

## Analyse des risques d'agressivités pluviométriques sur les sols du bassin versant du N'zi (Côte d'Ivoire)

### [ Analysis of the risks of rainfall aggressiveness on the soils of the N'zi watershed (Côte d'Ivoire) ]

*Yao Koffi Léon<sup>1-2-3</sup>, Kouakou Koffi Eugène<sup>2-3</sup>, Kouassi Amani Michel<sup>2-3</sup>, and Gnanguin Asaph<sup>1-2-3</sup>*

<sup>1</sup>Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Ecole Doctorale Polytechnique (EDP), Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Département des Sciences de la Terres et des Ressources Minières (STeRMi), Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>Laboratoire, Génie Civil, Géosciences et Sciences Géographiques, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This study is entitled «Analysis of the rainfall aggressiveness on the soils of the N'zi watershed. The objective is to analyze the importance of precipitation on soil erosion. To achieve the objective, daily, monthly and annual rainfall data on the N'zi watershed were collected over the period 1960 to 2019. The analysis of rainfall risks was possible for the index of erosivity of Arnoldus and Rango-Arnoldus rainfall, to graphical and spatial representations with R software and ArcGIS software. The results of the analysis of the interannual variability of precipitation show that the temporal aggressiveness generally declined during the 1970s. The rainfall aggressiveness indicates on a monthly scale a weak aggressiveness in general and the strongest would be seasonal at the level of the localities of the basin. It highlights three levels of rainfall aggressiveness on an annual scale: very aggressive aggressiveness (32%), less aggressive (48%) and more or less aggressive aggressiveness (20%), at the basin scale. Five (5) classes were distinguished; excess dominance (41%) qualified as high rainfall aggressiveness, dry period (30%) qualified as low rainfall aggressiveness, a minimum period (18%) qualified as very low rainfall aggressiveness, a maximum period (9%) qualified very high rainfall aggressiveness and a normal period (2%) qualified as average rainfall aggressiveness.

**KEYWORDS:** aggressiveness of rainfall, erosivity index, N'zi catchment area (Côte d'Ivoire).

**RESUME:** Cette étude est intitulée « Analyse d'agressivités pluviométriques sur les sols du bassin versant du N'zi. L'objectif est d'analyser l'importance des précipitations sur l'érosion des sols. Pour atteindre l'objectif, les données de pluies journalières, mensuelles et annuelles sur le bassin versant du N'zi ont été collectées sur la période 1960 à 2019. L'analyse des risques pluviométriques a été possible à partir de l'indice d'érosivité des pluies d'Arnoldus et Rango-Arnoldus, aux représentations graphiques et spatiales avec le logiciel R et logiciel ArcGIS. Les résultats de l'analyse de la variabilité interannuelle des précipitations montrent l'agressivité temporelle a baissé généralement au cours de la décennie 1970. L'agressivité pluviométrique indique à l'échelle mensuelle une agressivité faible en général et les plus fortes serait saisonnière au niveau des localités du bassin. Elle souligne à l'échelle annuelles trois niveaux d'agressivité pluviométriques: une agressivité très agressive (32%), moins agressive (48%) et une agressivité plus ou moins agressive (20%), à l'échelle du bassin. Cinq (5) classes ont été distinguées; une domination excédentaire (41%) qualifiée d'agressivité pluviométrique forte, période sèche (30%) qualifiée d'agressivité pluviométrique faible, une période minimale (18%) qualifiée d'agressivité pluviométrique très faible, une période maximale (9%) qualifiée d'agressivité pluviométrique très forte et une période normale (2%) qualifiée d'agressivité pluviométrique moyenne.

**MOTS-CLEFS:** agressivité des pluies, indice d'érosivité, bassin versant du N'zi (Côte d'Ivoire).

## 1 INTRODUCTION

A l'indépendance de la Côte d'Ivoire en 1960, son développement économique était lié aux atouts naturels et particulièrement l'exploitation agricole. Ce premier choix se traduit clairement de 1960 à 1985, dénommé miracle économique; où l'agriculture est présentée comme le premier pilier ivoirien [1], [2]. Par ailleurs, un pays essentiellement agricole, l'agriculture employait le taux le plus élevé de la population en 1998 [3] et l'expansion de l'agriculture de 62 % [4]. Le développement contigu de ces cultures, les zones de choix idéal étaient, de préférence les régions forestières et autour des cours d'eau; où les conditions naturelles sont favorables [2]. Les atouts naturels que fournissent les bassins versants (climat propice à l'agriculture, accès à l'eau d'irrigation, sol fertile, ressources humaines disponibles) favorisaient un développement prodigieux des cultures [1].

En effet, le patrimoine forestier a été soumis à une déforestation systématique de grande échelle pour la création des plantations de cafés, cacao, palmiers à huiles, hévéas, ananas, etc., qui ont fait de la Côte d'Ivoire un grand pays agricole [1]. En outre, l'agriculture subit les aléas du climat, réduisant ainsi la production. La dégradation de la couverture végétale a une influence sur les régimes climatiques [5] et donc sur les régimes hydrologiques.

Par ailleurs, le bassin versant du N'zi renferme une partie utile de la Côte d'Ivoire au plan socio-économique (ancienne boucle du cacao). Il constitue un atout majeur pour le développement de la Côte d'Ivoire. Le fleuve N'zi est une sorte de cordon ombilical reliant les zones humides du Sud aux régions sèches du Nord. Le fleuve se comporte comme une artère nourricière qui entretient les conditions de vie pour l'homme.

La fragilité du milieu naturel du bassin du fleuve N'zi est liée aux phénomènes hydrologiques. Ils sont perçus comme des contraintes majeures. L'intensité de la grande sécheresse, la baisse de la pluviométrie des décennies 70 et 80 conjuguées à une exploitation humaine excessive du milieu ont entraîné l'exacerbation des phénomènes d'érosion qui ont provoqué une dégradation continue de l'état de surface, voire irréversible du potentiel biologique productif. Malgré une amélioration des conditions pluviométriques depuis le début des années 90, ce problème reste préoccupant et constitue une entrave à la conservation des ressources naturelles et un frein au développement durable [6].

Ainsi que, l'augmentation de la population remarquable de la région du N'zi entre 2010 et 2014 est respectivement de 900.000 habitants [7] et 3.030.381 habitants [8]. Elle a des conséquences sur les ressources et hydrosystèmes.

Selon les ministères de l'environnement et des mines géologies, les sites des activités de l'orpaillage clandestin se fructifient dans la région [9]. Les déclenchements d'évènements extrêmes tels que les mouvements de terrain et les inondations (coulée boueuse, ruissellement), naissant de l'érosion hydrique, ont aussi favorisé les dégradations physiques de la surface des sols agricoles. Ces évènements dont l'occurrence risque d'augmenter avec les changements climatiques [10], [11] ont des effets importants sur les activités humaines (vies humaines, destruction de terres arables, infrastructures, sécurité alimentaire).

Certaines études [12] dans la région du N'zi-Comoé, ils distinguent trois classes de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique: les zones à faible vulnérabilité (29 %); les zones à vulnérabilité moyenne (34 %) et les zones fortement vulnérables (37 %). L'agressivité des pluies est d'une importance primordiale parmi les moteurs naturels qui affectent l'érosion des sols. Les gouttes de pluie peuvent briser les agrégats et disperser leurs particules constitutives. Ces particules se produisent à la surface du sol, lorsque la force de ruissellement devient supérieure à la résistance au détachement du sol. La bonne connaissance du potentiel érosif de la pluie peut aider les aménageurs à lutter contre l'érosion et à réduire l'envasement des retenues. Dans ce cadre, on insiste essentiellement sur l'agressivité des pluies en tant que facteur déterminant de l'érosion. L'analyse de l'érosivité des pluies permet d'orienter, de prévoir le potentiel érosif des sols.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant du N'zi est un sous-bassin versant du fleuve Bandama situé entre les longitudes 3°49'00" et 5°22'00" Ouest et les latitudes 6°00'00" et 9°25'59" Nord (Figure. 1). Il couvre une superficie de 35 500 km<sup>2</sup> et parcourt 725 km de long. Le fleuve N'zi prend sa source au Nord, dans la région de Ferkessédougou à une altitude de 400 m et se jette dans le Bandama à Tiassalé.

