



Prévision de l'impact de la sécheresse climatique sur l'aire géographique du cacaoyer en Côte d'Ivoire

Prevision of the climatic drought impact on the geographical area of cocoa tree in Côte d'Ivoire

Marcel Kablan GUY^{1,*} et Lazare TIA^{1,2}

¹ Institut de Géographie tropicale (IGT), Equipe Interdisciplinaire de Recherche GéoRESBIO, UFR SHS, UFHB
01 BP V34 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

² Centre Suisse de Recherche Scientifique en Côte d'Ivoire (CSRS), 01 BP 1303 Abidjan 01

Auteur-correspondant*

Marcel Kablan GUY, E-mail: guy_123kablan@hotmail.fr

Institut de Géographie tropicale (IGT), Equipe Interdisciplinaire de Recherche GéoRESBIO

Résumé

Dans le contexte des variations climatiques, l'évolution de la sécheresse est susceptible d'avoir un impact sur l'aire géographique des espèces végétales notamment le cacaoyer. Pour une bonne adaptation de la plante à la sécheresse, il s'avère nécessaire d'avoir une meilleure connaissance de son évolution actuelle et future sur ses surfaces culturales. L'objectif de cette étude est d'analyser l'impact actuel et futur de la sécheresse climatique sur l'aire géographique du cacaoyer en Côte d'Ivoire. Pour ce faire, l'Indice Standardisé de Pluviométrie (SPI) et l'indice d'aridité de De Martonne ont été appliqués aux données mensuelles de la pluviométrie et de la température de 1960 à 2017 et sur des données de simulation du modèle MIROC-ESM aux horizons 2030, 2050 et 2080, sous les scénarios RCP 4,5 et RCP 8,5. Les résultats révèlent la persistance de la sécheresse climatique dans toutes les zones de production cacaoyères avec une prédominance des sécheresses modérées et fortes en dépit de quelques années humides. Les années 1986, 1998 et 2015 ont été les plus sèches de toute la période analysée. L'aire géographique actuelle favorable au cacaoyer correspond à l'ensemble des zones de production du pays. Toutefois, les cacaoyers dans les localités de l'Est et du Centre-est sont restés très sensibles à la sécheresse et posent d'ores et déjà des problèmes d'adaptation. Le modèle MIROC-ESM prédit une réduction de l'aire géographique du cacaoyer quel que soit le scénario utilisé, aux horizons 2030, 2050 et 2080. Par conséquent, si de véritables mesures d'adaptation ne sont pas mises en place, le développement du cacaoyer peut être sérieusement perturbé par la sécheresse à l'horizon 2080.

Mots clés: Aire géographique du cacaoyer, Côte d'Ivoire, Indice d'Aridité de De Martonne, Indice Standardisé de Pluviométrie, modèle MIROC-ESM, prévision climatique

Abstract

In the context of climatic variations, the evolution of drought is likely to have an impact on the geographical area of plant species, particularly the cocoa tree. For a good adaptation of the plant to drought, it is necessary to have a better knowledge of its current and future evolution on its cultivated areas. The objective of this study is to analyse the current and future impact of climatic drought on the geographical area of the cocoa tree in Côte d'Ivoire. To do so, the Standardised Precipitation Index (SPI) and De Martonne Aridity Index were applied to

monthly rainfall and temperature data from 1960 to 2017 and to simulation data from the MIROC-ESM model for the years 2030, 2050 and 2080, under the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios. The results reveal the persistence of climatic drought in all cocoa-producing areas with a predominance of moderate and severe droughts despite some wet years. The years 1986, 1998 and 2015 were the driest in the entire period analysed. The current geographical area favourable to cocoa trees corresponds to all the production areas of the country. However, cocoa trees in the eastern and central-eastern localities remained very sensitive to drought and are already facing adaptation problems. The MIROC-ESM model predicts whatever scenario is used, for the horizon of 2030, 2050 and 2080, a reduction in the geographical area of the cocoa tree. Therefore, if effective adaptation measures are not put in place, cocoa development may be seriously disrupted by drought by 2080.

Keywords: Cocoa geographical area, Côte d'Ivoire, De Martonne Aridity Index, Standardised Precipitation Index, MIROC-ESM model, climate prevision

1. INTRODUCTION

Les changements climatiques sont devenus ces dernières décennies l'une des principales menaces pour la survie des espèces végétales dans le monde. Ces modifications du climat constituent une question environnementale qui mérite une attention particulière en matière de planification, de diversification des productions agricoles et de conservation des espèces (GIEC, 2014 :37). En effet, ces variations climatiques qui se sont traduites par des phénomènes extrêmes telle que la sécheresse ont eu une incidence majeure sur l'aire géographique de nombreuses espèces végétales (Zonneveld et al., 2009 :26).

En Afrique de l'ouest, les phénomènes de sécheresse qui ont touché la plupart des pays dans la décennie 1970-1980 n'ont pas épargné la Côte d'Ivoire (Dibi Kangah, 2004 :143 ; Paturel et al., 1998 :945). Ceux-ci se sont manifestés par une baisse des hauteurs pluviométriques, un raccourcissement des saisons et un accroissement de la chaleur (Noufé et al., 2011 :159 ; Brou, 2005 :72). Ces phénomènes de sécheresse sont la cause de fortes baisses de croissance de nombreuses espèces végétales notamment le cacaoyer. Ils sont à l'origine de la réduction des zones appropriées à la cacaoculture qui autrefois possédaient de fortes aptitudes climatiques. Par conséquent, les conditions climatiques actuelles font que le cacaoyer ne peut se développer dans les régions

où la pluviométrie avoisine 1200 mm de pluies annuellement et une température moyenne de 28° C (Kassin et al., 2008 : 633).

Même si dans le contexte des variations climatiques le cacaoyer est parmi les espèces les plus étudiées en Côte d'Ivoire, les différents travaux entrepris ont très peu abordé l'impact de la sécheresse climatique sur son aire géographique. Aussi, apparaît-il indispensable de connaître les effets actuels de la sécheresse sur l'aire géographique du cacaoyer afin d'en déduire les surfaces culturelles propices à la plante dans les décennies à venir, pour assurer une production durable.

Quel est l'impact actuel et futur de la sécheresse climatique sur l'aire géographique du cacaoyer en Côte d'Ivoire ? La réponse à cette question centrale suscite les interrogations secondaires suivantes: quelles sont les caractéristiques de la sécheresse climatique dans les zones de production cacaoyères en Côte d'Ivoire de 1960 à 2020 ? Quelle est la cartographie de l'impact de la sécheresse climatique sur l'aire géographique actuelle du cacaoyer en Côte d'Ivoire ? Quelle sera la dynamique des surfaces culturelles du cacaoyer à l'horizon 2080 ?

Cette étude se propose d'analyser l'impact actuel et futur de la sécheresse climatique sur l'aire géographique du cacaoyer en Côte d'Ivoire.

L'approche méthodologique des analyses est basée sur l'Indice d'Aridité de De Martonne (IDM) et l'Indice Standardisé de Pluviométrie (SPI). L'aire géographique des espèces végétales correspond pour la plupart à un indice d'aridité supérieur ou égale à 30 (Lebourgeois et Piedallu, 2005 :339). La culture du cacaoyer est favorable aux régions où l'indice d'aridité est supérieur à 30. Tandis que, dans les localités où l'indice est inférieur à 30, la plante est beaucoup plus influencée par la sécheresse et donc pose des difficultés d'adaptation.

2. CADRE THEORIQUE

2.1 Approche conceptuelle

2.1.1 Sécheresse climatique

Du point de vue climatologique, la sécheresse peut se définir comme un comportement anormal mais récurrent du climat lié essentiellement à un déficit pluviométrique que reçoit une région sur une période de temps prolongée (Eldin, 1971 :92). Ses impacts résultent de l'interaction entre l'événement naturel (moins de précipitations que prévu) et la demande en eau des activités humaines. Ce phénomène implique donc un effet négatif et, dans le cas des végétaux, on parlera généralement de « stress hydrique » et de perte de rendement, de vitalité, de réduction de croissance voire de mortalité (Lebourgeois et Piedallu, 2005 :335). C'est le concept le plus important pour le gestionnaire car il joue un rôle fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers.

2.1.2 Effets de la sécheresse sur les espèces végétales

Les variations climatiques qui se traduisent par de fortes sécheresses ont des effets néfastes sur le stockage du carbone et sur sa contribution à la croissance radiale des arbres (Allen, 2009 :44). Ce phénomène de sécheresse entraîne un déficit hydrique du sol et conduit à une forte mortalité racinaire qui diminue les

capacités d'absorption d'eau de l'arbre (GIEC, 2014 :72). Dans les régions tropicales, les espèces végétales connaissent de fortes baisses de croissance et des mortalités élevées dues à la recrudescence de la sécheresse et à la hausse des températures (Allen, 2009 :46). Par ailleurs, sous l'effet du stress hydrique, les arbres réduisent au minimum le risque de cavitation par la fermeture des stomates entraînant des pertes d'eau à l'intérieur du xylème (McDowell et al., 2008 :728). Aussi, la fermeture des stomates empêche-t-elle l'émission du CO₂ dans le feuillage en réduisant la photosynthèse. Cela provoque la perte de la vitalité des espèces végétales soit par leur privation du carbone ou par les attaques des insectes ravageurs (McDowell et al., 2008 :730). Selon Thabeet (2008 :208), le manque d'eau lors des périodes de sécheresse conduit à l'augmentation de la vulnérabilité des espèces végétales qui se manifeste par une mortalité accrue de celles-ci.

