

Contribution à une meilleure estimation des productions théoriques de l'hévéa (*Hevea brasiliensis* L.) sur la base des données climatiques au Sud-Ouest Cameroun

P. Nguema Ndoutoumou^{1,2}, A. S. Ondo Azi¹, J. A. Bourobou Bourobou², D. Nkoume Mba¹, F. Nkodo³

¹Université des Sciences et Techniques de Masuku. Institut National Supérieur d'Agronomie et de Biotechnologies. Unité de Recherche en Agrobiologie. Laboratoire de biodiversité. Email : pamphilen@hotmail.com
B.P. 99 Poto-Poto Franceville (Gabon). Tél. +24107770705.

²Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique. Institut de Recherches Agronomiques et Forestières. Département de Phytotechnie. Laboratoire de Biotechnologies végétales. B.P. 2246 Libreville (Gabon). Tél. +24106035460. Email : npamph@gmail.com

³Université de Dschang. Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles. B.P. 222 Dschang (Cameroun).

Original submitted in on 14th November 2017. Published online at www.m.elewa.org on 30th December 2017
<https://dx.doi.org/10.4314/jab.v120i1.4>

RESUME

Objectif : Il serait établi que les fluctuations interannuelles des rendements observés sur les sites d'exploitation de l'hévéa sont dues aux variations des composantes climatiques. L'étude vise à contribuer à une meilleure estimation des productions théoriques de l'hévéa sur la base des données climatiques au sud-ouest du Cameroun.

Méthodologie et Résultats : Les données climatiques sont secondaires et portent sur 20 ans. Les données de production des clones ont été recueillies de manière discontinue. L'analyse de la variance a révélé les fluctuations interannuelles des rendements des clones, d'une part et leurs interactions avec les composantes climatiques, d'autre part. Puis, des corrélations significatives entre les rendements annuels de chaque clone ont donné des indications précises sur les composantes climatiques prises au cours de l'année, un an avant et deux ans avant la production. La régression linéaire simple a généré des modèles différents selon les clones et les paramètres climatiques.

Conclusion et Application : En raison de la disponibilité des données de façon hachée, il n'est pas judicieux de proposer les relations ainsi obtenues comme modèles de prédiction des rendements théoriques pour l'hévéa. Face à cette contrainte, il est nécessaire de mettre en place un meilleur système de gestion des archives sur les sites de production et de mener davantage de prospections sur l'exploitation de l'hévéa. Enfin, cette étude pourrait se poursuivre par l'élaboration de modèles multivariés qui traduiraient au mieux les effets des différentes variables climatiques sur les rendements de la culture.

Mots clés : modélisation, rendements, *Hevea brasiliensis*, climat, clones.

ABSTRACT

Objective: It would be established that the interannual fluctuations of the outputs observed on the exploitation sites of the natural rubber are due to the variations of the climatic components. The study aims at contributing to a better estimate of the theoretical productions of the natural rubber on the basis of the climatic data to south-west of Cameroun.

Methodology and Results: The climatic data are secondary and relate to 20 years. The data of production of the clones were collected in a discontinuous way. The analysis of the variance revealed the interannual fluctuations of the outputs of the clones, on the one hand and their interactions with the climatic components, on the other hand. Then, of the significant correlations between the annual outputs of each clone precise indications gave on the climatic components taken during the year, one year before and two years before the production. The simple linear regression generated different models according to the climatic clones and parameters.

Conclusions and Application findings: Because of the availability of the data in a chopped way, it is not judicious to propose the relations thus obtained like models of prediction of the theoretical yields for the natural rubber. Facing this constraint, it is necessary to set up a better management system of the files on the production sites and to carry out more prospections on the exploitation of the natural rubber. Lastly, this study could continue with the development of multivariate models which would as well as possible translate the effects of the various climatic variables on the outputs of the crop.

Keywords: modeling, outputs, *Hevea brasiliensis*, climate, clones.

INTRODUCTION

Le secteur agricole occupe une place de choix dans l'économie camerounaise avec une participation majeure au produit intérieur brut (PIB) et une forte employabilité. En effet, cette prédominance évolue régulièrement. Selon Chambon *et al.* (2003), cette branche d'activités emploie près de 70% de la population active et représente $\frac{3}{4}$ des exportations du secteur primaire. A cet effet, Michels (2001) dit que l'hévéa avec d'autres cultures de rente contribuent considérablement au développement de l'économie camerounaise. L'augmentation de la production du caoutchouc justifie à elle seule l'importance de cette culture au Cameroun. En effet, le Cameroun se situe parmi les premiers producteurs africains en dépit du vieillissement de sa plantation et de la réduction des surfaces exploitées (Sainte Beuve, 2015). Cette croissance est essentiellement due à la maîtrise des techniques culturales et à la performance du matériel végétal. Malgré une production accrue de caoutchouc naturel, la stabilisation de cette production dans le temps reste une difficulté pour l'agro-industrie hévéicole camerounaise, car il est révélé des fluctuations d'une année à l'autre. Selon Nguema *et al.* (2016) le cas des plantations implantées au Sud et dans la zone côtière du Cameroun illustre bien cette situation. Il en résulte une fluctuation et surtout une diminution des rendements modélisables (Meredieu *et al.*, 2009 ; Berg, 2011). C'est dans cette optique que de

