

## PREVENTION CONTRE LES FEUX DE VEGETATION EN AFRIQUE DE L'OUEST, CAS DU DISTRICT DU ZANZAN, NORD-EST DE LA COTE D'IVOIRE: ANALYSE DU PHENOMENE ET DES SEUILS CLIMATIQUES FAVORABLES

### [ PREVENTION AGAINST VEGETATION FIRE IN WEST AFRICA, CAS DISTRICT ZANZAN, NORTHEAST OF THE IVORY COAST: THE PHENOMENON AND ANALYSIS OF THRESHOLD FAVOURABLE CLIMATE ]

*Kouakou Bernard DJE<sup>1-2</sup>, Ahou Noellie YAO<sup>1</sup>, Vami Hermann N'GUESAN BI<sup>1</sup>, Boyossoro Helène KOUADIO<sup>1-2</sup>, Augustin Kouakou NZUE<sup>3</sup>, Valère DJAGOUA<sup>1-2</sup>, and Kouadio AFFIAN<sup>1-2</sup>*

<sup>1</sup>Centre Universitaire de Recherche et d'Application de la Télédétection (CURAT), UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université Felix Houphouët-Boigny, Abidjan, 22 B.P. 801 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université Felix Houphouët-Boigny, Abidjan, 22 B.P. 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>SODEXAM (Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique, Aéroportuaire et Météorologique), 15B.P. 990 Abidjan 15, Côte d'Ivoire

Copyright © 2017 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:** Wildfires issues are part of a global problem. In Côte d'Ivoire, these phenomena are recurring and reduce, by the degradation of plant cover, crop yield. Official reports indicate each year many cases of wildfires in Zanzan with their impact on the local economy and human settlements. The present study aims to analyze the climatic conditions that trigger these lights for, identify critical thresholds of climate parameters in question to help prevent against this disaster. From data of ESA satellites ERS-1 and ENVISAT, the descriptive statistics and correlation analysis were used to conduct the study. The results show that during the year, vulnerable periods of wildfires go from december to March with an early occurrence in Bouna. They also show a strong dependence of fire with climatic conditions including high temperatures, low air and soil humidity and easterly dry wind regime. El Nino conditions are also critical for local fire occurrence in the district. Critical thresholds for triggering fires in Zanzan can be summarized by above 30 degrees Celsius for temperatures, below 40 percent for air relative humidity and less than 5 mm for the soil moisture. The analysis of the Angstrom index shows that this indicates is appropriate for characterize fire danger in the District Zanzan.

**KEYWORDS:** Zanzan, prevention, wildland fire, occurrence, Angstrom index, El Nino, Cote d'Ivoire.

**RESUME:** Les questions de feux de brousse s'inscrivent dans une problématique à l'échelle mondiale. En Côte d'Ivoire, ces phénomènes sont récurrents et réduisent, par la dégradation du couvert végétal et des terres, le rendement agricole. Les rapports officiels signalent chaque année de nombreux cas de feux de végétation dans le Zanzan avec leurs conséquences sur l'économie locale et les établissements humains. La présente étude a pour objectif d'analyser les conditions climatiques de déclenchement de ces feux, de déterminer les seuils critiques des paramètres climatiques afin de contribuer à la prévention contre cette catastrophe.

Des analyses statistiques de données de feux actifs de 1996 à 2010 (acquises des satellites ERS1 et ENVISAT de l'Agence Spatiale Européenne), et de données climatiques ont été effectuées dans cette l'étude.

Les résultats obtenus montrent qu'au cours de l'année, les périodes vulnérables au feu de brousse vont en moyenne de décembre à mars avec une occurrence précoce dans le département de Bouna en novembre. Ils montrent aussi une forte dépendance des feux aux conditions climatiques notamment les températures élevées, les humidités atmosphériques et

édaphiques faibles et la présence de l'harmattan. Les seuils critiques pour le déclenchement des feux dans le Zanzan peuvent se résumer à des températures supérieures à 30 degrés Celsius, à un taux d'humidité relative inférieur à 40% et à une réserve en eau du sol inférieure à 5 mm.

Le phénomène climatique El Nino a une incidence aggravante sur les conditions locales d'occurrence des feux de végétation. L'analyse de l'indice d'Angstrom a montré que cet indice est approprié pour caractériser le danger des feux de végétation dans le District du Zanzan.

**MOTS-CLEFS:** Zanzan, prévention, feux de végétation, occurrence, indice d'Angstrom, El Nino, Côte d'Ivoire.

## **1 INTRODUCTION**

La destruction de la végétation par les feux est un phénomène de dégradation de l'environnement. Elle stérilise les sols et affame des populations entières, désorganisant ainsi les économies [2]. De plus, elle augmente la concentration de gaz à effet de serre. L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) a indiqué dans un rapport en 2005 que les feux touchent chaque année 1015 millions d'hectares de forêts boréales et tempérées et d'autres terres, 2040 millions d'hectares de forêts tropicales ombrophiles et jusqu'à 500 millions d'hectares de savanes tropicales et subtropicales, de terrains boisés et de forêts claires [21] En Afrique, malheureusement, des données manquent si bien que les statistiques sont très peu disponibles. Cependant dans un rapport de la météorologie agricole de l'OMM, Oguntala [21] a indiqué que les incendies de forêts causent d'énormes dégâts sur le continent. En Côte d'Ivoire, la pratique des feux dans les aménagements agricoles n'épargne aucune région du pays compte tenu des techniques culturales très peu mécanisées et les feux constituent le seul outil d'aménagement. Ces feux occasionnent malheureusement quelques fois de grands incendies dans les régions du pays [14] surtout par une sécheresse généralisée et très prononcée.

Les feux de brousse s'inscrivent donc dans une problématique à l'échelle mondiale. Ils constituent un problème environnemental, agrométéorologique et socio-économique. Actuellement, ils constituent l'une des préoccupations de la météorologie agricole en ce sens qu'ils constituent l'une des plus sérieuses calamités agrométéorologiques dans le monde [24]

La lutte contre ce phénomène nécessite la connaissance des facteurs d'éclosion et de propagation. Face aux obligations des décideurs en matière de prévention, de lutte et de gestion du risque, l'information météorologique et/ou climatique apparait comme une donnée prioritaire et incontournable.

La présente étude a pour objectif de déterminer les seuils critiques des éléments climatiques qui favorisent le déclenchement des incendies dans le District du Zanzan afin de proposer un outil d'aide à la décision dans le cadre de la prévention contre les feux de végétation.