2.2 Hypothèse de l'étude

La cacaoculture constitue en Côte d'Ivoire, l'une des cultures les plus importantes pour sa contribution de 15 % du Produit Intérieur Brut (PIB) et les nombreux emplois qu'elle offre à la population. Toutefois, cette culture reste tributaire des conditions climatiques, surtout de la sécheresse qui affecte son aire géographique. Sur la base de l'exacerbation des conditions de la sécheresse dans les décennies à venir, la présente étude atteste que leurs impacts actuels et futurs entraîneront une réduction considérable des aires géographiques de production du cacaoyer. Certaines localités initialement propices seront inaptes à la production du cacao.

3. MATERIEL ET METHODE

3.1. Présentation de la zone d'étude

L'espace d'étude renferme les différentes zones de productions de cacao localisées dans la moitié Sud de la Côte d'Ivoire (Figure 1).

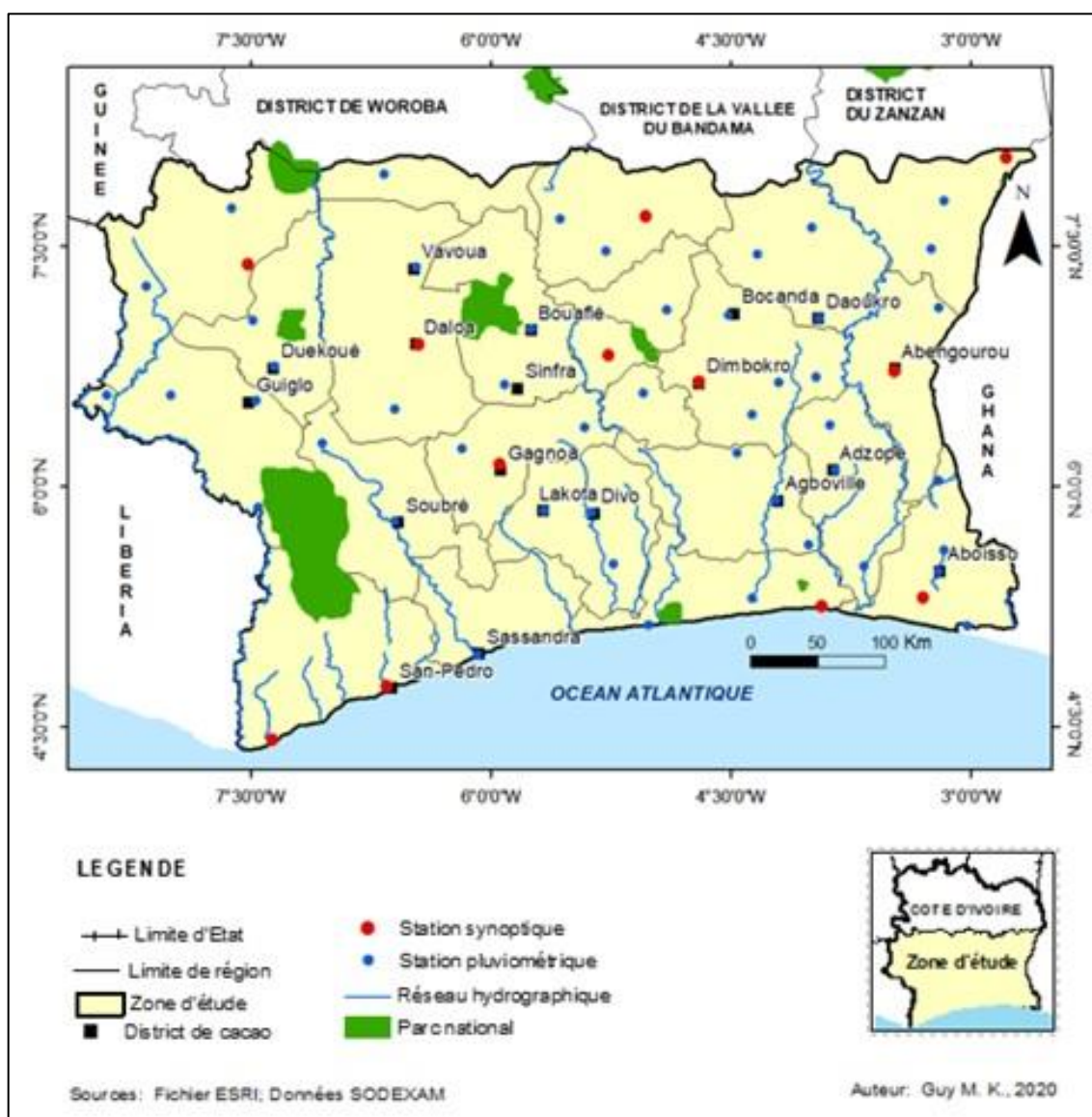


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Cet espace est caractérisé par un climat subéquatorial, à régime bimodal, avec une pluviométrie moyenne d'environ 1200 mm et une température moyenne de 28 °C. Dans la moitié sud forestière de la Côte d'Ivoire, les différents types de sols rencontrés sont généralement ferrallitiques et pourvus en matières organiques. La variété texturale de ces sols, commandant leur capacité de rétention en eau, imprime des variations floristiques profondes (Guillaumet et Adjanooun, 1971:167). Par ailleurs, la végétation de cette zone appartient au domaine guinéen dominée par la forêt dense humide.

3.2. Données utilisées

Deux types de données ont été utilisés, à savoir les données d'observation et les données de simulation. Les données climatiques d'observation proviennent de la Direction Météorologique Nationale (DMN /SODEXAM). Ces données au pas de temps mensuel portent sur deux variables climatiques, à savoir la pluviométrie et la température, et couvrent la période allant de 1960 à 2017. Le choix de ces bornes chronologiques se justifie d'abord par le fait que l'année 1960 marque le début du développement de la « Boucle du cacao » correspondant aux différentes aires de

productions cacaoyères en Côte d'Ivoire. Ensuite, dans le cadre d'étude du climat, la série de données à analyser doit être supérieure à 30 ans.

Au total, plus d'une trentaine de stations pluviométriques et une dizaine de stations synoptiques qui ont une meilleure représentativité des données climatiques ont été utilisées dans cette analyse (Figure 1). Les données couvrant la période de 2018 à 2020 ont été obtenues sur le site internet <https://www.worldclim.org/>, avec une résolution spatiale de 2,5 minutes d'arc de résolution, soit 4,5 km.

Des données de simulation du climat provenant des Modèles de Circulation Générale (MCG), préparées par le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat ont également été utilisées.

Le modèle MIROC-ESM a été utilisé. Il est basé sur un modèle climatique global, à savoir le Modèle Interdisciplinaire de Recherche sur le Climat élaboré conjointement par l'Université de Tokyo, l'Institut Nationale pour les Etude Environnementales (NIES) et l'Agence Japonaise pour les Sciences de la Terre et Technologies Marines (Balaghi et al., 2016 :4). Le choix de ce modèle se justifie par le fait qu'il prévoit une variabilité importante de la pluviométrie et des températures maximales et minimales proche des données historiques observables dans les différentes régions du monde. Les données mensuelles de la pluviométrie et de la température ont été prises librement sur le site internet <https://www.worldclim.org/> à 2,5 minutes d'arc de résolution spatiale.

En plus des données climatiques, des fichiers de forme portant sur les positions géographiques des grandes régions de production cacaoyères de la Côte d'Ivoire ont été utilisées. Le logiciel ArcGIS 10.3 (ESRI Inc.) a été utilisé pour l'analyse des différentes données géospatiales et la réalisation des cartes thématiques par la méthode de Krigeage. Le logiciel Microsoft Excel a permis la réalisation des tableaux et graphiques.

3.3 Méthodes d'analyse des données

3.3.1 Méthode d'Indice Standardisé des Pluviométries

L'Indice Standardisé des Pluviométries (SPI) a été utilisé pour évaluer la sévérité de la sécheresse dans les zones de production cacaoyères en Côte d'Ivoire. Cet indice mesure les écarts entre les hauteurs annuelles de pluie et la moyenne de la série par rapport à l'écart-type selon la formule (1) suivante:

$$SPI = \frac{Xi - \bar{X}}{\alpha} \quad (1)$$

SPI = Indice Standardisé des Pluviométries

Xi = Cumul de pluie par an

\bar{X} = Moyenne de la série

α = Ecart-type de la série

Selon la classification effectuée par Bergaoui et Alouini (2001 :208), le SPI permet de déterminer six classes en fonction du degré de la sécheresse (Tableau 1).