nombreux auteurs (Laubhann *et al.*, 2009 ; Kanohin *et al.*, 2012) présentent le climat comme étant un facteur limitant de premier ordre en région forestière. De plus, Penot et Deheuvels (2007) pense que le déficit hydrique, les contraintes édaphiques, les fortes fréquences des pluies matinales et le froid lié à l'altitude ou à la latitude constituent un réel frein à l'essor de l'exploitation de l'hévéa. Les exigences et les meilleures options d'exploitation de l'hévéa sont connues à travers les plantations industrielles (Niéto et Rodriguez, 2007) même si, selon Chambon *et al.* (2003), l'essentiel de la production mondiale de caoutchouc est assuré par les plantations villageoises (85%). Molua et Lambi (2006) mentionnent dans une étude générale qu'une baisse de précipitations ou une augmentation des températures entraîne une baisse de revenus. Ils corrèlent ainsi ces variations de paramètres climatiques au déficit financier équivalent. Penot et Deheuvels (2007), démontrent que quatre contraintes écologiques sont majeures pour l'hévéa : le déficit hydrique, la profondeur des sols, une forte pluviométrie matinale et la température. Par ailleurs, dans le cadre d'une étude menée par Supat (2008) en Thaïlande, il a été révélé que la contrainte hydrique est associée à une maladie émergente se traduisant par un dessèchement de la zone productrice de latex. Ainsi, la sécheresse édaphique est l'une des principales contraintes qui limitent actuellement l'exploitation de l'hévéa dans le Nord-Est de la

Thaïlande où les précipitations sont inférieures à 1500 mm. En définitive, la variation spatiotemporelle du climat revêt une importance capitale pour l'hévéa (Gnanglè *et al.*, 2011; Mahaman *et al.*, 2011; Yegbemey *et al.*, 2014). En effet, dans le cadre d'une étude menée par Jiang (1988), une analyse de corrélation multiple a montré que dans le Sud du Yunnan, la température d'avril à octobre, l'amplitude thermique journalière, la durée d'insolation et la hauteur d'eau expliquaient 63% de la variation de la production de caoutchouc naturel. Selon Nguema *et al.* (2016), la température et la pluviométrie ont globalement une influence négative sur la production de l'hévéa au Cameroun pour certains clones (GT1, PR107 et RRIM600). Par contre, selon ces auteurs, l'humidité relative et l'insolation influencent positivement la production de l'hévéa sur les différents sites hévéicoles. Ainsi,

considérant les assertions de Penot et Deheuvels (2007) et Nguema *et al.* (2016), il apparaît opportun d'analyser la variation des composantes climatiques sur les fluctuations des rendements de l'hévéa d'une année à l'autre dans la région du Sud-ouest Cameroun. Cette étude permettrait de contribuer à une meilleure estimation des productions théoriques de l'hévéa sur la base des composantes climatiques et du déficit hydrique du site exploité. Des réponses à cette préoccupation conduiront à porter un intérêt sur l'influence de la variation des composantes climatiques sur les fluctuations des rendements de l'hévéa d'une part et les tendances suivies par les fluctuations des rendements de l'hévéa confrontées aux composantes climatiques, d'autre part. Ainsi, la proposition d'un modèle mathématique sera un meilleur outil pour l'estimation des rendements théoriques de l'hévéa.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude : L'étude a été menée à Tiko, dans la région du Sud-ouest Cameroun dans une exploitation d'hévéas. Cette zone côtière est caractérisée par une forêt établie en basse altitude. Elle est marquée par un climat équatorial typique à quatre saisons, avec une nuance côtière plus humide et plus chaude. Les moyennes annuelles de pluviométrie et de température sont respectivement de 2400 mm et 27°C. Le sol, de couleur jaune, s'est formé sur des sédiments marins. Il est argilo-sableux, acide et pauvre.

Matériel : L'étude a porté sur six clones d'hévéas (RIMM 706, RRIM 600, GT 1, PB 217, PB 260 et PR 107), âgés de plus de 15 ans. Le site dispose d'une station météorologique permettant de mesurer quotidiennement les paramètres climatiques qui sont : la température, la pluviométrie, l'insolation et l'humidité relative.

