, le diagramme de Taylor a dans un premier temps été utilisé comme test statistique de vérification. Ensuite, le caractère saisonnier (début, fin et pic) de la maladie révélée par le modèle a également été analysé et comparé à celui observé en 2017 sur la base d'une représentation graphique.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Évolution saisonnière de la Fièvre Aphteuse (FA)

L'analyse révèle l'existence des cas de FA sur une période bien déterminée au cours de l'année (Figure 2). En effet, les cas de FA les plus élevés sont enregistrés durant les mois pluvieux de mai à septembre dont les taux cumulés des quatre (4) mois les plus pluvieux (juin à septembre) représentent près de 75,2% du taux annuel de la FA. Par contre, les mois secs (octobre à février) à l'exception de décembre n'enregistrent quasiment pas des cas de FA. Les mois de mai à septembre et le mois de décembre se révèlent donc être les périodes favorables à la survenue des cas de la maladie dans la région des Savanes.

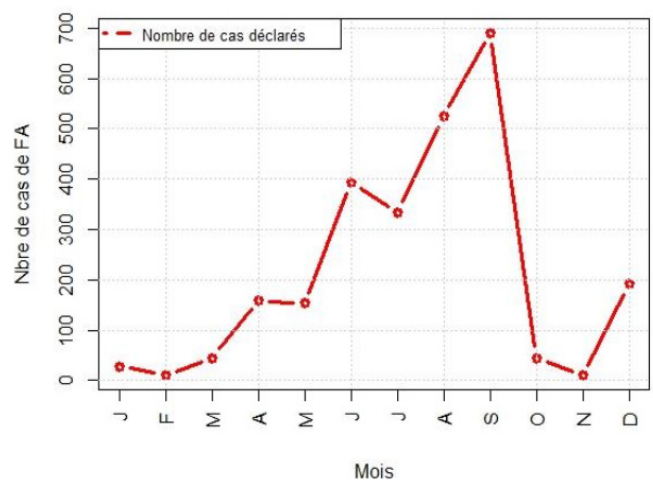


Figure 2: Analyse de l'évolution saisonnière de Fièvre Aphteuse dans la région des Savanes

Tableau 2: Caractérisation des tests de validation du modèle

Type de Test	Caractéristiques	Interprétation
VIF (Facteur d'Inflation de la variance)	Détermination de l'existence de colinéarité entre les variables. ¹	Si VIF < 5: Pas de colinéarité Si VIF > 5: Existence de colinéarité
Goldfeld-Quandt (Test d'Homoscédasticité)	Détermine l'homoscédasticité de la variance des résidus. ²	Si p-value < α: Hétéroscédasticité des résidus Si p-value > α: Homoscédasticité des résidus
DurbinWatson (DW)	Détermination d'une autocorrélation des résidus dans un modèle de régression linéaire. ³	Absence d'autocorrélation des erreurs lorsque la valeur de (DW) est proche de deux (2) ou généralement comprise entre 1,5 et 2,5

Sources: 1: (Akaike, 1974); 2: (Goldfeld et Quandt, 1965); 3: (Durbin et Watson, 1971); α = 0,05

Analyse des corrélations entre les paramètres climatologiques et la Fièvre Aphteuse

Les résultats révèlent l'existence d'une corrélation entre cinq (05) paramètres climatologiques et le nombre de cas de FA (Tableau 3). En effet, RR, Tmax, Umin, VENT et INSO sont corrélées au nombre de cas de FA à un seuil de significativité de 5%. RR et Umin présentent une corrélation positive dont les coefficients de corrélation (r) et les p -values sont respectivement de 0,87 et une p -value de 0,001; 0,76 et une p -value de 0,004. Contrairement aux précédents paramètres climatologiques, Tmax, VENT et INSO sont négativement corrélés à l'incidence de la maladie avec des r et p -values qui sont respectivement de -0,79 et une p -value de 0,002; -0,58 et une p -value de 0,049 et enfin -0,84 pour une p -value de 0,001.

Relation entre Fièvre Aphteuse (FA) et Pluie (RR)

Au démarrage des pluies, il est constaté une augmentation progressive des cas de FA qui se poursuit jusqu'à son pic au mois de septembre, soit un mois après que les pluies aient atteint leurs sommums en août avant d'amorcer

une phase de diminution (Figure 3). En effet, une phase d'augmentation latente du nombre de cas de la maladie est observée de février à avril, suivie d'une phase de croissance exponentielle qui survient de mai à septembre. Enfin, le nombre de cas semble régresser lorsque la pluviométrie baisse sauf pour le mois de décembre, qui, bien que n'étant pas un mois pluvieux, enregistre une légère augmentation du nombre de cas de FA.