De manière spécifique, il s'agit de

- Analyser de la dynamique spatio-temporelle des feux (occurrences, saisonnalité, pics d'activité et fréquence des feux) ;
- Déterminer les conditions climatiques favorables au déclenchement des feux de végétation et analyser le degré de relation statistique entre les paramètres climatiques et le nombre de feux de brousse ;

### **LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE**

Situé au Nord-Est de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 4°30 et 2°30 Ouest et les latitudes 7° et 10° Nord, Le District du Zanzan compte cinq départements à savoir : le département de Bondoukou, le département de Bouna, le département de Tanda, Le département de Nassian, Le département de Koun-Fao

Le District couvre une superficie d'environ 38000 km<sup>2</sup>. Elle est limitée au Nord par la république du Burkina Faso, à l'Est par le la république du Ghana, au Sud par les départements de M'bahiakro, Daoukro et Agnibilékro, à l'ouest par les départements de Ferkéssédougou et de Dabakala (figure 1).

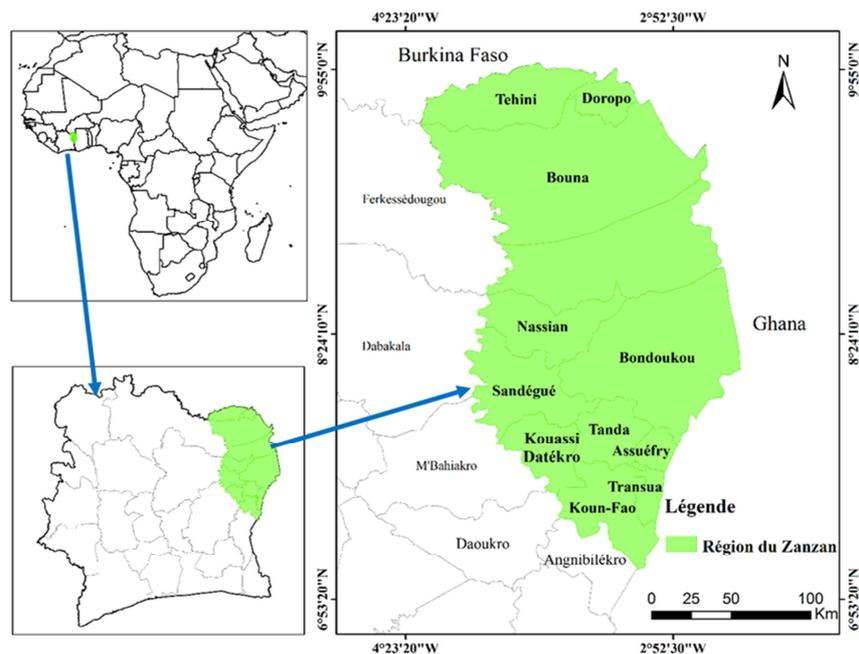


Fig. 1. Localisation du District du Zanzan

La végétation est essentiellement constituée de savanes arborée et arbustive avec des forêts galeries. On rencontre des îlots forestiers sur les plateaux et des forêts galeries liées au réseau hydrographique dans la partie ouest de la zone d'étude. Dans la partie Est, on retrouve également des forêts galeries qui suivent les cours d'eau, mais surtout de vastes étendues de savanes arborées. Cette végétation est souvent dégradée par l'activité anthropique[11].

Au niveau climatique, le Zanzan présente deux saisons des pluies (mars- juillet et septembre- novembre) ; et deux saisons sèches (décembre à février et août), selon [3] Les vitesses moyennes du vent varient entre 0,6 et 2,3 m/s. Les vitesses les plus fortes (entre 15 et 18 m/s) sont atteintes en juillet lorsque le flux de mousson est maximum. Au niveau de sa direction, le secteur sud-ouest est dominant au cours de l'année. Au cours de la saison sèche, la région est soumise à l'influence de l'harmattan, flux d'origine nord-est qui domine la circulation des masses d'air en surface du vent. Les températures varient globalement entre 25°C et 28°C. La période de février à avril constitue la période de forte chaleur au cours de l'année. Pendant cette période, les températures journalières se situent généralement au dessus de 33°C et atteignent parfois 40°C. Les minima peuvent baisser jusqu'à 20°C avec des chutes pouvant atteindre 14°C en décembre.

## 2 METHODOLOGIE

### 2.1 DONNEES

#### DONNEES DE FEUX

Les données satellitaires de végétation et de feux utilisées proviennent de ERS-2 et Envisat , des satellites d'observation de la Terre de l'Agence Spatiale Européenne, lancés respectivement en 1995 et 2002. Ces satellites mesurent de manière continue à différentes échelles les principaux paramètres environnementaux de la Terre relatifs à l'atmosphère, l'océan, les terres émergées et les glaces. Les données recueillies sont utilisées notamment pour la surveillance des ressources terrestres, les modélisations climatiques ainsi que les études sur la structure et la dynamique de la planète. Les données utilisées dans cette étude concernent principalement la couverture végétale et les feux détectés. La zone extraite s'étend entre les latitudes 7 degré et 10 degré Nord et les longitudes 4°50 et 2°40 Ouest et les séries vont de 1996 à 2010, soit 15 années de données par paramètre.

La Couverture végétale du globe et les données sur les feux sont issues de l'European Space Agency (ESA). Le produit GlobCover de couverture végétale mondiale est librement accessible sur le site [www.esa.int/dua/ionia/globcover](http://www.esa.int/dua/ionia/globcover). La qualité des produits est assurée par la haute qualité des données du spectromètre imageur Meris du satellite ENVISAT qui offre une

résolution spatiale fine (300 m) et un contenu thématique détaillé. La couverture du sol a été codifiée de 1 à 23 en fonction des types de végétation. Le tableau 1 présente la classification du schéma GLC-2000 [9].

Les données de feu sont issues de l'Atlas Mondial des Incendies (WFA) de l'ESA qui est la plus longue série chronologique disponible de données mondiales concernant les incendies. Les archives, qui datent de 1995, sont disponibles sous forme de fichiers ASCII mensuels, accessibles à partir du site Internet <http://ionia1.esrin.esa.int/>. Chaque fichier contient la date, la latitude et la longitude du feu détecté dans un pixel de 1 km sur 1 km [9].