Méthodes

Collecte des données : Les données ont été tirées des archives du site de Tiko. Les paramètres

climatiques s'étalent sur deux décades (de 1989 à 2009), en dehors du déficit hydrique. Les données de production ont été disponibles sur des périodes de 5 à 9 ans, selon les clones étudiés.

Analyse des données : Elle s'est intéressée d'une part à l'existence des variations interannuelles des rendements entre les différents clones, et d'autre part à la fluctuation des variables climatiques d'une année à l'autre. La comparaison des rendements entre les clones s'est effectuée en tenant compte des années de récolte. Par la suite, une modélisation des interactions entre les variables climatiques et les rendements des clones étudiés a été initiée. Il s'est agi de rechercher des variables indépendantes, ayant un coefficient de corrélation partielle statistiquement significatif avec les rendements de chaque clone. Enfin, les différents modèles ont été caractérisés. L'analyse statistique s'est faite grâce au logiciel GenStat Release 9.2.

RESULTATS

Données climatiques : Les figures 1, 2, 3, 4 et 5 illustrent les fluctuations interannuelles des paramètres

climatiques observés sur le site de Tiko de 1989 à 2009.

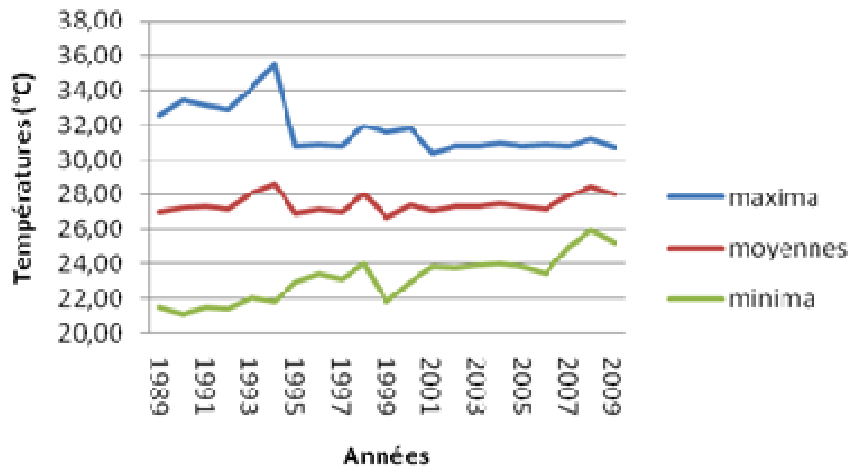


Figure 1 : Évolution des températures à Tiko de 1989 à 2009.

Les températures minimales varient entre 19°C (en 1989) et 24°C (en 2007 et 2008), alors que les températures maximales de la même période oscillent

entre 31°C et 37°C. La température maximale annuelle a été observée en 1994, pour une valeur de 35°C.

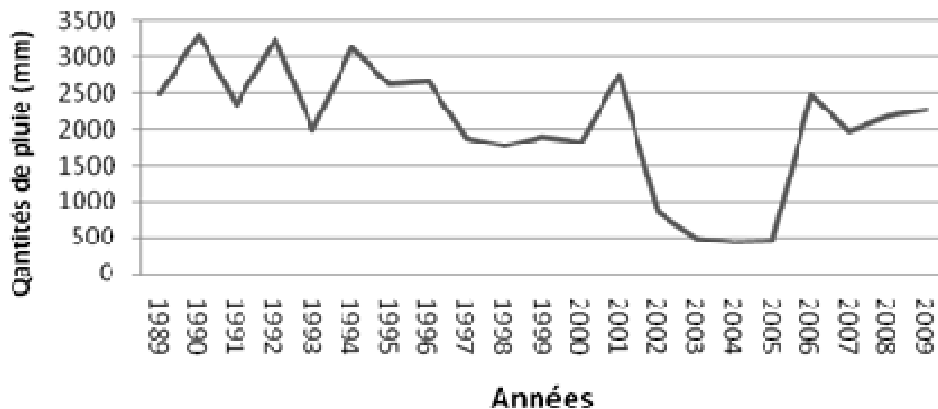


Figure 2 : Évolution des quantités de pluies tombées à Tiko entre 1989 et 2009.