Relation entre Fièvre Aphteuse (FA) et Température maximale (Tmax)

L'analyse du nombre de cas de la FA par rapport à la température maximale révèle également une évolution contrastée (Figure 4). En effet, l'évolution du nombre de cas de FA suit une évolution contraire à celle de Tmax. Durant les périodes (janvier à mai et octobre) pendant lesquelles la température maximale est élevée, le nombre de cas semble être bas. À l'opposée, le nombre de cas est élevé pendant la période allant de juin à septembre contrairement aux températures maximales qui sont relativement basses.

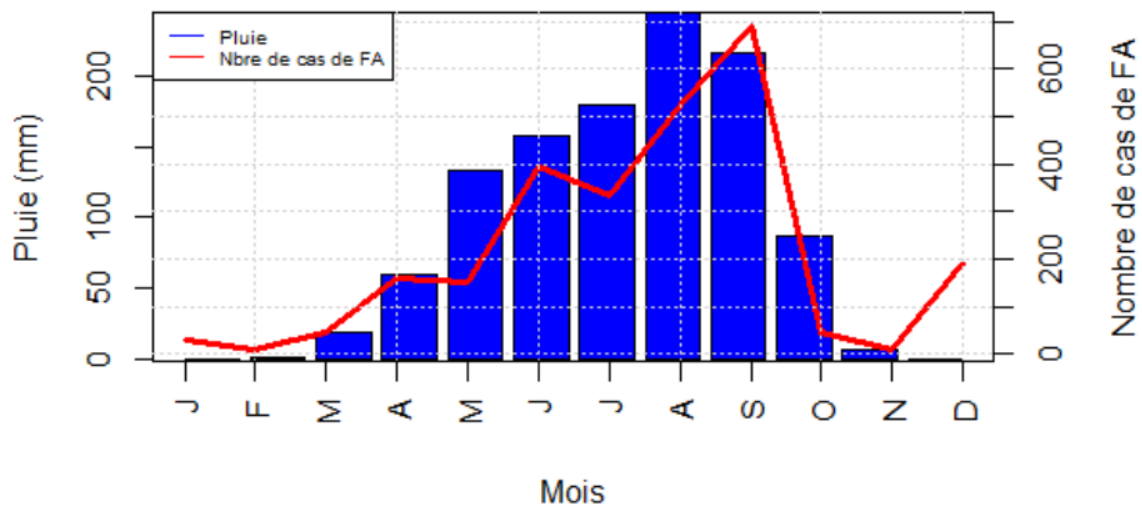


Figure 3: Relation Fièvre Aphteuse et pluies

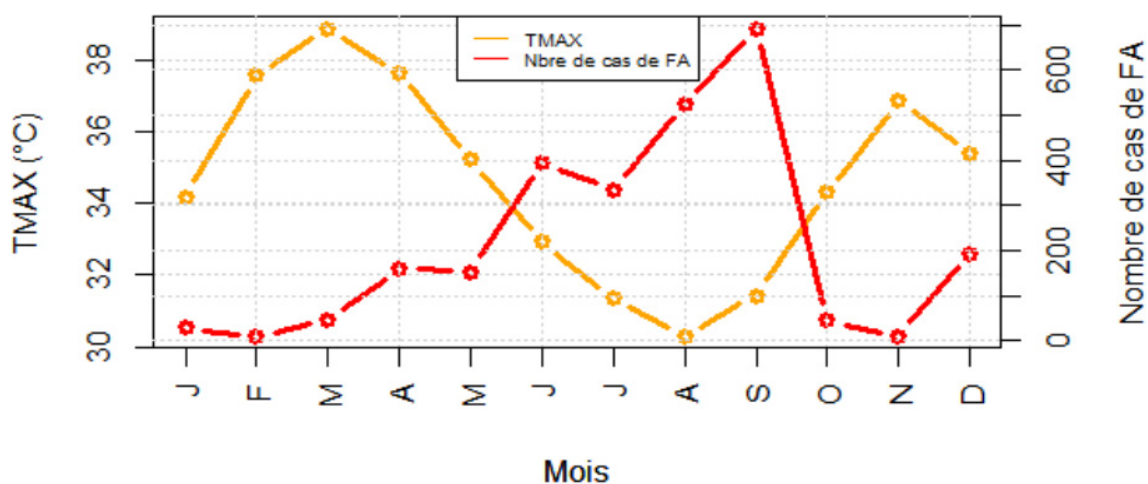


Figure 4: Relation Fièvre Aphteuse et Température maximale

Tableau 3: Corrélation entre paramètres climatologiques et Fièvre Aphteuse (FA)