Les données WFA sont basées sur les résultats issus des radiomètres Along Track Scanning Radiometer (ATSR) sur le satellite ERS-2, lancé en 1995, et Advanced Along Track Scanning Radiometer (AATSR) sur le satellite de l'ESA Envisat, lancé en 2002. Ces deux (02) radiomètres fonctionnent comme des thermomètres dans le ciel en mesurant le rayonnement infrarouge thermique (IR) des surfaces de la Terre. Les incendies sont mieux détectés au cours de la nuit parce les surfaces alentour sont plus froides. Les températures qui excèdent 38,85°C (312K) sont classées comme des foyers de feux par les radiomètres ATSR et AATSR, qui sont capables de détecter des feux aussi petits que les flammes des gaz issus des sites industriels à cause de leur haute température [8].

## **DONNEES CLIMATIQUES**

Les données climatiques utilisées dans l'étude proviennent de la base de données de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Elles concernent les températures maximales, les hauteurs de pluies, le taux d'humidité, le vent de la station synoptique de Bondoukou. Les séries de données vont de 1995 à 2010 pour les paramètres autres que le vent pour lequel seule la série de 1995 à 2000 a été disponible. Toutes ces données relevées à l'échelle journalière sont analysées aux échelles journalières, décennales, mensuelles et annuelles. Ces données subissent différents tests au service climatologique national lors de leur traitement (correction, homogénéité) pour vérifier leur fiabilité. Par ailleurs, la critique et la correction de ces données font référence aux études antérieures menées par [5].

### **2.1.1 MATERIELS**

#### **LOGICIELS UTILISES**

Des logiciels spécialisés ont été mis à contribution pour exécuter les tâches nécessaires à la réalisation de ce travail. Il s'agit du logiciel XLSTAT qui a permis de faire les analyses statistiques nécessaires des données et du logiciel ARGIS 10 qui a été utilisé pour réaliser la cartographie de la dynamique spatiale de l'occurrence des feux.

### **2.1.2 METHODES**

#### **ANALYSE DE LA DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DES FEUX**

Il s'agit d'analyser les paramètres descriptifs de la série de données. Les données journalières ont été agrégées en mois et en années. Les moyennes mensuelles et annuelles ont été calculés ainsi la fréquence d'occurrence des feux. Les résultats de ce traitement ont servi à l'analyse spatio-temporelle des feux de végétations.

#### **ANALYSE MENSUELLE ET INTERANNUELLE DE L'OCCURRENCE DES FEUX**

La méthode utilisée a été basée sur l'analyse des graphiques élaborés à partir des données historiques des feux de brousse. L'étude a été faite à l'échelle annuelle au pas de temps mensuel à partir des données journalières d'occurrence de feu pour détecter la période propice au feu sur la période d'étude, pour analyser la variabilité interannuelle de l'occurrence du feu.

#### **ANALYSE SPATIALE DE L'OCCURRENCE DES FEUX**

Cette analyse a été faite à l'échelle du pays et à l'échelle dans le district du Zanzan. Le besoin de données quantitatives sur les feux par unité administrative justifie la compilation des statistiques sur les feux par unité administrative. Dans cette étude nous retenons les entités administratives constituées par les départements.

## ANALYSE DES CONDITIONS CLIMATIQUES FAVORABLES

### ✓ Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

Dans cette étude, le calcul de l'ETP se fait par la formule de [12]. C'est une méthode simple qui ne nécessite que des données journalières de température maximale et minimale de l'air.

$$ET_o = 0.0023 Ra (T_m + 17.8) \sqrt{T_d} \quad (1)$$

$$T_m (\text{°C}) = (T_{\max} + T_{\min}) / 2 \text{ et } T_d (\text{°C}) = T_{\max} - T_{\min}$$

ET<sub>o</sub> : Evapotranspiration potentielle en mm/j

R<sub>a</sub> : rayonnement extraterrestre. C'est La radiation solaire reçu au sommet de l'atmosphère sur une surface horizontale est appelée rayonnement extraterrestre ou hors atmosphère (R<sub>a</sub>). Il est fonction de la latitude du lieu, du jour, de la déclinaison solaire et de la distance relative entre la terre et le soleil. Les constantes 0,0023 et 17,8 sont des coefficients proportionnels au rayonnement solaire [1].

Le rayonnement extraterrestre a été calculé à travers la formule suivante :

$$Ra (\text{MJ m}^{-2} \text{ j}^{-1}) = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (2)$$

avec :

G<sub>sc</sub> : constante solaire = 0,0820 MJm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>

d<sub>r</sub> : inverse de la distance relative terre soleil = 1 + 0,033\*cos(2π\*J / 365)

J : N° du jour dans l'année de 1 à 365 ou 366

ω<sub>s</sub> : angle solaire (aube / crépuscule) = arccos[- tan (φ) \* tan (δ)]

δ : déclinaison solaire = 0,409 \* sin (0,0172\*J – 1,39)

φ : Latitude en radians

Le rayonnement exprimé en MJ m<sup>-2</sup> jour<sup>-1</sup> est converti à l'évaporation équivalente en mm par jour (mmj<sup>-1</sup>) en utilisant un facteur de conversion égal à l'inverse de la chaleur latente de vaporisation (1 / λ = 0,408).

### ✓ Calcul De La Reserve En Eau

Pour évaluer la réserve en eau du sol, indicateur écophysologique de la sécheresse édaphique, la méthode du bilan hydrique (P-ETP) a été utilisée. Elle permet de calculer un bilan quotidien entre les apports dus aux précipitations et les pertes vers l'atmosphère (ETP). La formule de Thornthwaite est utilisée pour la détermination de la réserve en eau du sol [2]. Elle s'exprime comme suit :

$$\text{Si } P > \text{ETP alors } r(i) = r(i-1) + (P - \text{ETP}) \quad (3)$$

$$\text{Si } P \leq \text{ETP alors } r(i) = r(i-1) - (\text{ETP} - P) * r(i-1) / r_{\max} \quad (4)$$

Avec P= quantité de pluie tombée

r(i)= réserve en eau du sol pour le jour « i »

r(i-1) = réserve en eau du sol pour le jour précédant le jour « i »

r<sub>max</sub>= réserve maximale en eau que le sol peut contenir.

Le rapport r(i-1)/r<sub>max</sub> exprime le déficit hydrique du sol qui caractérise l'état de la réserve en eau par rapport à son niveau de remplissage maximal[13].

### ✓ Calcul De L'indice D'angstrom

L'indice du risque de feu de brousse développé par Angström en 1942 met en relation le taux de déclenchement et de propagation du feu de brousse avec les conditions météorologiques. Il est une combinaison de la température et de l'humidité qui permet d'évaluer le risque de feu [23]. Cet indice s'exprime comme suit (1) :

$$B = 3,3 - 5R + \frac{T}{10} \quad (5)$$

Où :

- B : est l'indice de risque ;
- R : l'humidité relative exprimée en fraction ;
- T : la température de l'air exprimée en degrés Celsius.