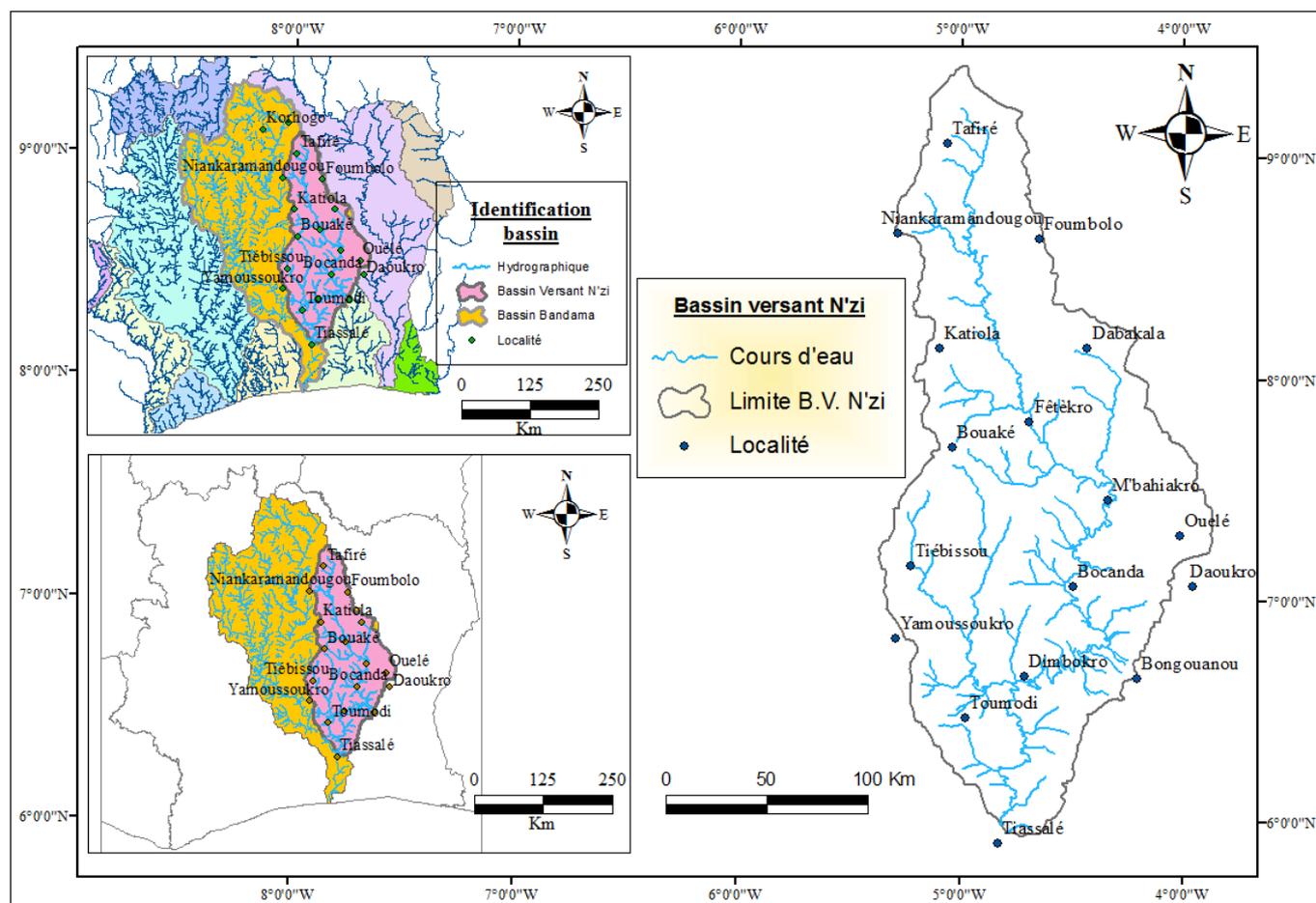


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude (bassin versant du N'zi)

Du fait de sa configuration géographique allongée, le bassin versant du N'zi (Figure 1) est représentatif des grands ensembles climatiques de la Côte d'Ivoire. Au Nord, règne le régime tropical de transition (climat soudano guinéen). Le régime tropical humide (climat baouléen) se situe dans la partie centrale du bassin. Le Sud du bassin se caractérise par un régime subéquatorial (climat attiéen). Le bassin du N'zi se localise par une végétation savanicole dans le centre et le Nord, et une végétation de forêt dans le Sud. Le relief du bassin est peu accidenté. Il est généralement constitué de plateaux (100 m à 400 m en moyenne). Cette monotonie est rompue par la chaîne Baoulé. Les principaux types de sol sont les sols ferralitiques moyennement désaturés (Nord) et les sols ferralitiques fortement désaturés (Centre et Sud).

## 2.2 MATÉRIEL

### 2.2.1 DONNÉES

L'appréciation de l'agressivité des pluies sur le bassin versant du N'zi se basent sur les données pluviométriques mensuelles de 1960 à 2019 proviennent de quatorze (14) postes pluviométriques et s'étendent sur 59 années. Ces données proviennent de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Ce nombre de stations est considéré comme largement représentatif du phénomène d'érosivité des pluies dans cette zone d'étude. Les stations concernées sont: Tafiré, Ferké, Niakara, Katiola, Dabakala, Bouaké, M'bahiakro, Bocanda, Tiébissou, Dimbokro, Daoukro, Bougouanou, Béoumi et Tiassalé.

## 2.3 MÉTHODES

La méthode de l'analyse de l'agressivité pluviométrique est expliquée avec les formules statistiques sous Microsoft Excel. De plus, les logiciels R Studio, et ArGIS 10.4.1 ont servi à faire les cartes et la répartition spatiale des pluies.

### 2.3.1 CARACTERISATION DE L'AGRESSIVITE PLUVIOMETRIQUE À L'ECHELLE ANNUELLE

Le calcul d'un indice d'agressivité des pluies (IAP) se fait à l'aide de l'indice des Précipitations Centrées Réduites (noté PCR=IAP):

$$IAP = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$$

Avec:

- $X_i$ , pluviométrie de l'année  $i$ ;
- $\bar{X}$  et  $\sigma$  sont respectivement la moyenne et l'écart-type de la pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence

Lorsque:

- $IAP > 0$ , l'année est considérée comme une agressivité climatique importante (érosion très active);
- $IAP < 0$ , l'année est considérée comme une agressivité climatique faible (érosion faible) et
- $IAP \pm = 0$ , l'année est considérée comme une agressivité climatique moyenne (érosion  $\pm$  agressive)

Pour mieux visualiser et déterminer l'agressivité des pluies à l'échelle interannuelle, dans cette étude, nous avons montré l'effet de l'agressivité des pluies sur notre zone d'étude. Nous avons créé les classes d'agressivité pluviométrique (tableau 1). Ces auteurs ([13], [14], [15], [16]) ont utilisé cette méthode pour déterminer les régimes excédentaires et déficitaires. Selon la variation du IAP, cinq classes sont retenues (tableau 1).

**Tableau 1.** Classification de l'agressivité pluviométriques à l'échelle interannuelle [13], [14]

Régimes pluviométriques	Classes IAP	Degré d'agressivité pluviométrique
Très humide	$IAP < -1,49$	Très forte
Humide	$-1 < IAP < -1,49$	Forte
Normal	$IAP = 0$	Moyenne
Sec	$1 < IAP < 1,49$	Faible
Très sec	$IAP > 1,49$	Très faible

Ceci met en évidence le caractère "événementiel" des processus érosifs du bassin versant du N'zi à l'échelle interannuelle.

### 2.3.2 CARACTERISATION DE L'AGRESSIVITE PLUVIOMETRIQUE À L'ECHELLE MENSUELLE

L'agressivité pluviométrique mensuelle est évaluée à partir de l'indice d'Arnoldus et Rango-Arnoldus. L'indice d'Arnoldus et Rango-Arnoldus [17] a permis de calculer l'érosivité pluviométrique mensuelle selon la relation suivante:

$$\log R = 1.74 * \log \sum \left( \frac{P_i^2}{P} \right) + 1.29$$

Où  $P_i$  représente les précipitations mensuelles (en mm) et  $P$  les précipitations annuelles (en mm). Le tableau 2 suivant présente les différentes classes de l'indice de l'agressivité pluviométrique mensuelle.

**Tableau 2.** Classification de l'indice d'agressivité d'Arnoldus et Rango-Arnoldus (IA) [18]

Indice d'agressivité des pluies (IA)	Degré d'agressivité pluviométrique
0-60	Très faible
60-90	Faible
90-120	Moyenne
120-160	Forte
>160	Très forte

### 2.3.3 LA REPRESENTATION SPATIOTEMPORELLE DE L'AGRESSIVITE DES PLUIES ET DE L'EROSIVITE SUR LE BASSIN

La représentation spatiale de la dynamique de l'agressivité des pluies et l'érosivité par la cartographie a été faite par la méthode de moyenne glissante [19] sur 10 ans. Et s'applique aux valeurs de l'agressivité et de l'érosivité, puis a été combiné avec des moyennes décennales sur la période d'étude (1960-2019). À partir du logiciel Arcgis 10.4.1., la méthode d'interpolation par spline a permis de cartographier l'évolution de l'agressivité et d'érosivité des pluies sur le bassin versant du N'zi. Ainsi, ont été comparées les variations spatiotemporelles de l'agressivité et de l'érosivité des pluies sur des décennies 1960-1969, 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 et 2010-2019.