Tableau 1 : Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur de SPI

Classe du SPI	Degré de sécheresse
$SPI > 2$	Humidité extrême
$1 < SPI < 2$	Humidité forte
$0 < SPI < 1$	Humidité modérée
$-1 < SPI < 0$	Sécheresse modérée
$-2 < SPI < -1$	Sécheresse forte
$SPI < -2$	Sécheresse extrême

Source : Bergaoui et Alouini, (2001 : 208)

3.3.2 Détermination de l'indice de sécheresse

La détermination de l'indice de sécheresse permet de connaître la zone de production où la croissance du cacaoyer a été plus affectée sur la période de 1960 à 2020 et sur les périodes de simulation de 2030, 2050 et 2080.

L'indice de sécheresse I a été obtenu grâce à la formule (2) De Martonne (Lebouregois et Piedallu, 2005 :339) :

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (2)$$

Où P désigne la pluviométrie totale annuelle et T la température moyenne annuelle. Lorsque la valeur de I diminue, la sécheresse devient intense (augmentation de l'aridité). Dans les zones tropicales humides, la sécheresse est extrême lorsque $0 < I < 30$.

4. RESULTATS

4.1. Caractérisation de la sécheresse dans les zones de production cacaoyère

4.1.1. Analyse des tendances de la sécheresse climatique

L'analyse de l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI) révèle l'existence de nombreuses séquences sèches tout au long de la période analysée (Tableau 2). Cet indice a permis de caractériser la sévérité de la sécheresse dans les zones de production cacaoyère mais aussi de souligner l'existence d'une alternance entre les années sèches et les années humides. Au cours de la première trentenaire (1960 à 1989), les années humides sont dominées par des humidités extrêmes et fortes. Les valeurs moyennes de SPI sont généralement positives avec des valeurs extrêmes telles que 4,2 à Dimbokro, 3,2 à Aboisso et 2,9 à Gagnoa. Sur cette première période, des séquences sèches sont également observées avec des indices négatifs de -2 et -1,8 dans les zones comme Soubré et Divo.

Les années de sécheresse observées montrent que dans toutes les stations 70 % des séquences sèches sont modérées, 20 % sont fortes et 10 % sont extrêmement sévères. Les localités telles qu'Abengourou, Dimbokro, Divo, Gagnoa et Soubré ont connu plus d'années sèches, avec en moyenne des valeurs extrêmes de -1,7, que la plupart des zones de production cacaoyères.

Au cours de la période allant de 1990 à 2020, il est noté une prépondérance des années sèches avec 50 % d'années modérément sèches, 30 % d'années de sécheresses fortes et 20 % d'années de sécheresses extrêmes. Les localités de Bocanda, Bouaflé, Vavoua et Guiglo ont été les zones les plus sèches du sud forestier ivoirien, avec une intensification des années de fortes sécheresses.

Les valeurs moyennes des SPI obtenues dans ces localités sont toutes supérieures ou égales à -2. Toutefois, sur cette seconde période, certaines années ont été humides. La pluviométrie reste abondante sur certaines années mais avec des indices rarement supérieurs à 2, excepté la localité de Soubré qui a connu d'importantes hauteurs pluviométriques (3,4).

4.1.2 Indice d'aridité

L'analyse de l'évolution des valeurs moyennes de l'Indice d'Aridité de De Martonne (IDM) sur la période de 1960 à 2020 présente les années les plus arides survenues dans les zones de production cacaoyères de Côte d'Ivoire (Figures

Tableau 2 : Intensité de la sécheresse de certaines stations du sud-forestier ivoirien de 1960 à 2020

	Période	Localité de production cacaoyère										
		Aboisso	Abengourou	Daoukro	Dimbokro	Bocanda	Divo	Gagnoa	Bouaflé	Vavoua	Soubré	Guiglo
Séquences Sèches (%)	1960-1989	45 (-1,5)	48(-1,7)	48(-1,2)	37(-1,6)	37(-1)	44(-1,8)	51(-1,7)	37(-1,3)	34(-1,3)	62(-2)	48(-1,6)
	1990-2020	60 (-1,6)	55(-1,9)	59(-1,9)	70(-1,5)	52(-2)	66(-1,5)	62(-1,8)	59(-2,8)	66(-3,9)	55(-1)	55(-3,1)
Séquences Humides (%)	1960-1989	55 (3,2)	51(2,8)	52(2,8)	62(4,2)	62(1,2)	55(2)	48(2,9)	62(1,9)	65(1,7)	37(2,2)	51(3,1)
	1990-2020	40 (1,9)	44(0,78)	40(2,1)	29(1)	48(1,5)	33(1,2)	37(1,87)	40(1)	33(1)	44(3,4)	44(1,2)

Source : SODEXAM/ Traitements statistiques, Sept. 2020

2 et 3). Ces moyennes d'IDM révèlent une inégalité d'aridité entre les différentes années, due à l'irrégularité de la pluviométrie. Dans ces zones, les années 1981, 1983, 1986, 1998 et 2015 ont été les plus sèches de toute la période analysée. La plupart des indices obtenus sont inférieurs à 30, ce qui qualifie le caractère aride de ces années. Cependant certaines années telles que 1963, 1968 et 1996 restent des années extrêmement humides où la pluviométrie dans son ensemble a été abondante.

Au niveau de l'échelle mensuelle, les indices de De Martonne révèlent les mois secs survenus au cours de la série de 1960 à 2020 (Tableau 3). La saison sèche dure quatre mois (IDM < 20), de novembre à février dans les localités de Daoukro, Dimbokro, Bocanda, Bouaflé et Vavoua. Pour les sites de production de Guiglo, Abengourou et Aboisso, la saison sèche s'étend sur trois mois, allant de décembre à février. Les autres mois de l'année sont semi-humides, excepté le mois de juin où l'humidité est extrême (IDM > 55). Dans les localités de Divo, Gagnoa et Soubré, les mois les plus secs sont décembre et janvier. Dans toutes ces zones de production cacaoyère, le mois de janvier est le plus aride (IDM < 10) des 60 dernières années où la sécheresse a atteint une extrémité absolue. Cependant, les mois de juin et septembre sont les plus humides.

4.2 Cartographie de l'influence de la sécheresse sur l'aire géographique du cacaoyer

4.2.1 Impact de la sécheresse sur l'aire géographique du cacaoyer

L'évolution des valeurs moyennes de l'indice de De Martonne met en évidence la répartition de l'impact de la sécheresse sur l'aire géographique du cacaoyer dans la moitié sud forestière de la Côte d'Ivoire, sur des périodes de 20 années (1960 à 1979, 1980 à 1999 et 2000 à 2020). D'une manière générale, les indices d'aridité sont supérieurs à 30 dans toutes les zones de productions, au cours de la période de 1960 à

1979 (Figure 4). Cette situation révèle que les conditions climatiques conviennent à la croissance du cacaoyer à cette séquence. Les localités situées au Sud, au Sud-est et au Sud-ouest bénéficient d'excellentes aptitudes climatiques pour la culture du cacao. Les indices y sont toujours compris entre 30 et 40. Les zones de l'extrême Ouest du pays (Toulepleu, Danané) montrent de très bonne aptitude climatique avec l'indice d'aridité variant de 70 à 80, et même au-delà de 80.

Pour la période de 1980 à 1999, certaines zones présentant une bonne aptitude climatique pendant la première séquence sont marquées par la sécheresse. Il s'agit des localités de Daoukro, Bocanda, Dimbokro, Bouaflé et Vavoua (Figure 5). Dans ces régions aux indices les plus faibles (< 30), le cacaoyer est vulnérable à la sécheresse. Par ailleurs, dans la plupart de ces localités, la pluviométrie n'atteint pas le seuil de tolérance du cacaoyer (1200 mm), avec des pluies moyennes annuelles de 1073 mm à Daoukro, 1067 mm à Dimbokro, 1021 mm à Bocanda, 1096 mm à Bouaflé et 1054 à Vavoua, au cours de la période de 1980 à 1999.

Toutefois, les localités situées à l'extrême Ouest, au Sud-ouest et au Sud-est du pays sont restées moins sensibles aux effets de la sécheresse. Dans ces zones de productions, les conditions climatiques conviennent plus à la croissance du cacaoyer que dans la plupart des régions de productions en Côte d'Ivoire. A partir de l'année 2000 jusqu'à 2020, l'impact de la sécheresse sur l'aire géographique du cacaoyer en Côte d'Ivoire reste intense dans presque toutes les régions de production (Figure 6). Les localités de l'ancienne « Boucle du cacao » (Daoukro, Bocanda, Dimbokro, Bongouanou,..) restent très sensibles à la sécheresse, avec des indices toujours inférieurs à 30. La zone de production du Centre-ouest comprenant les localités de Divo, Lakota, Gagnoa, Bouaflé et Daloa est marquée par des sécheresses peu modérées avec des indices compris entre 30 et 40. En dépit de l'accroissement de la sécheresse dans les localités

de l'Ouest et du Sud-ouest, le cacaoyer est à même de s'adapter aux conditions climatiques avec des indices d'aridité qui varient de 70 à 50.