Paramètres climatologiques	RR	Tmax	Tn	Ux	Umin	VENT	INSO
r	0,87	-0,79	-0,06	0,53	0,76	-0,58	-0,84
P -value	0,001***	0,002***	0,850	0,070	0,004***	0,049*	0,001***

*** Significativité à 1%, * Significativité à 5%

Relation entre Fièvre Aphteuse (FA) et humidité relative minimale (Umin)

Il est remarqué qu’une augmentation du taux de Umin s’accompagne de celle du nombre de cas de FA de janvier à septembre où elles atteignent toutes deux leurs pics puis commencent ensuite par décroître jusqu’en décembre sauf pour le nombre de cas de FA qui semble connaître une nouvelle évolution bien que le taux d’humidité relative minimal soit bas (Figure 5).

Relation entre Fièvre Aphteuse (FA) et la durée d’insolation (INS0)

Une évolution contrastée est remarquée entre le nombre de cas de la FA et la durée d’insolation (Figure 6). En effet, l’évolution du nombre de cas de FA suit une évolution contraire à celle de la durée d’insolation. Durant les périodes (janvier à mai et octobre à décembre) pendant

lesquelles, la durée d’insolation est élevée, le nombre de cas semble être bas. À l’opposée, le nombre de cas semble être élevé durant la période juin à septembre pendant que la durée d’insolation est relativement basse.

Relation entre Fièvre Aphteuse (FA) et la vitesse du vent

L’analyse de la survenue des nombres de cas de la FA par rapport à la vitesse du vent révèle elle aussi une évolution contrastée (Figure 7). En effet, l’évolution du nombre de cas de FA suit une évolution contraire à celle de la vitesse du vent tout au long de l’année sauf pour le mois de décembre où les deux courbes semblent connaître une même évolution. Durant les périodes (janvier à mai et octobre à décembre) pendant lesquelles la vitesse du vent est relativement élevée, le nombre de cas semble être bas. À l’opposé, le nombre de cas est élevé durant la période (juin à septembre) pendant laquelle la vitesse du vent est