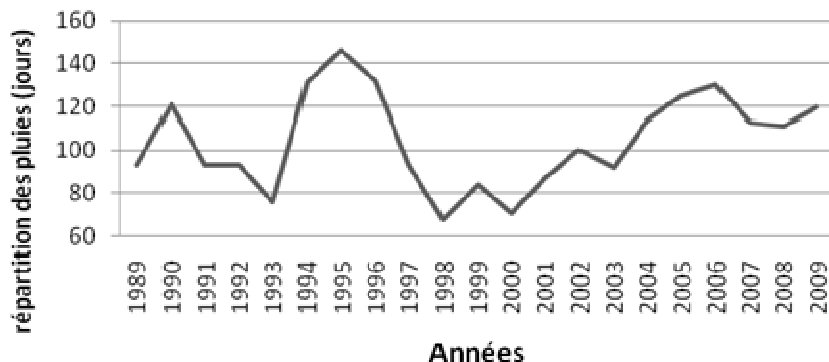


Figure 3 : Évolution de la répartition des pluies tombées à Tiko entre 1989 et 2009.

La pluviométrie a connu des variations interannuelles entre 1989 et 2009. La répartition des pluies oscille entre un minimum de 68 jours enregistré en 1998 et un maximum de 145 jours enregistré en 1995. Les

précipitations, quant à elles, ont varié entre un minimum de 425 mm en 2004 et un maximum de 3301 mm en 1990.

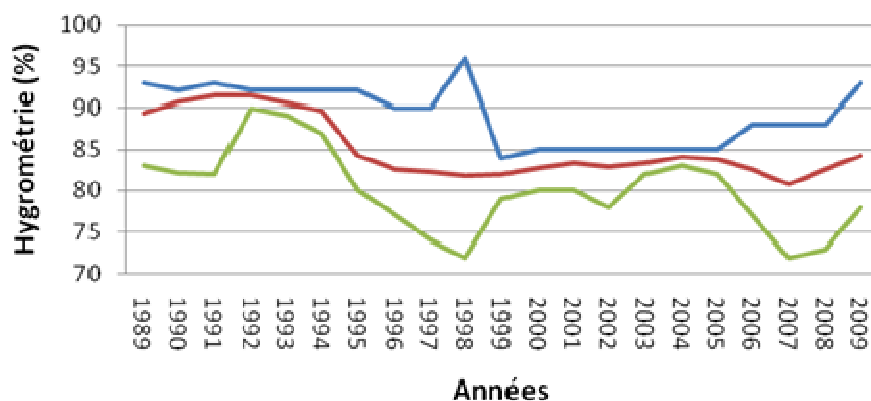


Figure 4 : Évolution de l'hygrométrie à Tiko de 1989 à 2009.

L'hygrométrie a connu des fluctuations interannuelles entre 1989 et 2009. Elle a varié entre 90% (1991) et 72% (1998 et 2007) pour les minima, puis entre 96%

(1997) et 84% (1998) pour ce qui est des maxima. Les valeurs hygrométriques sont comprises entre 80,75% en 2007 et 91,42% en 1991.

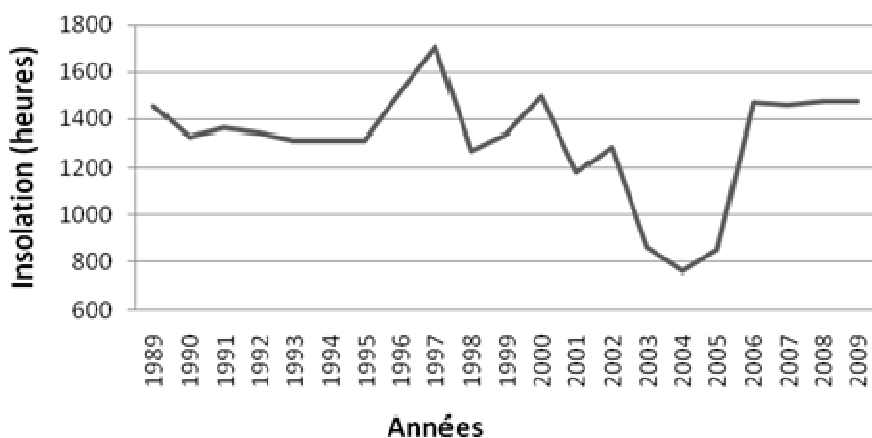


Figure 5 : Évolution de l'insolation à Tiko de 1989 à 2009.

Les mesures de l'ensoleillement enregistrées, entre 1989 et 2009, ont varié entre un minimum de 759,94 heures en 2004 et un maximum de 1706 heures en 1997.

Production

Comparaison des rendements entre les différents clones de 1989 à 2009 : De façon générale, les rendements des différents clones présentent des variations interannuelles importantes pendant la période de production considérée.