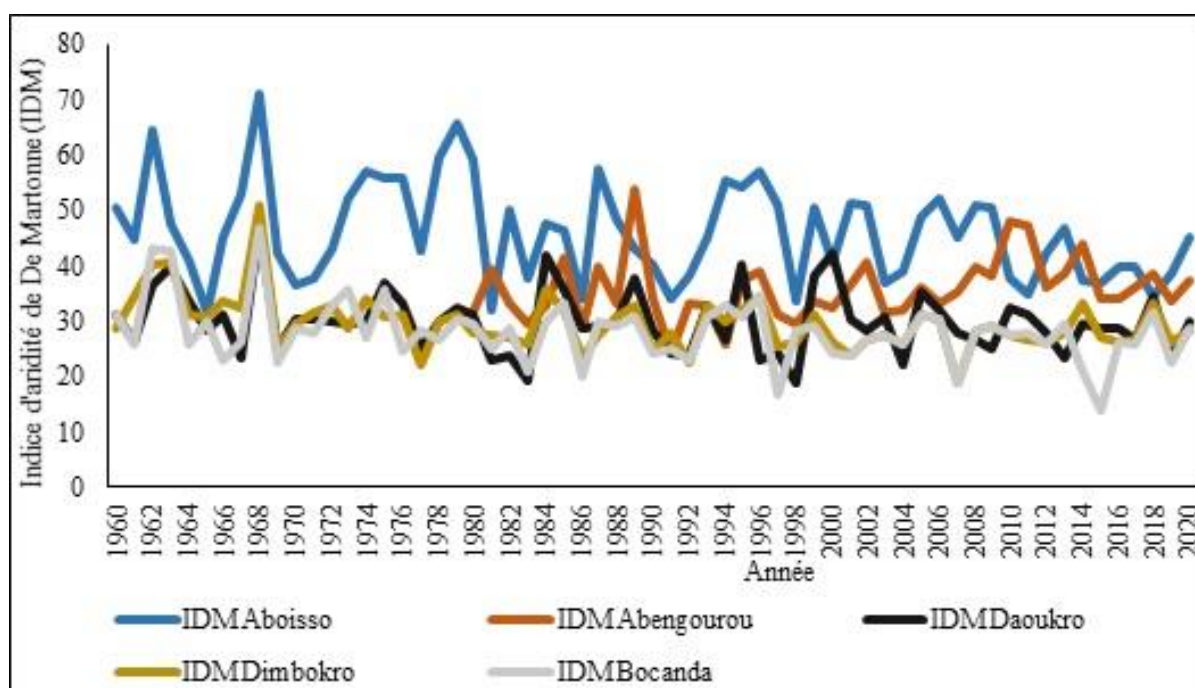


Figure 2 : Variation interannuelle de l'indice De Martonne des localités de production cacaoyères de l'est et du centre-est, de 1960 à 2020

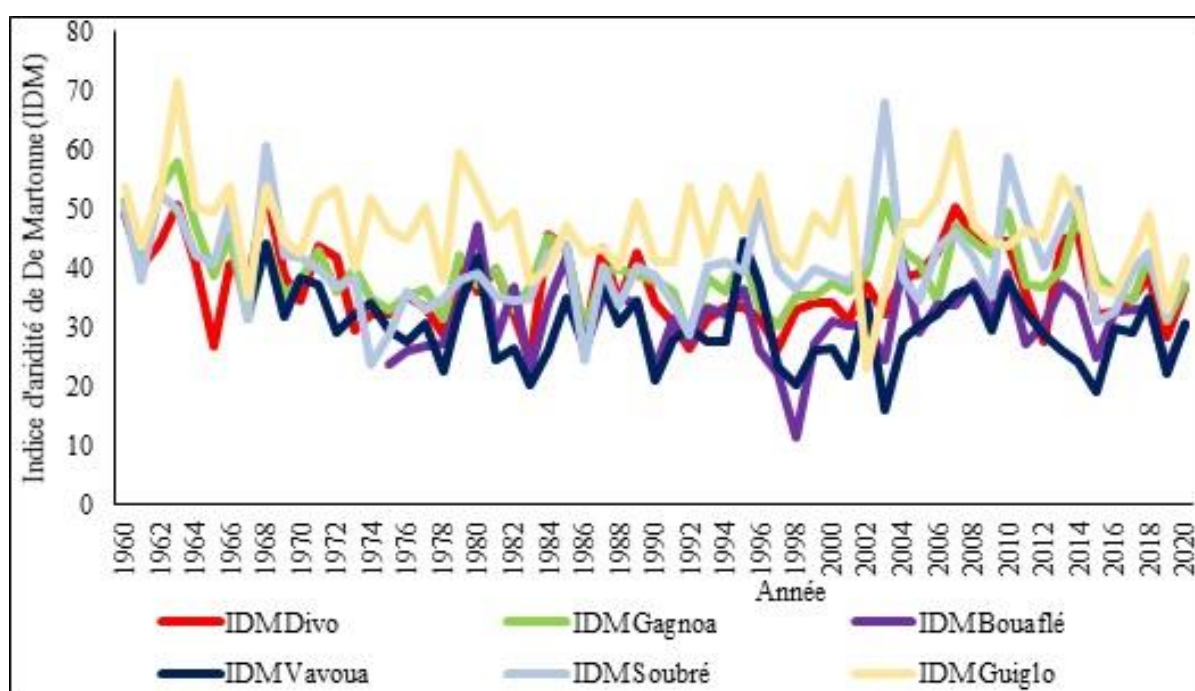


Figure 3 : Variation interannuelle de l'indice De Martonne des zones de production cacaoyères de l'ouest et du centre-ouest, de 1960 à 2020

Tableau 3 : Indice mensuel de De Martonne des zones de production cacaoyères, de 1960 à 2020

Localité	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Aboisso	9,2	17,8	32,2	48,8	64,8	114,7	63,1	30,7	40,37	57	36,38	15,8
Abengourou	2,63	17,5	36,2	54,5	56,2	68,3	44,8	23,9	44,8	54,5	20,2	7,96
Daoukro	3,4	12,7	32,6	43,6	46,7	57,4	29,8	23,4	39,2	42	14	3
Dimbokro	4,5	13,8	33,5	40,8	47,9	59,6	32,1	23,1	36,9	37,6	14,6	5,8
Bocanda	2,7	13,3	29,5	41,7	44	53	25,4	25,1	41,6	38,3	13,3	3,5
Divo	5,9	22,2	39,6	53,6	54,6	76	39,4	27,8	41,5	41,3	26,4	13,8
Gagnoa	7,6	22,3	40,8	58,2	59,6	65,5	31,2	29,6	51,5	52,2	34,4	11,1
Bouaflé	3,1	16,7	33,7	44,4	49,7	49,6	31,6	33,1	50,8	34,3	15,3	4,5
Vavoua	4,58	14,4	28,7	38,9	38,8	37,4	32	46,6	64,7	34,6	10,4	3,5
Soubré	6,8	18,4	38,4	51,6	53,1	72,9	53,5	63,5	96,4	62,6	20,8	13,9
Guiglo	6,98	24,1	41,9	46	54,9	70,5	34,9	38,9	59,8	54,7	35,7	13

Source : SODEXAM/ Traitements statistiques, Sept. 2020

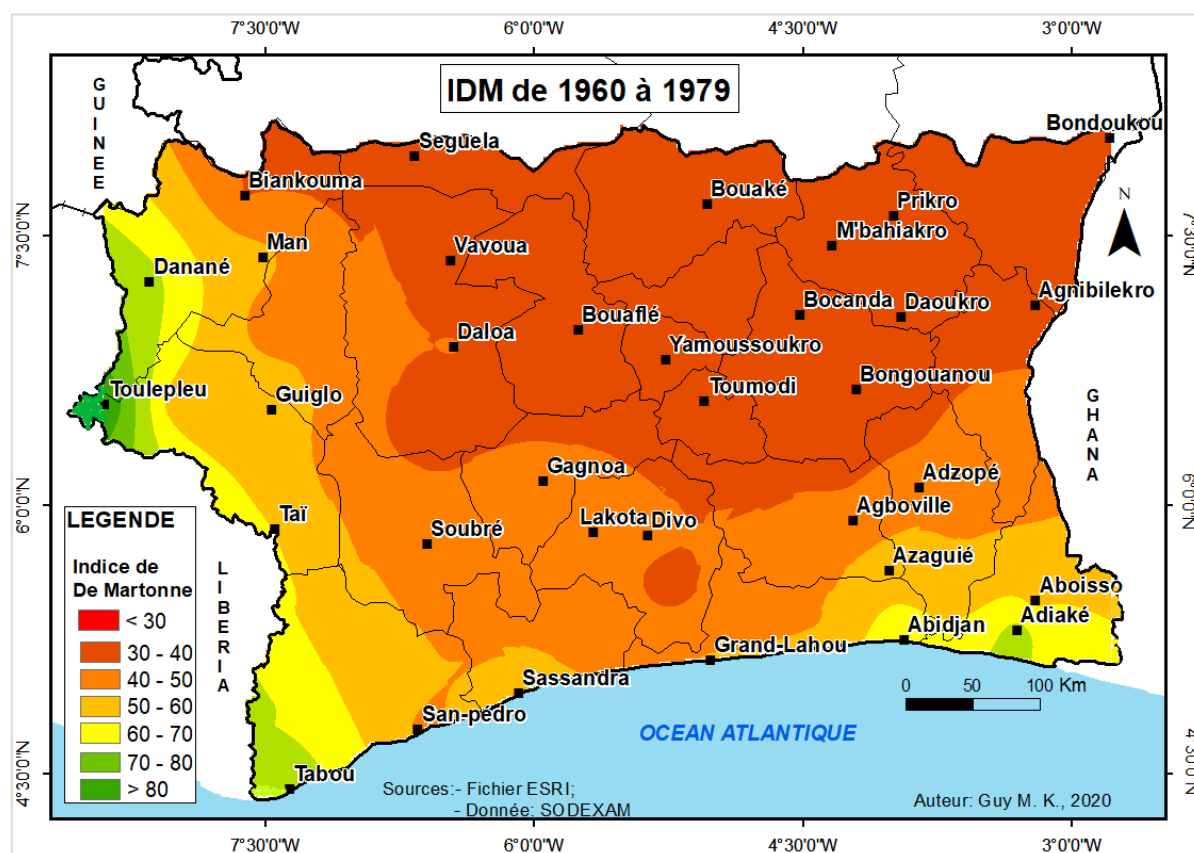


Figure 4 : Distribution spatiale de l'influence de la sécheresse sur l'aire géographique du cacaoyer, de 1960 à 1979