Son exploitation ou interprétation est basée sur cinq (05) classes de sévérité que sont :

- classe 1 ( $B \leq 1,4$ ) : risque d'incendie très faible ;
- classe 2 ( $1,5 \leq B \leq 2,4$ ) : risque d'incendie faible ;
- classe 3 ( $2,5 \leq B \leq 3,4$ ) : risque d'incendie modéré ;
- classe 4 ( $3,5 \leq B \leq 4,4$ ) : risque d'incendie élevé ;
- classe 5 ( $B \geq 4,5$ ) : risque très élevé ou catastrophique.

Ces classes permettront d'apprécier le niveau de vulnérabilité des couverts végétaux par rapport aux feux de brousse.

#### ✓ **Analyse Croisée De L'occurrence Des Feux Avec Les Variables Climatiques**

Cette partie traite de la qualification des facteurs climatiques agissant sur l'occurrence et la propagation des feux. L'étude a permis de déterminer les seuils critiques favorisant le déclenchement d'incendies. Elle a été faite par une analyse fréquentielle et une analyse de corrélation.

##### ○ **ANALYSE FREQUENTIELLE**

La méthode consiste à construire des tables de fréquences par classes de valeurs et à présenter les caractéristiques des séries par des indicateurs et graphiques. La formule de Sturges pour déterminer le nombre  $k$  de classes. Pour une série de  $n$  observations,  $k = 1 + 3,322 \log_{10} n$ . L'amplitude des classes est égale à  $a = E/k$ ,  $E$  étant l'étendue de la série avec  $E = X_{\max} - X_{\min}$ . Cependant le choix définitif du nombre de classes sera dicté par un souci de clarté et d'harmonisation avec les différents critères d'analyse des paramètres climatiques.

L'analyse se fera d'abord par la superposition des chroniques pluviométriques, thermiques et hygrométriques et les occurrences des feux de brousse. Ensuite l'investigation va porter sur les occurrences de feux et l'indice d'Angstrom.

##### ○ **ANALYSE DE CORRELATION**

Pour évaluer la dépendance entre les nombres de feux et les différents paramètres climatiques, nous avons calculé le coefficient de corrélation simple  $r$  qui mesure la relation linéaire entre les deux variables aléatoires. C'est le coefficient de corrélation de Pearson qui a été utilisé pour mesurer la liaison statistique. Une étude de corrélation entre le nombre de feu et les différents facteurs climatiques (température, humidité, amplitude thermique et l'indice d'Angström) a été effectuée.

Le calcul de  $r$  est l'expression numérique de l'intensité de la relation linéaire. La formule utilisée est :

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{(\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2)(\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2)}} \quad (6)$$

Enfin, la signification statistique de la valeur de  $r$  sera établie en vérifiant si le coefficient de corrélation  $r$  de l'échantillon s'écarte de 0 de manière significative. Pour ce faire, on calcule :

$$t = r * \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (7)$$

Le  $t$  calculé est alors comparé à la valeur tabulaire de  $t$  de Student avec  $n-2$  degrés de liberté. Si  $t$  calculé est supérieur à la valeur critique dans le tableau de Student, alors on conclut qu'il existe une corrélation significative entre les deux variables aléatoires. Dans le cas contraire, la corrélation n'est pas significative. Le traitement statistique a été réalisé à l'aide du logiciel statistique XLSTAT.

o IMPACTS DES PHENOMENES EL NINO

Une analyse comparative entre les années avec des épisodes El Nino et les années normales a été effectuée pour évaluer les impacts de ce phénomène d'échelle globale sur l'occurrence des feux de végétation dans le district, phénomène d'échelle locale.

3 RESULTATS

3.1 SAISONNALITE DES FEUX

La saison a été déterminée à partir du nombre cumulé de feux actifs détectés au cours de chaque mois sur la période d'observation de 1996 à 2010. La répartition saisonnière des feux au niveau du territoire ivoirien et de la Région du Zanzan est présentée par les figures 2 et 3 ci-dessous. Presque tous les incendies détectés au cours des quinze années d'étude sont situés dans les mois de novembre à avril dont la somme rend compte de 99% au niveau national et de décembre à mars dont la somme rend compte de 99,8% pour le Zanzan.

La figure 2 montre qu'au niveau national, l'occurrence des feux débute en novembre pour s'estomper en avril et devenir quasi inexistant les mois suivants. Les nombres de feux s'accroissent rapidement en décembre pour atteindre leur pic en janvier. Dès février, le nombre de feux décroît pour décliner complètement en avril.

Pour la Région du Zanzan, la figure 2 montre que les feux apparaissent en décembre pour disparaître complètement en mars avec un début précoce en novembre dans le département de Bouna. La figure 2 présente l'histogramme de la répartition spatio-temporelle des nombres moyens mensuels de feux enregistrés dans la Région du Zanzan au cours de la période 1996-2010.

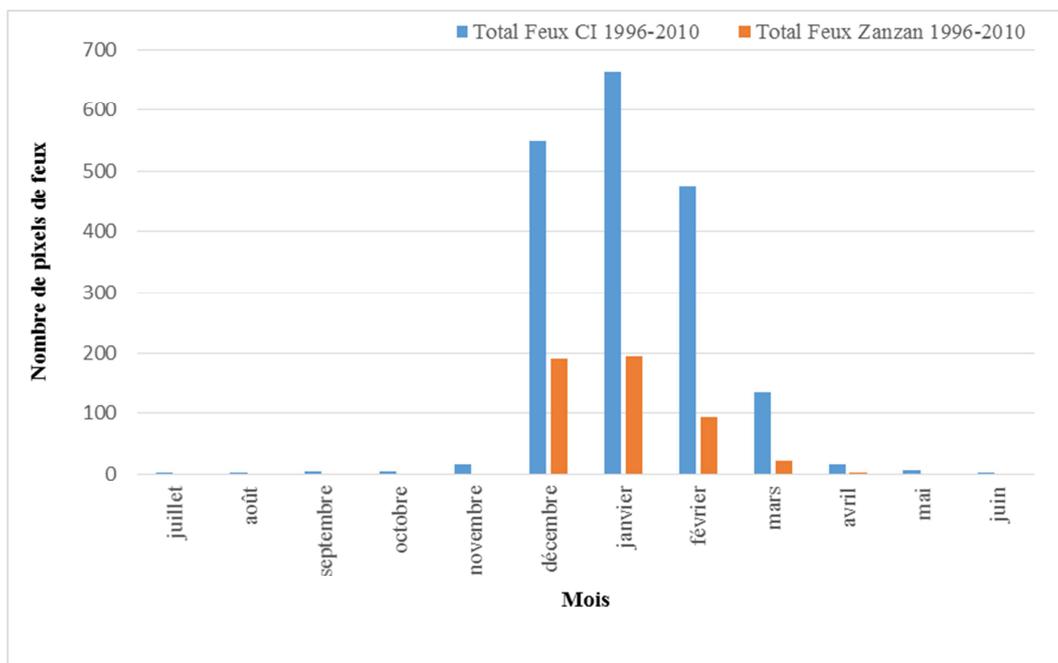


Fig. 2. Répartition mensuelle du nombre moyen de feu en Côte d'Ivoire et dans la Région du Zanzan

L'occurrence maximum de feux est enregistrée en décembre avec 240 feux actifs. En janvier, le nombre décroît à 193 feux actifs, puis à 93 en février et 22 en mars pour s'annuler complètement en avril.