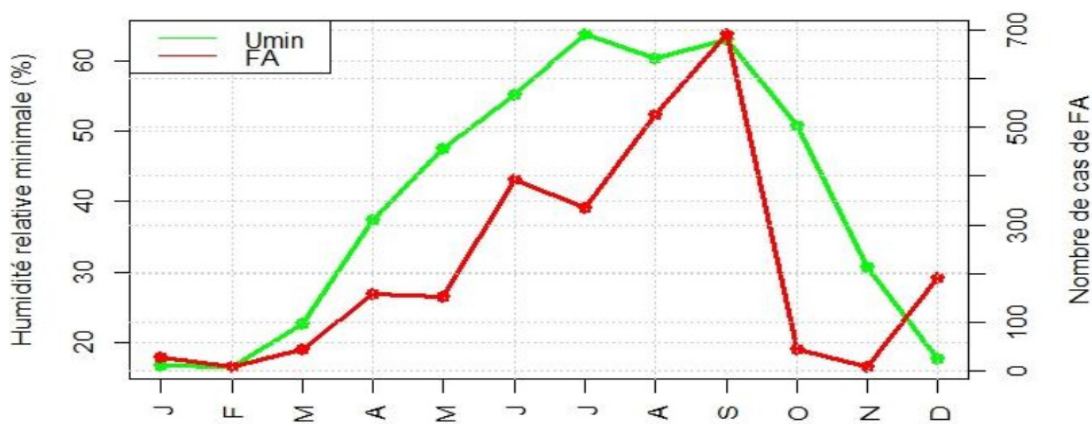


Figure 5: Relation entre Fièvre Aphteuse et humidité relative minimale

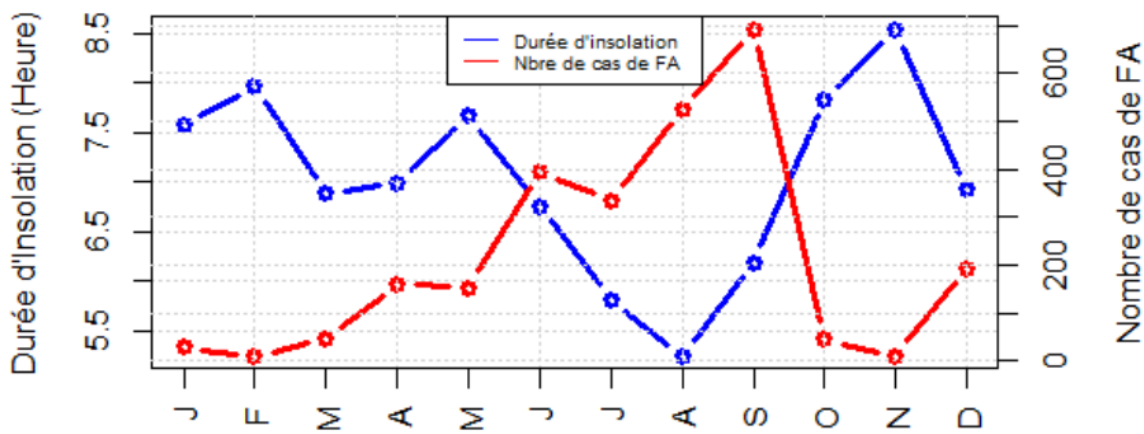


Figure 6: Relation Fièvre Aphteuse et Durée d’insolation

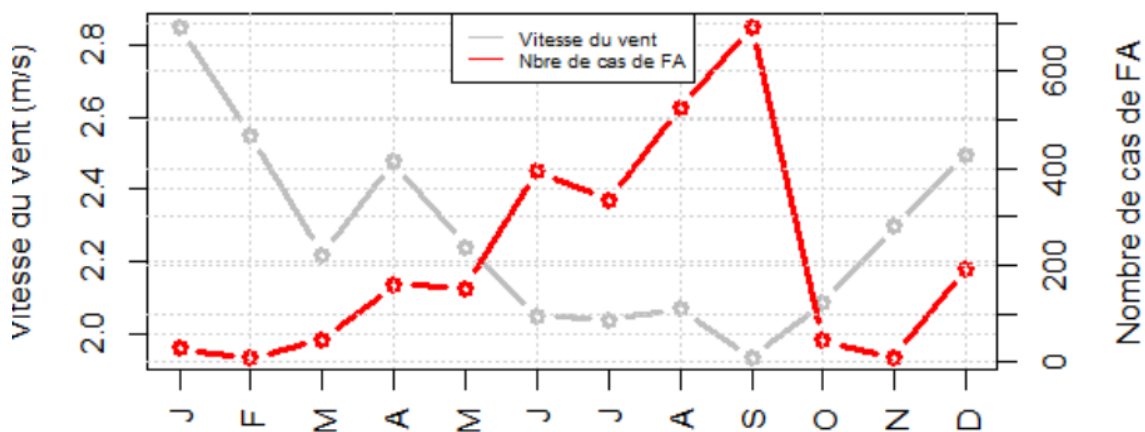


Figure 7: Relation entre Fièvre Aphteuse et la vitesse du vent

relativement basse. Toutefois, une particularité semble également être observée durant le mois de décembre qui connaît une augmentation du nombre de cas proportionnellement à la vitesse du vent. On note une coïncidence entre le pic des cas de FA et la plus petite valeur de la vitesse du vent pendant le mois de septembre. De même on note une augmentation progressive entre le nombre de cas de FA et de la vitesse du vent au mois de décembre.

Modélisation

Pour la suite de cette étude, les quatre (04) paramètres climatologiques les plus fortement corrélés (Significativité à 1%) à la maladie notamment la pluie (RR), les températures maximales (Tmax), l’humidité relative minimale (Umin) et la durée d’insolation (INSO) ont été utilisés pour générer le modèle Y1 (Équation 3) dont les résultats révèlent les caractéristiques suivantes:

$$Y1: (0,081*RR) - 2,46*Tmax - 0,11*Umin - 10,86*INSO + 183,59 \text{ (Équation 3)}$$

Paramètres statistiques du modèle : $R^2 = 0,73$; R^2 ajusté = 0,72 et P-value = 0,019

Les coefficients de détermination (R^2) du modèle sont dans l’ensemble supérieurs à 0,5 avec une p-value de 0,019.

Choix des variables les plus pertinentes du modèle

Les résultats obtenus après du modèle Y1 après application de la méthode de l’élimination descendante (backward - elimination) ont conduit au modèle Y2 puis au modèle final Y3 dont le coefficient de détermination et la p-value s’élèvent respectivement à 74% et 0,0011.