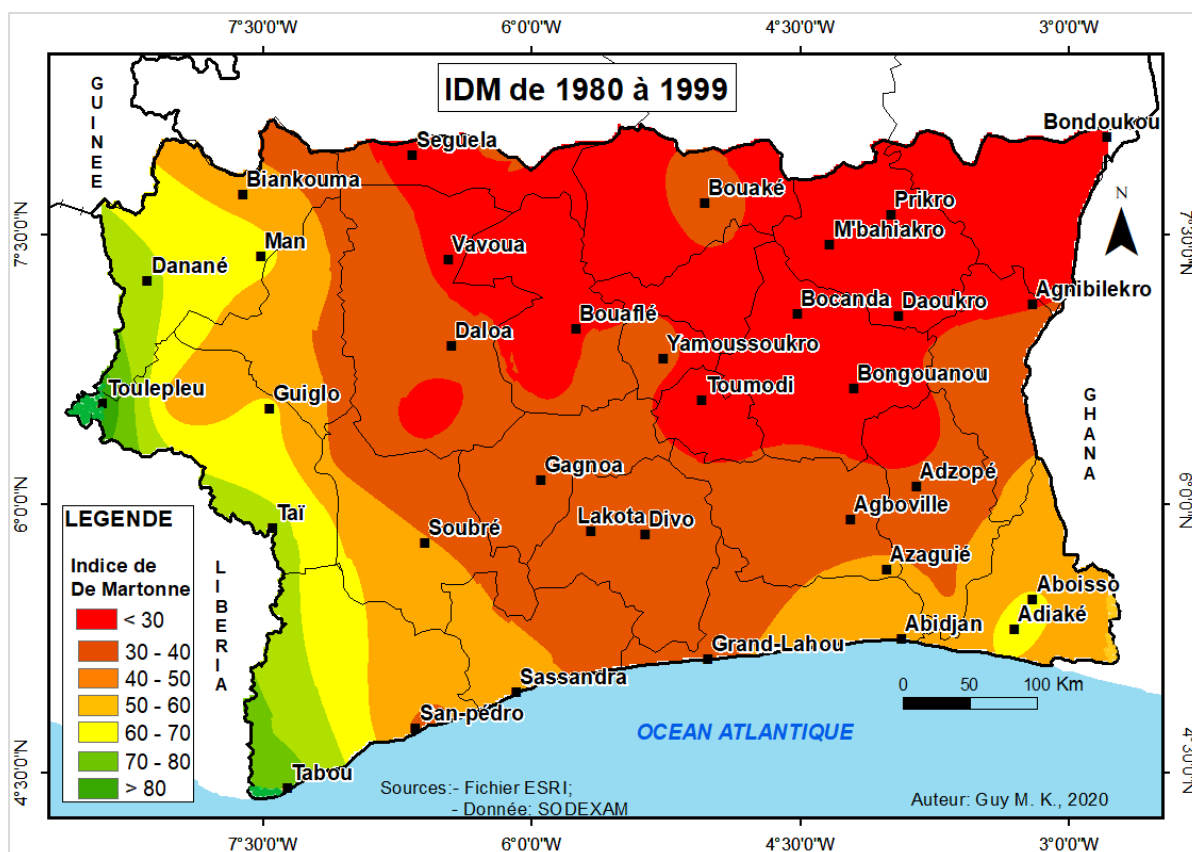


Figure 5 : Distribution spatiale de l'influence de la sécheresse sur l'aire géographique du cacaoyer, de 1980 à 1999

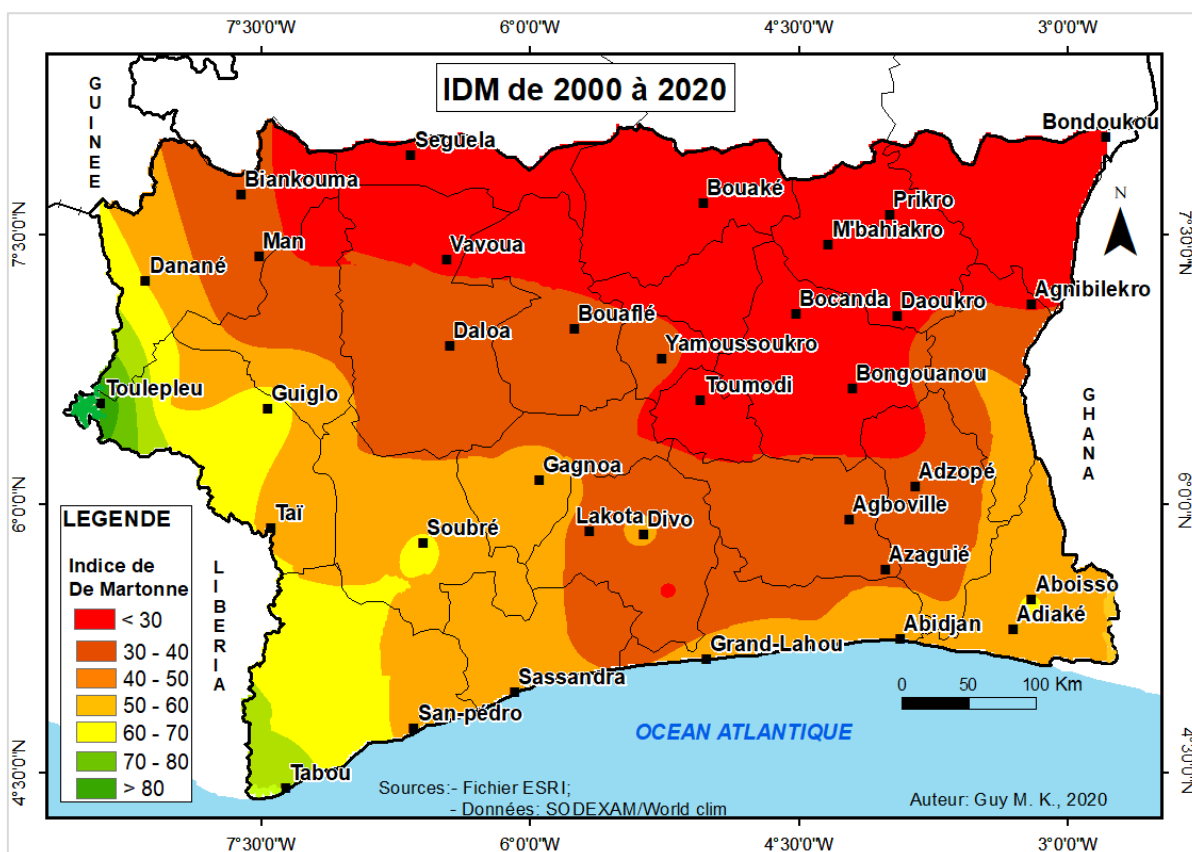


Figure 6 : Distribution spatiale de l'influence de la sécheresse sur l'aire géographique du cacaoyer, de 2000 à 2020

4.2.2 Prévision de l'impact de la sécheresse sur l'aire géographique du cacaoyer

Au cours des décennies à venir, c'est-à-dire 2030, 2050 et 2080, la sécheresse impactera les surfaces de production cacaoyère en Côte d'Ivoire (Figures 7, 8 et 9). En effet, d'ici 2030, les hauteurs pluviométriques seront plus réduites dans toutes les zones de production et seront associées à une augmentation des températures moyennes. Cette situation entraînera des conditions de sécheresse plus extrêmes qui auront des effets substantiels sur la production de biomasse et les étapes de la reproduction du cacaoyer. A cet effet, l'aire géographique du cacaoyer correspondra à des localités où l'indice de sécheresse est compris entre 30 et 40, notamment celles du Sud-ouest, de l'Ouest et du Centre-ouest selon les deux scénarios RCP4,5 et RCP8,5. Les zones de production de l'Est (Abengourou, Agnibilékro...) et du Centre-est (Bongouanou, Daoukro, Dimbokro...) seront peu favorables au développement de la cacaoculture.