La détermination de la saison des feux permet d'obtenir la durée de celle-ci. Au niveau national, la saison des feux dure en dure 6 mois (de novembre à avril). Dans le Zanzan, la saison des feux dure 4 mois en général. Cependant, pour le département de Bouna, la saison des feux est de 5 mois puisqu'on y enregistre des feux précoces en novembre. A Tanda, les cas de feux sont généralement peu fréquents. Ils restent observables jusqu'en mars. A Tanda, les cas de feux sont généralement peu fréquents. Ceux-ci apparaissent timidement en janvier et deviennent assez fréquent en février et mars. La

figure 3 présente l'histogramme de la répartition spatio-temporelle des nombres moyens mensuels de feux enregistrés dans la Région du Zanzan au cours de la période 1996-2010. De mai en octobre, les cas de feux sont marginaux dans le Zanzan.

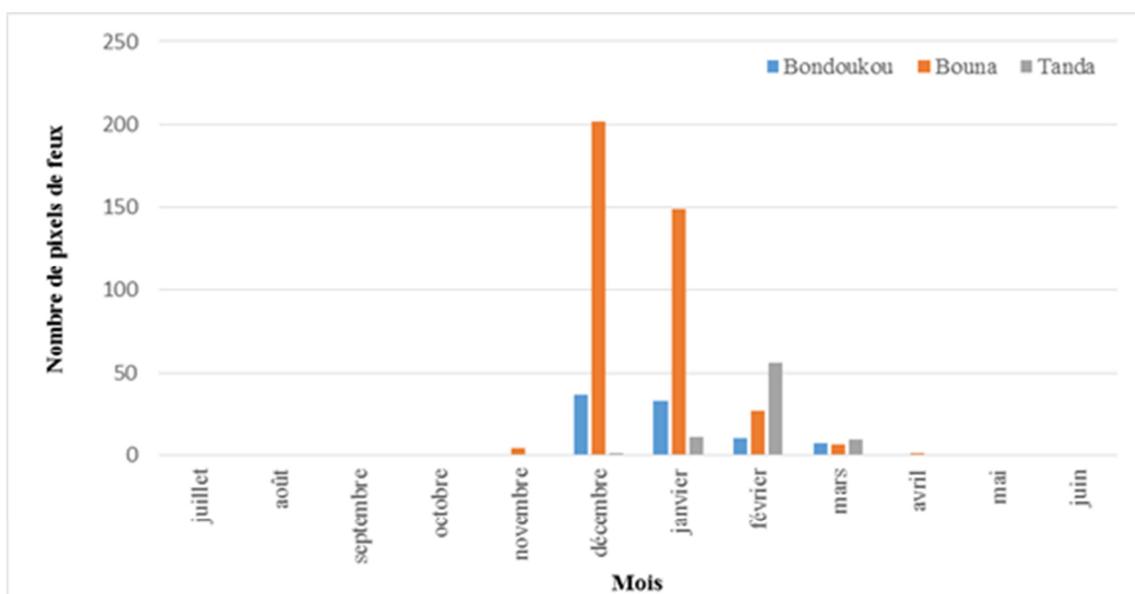


Fig.3. Répartition des nombres moyens de feux enregistrés par mois et par département dans la Zanzan de 1996 à 2010

### 3.2 PICS DES ACTIVITES DU FEU

Le pic de la saison des feux est considéré comme le temps de la saison correspondant à l'activité de feu maximale. C'est le mois au cours duquel les feux les plus actifs ont été détectés. Ce pic a été établi par la somme des feux détectés pendant la saison des feux. Le mois de janvier connaît la plus grande activité de feu tant au niveau national avec un total de 805 feux actifs détectés.

L'analyse des 14 différentes saisons de feux (figure 4) fait ressortir que le pic de feux actifs n'est une constante dans le Zanzan. Il peut apparaître en décembre comme en janvier. En effet, sur les 14 saisons de feux, les pics ont été enregistrés 7 fois en décembre et 6 fois en janvier et une fois en février.

Les particularités observées sont que les valeurs les plus élevées des pics sont enregistrées en décembre notamment pour la saison 1996-1997, où au cours de la saison, 45 feux actifs ont été enregistrés en décembre sur 84 pour toute la saison. Il a été de même pour les saisons 1999-2000 avec 35 feux actifs sur 55 pour la saison, 2002-2003 avec 19 sur 26 et 2009-2010 où sur 63 feux actifs enregistrés au cours de la saison 38 l'ont été en décembre.

Par ailleurs, de la saison 2001-2002 à la saison 2005-2006, les pics de feux n'ont pas dépassé 20 feux.