Caractéristiques du modèle Y1 après l’application du backward – élimination:

$$Y2 = (0,069*RR) - (2,21*T_x) - (10,92*INSO) + 172,05; R^2=0,73; R^2 \text{ Ajusté} = 0,719 \text{ et P-value } 0,002$$

$$Y3 = (0,11*RR) - (10,61*INSO) + 96,38; R^2=0,74; R^2 \text{ Ajusté} = 0,727 \text{ et P-value } 0,0011$$

Validation du modèle aux tests statistiques

L’analyse des résultats des différents tests a permis de valider le modèle généré (Y3). En effet, le test de Goldfeld-Quandt a permis de conclure à une homoscedasticité des résidus lorsque la p-value qui y est associée (p-value =

0,996) s’est révélée supérieure à 0,05. De plus, la statistique de Durbin-Watson (DW) s’est avérée satisfaisante avec une valeur (DW = 1,9132) comprise entre 1,5 et 2,5. Ce qui révèle une absence d’autocorrélation des résidus. Enfin, le test du VIF révèle une absence de colinéarité traduite par une valeur du VIF (1,409) inférieure à 5 (Tableau 4).

Robusticité du modèle avec le diagramme de Taylor

L’analyse du diagramme de Taylor (Figure 8) révèle que le modèle dispose d’une assez bonne capacité prédictive. Il est statistiquement caractérisé par un coefficient de corrélation relativement élevé d’environ 75%, un écart type (1,05) proche de celle de la référence (1) et une RMSE de 0,7 cas de FA/mois.

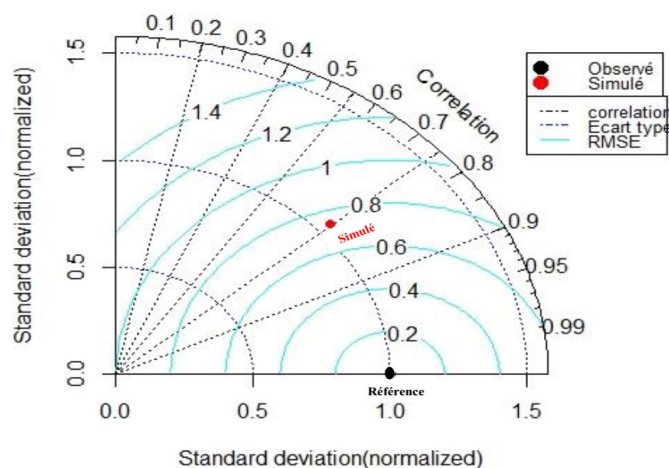


Figure 8: Diagramme de Taylor comparant statistiquement les valeurs prédites et celles observées

Vérification du caractère saisonnier du modèle

L’analyse du cycle saisonnier du modèle généré révèle que ce dernier représente assez bien la saisonnalité de la FA (Figure 9). En effet, le mois de mai semble aussi bien pour le modèle que pour l’observation, être le début d’une croissance exponentielle du nombre de cas de la FA qui se poursuit pour atteindre son pic en août. Ensuite, elle commence par décroître et marque une fin en novembre. Hormis, le début, le pic et la fin de l’évolution de la maladie, le modèle semble également assez bien simuler les cas particuliers de FA observés en décembre.

Tableau 4: Résultats des différents tests de validation du modèle

Modèle	VIF	Goldfeld-Quandt (GQ)	Durbin-Watson (DW)	Conclusion globale
Y3	1,409	GQ= 0,44 P-value=0,996	DW=1,9132 p-value = 0,3181	Les critères de validation sont respectés. Ce qui permet de valider le modèle Y3
Conclusion du test	Pas de Colinéarité	Homoscedasticité des résidus	Absence d’autocorrélation entre les résidus	

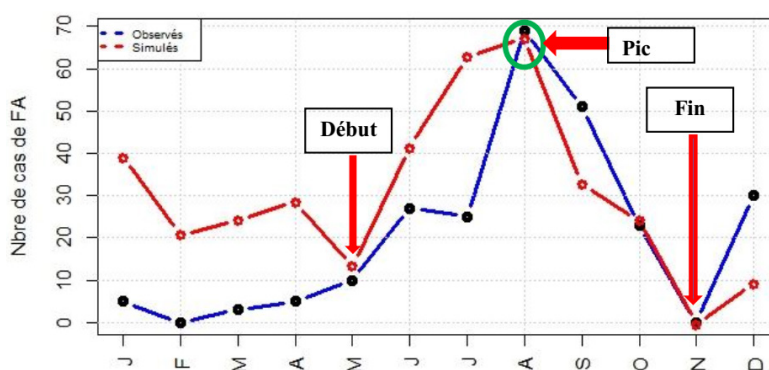


Figure 9: Représentation saisonnière observée et simulée du nombre de cas de la FA

DISCUSSION

Paramètres climatologiques influençant la Fièvre Aphteuse

Les résultats de cette étude ont révélé une relation entre le nombre de cas de la Fièvre Aphteuse entre la pluie, la température maximale, l'humidité relative minimale, la vitesse du vent et la durée d'insolation. Ces résultats confirment bien ceux de plusieurs auteurs dont (Yaka, 2018) qui stipule que la transmission des maladies infectieuses est sensible à des facteurs climatiques tels que les pluies, l'humidité, l'altitude, le vent, la durée d'insolation.