Clones RRIM600 et GT1 entre 1991 et 1996 : De 1991 à 1993, le clone RRIM600 a obtenu des rendements supérieurs à ceux du clone GT1. Mais cette tendance est inversée à partir de 1994. Il ressort une similitude dans le comportement de ces deux clones durant cette période. L'analyse de variance, au seuil de 5%, confirme en effet qu'il n'y a pas de différence significative entre les rendements de ces deux clones ($P=0,326$).

Clones GT1 et PB217 entre 1993 et 1998 : Dans l'ensemble, les rendements du clone PB217 sont plus

élevés que ceux du clone GT1, sauf en 1997 où le rendement du GT1 reste supérieur à celui du PB217. Cependant, il ressort de l'analyse de la variance qu'il n'existe pas de différence statistique significative entre les rendements des clones GT1 et PB217 ($P=0,080$).

Clones PB260 et PB217 entre 2001 et 2009 : De 2001 à 2006, le clone PR217 a donné de meilleurs rendements par rapport au clone PB260. Au-delà de cette période, les rendements du clone PB260 sont supérieurs à ceux du clone PB217, quoique l'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre ces données ($P=0,990$).

Clones RRIM600, GT1 et PB 217 entre 1993 et 1996 : Les rendements du clone PB217 sont plus élevés que ceux des clones GT1 et RRIM600 enregistrés durant cette période. Cette tendance est confirmée par l'analyse de variances qui révèle une différence significative entre les rendements des clones RRIM600, GT1 et PB217 de 1993 à 1996 ($P<0,001$).

Clones RRIM706, PB260, PR107 et PB217 de 2004 à 2009 : Les rendements du RRIM706 sont supérieurs aux rendements des autres clones, alors que les rendements du PR107 sont inférieurs à ceux des autres clones. En outre, les rendements du PB217 de 2004 à 2006 sont supérieurs à ceux du PB260, contrairement à la suite. En effet, l'analyse de la variance révèle une différence significative entre les rendements de ces clones ($P=0,003$).

Essai de modélisation des rendements en fonction des facteurs climatiques

Effets des facteurs climatiques de l'année en cours sur le rendement des clones

Recherche de variables significatives

L'analyse des régressions (seuil de 5%) ressort que la modélisation, par régression linéaire simple, n'est possible que pour le clone GT1 avec les variables « Humidité Relative moyenne » (HR_{moy}) et « Humidité Relative minimum » (HR_{min}).

Caractérisation des modèles

Les modèles obtenus des régressions linéaires simples entre le rendement du clone GT1 et les variables climatiques HR_{moy} et HR_{min} , prises individuellement, sont traduites par les relations suivantes :

- $RdtGT1 = -38,89HR_{moy} + 4246$, avec $R^2=0,615$
- $RdtGT1 = -23,06HR_{min} + 2748$, avec $R^2=0,523$

L'humidité relative moyenne et l'humidité relative minimum ont individuellement des effets négatifs sur le rendement du clone GT1. En effet, toute augmentation de ces deux variables climatiques entraîne une baisse du rendement de ce clone. La variable climatique HR_{moy} explique la variation de rendement du clone GT1 à

61,5%. Tandis que la variable climatique HR_{min} l'explique à 52,3%.

Effet des composantes climatiques de l'année antérieure sur le rendement des clones

Recherche de variables significatives

La modélisation, par régression linéaire simple avec les variables climatiques prises individuellement, n'est possible que pour le clone RRIM706 avec la variable « Humidité Relative moyenne », d'une part et le clone GT1 avec la variable « Répartition annuelle des pluies » (P_{jrs}), d'autre part.

Caractérisation des modèles

Les modèles obtenus entre les rendements des clones RRIM706 et GT1 en fonction de la variable climatique « Répartition annuelle des pluies », prise individuellement, sont traduites par les relations suivantes :

- $Rdt RRIM706 = -0,284 P_{jrs} + 1939$ avec $R^2 = 4E-05$;
- $Rdt GT1 = 6,187 P_{jrs} + 187,1$ avec $R^2 = 0,501$.

Concernant l'humidité relative moyenne, elle a un effet négatif sur le rendement du clone RRIM706 une année après. En effet, toute augmentation de l'humidité relative moyenne entraîne une légère baisse du rendement du dit clone un an après.

Enfin, la répartition des pluies a un effet positif sur le rendement du clone GT1. En effet, toute augmentation de cette variable entraîne une augmentation de son rendement l'année qui suit. Cette relation explique le rendement du clone GT1 à 50,1%.

Effet des composantes climatiques de deux années antérieures sur le rendement des clones

Recherche de variables significatives

La modélisation, par régression linéaire simple avec les variables prises individuellement, n'est possible que pour les clones PB217, avec la variable « Répartition annuelle des pluies », PB260 avec la variable « Température maximale » (T_{max}) et RRIM600 avec la variable « Humidité relative minimale ».