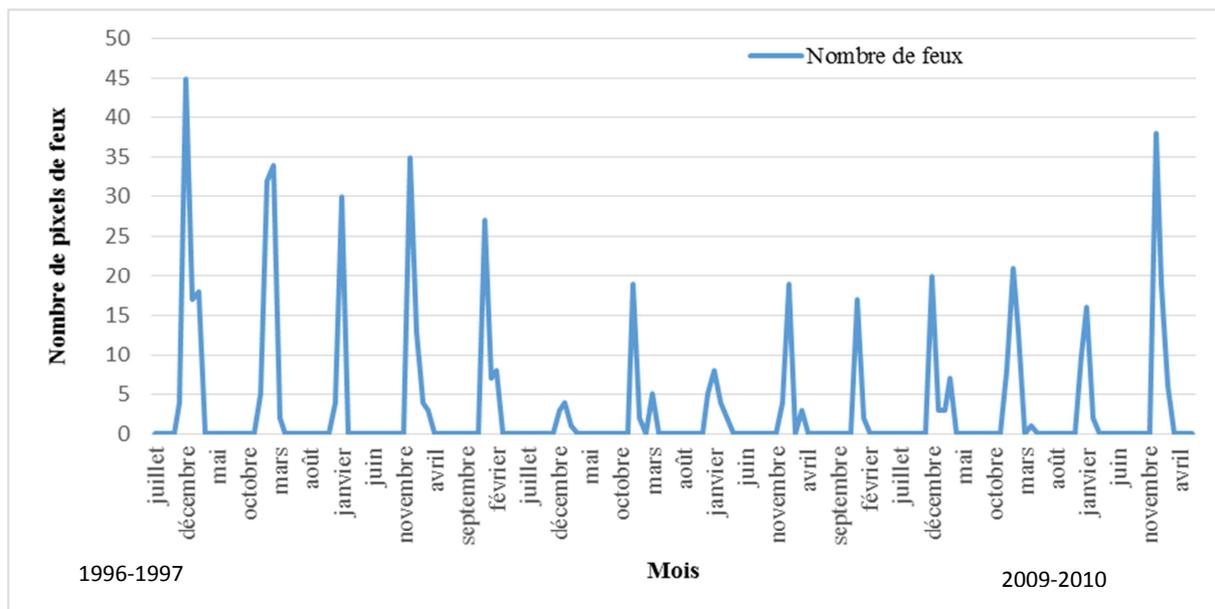


Fig. 4. Pics de feux actifs dans le Zanzan sur la période 1996-2010

### 3.3 FREQUENCE DES FEUX

La fréquence des feux est définie comme le pourcentage des feux détectés sur en un lieu au cours de la période d'étude. Dans l'analyse, nous retenons le seuil de 1% comme fréquence d'occurrence significative. La figure 5 présente les fréquences des feux détectées par le satellite ENVISAT en Côte d'Ivoire au cours de la période 1996-2010.

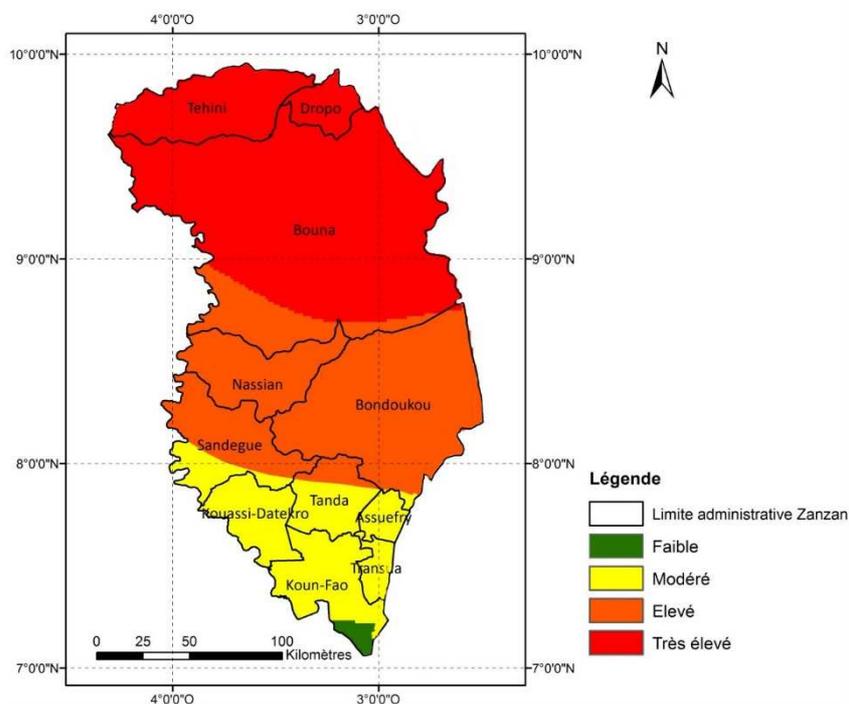


Fig.5. Carte des fréquences des feux détectés par le satellite ENVISAT dans le Zanzan au cours de la période 1996-2010

L'analyse de la figure 5 montre qu'au cours de la période 1996-2010, il y a eu plus de feux détectés dans les régions situées au-dessus des latitudes 7 et 8°N qu'en dessous de cette même latitude. A l'échelle annuelle, les occurrences de feu sont essentiellement marquées dans le département de Bouna avec 70% des feux observés dans le Zanzan et dans une moindre mesure dans les départements de Bondoukou et Tanda dans les mêmes proportions de 15%. Le département de Bouna est donc le département du district le plus affecté par les feux.

### 3.4 CONTRAINTES CLIMATIQUES

#### 3.4.1 OCCURRENCE DES FEUX EN RELATION AVEC LA RESERVE EN EAU DU SOL

La figure 6 ci-dessous présente l'historgramme des fréquences de feux en fonction de la réserve en eau du sol. Pour tous les cas de feu recensés, la pluviométrie a été nulle. La réserve en eau du sol a été analysée pour évaluer le degré de dessiccation.