D'une manière générale, à partir de 2050, la quasi-totalité des zones de production actuelles ne se prêteront pas à la cacaoculture. En effet, les surfaces culturelles des zones de l'Est, du Centre-ouest et du Sud du pays seront les plus menacées. Par ailleurs, le RCP4,5 prévoit que l'aire géographique du cacaoyer des localités de l'extrême Ouest du pays, tout le long de la dorsale guinéenne s'adaptera aux impacts de la sécheresse. Toutefois, selon le RCP8,5, la plupart des surfaces culturelles subiront les effets de la sécheresse avec l'indice de De Martonne des zones aptes qui sera compris entre 30 et 40.

Au cours de la période de 2080, l'impact de la sécheresse se très marqué dans presque toutes les localités de production du cacaoyer quel que soit le scénario utilisé. Le cacaoyer ne pourra plus s'adapter aux conditions climatiques de certaines localités, notamment celles de la « Boucle du cacao » de l'Est (Aboisso, Abengourou, Daoukro, Bocanda, Dimbokro, Bongouanou...) et du Centre-ouest (Divo,

Gagnoa, Bouaflé, Vavoua, Sinfra, Oumé...). Les indices de sécheresse dans ces localités restent en dessous de 15 ; ce qui explique la vulnérabilité de ces zones à la production cacaoyère.

Les localités qui longent la dorsale guinéenne connaîtront des sécheresses modérées avec des indices d'aridité compris entre 30 et 40 selon le scénario RCP4,5 .

5. DISCUSSION

La prévision de l'impact de la sécheresse sur l'aire géographique du cacaoyer a été étudiée aux moyens de l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI) et l'Indice d'Aridité de De Martonne. Ces deux indices qui ont été largement utilisés par de nombreux auteurs dans leurs travaux pour évaluer la sécheresse (Ba Daouda, et al., 2018 : 68 ; Radouan et al., 2018 : 186 ; Faye et al., 2015 : 30 ; Bedoum et al., 2014 : 23) ont permis d'estimer la durée de la sécheresse et de son intensité dans les zones de productions cacaoyères. Dans la présente étude, l'application du SPI a révélé une baisse des hauteurs pluviométriques dans toutes les stations et la persistance des périodes de sécheresses modérées, fortes et extrêmes de 1960 à 2020. Ces résultats sont conformes à ceux de nombreux auteurs qui indiquent tous une baisse significative de la pluviométrie en Côte d'Ivoire, à travers l'existence d'une alternance entre les années sèches et les années humides (Kanohin et al., 2012 :214, Noufé et al., 2011 :158 :, Brou, 2005 :72). Pour ces auteurs, la présence de la sécheresse en Côte d'Ivoire se situe généralement pendant la décennie 1970-1980, période marquée par une chute significative de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest. Les séquences sèches observées au cours de cette période sont pour la plupart des sécheresses modérées et fortes. Selon Noufé et al., (2011 :157), ces séquences sèches nées du déficit pluviométrique se sont accrues durant les décennies qui ont suivi l'année 1980 dans des localités de l'Est du pays.

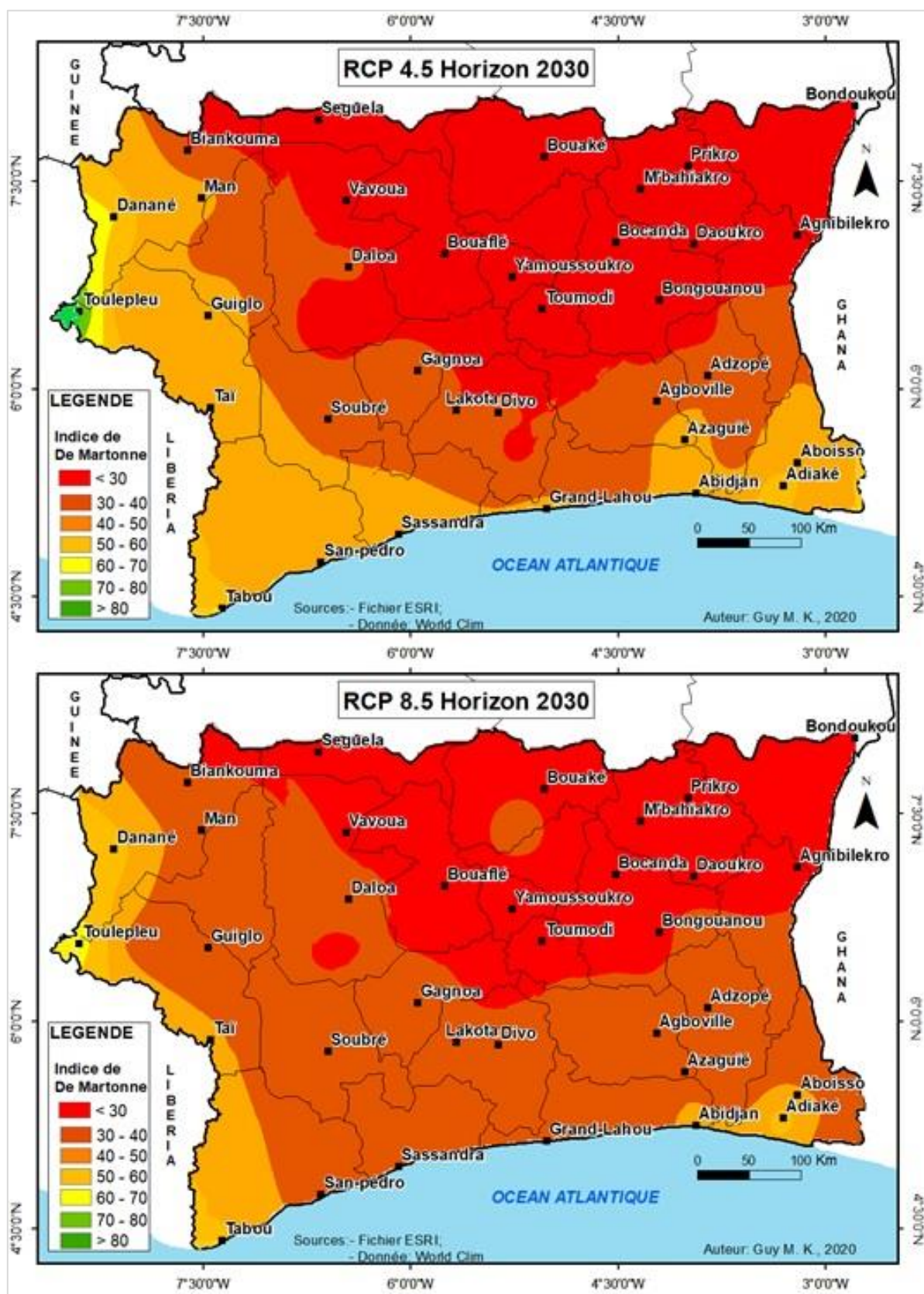


Figure 7 : Prévision de l'impact de la sécheresse sur l'aire géographique du cacaoyer à l'horizon 2030