## 3 RÉSULTATS

### 3.1 VARIABILITE DE L'INDICE D'AGRESSIVITE PLUVIOMETRIQUE À L'ECHELLE ANNUELLE

L'observation de la figure 2 montre l'évolution interannuelle de l'agressivité pluviométrique annuelle du bassin versant du N'zi. L'analyse graphique (figure 2), a permis de dégager trois (3) au niveau de variation de l'agressivité climatique dans chaque localité étudiée, donc les résultats sont consignés dans le tableau 3. On note une période humide caractérisée par des valeurs d'indice d'agressivité pluviométrique forte (19 années, soit 32%) traduisant une érosion très active, un indice d'agressivité pluviométrique faible (29 années, soit 48%) traduisant une érosion faible et un indice d'agressivité pluviométrique moyenne (12 années, soit 20%) correspondant à une érosion plus ou moins agressive. Cette situation est constatée au niveau de toutes les stations du bassin versant.

Tableau 3. Caractéristiques de l'agressivité des pluies à l'échelle annuelle

Stations Pluviométriques	Agressivité climatique: érosivité des pluies		
	IAP > 0	IAP < 0	IAP = ± 0
Dimbokro	20 années, soit 36%	28 années, soit 50 %	8 années, soit 14%
Bouaké	18 années, soit 32%	28 années, soit 50 %	10 années, soit 18%
Bocanda	22 années, soit 39%	25 années, soit 45 %	9 années, soit 16%
Dabakala	25 années, soit 45%	24 années, soit 43 %	7 années, soit 12%
Tafiré	16 années, soit 29%	28 années, soit 50 %	12 années, soit 21%
Niakaramandougou	17 années, soit 30%	30 années, soit 52 %	10 années, soit 18%
M'bahiakro	11 années, soit 20%	31 années, soit 54 %	15 années, soit 26%
Tiébissou	11 années, soit 19%	30 années, soit 51 %	17 années, soit 20%
Béomi	22 années, soit 39%	25 années, soit 44 %	10 années, soit 17%
Tiassalé	18 années, soit 32%	30 années, soit 52 %	09 années, soit 16%
Daoukro	23 années, soit 40%	22 années, soit 39 %	12 années, soit 21%
Bongouanou	33 années, soit 33%	30 années, soit 53 %	08 années, soit 14%
Ferkessedougou	20 années, soit 35%	29 années, soit 51 %	08 années, soit 14%
Katiola	13 années, soit 23%	28 années, soit 49 %	16 années, soit 28%
Moyenne	19 années, soit 32%	28 années, soit 48%	11 années, soit 20 %

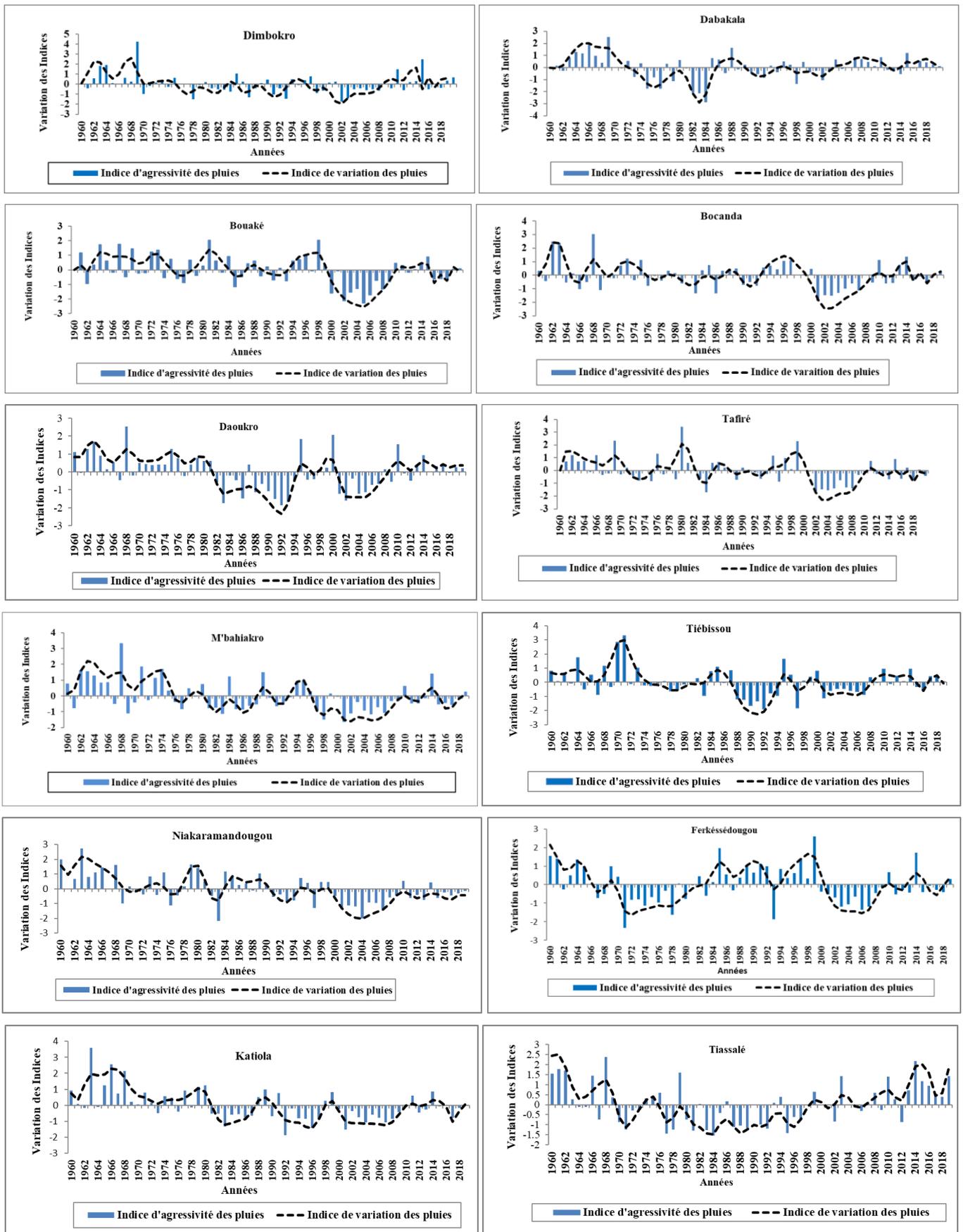


Fig. 2. Variabilité interannuelle de l'agressivité des pluies annuelles sur le bassin versant du N'zi

### 3.2 VARIABILITE INTERANNUELLE DE L'AGRESSIVITE DES À L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT

La figure 3 montre deux tendances de l'agressivité pluviométrique sur le bassin versant du N'zi. Après analyse de l'évolution du graphique (Figure 3) dont les résultats sont consignés dans le tableau 4. Il distingue une période de domination excédentaire de 41%, qualifiée d'agressivité pluviométrique forte, une période sèche de 30% qualifiée d'agressivité pluviométrique faible, une période minimale de 18% qualifiée d'agressivité pluviométrique très faible, une période dite maximale de 9% qualifiée d'agressivité pluviométrique très forte et une période dite normale de 2% qualifiée d'agressivité pluviométrique moyenne (Tableau 4).

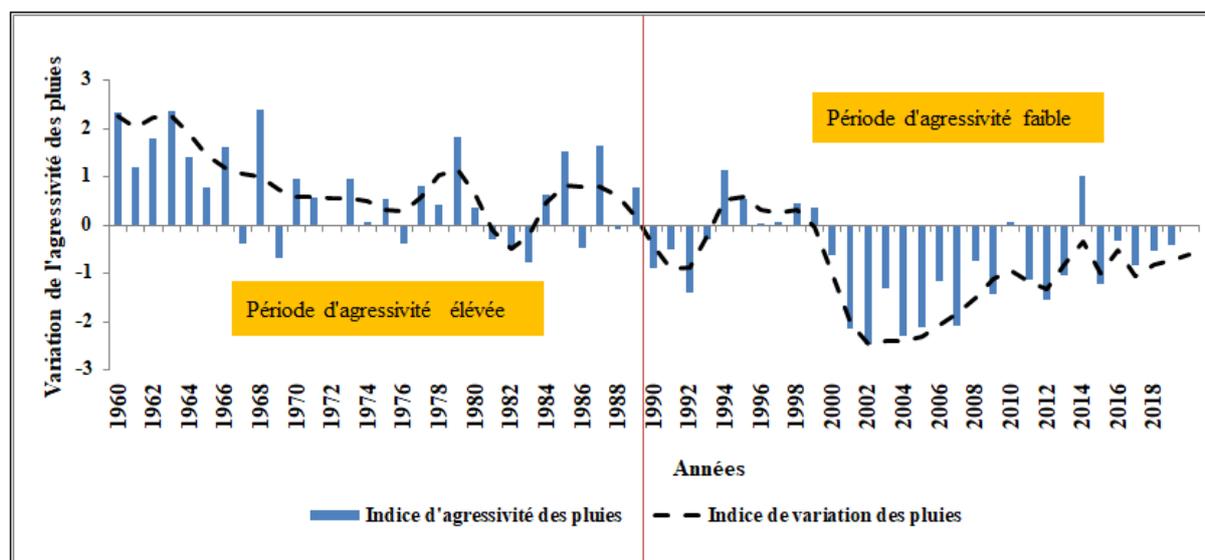


Fig. 3. Variation interannuelle de l'agressivité des précipitations à l'échelle du bassin versant N'zi

Tableau 4. Caractérisation de l'agressivité des précipitations à l'échelle du bassin