Caractérisation des modèles

Les modèles obtenus entre les rendements des clones PB217, PB260 et RRIM600 et les variables climatiques, prises individuellement, sont traduites par les relations suivantes :

- $Rdt PB217 = -12,17 P_{jrs} + 2849$ avec $R^2 = 0,374$;
- $Rdt PB260 = -634,3 T_{max} + 21273$ avec $R^2 = 0,567$;
- $Rdt RRIM600 = -73,35 HR_{moy} + 7282$ avec $R^2 = 0,789$.

La répartition annuelle des pluies a un effet négatif sur le rendement du clone PB217. En effet, lorsque la répartition annuelle des pluies augmente, le rendement du clone PB217 baisse. De plus cette relation explique les rendements du dit clone à 37%. Par ailleurs, la température maximale a un effet individuel négatif sur

le rendement du clone PB260. En effet, lorsqu'elle augmente le rendement du PB260 diminue. Cette relation explique le rendement de ce clone à 56,7%. Enfin, l'humidité relative a un effet négatif sur le rendement du clone RRIM600. Cette relation explique à 78,9% le rendement de ce clone.

DISCUSSION

Comme l'ont remarqué Gnanlé *et al.* (2011) les fluctuations climatiques sont perceptibles sur de longues périodes. L'analyse de la variation des rendements de l'hévéa en fonction des clones a montré l'existence de différences statistiques significatives dans le cas de la comparaison entre les clones RRIM600, GT1 et PB217, et dans le cas de la comparaison des rendements des clones RRIM706, PB260, PR107 et PB217. Ces différences s'expliquent par les caractéristiques intrinsèques de chaque clone. En effet chaque clone d'hévéa présente une adaptabilité propre aux conditions environnementales du site (Nepstad *et al.*, 2008 ; Yana, 2008). De plus, cette différence peut s'expliquer entre autre par l'hétérogénéité de la fertilité du sol de la plantation. L'analyse de la variation des rendements annuels des clones étudiés a fait ressortir des coefficients de variation compris entre 10% et 32%. Pour la même année, l'analyse de ces variations en fonction des variables climatiques prises individuellement a révélé que seul le rendement du clone GT1 peut être modélisé par des régressions linéaires simples avec les variables HR_{min} et HR_{moy} . Ces relations montrent que l'humidité relative minimum et l'humidité relative moyenne ont des effets individuels négatifs sur le comportement du clone GT1. L'influence négative de l'humidité relative sur le comportement du clone GT1, pour ce qui est du rendement, corrobore partiellement avec les résultats obtenus par Nguema *et al.* (2016). Ces auteurs ont montré que l'humidité relative a une influence positive sur le comportement du clone RRIM600 et une influence négative sur le rendement du clone PB86. L'humidité relative est impliquée dans le mécanisme d'écoulement du latex en limitant la transpiration de l'hévéa. En effet, la faible transpiration entraîne une augmentation de la pression hydrostatique dans les vaisseaux laticifères, favorable à l'écoulement du latex. Mais son influence négative sur le clone GT1 trouverait une explication dans les travaux de Niéto et Rodriguez (2007) qui arguent qu'une humidité relative élevée favorise les attaques fongiques sur l'hévéa. Pour ce qui est de l'influence des composantes climatiques d'une année sur la production de l'année suivante, l'analyse

des corrélations partielles a montré que seuls les rendements des clones RRIM706 et GT1 avec la variable répartition des pluies sont corrélés. Les relations, traduisant l'effet de cette variable sur les rendements de ces deux clones, obtenues par la régression linéaire simple, montrent que cette dernière a respectivement une influence négative et une influence positive sur le RRIM706 et le GT1. L'influence négative de la pluviométrie sur le rendement du clone RRIM706 confirme les observations de Nguema *et al.* (2016) sur le même modèle végétal sur la côte du Cameroun. L'explication tient du fait d'une exploitation difficile de l'hévéa en temps pluvieux. Cette pratique conduit à l'obtention d'un caoutchouc de qualité secondaire. S'agissant de l'influence des composantes climatiques d'une année sur le rendement de l'hévéa deux ans après, l'analyse des corrélations partielles a montré que la modélisation par régressions linéaires simples n'est possible que pour les clones PB217, PB260 et RRIM600. Les relations obtenues montrent que la « Répartition annuelle des pluies » a un effet négatif sur la production du clone PB217, la « Température maximale » fait régresser le rendement du clone PB260 et l'« Humidité relative » agit négativement sur la production du clone RRIM600. L'effet négatif de la température sur le clone PB260 est conforté par les travaux de Pautasso *et al.* (2010). Ces auteurs citent la température et la pluviométrie parmi les contraintes majeures à l'hévéaculture. L'influence négative de la température sur le rendement de l'hévéa pourrait trouver une explication dans le fait que ce paramètre limite l'écoulement du latex en favorisant la transpiration. Da Silva (2009), dans son étude portée sur l'impact économique des changements climatiques, note que les facteurs limitant pour la production végétale sont la sécheresse, l'excès d'eau et la basse température. En outre, ces facteurs ont pour conséquence l'allongement du cycle de production. Il serait ainsi important de déterminer les possibilités d'ajustement de la production suivant les facteurs les plus limitants. Des tests de saignées menées au Sénégal, dans la zone de production de gomme arabe, dans l'objectif de déterminer les conditions