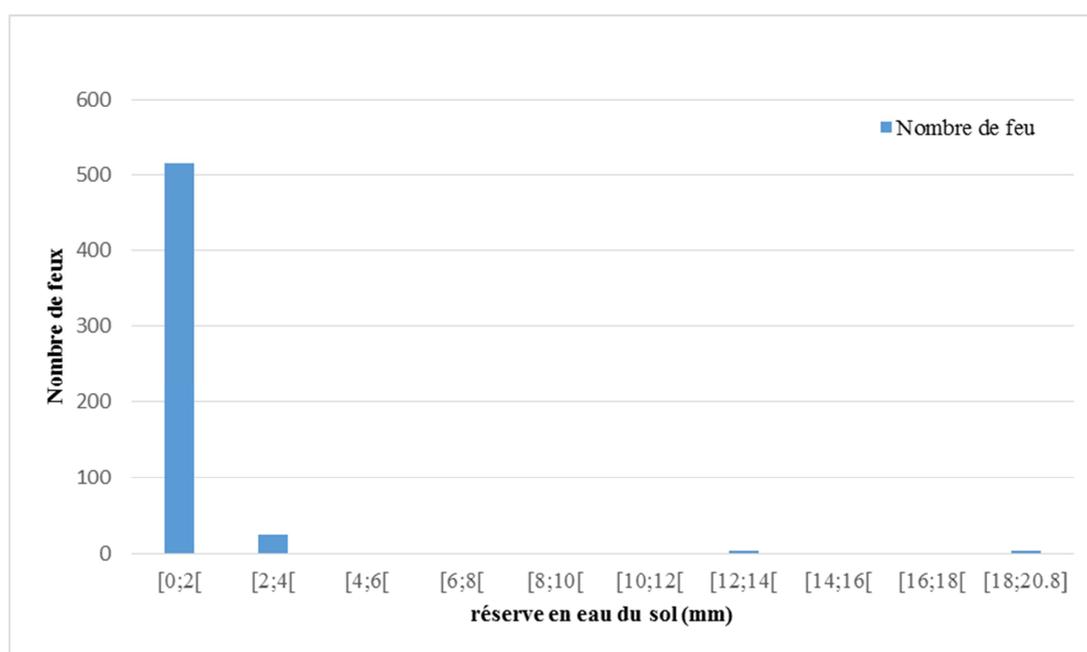


Fig. 6. Histogramme de fréquences de feu par rapport à la réserve en eau du sol

La figure montre que les nombres de feux observés sont quasiment nuls lorsque la réserve en eau du sol est supérieure à 5 mm. Sur un total de 553 feux enregistrés au cours de la période d'étude dans le Zanzan, 541 ont été enregistrés lorsque la réserve en eau du sol est inférieure à 4 mm soit 98% du total et 516 feux sont enregistrés lorsque la réserve en eau est inférieure à 2 mm. Pour les besoins de l'exploitation, on peut donc retenir la valeur de la réserve en eau du sol de 5 mm comme seuil limite favorable à l'éclosion des feux.

- **Température Maximale**

La figure 7 ci-dessous montre le nombre de feu en fonction des température enregistrés à la station synoptique de Bondoukou.

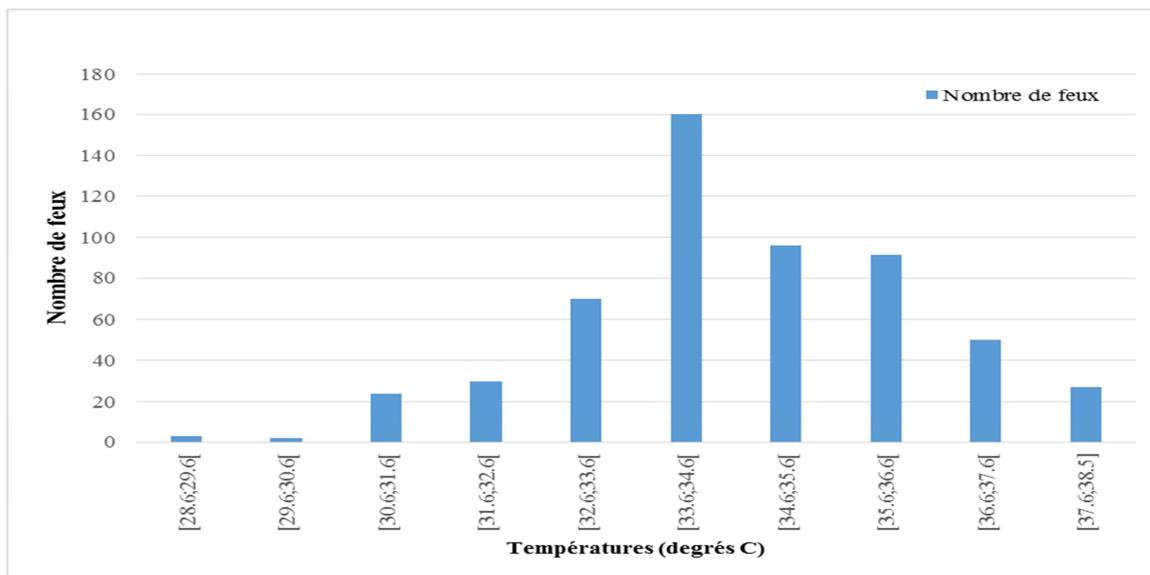


Fig. 7. Histogramme de fréquence de feu par rapport à la température maxima

Les feux se déclenche à partir de 31.3°C et atteignent le seuil maximal entre 33°C et 34.7°C. Il faut remarquer qu'il a été enregistré plus de feu entre 33°C et 36.4°C.

L'analyse des caractéristiques thermiques dans le District du Zanzan pendant la période des feux indique que la température est élevée. On relève donc que sur la période d'étude les feux apparaissent lorsque la température est comprise entre 28,5°C et 38,5°C.

A partir de 30,5°C, il y a un accroissement rapide du nombre de feux pour atteindre un pic de lorsque la température atteint 30,5°C. On note que 99,1% des feux sont enregistrés lorsque la température est entre 30,5°C et 38,5°C. Les hautes températures affectent l'état de dessiccation des plantes et du sol. Elles affectent aussi le processus d'évapotranspiration en élevant le taux d'assèchement des combustibles végétaux favorisant ainsi l'éclosion des feux.

• Humidité

La figure 8 montre le nombre de feu en fonction de l'humidité de l'air. Elle indique qu'il a été enregistré plus de feu lorsque l'humidité de l'air était faible.