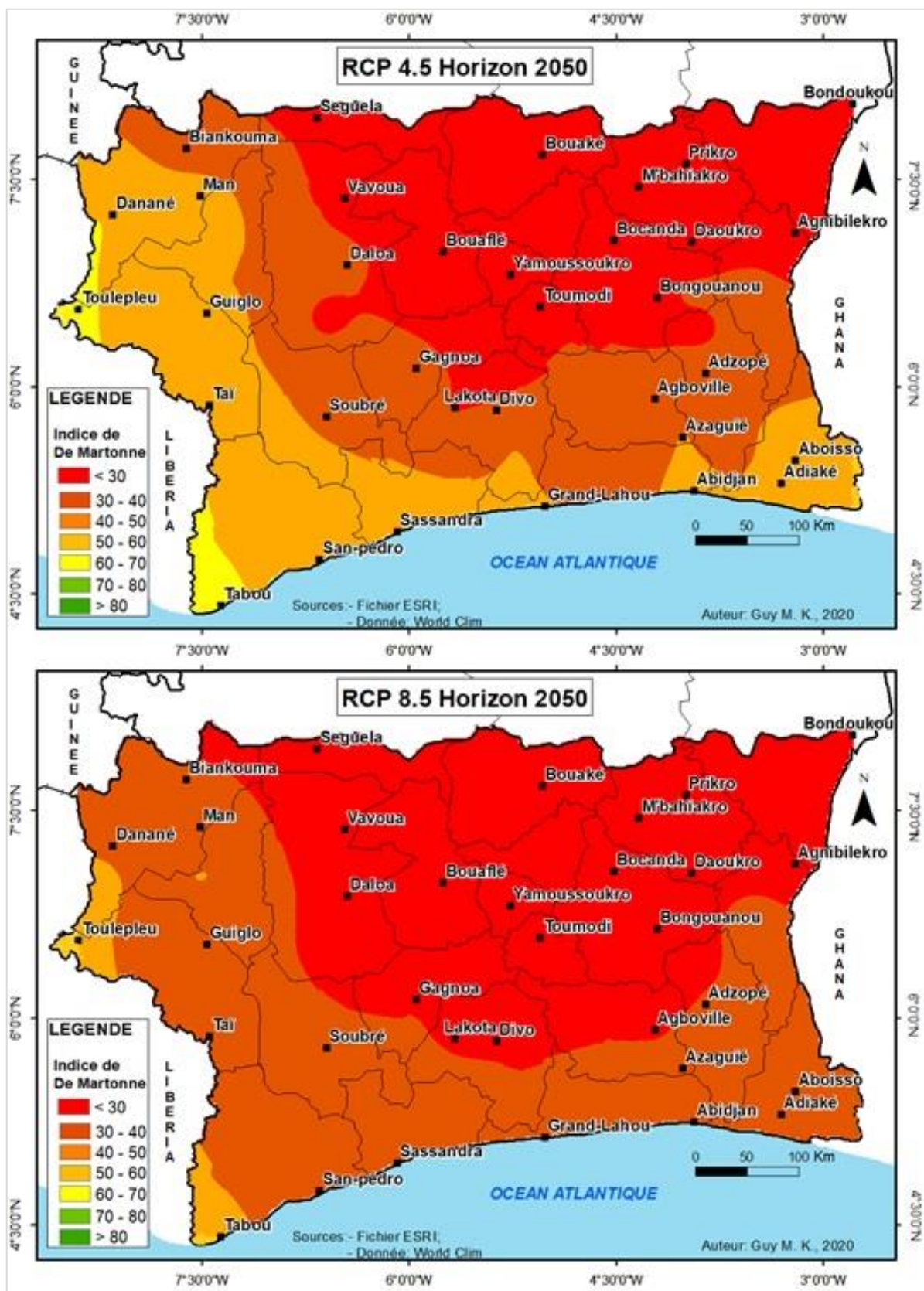


Figure 8 : Prévision de l'impact de la sécheresse sur l'aire géographique du cacaoyer à l'horizon 2050

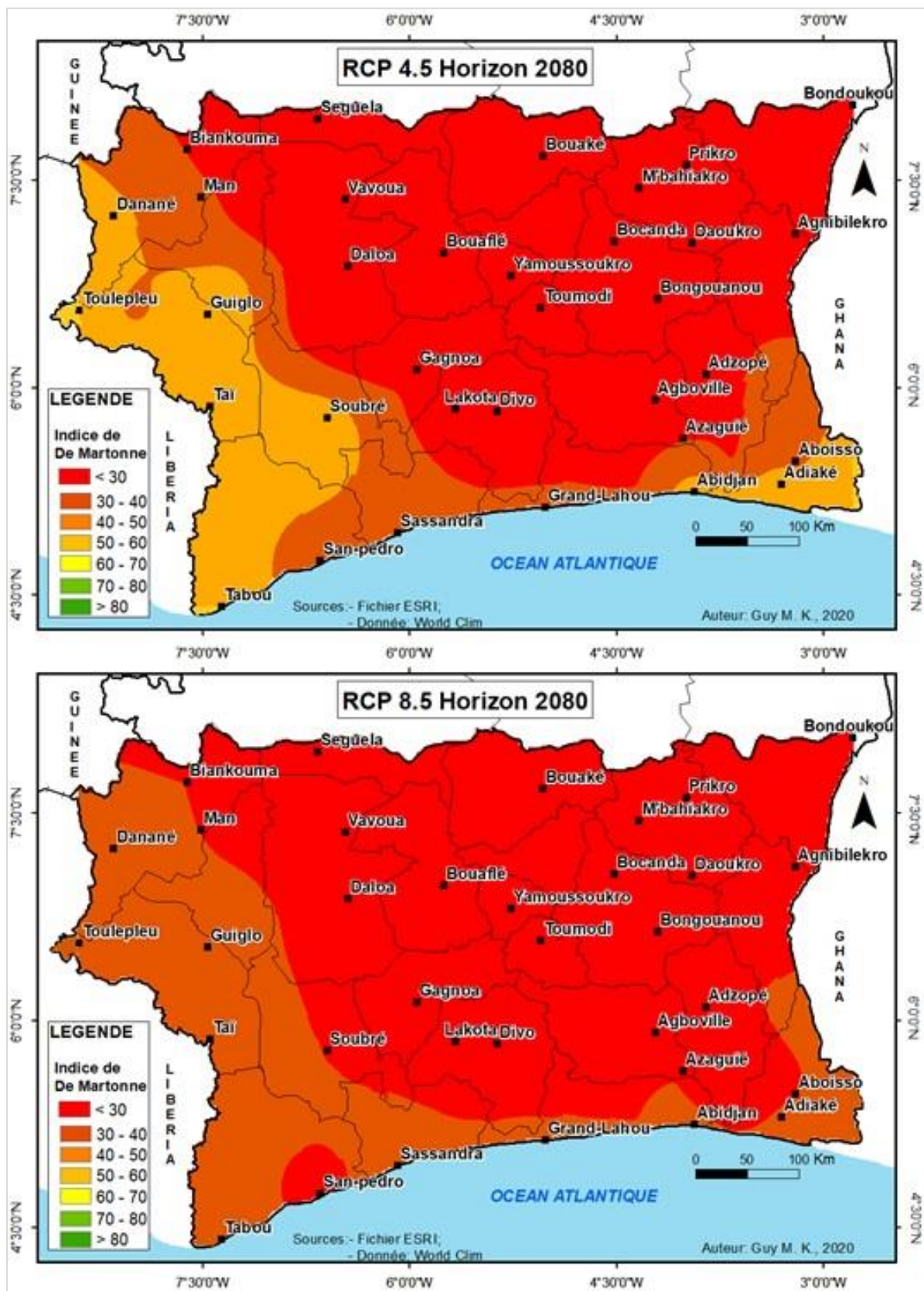


Figure 8 : Prévision de l'impact de la sécheresse sur l'aire géographique du cacaoyer à l'horizon 2080

Il en est de même avec les localités d'Abengourou, Dimbokro, Bocanda et Daoukro qui ont connu les séquences sèches les plus remarquables de toutes les zones de production de cacao en Côte d'Ivoire. Dans ces localités, les séquences sèches ont été longues et répétitives au cours des trois dernières décennies qui ont suivi la période de 1970 à 1980 et ont entraîné d'énormes impacts sur la production du cacao (Kanohin *et al.*, 2012 :214).

En outre, l'utilisation du SPI a permis d'établir la durée exacte de la sécheresse et de définir son intensité. Selon une étude menée par N'diaye *et al.*, (2015 :197), le SPI a permis de définir une alternance entre les séquences humides et sèches et d'estimer la durée et l'intensité de la sécheresse dans les localités d'Ayamé, Bianouan et Agnibilékro. D'après les résultats obtenus par ces auteurs, l'importante réduction des hauteurs pluviométriques dans le bassin de la Bia se caractérise par des sécheresses modérées (-11 % de baisse de pluie) qui ont persisté sur une période de 39 ans.

L'utilisation de l'indice de De Martonne dans la présente étude confirme la présence de la sécheresse au cours de la période analysée (1960 à 2020) en révélant les années les plus arides survenues dans les zones de production cacaoyères en Côte d'Ivoire. Une inégalité d'aridité est observée entre ces différentes années due à l'irrégularité de la pluviométrie. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Ba Daouda *et al.*, (2018 :66). Se basant sur les indices de De Martonne, ces auteurs ont indiqué une importante variabilité de la pluviométrie marquée par l'évolution de la sécheresse dans la vallée du fleuve Sénégal. En plus, Mokhtari *et al.*, (2014 :65) l'ont utilisé pour montrer qu'en milieu sahélien, la répartition de la végétation était bien corrélée avec les variations d'indice d'aridité. Selon ces auteurs, l'utilisation de l'IDM reste très satisfaisante du fait qu'il a permis de définir les degrés de sécheresse au Maroc et de les mettre en liaison avec différentes espèces végétales. Pour Lebourgeois et Piedallu, (2005 : 339), l'IDM est

l'un des indices d'aridité les plus utilisés dans la répartition des essences.

Dans la présente étude, l'IDM a également été utilisé pour évaluer l'impact de la sécheresse sur la répartition de l'aire géographique du cacaoyer. Il en ressort que la sécheresse entraîne une réduction de l'aire géographique du cacaoyer. La persistance de ce phénomène provoquera selon la simulation du climat futur à l'horizon 2080, l'inaptitude des surfaces culturelles actuelles à la cacaoculture. Les résultats de cette simulation du climat, sont conformes avec ceux des auteurs comme Kouamé *et al.*, (2019 :18) et Balliet *et al.*, (2011 :23). Leurs conclusions corroborent la thèse de la baisse importante des hauteurs pluviométriques qui s'accompagnera de la hausse des températures d'ici les décennies à venir. Bien que, ces travaux se sont appuyés sur des modèles climatiques différents de ceux utilisés dans la présente étude, les résultats obtenus prédisent la persistance de la sécheresse d'ici 2080. En plus, Balaghi *et al.*, (2016 :10) ayant utilisé le même modèle MIROC-ESM ont montré dans leurs travaux l'impact du climat à venir sur l'aire géographique des cultures du blé, de l'orge et de l'olivier au Maroc.