En effet, il ressort que le nombre de cas de Fièvre Aphteuse est positivement corrélé aux pluies et à l'humidité relative ; puis est négativement corrélée à la température, à la vitesse du vent et à la durée d'insolation. Ce qui se traduit par le fait qu'une augmentation des pluies et du taux d'humidité, une faible durée d'insolation et de basses températures sont des conditions climatologiques favorables au maintien du virus et au développement de la FA.

Ces assertions corroborent celle de Coulibaly (2000) qui déclarait que le froid est une condition primordiale pour la survie des aphtovirus. Ce qui toujours selon lui, expliquerait en partie l'épidémiologie de la Fièvre Aphteuse pendant les périodes froides. Il poursuit en disant que, le virion est en revanche détruit par une longue exposition aux rayons solaires. D'autres auteurs comme Stouraitis et Stit. (1979) soutenaient également qu'en Inde et en Birmanie, l'incidence serait bien plus élevée pendant l'hiver. De plus, selon les conclusions de Holveck (2002), une augmentation de la température inactiverait graduellement le virus de la Fièvre Aphteuse et une exposition prolongée aux rayons du soleil surtout en couche mince, détruirait aisément le virus. En revanche, une humidité relative de plus de 50% est un facteur essentiel de la survie du virus et une basse température, permettrait au virus de conserver son pouvoir pathogène.

Cependant, il semble très important de rappeler que malgré les conditions climatiques assez particulières du mois de décembre, l'analyse a permis de déceler une légère augmentation de l'incidence de la FA durant ce mois. Cette légère hausse pourrait aussi bien être due aux migrations des animaux qu'au vent de l'harmattan. En effet, le vent étant l'une des voies de dissémination de la FA, le mois de décembre est un mois marqué par le vent d'harmattan en provenance du Sahara. De ce fait, ce vent dans son évolution favoriserait la propagation du virus de la Fièvre Aphteuse des zones sahéliennes (zones hautement pastorales et à risque) vers notre zone d'étude. C'est fort de ce constat que Han-Couacy et al. (1991) ont observé et relevé que l'harmattan qui souffle à partir de décembre et dont le début est encore marqué par un taux d'humidité relativement élevé pourrait véhiculer le virus aphteux d'un foyer à une zone indemne. Ils affirmeraient également que ce vent aurait été l'un des facteurs responsables de l'épizootie aphteuse en Côte d'Ivoire en 1990.

Un autre aspect très important à souligner est que la région des Savanes en plus de disposer d'une faune qui abrite des espèces sauvages sensibles telles que les buffles, est une porte d'entrée des transhumants transfrontaliers en quête de pâturage pour leurs bétails. Ainsi, durant leurs mouvements, des probables échanges de germes s'effectuent

entre les troupeaux transhumants, les troupeaux locaux et les espèces sauvages sur les aires de pâture ou dans les lieux d'abreuvement. Ce qui pourrait ainsi accroître l'incidence de la maladie. Davies (2002) a également relaté que les mouvements massifs d'animaux d'élevage en transhumance, seraient l'une des voies prépondérantes de transmission de la FA d'un pays à un autre. En plus, un rapport de la FAO énumérait que des foyers de Fièvre Aphteuse apparus au Maghreb en février 1999, auraient sans doute été introduits par l'intermédiaire de bétail transhumant infecté provenant de pays où la maladie est endémique (FAO, 2012).

Toujours dans le même ordre d'idée, Thompson (1994) aussi de son côté affirmait que les réserves faunistiques étant souvent partagées entre plusieurs pays et constituant aussi des zones de pâturage du bétail domestique, les buffles joueraient un rôle majeur dans le maintien et la propagation du virus aphteux.

Rappelons également que le mois de décembre reconnu pour son caractère festif, enregistre un fort taux d'importation des animaux pour les marchés à bétail dont notre zone d'étude détient à elle seule, deux (02) des trois (03) grands marchés à bétail du Togo. Ce qui favoriserait également des échanges de germes. Cette situation qui accentuerait ainsi l'incidence de la maladie a aussi été relevée par Di-Nardo et al. (2011) qui mentionnaient que les mouvements de bétail et la commercialisation des animaux et produits d'origine animale peuvent être considérés comme déterminants dans la distribution de la FA.