climatiques optimales pour l'exploitation de *Acacia senegal* L. révèlent que l'homogénéité de l'exsudation du gommier est fortement liée à la variation des composantes climatiques (Dione et Vassal, 1993 ; Dione, 1996). Après avoir démontré la variation intra-annuelle et interannuelle des conditions climatiques, ces auteurs confirment l'hypothèse de l'amélioration de l'exsudation de la gomme par une meilleure synchronisation des saignées avec certaines

CONCLUSION

L'hévéaculture prospère en milieu tropical. Aujourd'hui, elle est la principale source de caoutchouc naturel dans le monde, utilisé comme matière première dans diverses industries. Au Cameroun, elle a généré des emplois et permis la fabrication d'un large éventail de produits manufacturés. Il ressort de cette étude, dans un premier temps, qu'il existe des fluctuations interannuelles des rendements de l'hévéa et des variations interannuelles de chaque variable climatique considérée. L'analyse des régressions linéaires simples traduisant le comportement de chaque clone d'hévéa en fonction des variables climatiques, prises individuellement, a révélé que ce modèle de prédiction des rendements n'est valable que pour le clone GT1 avec les variables HR_{min} et HR_{moy} , prises au cours de la même année. Les équations de prédiction ainsi obtenues montrent pour les valeurs minimales et moyennes de l'humidité relative, il existe des effets individuels négatifs sur le rendement du clone GT1. Pour les composantes climatiques enregistrées un an avant la production, la modélisation n'est possible que

composantes climatiques. La variabilité climatique au fil des années a une incidence réelle sur la fluctuation interannuelle de la production d'autres cultures pérennes comme le caféier et le cacaoyer (Kanohin et al., 2012) puis le cotonnier (Djohy et al., 2015), même si, selon Noufé et al. (2011) l'état actuel des conditions climatiques n'explique pas toujours la dynamique d'ensemble de production, chez le maïs, par exemple.

pour les clones RRIM706 et le clone GT1 avec la variable « Répartition annuelle des pluies ». Les modèles de prédiction ainsi obtenus montrent que cette variable influence négativement le rendement du clone RRIM706 mais a un effet positif sur le rendement du clone GT1. Pour ce qui est de l'influence des variables climatiques le comportement de l'hévéa deux ans après, la modélisation par régression linéaire simple n'a été respectivement possible que pour les clones PB217, PB260 et RRIMM600 avec les variables « Répartition annuelle des pluies », « Température maximale » et « Humidité Relative moyenne ». Les équations de régressions montrent que ces différentes variables ont des effets individuels négatifs sur ces différents clones. Ainsi, il apparaît évident que les variables climatiques et leurs fluctuations interannuelles ont des effets variés sur les rendements de l'hévéa. La limite dans la quantité des données a constitué une contrainte à l'étude et laisse imparfaits les modèles de prédiction proposés pour les rendements théoriques des hévéas.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Berg A. 2011. Représentation des cultures tropicales dans le modèle de surface continentale ORCHIDEE : apport à l'étude des interactions climat/agriculture. Thèse de Doctorat. Université Paris VI -Pierre et Marie Curie. 237 p.
- Chambon B, Eschbach JM, Plaza C, Gobina S, 2003. Diagnostic du secteur hévéicole villageois : modélisation de quelques exploitations agricoles de la province Sud-Ouest du Cameroun. Séminaire Olympe, Montpellier. Septembre 2003.
- Da Silva L, 2009. L'impact économique des changements climatiques sur l'agriculture canadienne. Mémoire de fin d'études. Maître ès sciences (M.Sc.). Sciences de la gestion (Option Économie Appliquée). HEC Montréal.
- Dione M, 1996. Recherches expérimentales sur le gommier *Acacia senegal* dans le Ferlo sénégalais. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, 150 p.
- Dione M and Vassal J, 1993. Étude expérimentale des modalités de la production gommère d'*Acacia senegal*. Rétrospective des programmes de développement gommier au Sahel sénégalais. In Natural Resources and Social Conflicts in the Sahel. Proceedings of the 5th Sahel Workshop, Sondborg, Danemark, 4-6 January 1993, 22-41.
- Djohy GL, Boï Wosso E, Kinzo NE. 2015. Variabilité climatique et production cotonnière dans la commune de Kandi au nord Bénin. XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège (Belgique).