Classes	Nombre d'années (%)	Agressivité pluviométrique
IAP < 1,49	5 (9%)	Très Forte
1 < IAP < 1,49	23 (41%)	Forte
IAP = 0	10 (18%)	Moyenne
-1 < IAP < -1,49	17 (30%)	Faible
IAP < -1,49	4 (2%)	Très Faible

### 3.3 VARIABILITE DE L'EROSIVITE PLUVIOMETRIQUES À L'ECHELLE MOYENNE MENSUELLE

Les précipitations moyennes mensuelles des stations ont permis d'analyser la variation de l'érosivité à l'échelle mensuelle, qui est consignée dans le tableau 5. L'évaluation de l'érosivité moyenne mensuelle des pluies est calculée sur la série d'études (1960-2019) à partir de l'indice d'érosivité d'Arnoldus et Rango-Arnoldus. Les résultats obtenus montrent que l'indice d'érosivité (IA) est faible aux différentes localités du bassin versant du N'zi, selon la classification des indices d'agressivité établis (Tableau 2). Ce tableau a servi à apprécier l'évolution de l'agressivité pluviométrique du bassin. Cependant, pour l'ensemble des 14 localités, les pluies les plus élevées se notent uniquement pour les mois de juin, août et septembre. Sur la base de ces résultats, nous remarquons que l'érosivité est variable aussi bien temporellement que spatialement dans les quatorze (14) localités. Les stations sont caractérisées par une forte précipitation reflétant une forte valeur de l'indice de Rango et d'Arnoldus. La valeur de l'indice d'érosivité des pluies la plus faible (9,11 au mois de janvier) est enregistrée à la station de Bouaké, ainsi la valeur de l'indice d'érosivité des pluies la plus forte (95,50 au mois de septembre) au niveau du bassin. L'indice d'érosivité plus forte correspond à la période d'août à septembre dans les localités de Tafiré, Dabakala, Niakaramandougou, Ferkéssédougou, Katiola, alors dans autres localités, c'est au niveau du mois de juin qu'il est observé (Tableau 5).

Tableau 5. Indice d'érosivité pluviométrique moyenne mensuelle (1960-2016)

Stations	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Dimbokro	9,78	13,85	30,42	41,75	50,26	70,20	28,33	19,67	36,54	36,51	15,89	10,48
Bouaké	9,11	9,34	15,41	21,28	62,74	44,15	12,99	52,41	95,50	41,28	10,86	9,16
Bocanda	9,45	13,62	29,70	40,45	47,68	56,31	24,68	27,97	43,34	38,57	14,94	10,35
Dabakala	9,43	11,22	21,07	38,62	36,68	39,66	33,28	50,10	67,20	32,20	11,38	9,73
Tafiré	9,16	10,38	14,00	23,35	34,20	36,50	50,08	67,23	65,30	32,46	12,06	9,68
M'bahiakro	9,59	13,54	30,99	38,97	45,13	51,77	26,45	31,91	44,16	30,06	11,70	9,89
Tiébissou	9,83	15,28	28,42	44,20	42,16	51,80	23,00	26,77	41,91	27,52	13,64	10,25
Niakaramandougou	9,35	12,40	16,88	30,38	35,34	31,00	41,83	63,61	69,49	32,53	11,01	9,89
ferkessedougou	9,19	9,62	12,86	24,41	33,74	36,78	57,25	83,73	67,57	29,65	10,62	9,34
Katiola	9,49	12,04	21,50	34,60	36,58	36,78	30,64	39,93	62,56	28,78	11,83	10,35
Tiassalé	9,91	14,80	30,67	42,00	63,66	77,10	25,92	12,85	28,18	44,42	25,92	11,78
Béoumi	9,37	13,83	24,45	34,34	36,32	36,47	28,70	36,38	66,20	29,30	13,92	9,56
Daoukro	9,49	13,74	27,41	42,61	42,23	52,57	23,11	27,50	38,55	32,00	12,82	9,84
Bongouanou	9,38	12,66	29,62	39,72	43,79	65,42	29,13	24,27	35,10	34,77	15,37	10,78

La variation moyenne mensuelle de l'indice d'érosivité du bassin est visualisée par la figure 4. Elle montre clairement les valeurs les plus élevées correspondent aux mois abondants en pluie. À la station de Dimbokro et Bocanda les carreaux importants correspondent à la grande saison des pluies d'avril à juin (50 à environ 75) qualifié d'érosivité moyenne à très forte. La petite saison des pluies comprend à la période de septembre à octobre (10 à 50) qualifié d'érosivité très faible à moyenne. Cependant, dans les localités de Dabakala et Tafiré les mois les plus abondants en pluie sont les mois d'août et septembre. L'indice d'érosivité varie environ 10 à 100 qualifié d'érosivité faible à forte. Au niveau de la station de Bouaké une irrégularité des pluies d'avril à septembre. L'indice d'érosivité varie d'avril à juin environ 63 et de juillet à septembre de 30 à environ 100, l'érosivité varie progressivement de faible à très forte. Quant aux autres stations les indices varient de 10 à 75. Face à ces résultats, les risques d'érosion des pluies des sols sont faibles (Indice d'érosivité des pluies est compris entre 9,11 et 95,50) sur l'ensemble des stations du bassin versant du N'zi par rapport aux classes d'agressivité pluviométrique proposées (Tableau 2). L'érosion serait donc importante et variable dans le temps et spatialement au niveau des mois abondants en pluie. Les sols étant déjà saturés. L'infiltration étant très faible, favorisera le ruissellement. Ce qui va provoquer des dégâts néfastes sur la vie de la population.

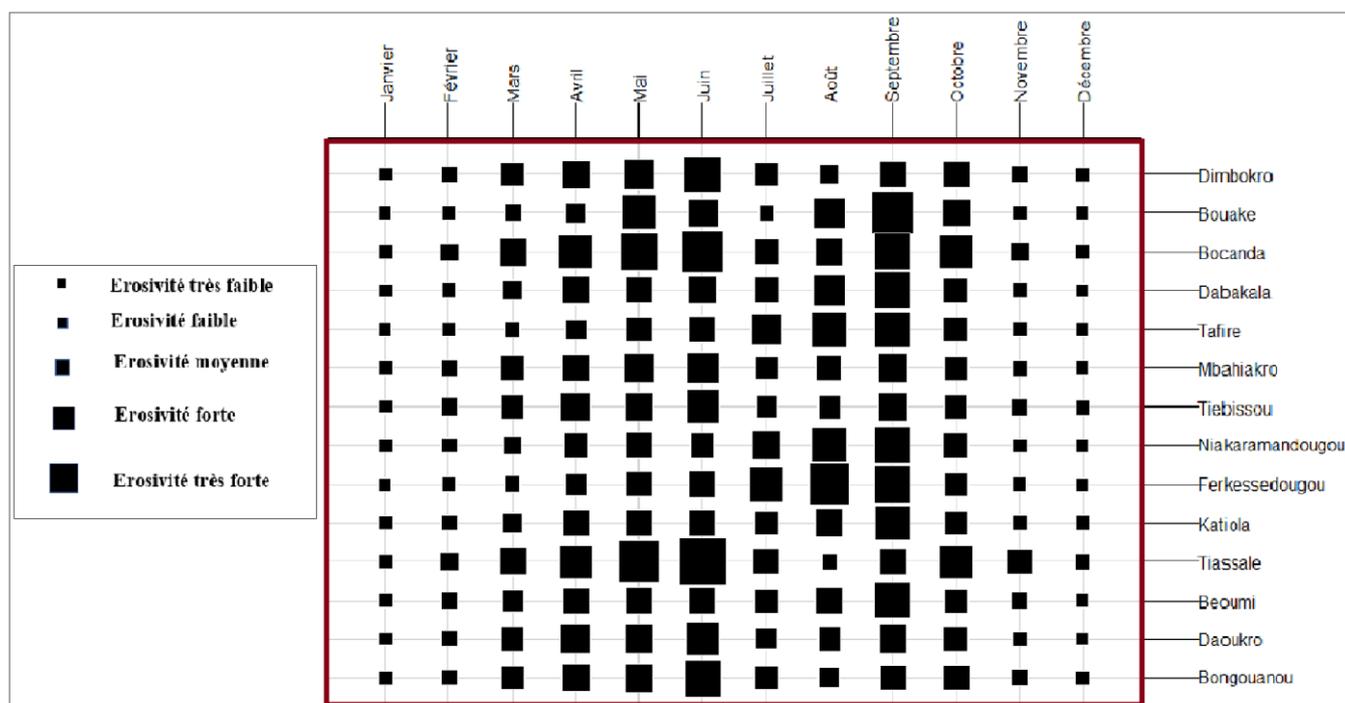


Fig. 4. Variation de l'indice érosivité des pluies moyenne mensuelle

### 3.4 ÉVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE L'AGRESSIVITE PLUVIOMETRIQUE MOYENNE INTERANNUELLE DU BASSIN VERSANT DU N'ZI (1960-1989 ET 1990-2019)

L'analyse statistique de l'évolution spatio-temporelle de l'agressivité pluviométrique répartie de 1960-1989 et 1990-2019, les résultats sont consignés dans le tableau (6). L'analyse de la variation spatio-temporelle représentée par la figure 5, a permis d'observer cinq (5) degré d'agressivité des pluies aux différentes périodes. L'étude statistique de l'agressivité des pluies montre que la classe  $1 < IAP < 1,49$ , niveau d'agressivité pluviométrique forte sur les terres représente 2313,49 Km<sup>2</sup>, soit 35,54% sur la période 1960-1989, alors que sur la période 1990-2019, cette même classe représente 10287 Km<sup>2</sup>, soit 29,69%, nous constatons une baisse de la superficie au niveau de cette classe. En plus des faits similaires se reproduisent au niveau de la classe d'agressivité moyenne des pluies sur les terres. Cependant, les autres classes présentent des cas contraires (Tableau 6), où les valeurs de 1990-2019 sont partiellement en hausse par rapport à celle de 1960 à 1989.