Capacité prédictive du modèle généré

Le modèle de régression linéaire multiple généré dans cette étude sur la base des paramètres climatologiques semble assez bien reproduire la saisonnalité de la FA. De plus statistiquement, il a également présenté dans l'ensemble, des résultats assez concluants.

En effet, par rapport aux observations réelles, les périodes d'incidence de la FA soit, de mai à septembre (mois où le pic est observé) et de décembre, ont été assez bien reproduits par le modèle avec un coefficient de corrélation (r) de 0,75. Dube et al. (2007) ont dans le même sens, affirmé que la comparaison des prédictions d'un modèle avec les données d'un foyer réel reste le moyen idéal de tester la validité du modèle qui, se doit de mettre en évidence un certain niveau de concordance entre les résultats obtenus et les observations réelles faites. De plus, un (r) élevé signifierait une adéquation entre un modèle et les données observées (Jolion, 2003).

Le modèle généré aurait également été validé par les résultats assez concluants de certains tests statistiques notamment ceux du VIF, de Goldfeld-Quandt et de Durbin Watson. Le test du VIF destiné à déterminer l'existence (si $VIF > 5$) ou non (si $VIF < 5$) de colinéarité entre les variables, avait révélé une valeur qui s'élève à 1,5096. Ce qui traduit ainsi, une absence de colinéarité qui s'avère être une condition nécessaire à la validation d'un modèle d'autant plus que sa présence diminue la précision et l'efficacité des estimateurs des paramètres (Akaike, 1974). Aussi, Tomassone et al. (1983), révélaient que l'existence de colinéarité entre variables explicatives entraîne des écarts types élevés des coefficients de régression qui, dans ce cas sont très sensibles aux fluctuations même faibles du prédicant. De

même, les résultats du test de Goldfeld-Quandt qui détermine l'homoscédasticité des résidus du modèle se sont portés satisfaisant avec une p-value de 0,998 supérieure au seuil de 5%. En effet, le test d'homoscédasticité détermine l'homogénéité de la variance des résidus. Ce dernier est une propriété fondamentale du modèle de la régression linéaire et son principe stipulerait que si la p-value < α ; il y a hétéroscédasticité des résidus. Par contre, si p-value > α ; on parle d'homoscédasticité des résidus (Goldfeld et Quandt, 1965).

En ce qui concerne le test de Durbin-Watson, la pertinence d'un modèle est limitée par la présence d'erreurs auto-corrélées. De ce fait, les résultats du test de Durbin et Watson qui permet de détecter la présence ou non d'une autocorrélation des résidus dans un modèle de régression linéaire, ont révélé une absence d'autocorrélation des erreurs résidus (DW = 1,95). Ce qui témoigne ainsi de la pertinence du modèle puisque selon le principe, l'absence d'autocorrélation des erreurs est acceptée lorsque la valeur de cette statistique (DW) est proche de deux (Durbin et Watson, 1971).

CONCLUSION

Le secteur de l'élevage occupe une place importante dans l'économie togolaise. Cependant, les manifestations de la variabilité et des changements climatiques qui y sont rencontrées notamment la recrudescence des pathologies climato-dépendantes, se révèlent être une réalité amère qui mine le développement de ce secteur. Conscient de ces menaces, le développement d'outils permettant de prévoir et d'aider à anticiper les risques pathologiques liés au climat devient une nécessité. Dans ce contexte, la présente étude dont l'objectif visé est de contribuer à une meilleure compréhension des relations entre le climat et la santé afin d'améliorer la surveillance et la gestion de la Fièvre Aphteuse (FA), a conçu un modèle de prédiction pathologique sur la base des paramètres climatologiques. Sur ce, les résultats ont révélé dans un premier temps que la FA sévit en saison pluvieuse ainsi qu'au mois de décembre et les paramètres climatologiques qui lui sont significativement corrélés sont les pluies, la température maximale, l'humidité minimale et la durée d'insolation dont les coefficients de corrélation (r) sont compris entre 76 et 87% et leurs p-value entre 0,001 et 0,004. Ensuite, les résultats ont également révélé que le modèle mis au point fournit une assez bonne représentativité du comportement saisonnier de la FA.