- Gnanglè CP, Glèlè Kakäï R, Assogbadjo AE, Vodounnon S, Afouda Yabi J, Sokpon N. 2011. Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin. *Climatologie*. 8: 27-40.
- Jiang A, 1988. Climate and natural production of rubber (*Hevea brasiliensis*) in Xishuangbanna, southern part of Yunnan province, China. *International Journal of Biometeorology*. 32 (4): 280-282.
- Kanohin F, Saley Mahaman B, Aké GE, Savané I, Djé KB. 2012. Variabilité climatique et productions de café et cacao en zone tropicale humide : cas de la région de Daoukro (Centre-est de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 1 (2) : 194-215.
- Laubhann D, Sterba H, Reinds GJ, Vries W, 2009. The impact of atmospheric deposition and climate on forest growth in European monitoring plots: An individual tree growth model. *Forest Ecology and Management*. 258 (8): 1751-1761.
- Mahaman K, Barage M, Balla A, Adam T, Yamba B. 2011. Influence des fluctuations pluviométriques sur la saison agricole dans la zone géographique de Mayahi et Aguié au Niger. *Rev. CAMES - Série A*. 12 (2) : 170-175.
- Meredieu C, Dreyfus P, Cucchi V, Saint-André L, Perret S, Deleuze C, Dhôte JF, de Coligny F, 2009. La plateforme de simulation Capsis : exemples d'utilisation appliqués à la gestion. *Forêt-Entreprise*. 186 (5): 32-36.
- Michels T, 2001. "Petites et moyennes exploitations hévéicoles au Cameroun : systèmes de production, itinéraires techniques et stratégies. Diagnostic technicoéconomique, diagnostic agronomique et typologie". IRAD/CIRAD/Coopération française. Ekona. 101 p.
- Molua EL, Lambi CM, 2006. Assessing the impact of climate on crop water use and crop water productivity : The CROPWAT analysis of three districts in Cameroon. CEEPA Discussion Paper No. 33, Centre for Environmental Economics and Policy in Africa, University of Pretoria.
- Nepstad DC, Stickler CM, Soares-Filho B, Merry F, 2008. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term tipping point. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 363: 1737-1746.
- Nguema NP, Ondo OP, Ondo-Azi AS, Mouketou MA, Ondo OEV, Nkodo F, 2016. Incidence des fluctuations climatiques sur la production de l'hévéa (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) dans la zone côtière du Cameroun. *Afrique Science*. 12 (1) : 345 – 356.
- Niéto VM, Rodriguez J, 2007. *Hevea brasiliensis* L. Mull. Arg. Corporacion Nacional de Investigacion of Forestal Santafé de Bogota, Colombie.
- Noufé D, Lidon B, Mahé G, Servat E, Yao TB, Zueli KB, Chaléard JL, 2011. Variabilité climatique et production de maïs en culture pluviale dans l'est Ivoirien. *Hydrological Sciences Journal*. 56 (1) : 152-167.
- Pautasso M, Dehnen-Schmutz K, Holdenrieder O, Pietravalle S, Salama N, Jeger MJ, Lange E, Hehl-Lange S, 2010. Plant health and global change - some implications for landscape management. *Biological Reviews*. 85 (4): 729-755.
- Penot E, Deheuvels O. 2007. Modélisation économique des exploitations agricoles. Modélisation, simulation et aide à la décision avec le logiciel Olympe. L'Harmattan. Paris France.
- Sainte Beuve J, 2015. Natural Rubber : An opportunity to diversify the economy of African countries. Ares, CIRAD.
- Supat I, 2008. Fascicule de thèse du département Écologie des Forêts : Prairies et milieux aquatiques, INRA, Thaïlande.
- Yana B, 2008. Évaluation biophysique et gestion de la fertilité pour les cultures d'hévéa, palmier à huile, manioc et maïs : cas des terres d'extension de la SAFACAM à Dizangué, Mémoire de fin d'études, FASA, Dschang, Cameroun.
- Yegbembey RN, Afouda Yabi J, Aïhounon GB, Paraïso A. 2014. Modélisation simultanée de la perception et de l'adaptation au changement climatique : cas des producteurs de maïs du Nord Bénin (Afrique de l'Ouest). *Cahiers Agriculture*, 23 (3) : 177-187.