L'analyse de la figure 5 souligne aussi que la classe d'agressivité des pluies très fortes s'observe autour des localités de Bouaké, Tiébissou et Daoukro de 1960 à 1989 alors que sur la période de 1990 à 2019, elle s'observe au niveau Katiola et Tiébissou, Bocanda, Tiassalé.

La classe d'agressivité des pluies moyenne s'enregistre au niveau des localités de, Dimbokro, Bocanda et Katiola sur la période de 1960 à 1989, par contre sur la période de 1990 à 2019, elle s'observe dans les localités de Bocanda, Bouaké, Dabakala, Bongouanou et Tafiré (Figure 5).

En effet, Cette agressivité des pluies qui évolution dans le temps et dans l'espace; décroît d'une localité à l'autre. Elle est particulièrement plus accentuée au Nord-Ouest et l'Est du bassin et moyennement accentuée au Centre et au Sud du bassin. Elle ne peut être justifiée que par l'intensité de pluie, le type d'occupation du sol et du couvert végétation des sols dans ces différentes localités.

**Tableau 6. Caractérisation statistique de l'agressivité des pluies en surface**

Classes (Mj.mm/Km <sup>2</sup> /an)	1960 -1989		1990 -2019		Niveau d'Agressivité des Pluies
	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)	
IAP <1,49	1174,92	3,39	2493,49	7,20	Très Forte
1 < IAP <1,49	12313,49	35,54	10287,00	29,69	Forte
IAP = 0	8150,62	23,53	7099,89	20,49	Moyenne
IAP < -1,49	9407,38	27,16	10051,78	29,02	Faible
-1 < IAP <-1,49	3596,31	10,38	4710,56	13,60	Très faible
Total	34642,72	100	34642,72	100	

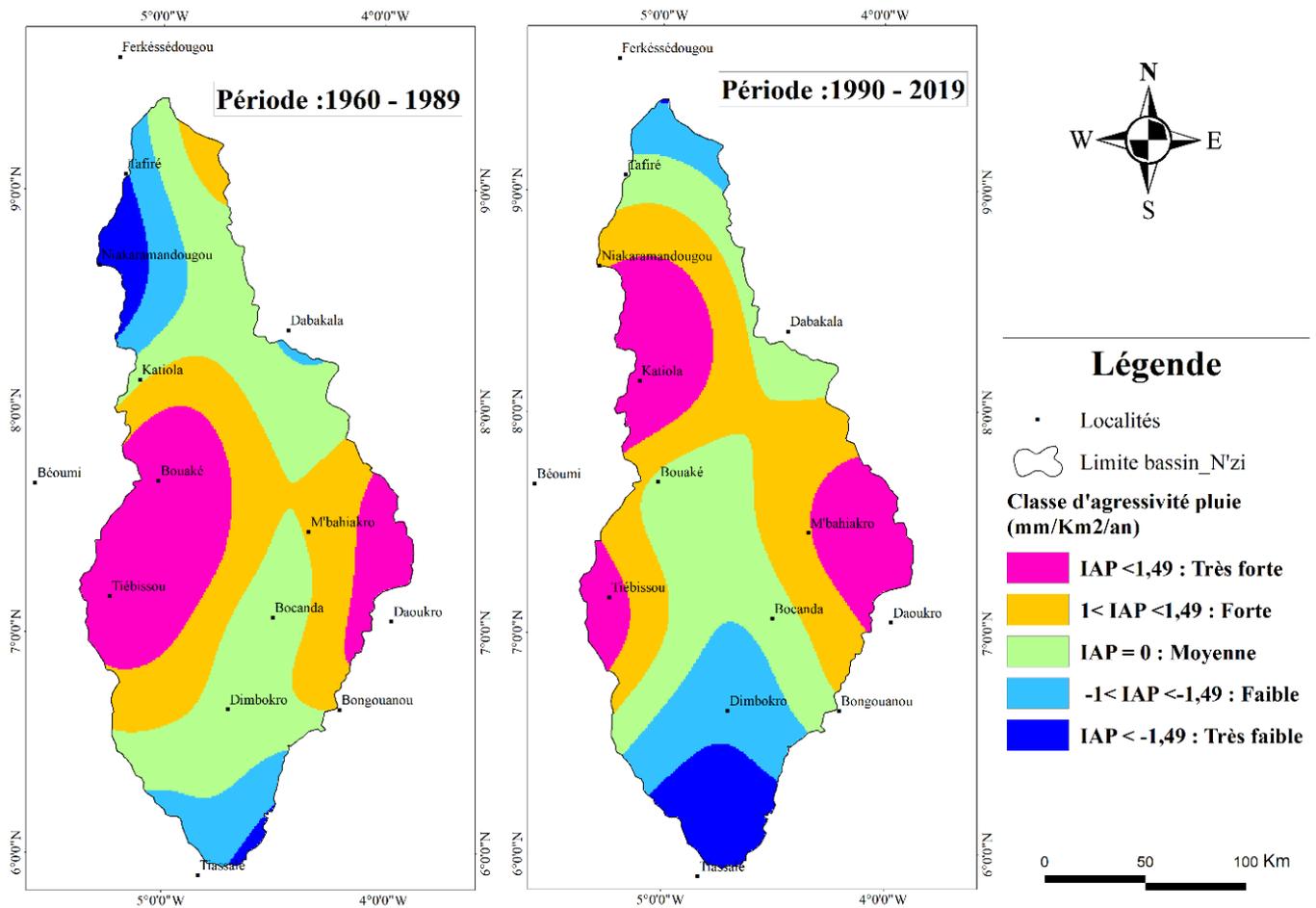


Fig. 5. Carte de d'évolution spatiotemporelle de l'agressivité pluviométrique (1960-1989 et 1990-2019)

### 3.5 VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DE L'ÉROSIVITÉ DES PLUIES ANNUELLES DECENNALES 1960 À 2019

La variation spatiale de l'érosivité pluviométrique illustrée par les Figures 6, 7 et 8, montrent que le bassin versant est réparti en cinq (5) classes d'érosivité pluviométrique. La variation statistique des classes d'érosivité des pluies est consignée dans les Tableaux 7, 8 et 9.

L'analyse de la variation statistique des classes d'érosivité sur le bassin versant du N'zi (Tableau 7, 8 et 9) a montré que l'érosivité pluviométrique sur les sols se manifeste de façon irrégulière les différentes périodes (1960-1969; 1970-1979; 1980-1989; 1990-1999; 2000-2009; 2010-2019). Les valeurs respectivement des classes présentent un niveau d'agressivité pluviométrique forte et moyenne sur une superficie de 11076,76 Km<sup>2</sup>, soit 31,97%. Et s'étendent sur une superficie de 12665,45 Km<sup>2</sup>, soit 36,56 % (1960-1969; 1970-1979). Ce même constate est faite au niveau des périodes de (1980-1989; 1990-1999) sur une superficie de 10127,33 Km<sup>2</sup>, soit 29,23% et sur une superficie de 12318,64 Km<sup>2</sup>, soit 35,56%. Au niveau des périodes de (2000-2009; 2010-2019), la classe d'érosivité des pluies présentant un niveau d'agressivité faible enregistrent les valeurs en hausse (9817,72 Km<sup>2</sup>, soit 28,34% et 15522,35Km<sup>2</sup>, soit 44,81%) par rapport aux autres classes sur les différentes décennies (Tableau 7, 8 et 9).

L'analyse respectivement des figures 6, 7 et 8, montre que la classe d'érosivité très forte est observée au niveau des localités de Dimbokro, Dabakala, Niankaramandougou, Tiassalé et M'bahiakro (figure 6), ainsi que la figure 7 indique les localités de Tafiré, Katiola, Dabakala et Niankaramandougou. Quant à la figure 8 ce sont les localités de Tiassalé, Dimbokro, Dabakala. Alors que les stations de Tafiré et Niankaramandougou enregistrent une érosivité moyenne. Dans l'ensemble, les classes d'érosivité pluviométrique de très faible à moyenne est les plus fréquents (figures 7 et 8), par rapport à la figure 6 ce sont les classes d'érosivité forte (1960-1969) et la classe d'érosivité moyenne (1970-1979) qui sont plus étendues. L'indice d'érosivité traduisant l'agressivité des pluies sur les sols confirme une érosivité pluviométrique irrégulière sur la différente décennale (Figure 6, 7, 8).