En somme, l'étude a non seulement permis d'identifier les principaux paramètres climatiques et les périodes qui influencent la FA au nord Togo, mais aussi de vérifier la capacité prédictive du modèle généré. Ceci étant, ces nouveaux outils pourraient bien servir à la mise en place des systèmes de gestion et de surveillance épidémiologiques. Toutefois, sachant qu'en plus des facteurs climatiques, le développement d'une pathologie peut être également lié aux facteurs d'ordre environnemental, social ou encore politique; notre étude mériterait d'être encore plus approfondie en tenant cette fois-ci compte desdits facteurs.

RÉFÉRENCES

- Afidegnon, D. (2003). Carte de la végétation du Togo: notice explicative, Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale. Front Cover. Université Paul Sabatier, Laboratoire d'Écologie Terrestre, 110 p.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19: 716-723.
- Atakpama W., Batawila K., Gnamkoulamba A., Akpagana K. (2015). Quantitative approach of *Sterculia setigera* Del. (Sterculiaceae) ethnobotanical uses among rural communities in Togo (West Africa). *Ethnobotany Research and Applications*, 14: 65-80.
- Coulibaly Y. (2000). La Fièvre Aphteuse au Sénégal et ses répercussions en élevage laitier intensif. Thèse de Doctorat en Pharmacie Vétérinaire. Université Cheikh Anta Diop, Sénégal, 132 p.
- Davies G. (2002). Foot and mouth disease. *Res. Vet. Sci.*, 73: 195-199.
- Di-Nardo A., Knowles N.J., Paton D.J. (2011). Combining livestock trade patterns with phylogenetics to help understand the spread of foot and mouth disease in subSaharan Africa, the Mid-dle East and Southeast Asia. *Revue Scientifique et Technique-OIE*, 30: 63-85.
- Dube C., Stevenson M.A., Garner M.G., San-son R., Harvey N., Estrada C., Corso B.A., Wilesmith J.W.; Griffin J. (2007). Foot-and-mouth disease verification and validation through a formal model comparison. SVEPM-NOSOVE, Espoo, Finland.
- Durbin J., Watson G.S. (1971). Testing for serial correlation in least-squares regression, III. *Biometrika*, 58: 1-19.
- Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), (2012). La transhumance transfrontalière en Afrique de l'Ouest: proposition de plan d'action. Disponible sur www.interreseaux.org/IMG/pdf/Transhumance_Transfrontalier_en_AO_Rapport_FAO.pdf. Consulté le 14 mars 2019.
- Goldfeld S.M., Quandt R.E. (1965). Some tests for homoskedasticity. *J. Am. Stat.Assoc.*, 60: 539-547.
- Han-Couacy E., Aplogan G., Sangaré O., Compaoré Z., Karimu J., Awoueme K., Seini A., Martin V., Valarcher V. (2006). Étude rétrospective de la fièvre aphteuse en Afrique de l'Ouest de 1970 à 2003. *Rev. sci. tech. Off. int.Epiz.*, 25: 1013-1024.
- Han-Couacy E., Formenty P., Zigbe B., Outtarra M., Cacou P.M. (1991). Note sur épizootie récente de fièvre aphteuse en Côte d'Ivoire. *Rev. elev. méd. vét. Pays trop.*, 44: 423-424.
- Holveck T. (2002). La Fièvre Aphteuse. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université Henri Poincaré, Nancy, 116 p.
- Jolion J.M. (2003). Probabilité et Statistique. Cours de l'INSA. <http://rfv.insa-lyon.fr/jolion>.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (MAEP), (2014). Programme national d'investissement agricole et de sécurité alimentaire MAEP/SG. Lomé, MAEP. Plan d'opérations, 28 p.
- Perry B., Randolph T., McDermott J., Sones K., Thornton P. (2002). Investing in animal health research to alleviate poverty. International Livestock Research Institute, 150 p.
- Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNA) du Burkina Faso, (2014). Plan sectoriel d'adaptation aux changements climatiques. Ouagadougou, Burkina Faso, 62 p.
- Sokemawu K. (2008). Commercialisation du bétail dans la Région des Savanes au Togo. In: Ahoho L.R. (ed.). Publications du Lardymes, 7 p.
- Stouraitis P., Stit M. (1979). Incidence de la fièvre aphteuse en Birmanie (résumé n° 79/44). *Bull. Fièvre aphteuse*, 18: 7.
- Thompson G.R. (1994). Overview of foot and mouth disease in Southern Africa. In: Foot and mouth disease, African horse sickness and contagious bovine pleuropneumonia: OIE Scientific Conference, Gaborone, 20-23 avril 1994, 3-4.
- Yaka P. (2018). Cours de Biométéorologie. Centre régional AGRHYMET, Niger, 83 p.