Dans la prévision de la sécheresse sur l'aire géographique des espèces végétales, Claessens et Thibaut (1995 :10) ont utilisés l'IDM dans la répartition de l'aire naturelle du Douglas. Les résultats de leurs travaux attestent que les indices d'aridité sont compris entre 14 et 37 pour la période de stress de la végétation, et entre 5 et 28 pendant certains mois de l'année. Les travaux de Laaidi (1997 :24) ont montré également que la répartition du Caroubier, du Myrte et du Lentisque était bien corrélée avec les variations d'indice d'aridité. Ainsi, la réduction de l'aire de ces essences correspond aux indices les plus faibles (< 30), alors que les essences aptes à certains endroits sont associées aux plus fortes valeurs (> 45).

6. CONCLUSION

Les phénomènes de sécheresse qui se sont produits en Afrique subsaharienne au milieu du XIX^e siècle ont entraîné une altération de la croissance radiale de nombreuses espèces végétales, conduisant à des modifications de l'aire géographique de ces espèces. C'est pour analyser l'importance de tels impacts de la sécheresse sur l'aire géographique actuelle et future du cacaoyer en Côte d'Ivoire que la présente étude a été menée. Les résultats obtenus grâce à l'application de l'Indice Standardisé de Pluviométrie (SPI) et de l'Indice de De Martonne révèlent la présence de la sécheresse avec un caractère modéré et fort dans toutes les localités de production cacaoyères.

Les conditions climatiques ont été particulièrement difficiles au cours des années 1986, 1998 et 2015. L'étude atteste que les surfaces culturales actuelles sont favorables dans l'ensemble des localités de production cacaoyère en Côte d'Ivoire. Néanmoins, les zones de production situées à l'Est et au Centre-est du pays sont restées très sensibles à la sécheresse avec de véritables problèmes d'adaptation.

La prédiction aux horizons 2030, 2050 et 2080 par le modèle MIROC-ESM sous les scénarios RCP 4,5 et RCP 8,5 révèle une modification importante de l'aire géographique du cacaoyer en Côte d'Ivoire. Par conséquent, il est opportun de prendre les dispositions utiles pour assurer une production durable de la cacaoculture dans les décennies à venir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALLEN Graig, 2009, « Le dépérissement des forêts dû au climat : un phénomène planétaire croissant », *Unasya*, vol. 60, n°232, pp. 43-48
- ELDIN Michel, 1973, « Le Climat de Côte d'Ivoire », In : AVENARD Jean Michel, ELDIN Michel, GIRARD Georges, SIRCOULON Jacques, TOUCHEBEUF P., GUILLAUMET Jean Louis, ADJANOHOON Edmond (Ed.), *Milieu naturel de Côte d'Ivoire*, Paris, ORSTOM, pp.77-108.
- BA DAOUDA Djibrirou, NDIAYE Malick Papa, FAYE Cheickh, 2018, « Variabilité pluviométrique et évolution de la sécheresse climatique dans la vallée du fleuve Sénégal », *Revue Togolaise des Sciences*, vol. 12, n°1, pp.57-71
- BALLIET René, SALEY Bachir, EBA Anowa, AKE Gabriel, SOROKOBY Vano, KOUAKOU Yao, N'DRI Akon, 2011, « Comportement du climat futur en Côte d'Ivoire : cas de la région du Gôh, Centre-ouest de la Côte d'Ivoire », *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol.25, n°1, pp.220-234
- BALAGHI Riad, EL HAIRECH Tarik, KHATRI Said, 2016, *Cartes de vulnérabilité de l'agriculture au changement climatique au Maroc*, Rabat, Rapport INRA projet Accgrimag, 36p
- BEDOUM Abdoulaye, BIONA Bouka Clobite, ALLADOUM Mbanghuguinan, ADOUM Issak, OHOUTOU Ba Laohoté, 2014, « Impact de la variabilité pluviométrique et de la sécheresse au Sud du Tchad : Effets du changement climatique », *Revue Ivoir. Sci. Technol*, vol.23, n°1, pp. 13-30
- BERGAOUI Mohamed et ALOUINI Aws, 2001, « Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : cas du bassin versant de Siliana en Tunisie », *Sècheresse*, vol. 12, n° 4, p. 205- 213.
- BROU Yao Télésphore, 2005, *Climat, mutation socio-économique et paysages en Côte d'Ivoire*, Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches,

- Lille, université des sciences et techniques de Lille, 226 p.
- CLAESSENS Hugues et THIBAUT André, 1995, « Le point des facteurs écologiques de production du Douglas dans le sud du sillon Sambre et Meuse. », *Silva Belgica*, vol.102, n°3, pp7-14
- DIBI KANGAH Agoh Pauline., 2004, *Rainfall and Agriculture in Central West Africa since 1930*, Norman-Oklahoma, Université d'Oklahoma, Thèse de Doctorat, 271p.
- FAYE Cheickh, SOW Abdoul Amadou, NDONG Jean Baptiste, 2015, « Etude des sécheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal », *Physio-Géo*, vol. 9, n° 1, pp.17-35
- GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), 2014, *Bilan 2014 des changements climatiques*, Cinquième rapport d'évaluation, Genève, Suisse, 100p.
- GUILLAUMET Jean Louis et ADJANOHOUNE Edmond, 1973, « La végétation de la Côte d'Ivoire », In : AVENARD Jean Michel, ELDIN Michel, GIRARD Georges, SIRCOULON Jacques, TOUCHEBEUF P., GUILLAUMET Jean Louis, ADJANOHOUNE Edmond (Ed.), *Milieu naturel de Côte d'Ivoire*, Paris, ORSTOM, pp.77-108.
- KANOHIN Fulvie, BACHIR Saley, AKE Gabriel, SAVANE Issiaka, DJE Kouakou, 2012, « Variabilité climatique et productions de café et de cacao en zone tropicale humide : cas de la région de Daoukro », *International journal of innovation and applied studies*, vol.1, n°2, pp.194-215.
- KASSIN Koffi Emmanuel, DOFFANGUI K., KOUAME B., GBALLOU Yoro René, ASSA Assiri, 2008, « Variabilité pluviométrique et perspective de réplantation cacaoyère dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire », *Journal of Applied Biosciences*, vol.12, n°1, pp.633-641
- KOUAME Konan Roland, DIBI KANGAH Pauline, KOLI BI Zuéli, 2019, « Variabilité climatique dans le Centre-est de la Côte d'Ivoire : Indicateurs, scénarii actuels et futurs », *Revue Géographie Tropicale et Environnement*, vol.1, n°1, pp.7-20
- LAAIDI Karine, 1997, « Bioclimatologie d'une plante xérophile du sud de la France : le chêne kermès », *Sécheresse*, vol.1, n°8, pp21-28
- LEBOURGEOIS François et PIEDALLU Christian, 2005, « Appréhender le niveau de la sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques », *Revue forestière*, vol. 57, n°4, pp.331-356
- MCDOWELL Nate, POCKMAN Williams, ALLEN Craig, BRESHEARS David, COBB Neil, KOLB Thomas, SPERRY John, WEST Adam, WILLIAMS David, YEPEZ Enrico, 2008. « Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some survive while others succumb to drought », *Review. New Phytologist*, vol. 178, n°4 pp719-739
- MOKHTARI Nouredine, MRABET Rachid, LEBAILLY Philippe, BOCK Laurent, 2014, « Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc », *Revue Mar. Sci. Agron. Vét.*, vol.2, n°1, pp.50-60
- NDIAYE Meledje Hermann, KOUAKOU Kouassi Lazare, YAO N'go Alexis, ISSIAKA Savane, 2015, « Caractérisation des occurrences de sécheresse dans le bassin

hydrologique de la Bia transfrontalier entre la Côte d'Ivoire et le Ghana : contribution des chaînes de Markov », *Cah Agric*, vol.24, n°3, pp.186-197

NOUFE Dabissi, LODON Bruno, MAHE Gil, SERVAT Eric, BROU Yao Téléphore, KOLI BI Zueli, CHALEARD Jean Louis, 2011, « Variabilité climatique et production de maïs en culture pluviale dans l'est ivoirien », *Journal des sciences hydrologiques*, vol.56, n°1, pp. 152-167

PATUREL Jean Emmanuel, SERVAT Eric, DELATTRE Marie Odile, 1998, « Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique », *Journal des Sciences Hydrologiques*, vol. 43, n° 6, pp.937-945.

RADOUAN Mehdaoui, MILI El Mostafa, SEGHIR Aziz, 2018, « Caractérisation à l'aide du SPI de la sécheresse climatique dans le bassin versant de Ziz (sud-est du Maroc) », *European Scientific Journal*, vol.4, n°21, pp. 177-194

THABBET Ali, 2008, *Réponse du Pin sylvestre aux changements climatiques récentes en région méditerranéenne française : spatialisation et quantification par la télédétection et la dendrochronologie*, Université Aix Marseille 3, Thèse de Doctorat, 282p

ZONNEVELD Van Maarten, KOSSEDA Jarkko, VINCETI Barbara, JAVIS Andy, 2009, « Impacts des changements climatiques sur la répartition de Pins tropicaux en Asie du sud-est », *Unasyla*, vol. 60, n°232, pp. 24-28