Tableau 7. Caractérisation statistique de la variation de l'érosivité des pluies au pas de temps décennale

Pas de temps Classes (mm/Km <sup>2</sup> /an)	1960-1969		1970-1979		Degré d'érosivité des pluies
	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)	
[-1 à -2]	3920,79	11,32	2459,72	7,10	Très faible
[0,4 à - 1]	3586,57	10,35	10870,17	31,38	Faible
[0,2 à - 0,4]	6271,78	18,10	12665,45	36,56	Moyenne
[1 à 0,2]	11076,76	31,97	4993,27	14,41	Forte
[2 à 1]	9786,81	28,25	3654,10	10,55	Très forte
Total	34642,72	100	34642,72	100	

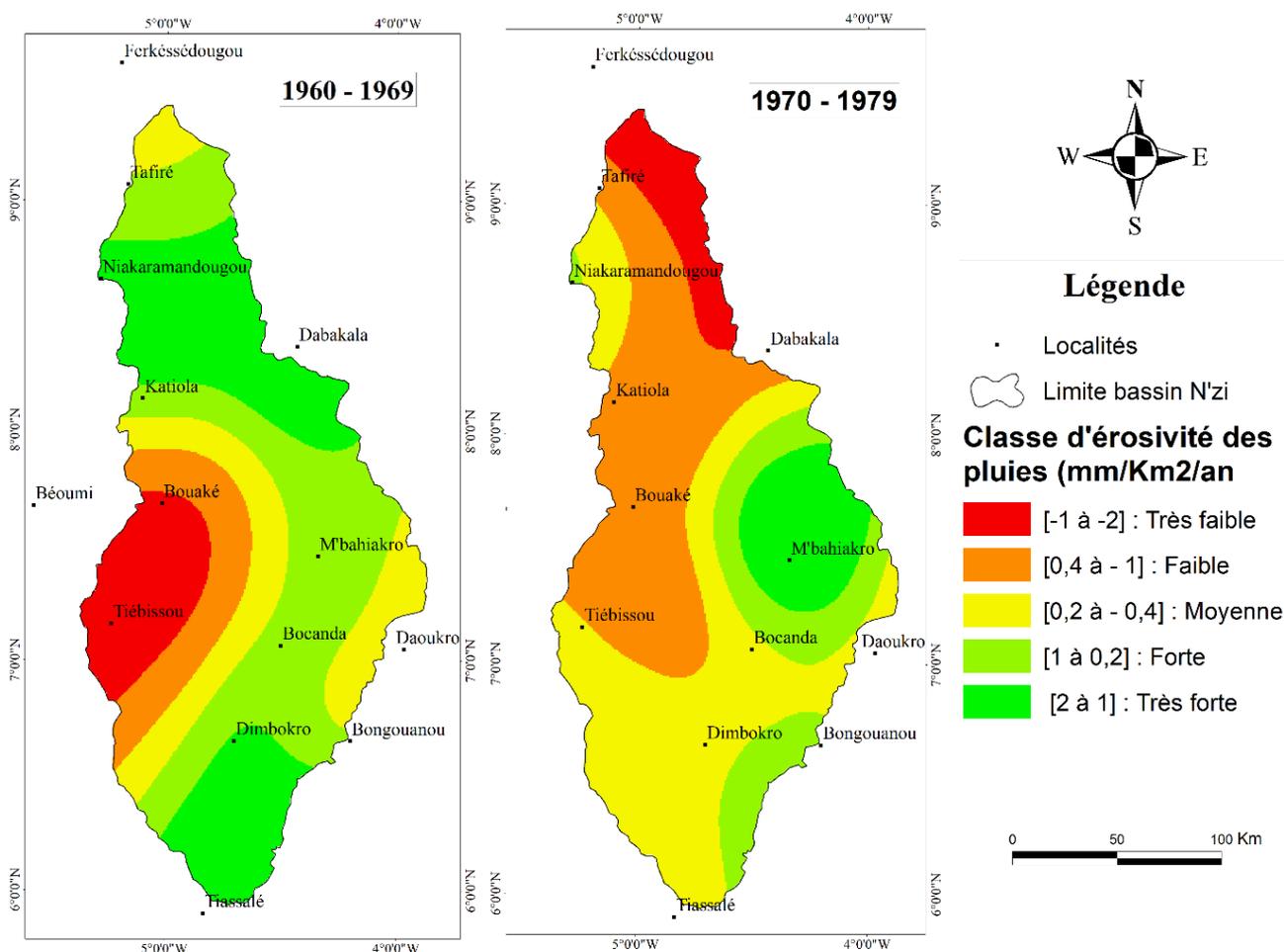


Fig. 6. Variation spatiale de l'érosivité des pluies moyenne décennale (1960-1969 et 1970-1979)

Tableau 8. Caractérisation statistique de la variation de l'érosivité des pluies au pas de temps décennale

Pas de temps Classes (mm/Km <sup>2</sup> /an)	1980-1989		1990-1999		Degré d'érosivité des pluies
	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)	
[-1 à -2]	2988,52	8,63	6809,16	19,66	Très faible
[0,4 à - 1]	4505,10	13,00	9736,45	28,11	Faible
[0,2 à - 0,4]	7345,40	21,20	10127,33	29,23	Moyenne
[1 à 0,2]	12318,64	35,56	5391,02	15,56	Forte
[2 à 1]	7485,04	21,61	2578,76	7,44	Très forte
Total	34642,72	100	34642,72	100	

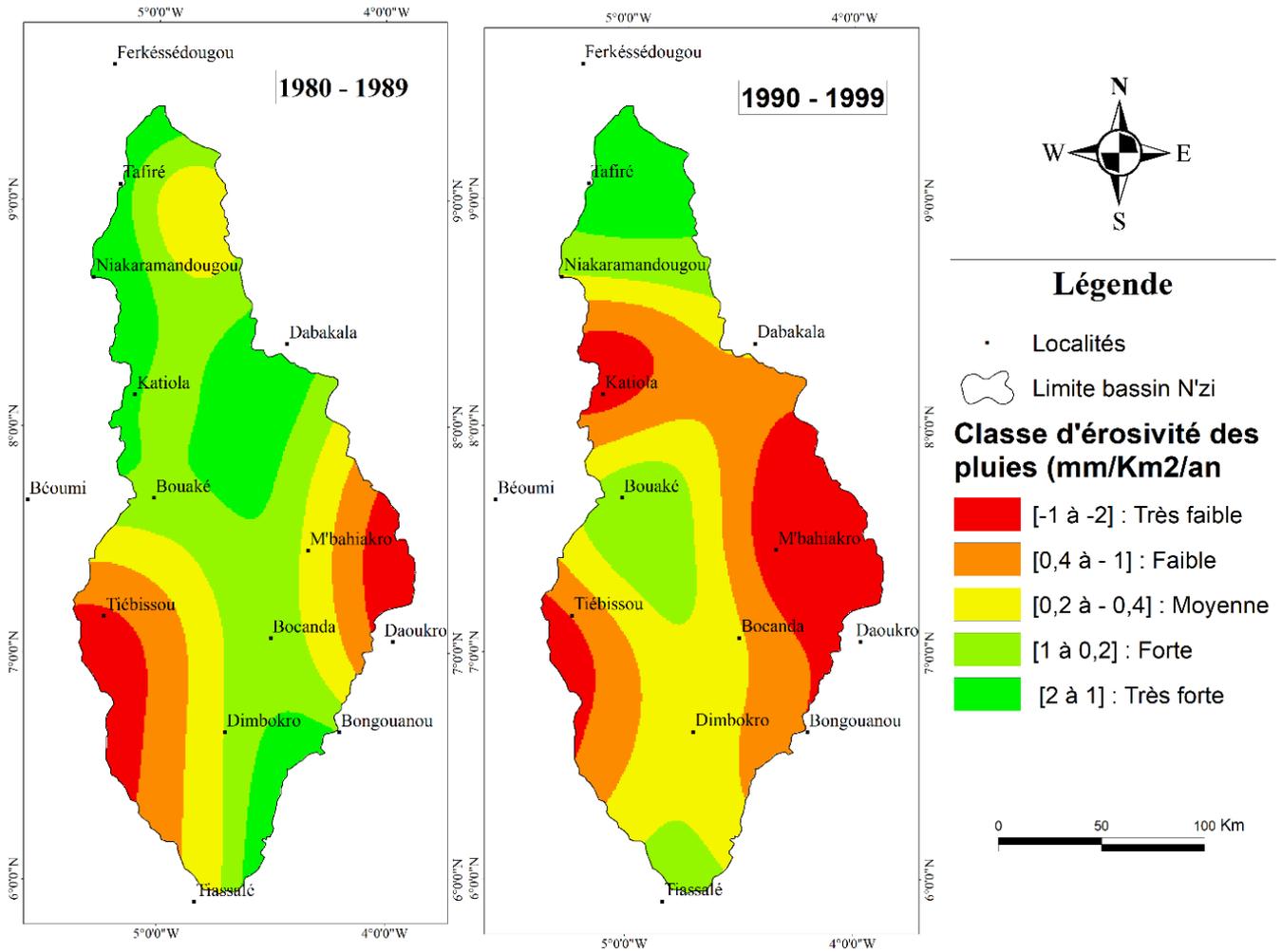


Fig. 7. Variation spatiale de l'érosivité des pluies moyenne décennale (1980-1989 et 1990-1999) l'érosivité

Tableau 9. Caractérisation statistique de la variation de l'érosivité des pluies au pas de temps décennale

Pas de temps Classes (Mj.mm/ha/an)	2000-2009		2010-2019		Degré d'érosivité des pluies
	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)	
[-1 à -2]	2682,35	7,74	8402,43	24,25	Très faible
[0,4 à - 1]	9817,72	28,34	15522,35	44,81	Faible
[0,2 à - 0,4]	8930,09	25,78	4088,47	11,80	Moyenne
[1 à 0,2]	7503,37	21,66	3003,98	8,67	Forte
[2 à 1]	5709,21	16,48	3625,49	10,47	Très forte
Total	34642,72	100	34642,72	100	

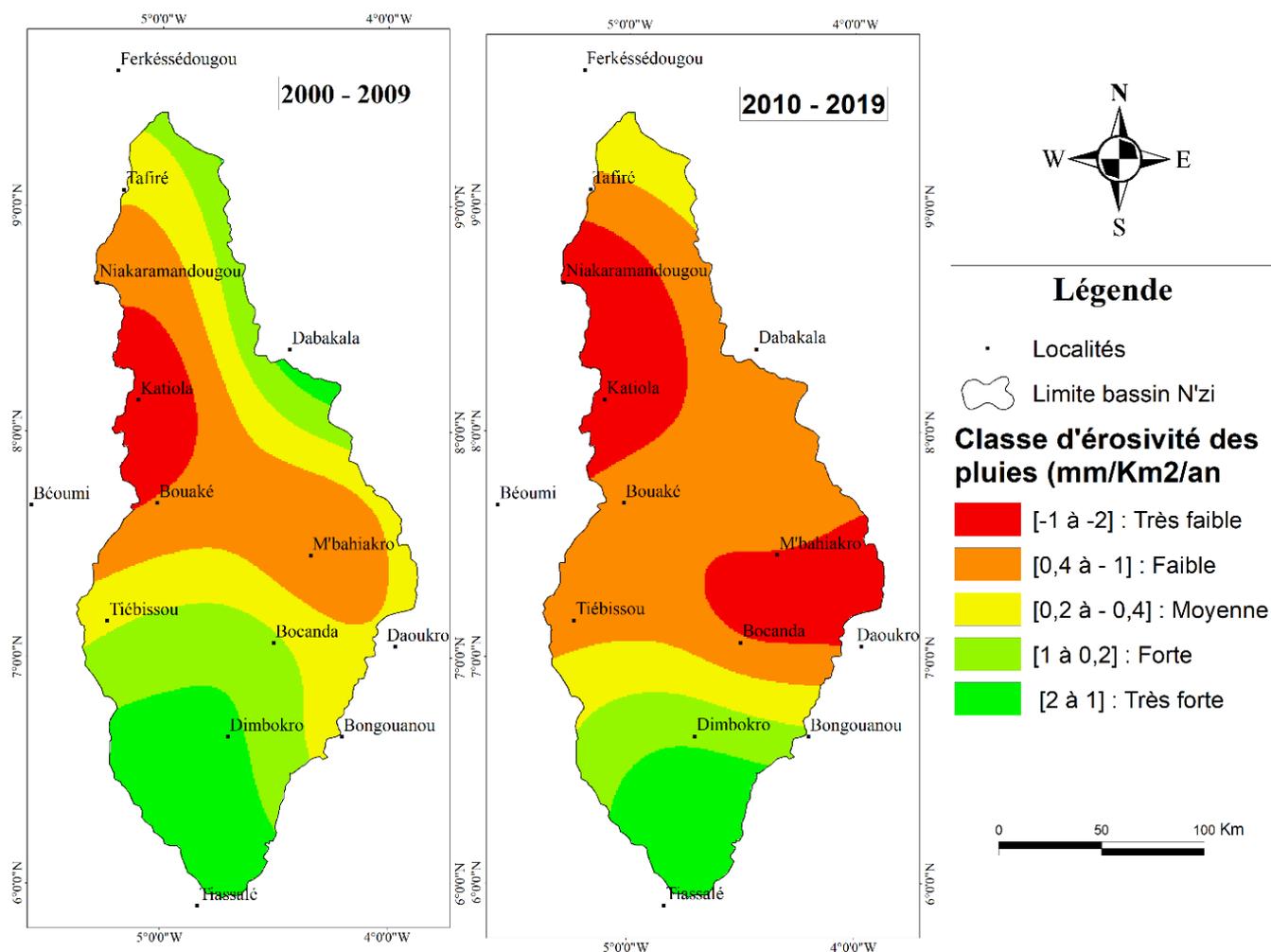


Fig. 8. Variation spatiale de l'érosivité des pluies moyenne décennale (2000-2009 et 2010-2019)

#### 4 DISCUSSION

L'appréciation de l'agressivité pluviométrique sur le bassin versant du N'zi à partir de l'indice pluviométrique montre que l'érosion très active environ 32%, moins active environ 48% et une érosion plus ou moins active environ 20%.

Les risques d'érosion mensuelle sont très faibles. Les valeurs les plus élevées correspondent aux mois abondants en pluie sur l'ensemble du bassin versant. Plusieurs auteurs l'ont déjà expérimenté sur de nombreux bassins versants [20] aux USA (Washington); [21] au Cameroun; [22] en Turquie; [23] en Grèce; [24], [26] au Maroc; [27], [28], [29] en l'Algérie, [30] au Ghana et [12], [31], [32] en Côte d'Ivoire.

Deux facteurs a priori peuvent expliquer ces observations:

- L'irrégularité, mensuelle ou interannuelle de l'érosivité suit l'irrégularité des pluies journalières, inter-mensuelle ou interannuelle des pluies;
- La localisation et l'exposition aux flux humides sont aussi déterminantes de cette irrégularité

Dans ce contexte, la position géographique du bassin versant du N'zi et la disposition du relief en tant qu'éléments qui orientent et activent les aléas climatiques. En fait, le bassin versant du N'zi présente un paysage topographique très varié (collines, plateaux, plaines et dépressions) mais caractérisé par des modestes altitudes (0 à 300 m) [2].

Dans un bassin versant la pente est facteur déterminant, selon les expériences de Wischmeier et Smith (1958-1978), le taux d'érosion augmente avec la longueur de pente. Le bassin versant du N'zi, est de préférence une zone de forte activité agricole [3] ce qui expose de plus en plus le bassin versant aux effets de l'érosion des pluviométriques.

Le type de formation géologique qui affleure dans les bassins à une influence sur la répartition des écoulements superficiels. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en général une densité de drainage faible assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles. Par ailleurs, un bassin formé de roches imperméables, mais meubles et érodables, comme des marnes et argiles, avec une végétation moyenne présentent souvent une densité de drainage élevée. Ceci favorise le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration [33], [34]. Et il rend notre milieu plus vulnérable: ce qui facilite l'accélération de l'érosivité des pluies. En effet, en contexte tropical et sous l'impulsion de la déforestation, l'occupation du sol et les états de surfaces du sol ont pu être modifiés. En ce sens, la structure et la perméabilité représentent donc des paramètres qui ont pu changer dans le temps. Il est considéré qu'en fonction de la brutalité/rapidité et du type de défrichement (manuel/mécanisé), les propriétés chimiques et physiques du sol pour les horizons superficiels sont modifiées. Une fois les sols dénudés, la modification de ces sols est favorisée par l'agressivité du climat, la fragilité des sols et la minéralisation rapide des matières organiques; l'ensemble de ces processus en action entraîne alors l'accélération des pertes de sols. En parallèle, les phénomènes d'érosion augmentent une fois les sols dénudés et croissent en cas de cultures discontinues les années suivantes.

## 5 CONCLUSION

Le bassin versant du N'zi, avec un poids agricole déterminant dans l'économie de la Côte d'Ivoire, sa grande production dépend des saisons pluvieuses. Ce déterministe (pluies) est un élément fondamental du bon fonctionnement des écosystèmes et des agrosystèmes. Or ces sols se trouvent aujourd'hui fortement menacés par le risque potentiel de l'érosion. L'érosivité des pluies est vue ici comme un risque climatique et environnemental potentiel. Ce risque est en fait le produit des aléas climatiques et de la vulnérabilité de l'environnement géographique. La connaissance de ce facteur d'érosion, l'érosivité des pluies du bassin versant du N'zi, s'avère d'un grand intérêt dans toute sa stratégie d'aménagement et de développement agricole.

L'étude révèle que cette partie de la Côte d'Ivoire est aussi menacée par le risque potentiel de l'érosion hydrique saisonnière qui menace les activités agricoles.

L'indice pluviométrique souligne trois niveaux d'érosion: une érosion très agressive (32%), moins agressive (48%) et une érosion plus ou moins agressive (20%) à l'échelle interannuelle. Au niveau du bassin versant, on retient une période très humide de 1960 à 1988 et une période sèche de 1989 à 2019. Avec, une période de domination excédentaire (41%), qualifiée d'agressivité pluviométrique forte et une période sèche (30%) qualifiée d'agressivité pluviométrique faible.

A l'échelle mensuelle du bassin cinq (5) classes ont été définies. Selon les classes de l'indice d'érosivité d'agressivité pluviométrique proposée par CEC (1992), le risque d'érosivité des pluies est faible (compris entre 9,11 à 95,50) sur l'ensemble des stations du bassin versant du N'zi. L'érosivité s'exprime ici de façon événementielle, tant à l'échelle interannuelle, mensuelle et serait saisonnière. Au cours d'une année, les risques climatiques se situent aux intersaisons et durant les mois, où les précipitations sont abondantes, où quelques "risques érosifs" interviennent.

Au niveau de la représentation spatiotemporelle, l'agressivité de pluviométrique montre une évolution de l'érosivité progressive du sud vers le nord. L'érosivité forte se situe au niveau des localités du sud-est, du centre et nord-ouest.

## REFERENCES

- [1] Brou Y T., 2005. Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Techniques de Lille, France, 212 p.
- [2] Kouassi A., 2007. Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'ouest: cas du bassin versant du N'Zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, thèse de doctorat, université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, 234 p.
- [3] Noho Y.A.W., N'guessan K.F. et Koli B.Z., 2018. Caractérisation de la végétation du bassin versant du N'zi (côte d'ivoire), université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement, n°1: 31-42.
- [4] REDD+ (Réduction des Emissions de gaz à effet de serre issues de la Déforestation et la Dégradation forestière, incluant la conservation, l'augmentation des stocks de carbone et la gestion durable des forêts), 2016. Analyse qualitative des facteurs de déforestation et de dégradation des forêts en Côte d'Ivoire, Rapport Final, République de Côte d'Ivoire Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 114 p.
- [5] Brou Y. T., 1997. Analyse et dynamique de la pluviométrie dans le Sud forestier ivoirien: recherche de corrélations entre les variables climatiques et les variables liées aux activités anthropiques. Thèse de Doctorat de 3ème cycle de l'Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 211p.

- [6] Niang A.J., 2008, Les processus morphodynamiques, indicateurs de l'état de la désertification dans le sud-ouest de la Mauritanie, Approach by analysis multisource, PhD Thesis, University of Liège, 286.
- [7] Oulaà J.M., 2011, Evaluation et analyse géostatistique des paramètres hydrodynamiques des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé (centre-est de la Côte d'Ivoire), mémoire de fin d'étude, Technicien Supérieur des Mines et de Géologie, Institut National Polytechniques Houphouët Boigny (INP-HB), Yamoussoukro, 43pp.
- [8] National Institute of Statistics (INS), General Population and Housing Census (RGPH., 2014)., Anonymous. Ministry of State, Ministry of Planning and Development, Republic of Côte d'Ivoire, <http://www.ins.ci>, anonymous PP.
- [9] Kaman P., 2013, Analyse des vulnérabilités aux catastrophes et des capacités de réponse en Côte-d'Ivoire; République de Côte D'Ivoire, Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales, Plan de Développement de l'Agriculture (1992-2015) Version finale, Archives République de CI, UEMOA, (65 p); 171 p.
- [10] Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl T.R., & Mearns, L.O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science* 289, 2068-2074.
- [11] Nearing, M.A., F.F. Pruski et M.R. O'Neal., 2004. Expected Climate Change Impacts on Soil Erosion Rates: A Review. *Journal of Soil and Water Conservation* 59 (1): 43- 50.
- [12] Aké G.É., Kouadio B.H., Adja M.G., E J-B., Effebi K. et Biémi J., 2012. Cartographie de la vulnérabilité Géographie physique et environnement, 6: 1-19.
- [13] Mc Kee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. Report of the eighth Conference on Applied Climatology. Anaheim (California), 6 p.
- [14] Totin V.S.H., Houndénou C., Boko M., et Afouda A., 2009. Variabilité pluviométrie et bilan climatique dans le bassin de la Volta au Bénin. *Climat et développement*, 8: 81-94.
- [15] Sinsin B., Sare B.A., Totin V.S.H. et Houssou C.S., 2015. Variation du régime pluviométrique de la périphérie de la réserve de biosphère transfrontalière du W au Bénin, XXVIII Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège 2015: 509-514.
- [16] Etene C. G., 2017. Erosion ravinante dans l'arrondissement de togba au Benin; Laboratoire Pierre Pagny. *Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE)*, de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin). *Climat et Développement*, N°23, pp 41 à 56.
- [17] Arnoldus H.M. J et Rango A., 1987. Aménagement des bassins versants. *Cahiers techniques de la FAO*: 1-11.
- [18] CEC (Commission of European Communities), 1992. Corine Soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community. Brussels, Commission of the European Community EUR13233 EN, Luxembourg, Office for official Publications of the European Community, 97 p; Doi: 10.1097/00010694-196108000-00029.
- [19] Sahani M., Moeyersons J., Vandecasteele I, Trefois Ph., Ozer P., 2012: Evolution des caractéristiques pluviométriques dans la zone urbaine de Butembo (RDC) de 1957 à 2010. *Geo-Eco-Trop.*, 36, 121-136.
- [20] Wischmeier, W.H., Smith D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses, A guide to conservation planning. USDA-ARS, Washington, Agriculture and book (537): 58 p.
- [21] Fournier F et Hioleil J., 1993. «La gestion des ressources naturelles et la place de l'arbre dans les systèmes agraires en zone marginales du plateau Bamiléké: toposéquence de Fossong-Wetcheng». Proposition d'un programme de recherche/développement dans le cadre du projet Santchou Département de foresterie, Université de Dedschang. 12 p.
- [22] Apaydin H., Erpul G., Bayramin I. et Gabriels D., 2006. Evaluation of indices for characterizing the distribution and concentration of precipitation: A case for the region of Southeastern Anatolia, Project, Turkey *J. Hydro* 1328: 726-732pp.
- [23] Koul. I.M., Soupios.P. & Vallenatos, F., 2008. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environ Geol* (2009) 57: 483-497, Doi: 10.1007/s00254-008-1318-9.
- [24] El bouqdaoui K., Ezzine H., Badrahoui M., Rouchdi M., Zahraoui M. et Ozer A., 2005. Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc). *Geo-Eco-Trop*, 29: 25-36.
- [25] El Garouani A., Chen H., Lewis L., Tribak A. et Abharour, M., 2008. Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG IDRISI au nord-est du Maroc. *Télédétection*, 8 (3): 193-201.
- [26] Fatiha C, Mohamed C, Mustapha N, Damien R, Yannick P, 2016., Impact du changement climatique sur l'évolution de l'érosivité des pluies dans le rif occidental (Nord Du Maroc), *European Scientific Journal* November 2016 edition vol.12, No.32, 16 p. doi: 10.19044/esj.2016.v12n32p79.
- [27] Kouri L., 1993. L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'oued Mina. Etude des processus et type de fonctionnement des ravins dans la zone des marnes tertiaires. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 232 p.
- [28] Meddi M., 2013. Sediment transport and rainfall erosivity evolution in twelve Basins in Central and Western Algeria. *Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE)*, v.7, (2): 253-263. Doi: 10.4090/juee.2013.v7n2.253263.

- [29] Maamar-Kouadri K., Kouri L. et Chebouti Y., 2016. Utilisation de l'Indice d'Arnoldus pour cartographier les risques d'érosivité des pluies dans le Tell oranais (Algérie), la revue Geo-Eco-Trop., 40 (4): 287-296.
- [30] Andoh H.F., Antwi B.O., Wakatsuiki T. et Atakora E.T., 2012. Estimation of soil erodibility and rainfall erosivity patterns in the agroecological zones of Ghana, Journal of Soil Science and Environmental Management Vol.3 (11): 275-279 pp. Doi: 10.5897/JSSEM11.081.
- [31] N'go Y. A., 2015. Hydrologie et dynamique de l'état de surface des terres dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire: impacts et moteurs de dégradation, Thèse d'état, Université Nangui Abrogoua, Abidjan-Côte d'Ivoire, 220 p.
- [32] N'go Y.A., Kouadio Z.A., Deguy A.J-P., Hien S.A., Goula B.T. A. et Savané I., 2018. Influence de la dynamique de l'occupation du sol sur la quantité de perte de sol au sud du bassin versant du Sassandra (Cote D'ivoire). International journal of Advanced research Journal; 6 (4): 830-838. Doi: 10.21474/IJAR01/6918.
- [33] Roose E., 1985. « Impact du défrichement sur la dégradation des sols tropicaux », Machinisme Agricole Tropical, n° 98, 14 p.
- [34] Helioui Y. et Hajri J., 2015, Érosivité des pluies dans la région du Cap Bon (Tunisie), XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège 2015: 509-514.