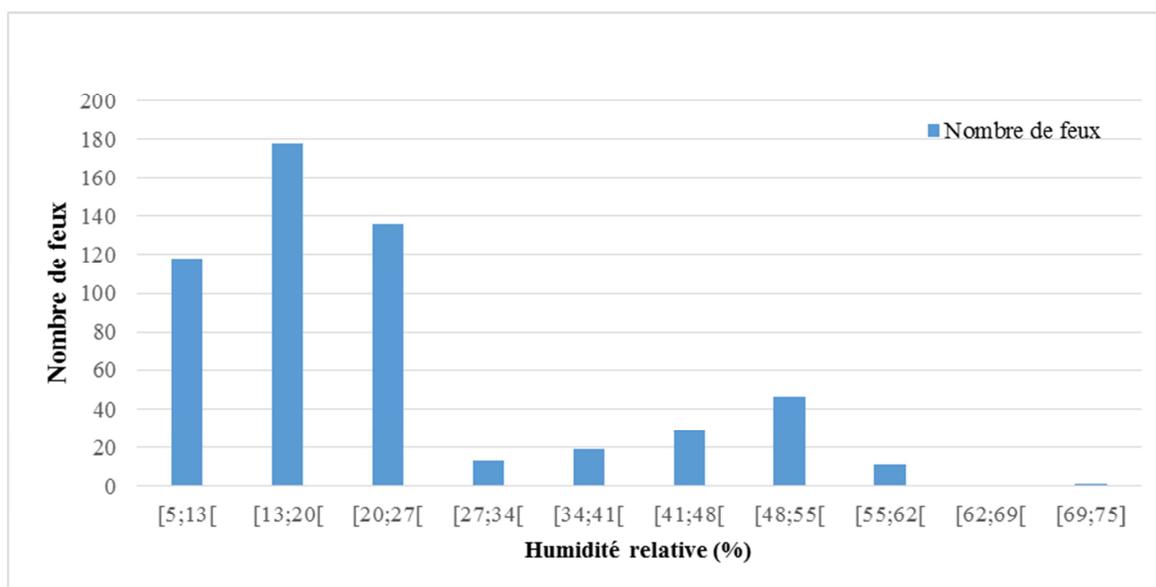
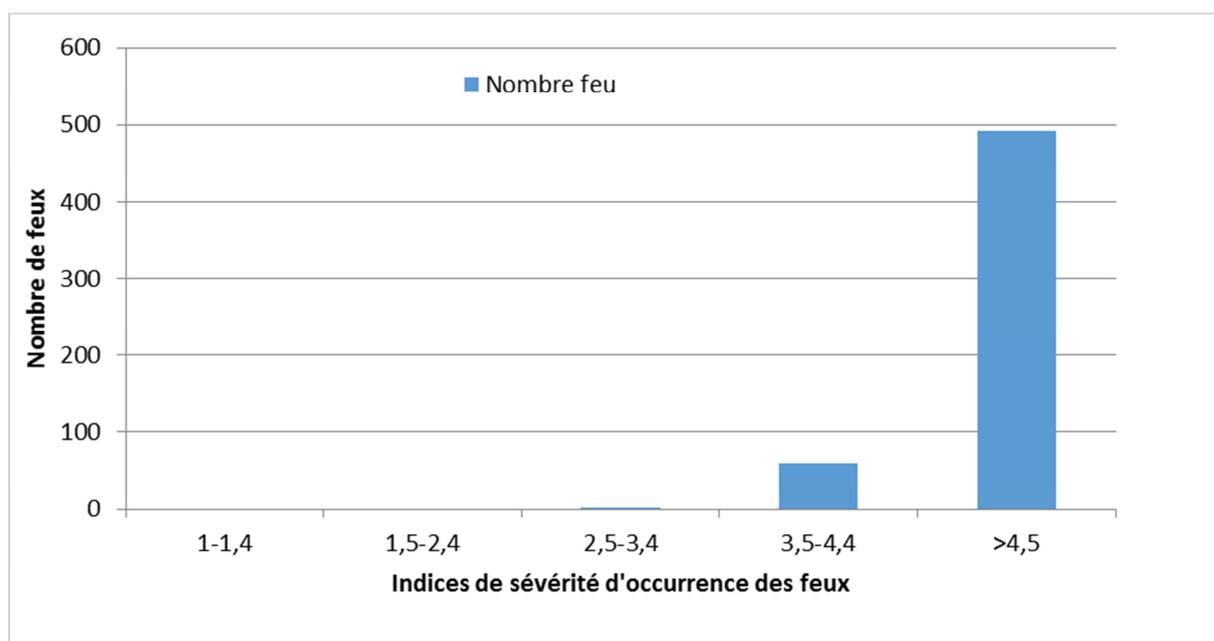


Fig. 8. Histogramme de fréquence de feu par rapport à l'humidité de l'air

Le taux d'humidité suit généralement le profil de la pluviométrie. Il est élevé pendant la saison des pluies et bas pendant la saison sèche. Les caractéristiques hygrométriques du district du Zanzan pendant la période des feux indiquent respectivement que 97,8% et 84,2% des feux sont enregistrés lorsque le taux d'humidité est inférieur à 55% et 41%. Ceci montre que l'air sec en influençant l'état de dessiccation des combustibles, favorise l'apparition des feux.

- **Indice d'Amsgröm**

La figure 9 présente l'évolution du nombre de feux en fonction de la classification des degrés de sévérité de l'indice d'Angstrom.



**Fig. 9. Histogramme du nombre de feu par rapport à l'indice d'Amsgröm**

L'histogramme du nombre de feu par rapport à l'indice d'Amsgröm montre que :

- 95% des feux sont déclenchés lorsque le risque est élevé ( $B > 3,5$ ) selon l'indice d'Angstrom ;
- 89% des feux sont déclenché lorsque le risque est très élevé ( $B > 4,5$ ) selon l'indice d'Amsgröm.

Ces résultats confirment les études réalisées en Côte d'Ivoire par [5] à partir de l'indice d'Angstrom, indice de danger de feu construit à partir de paramètres climatiques, qui ont montré que la vulnérabilité aux feux de brousse à Bondoukou est très élevée au cours de la période allant de décembre à mars.

- **Vent**

La figure 10 ci-dessous présente la rose des vents à la station synoptique de Bondoukou pendant les épisodes de feux enregistrés dans le district du Zanzan.

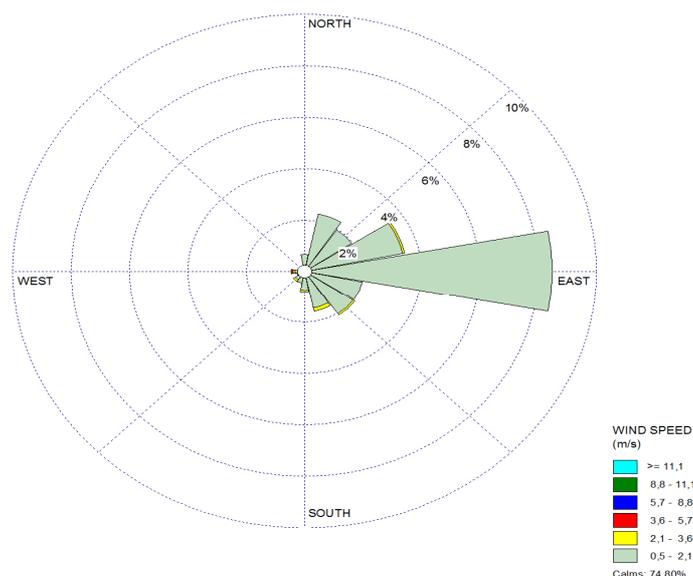


Fig. 10. Rose des vents à la station synoptique de Bondoukou pendant les épisodes de feux enregistrés dans le district du Zanzan.

Les vents sont de secteur Est pendant la saison des feux. Cette direction des flux de vent est caractéristique de l'harmattan qui souffle sur le pays et notamment dans le District du Zanzan encette période de l'année.

### 3.5 CORRELATIONS ENTRE OCCURENCES DE FEUX ET PARAMETRES CLIMATIQUES

Le tableau ci-dessous présente le résumé des analyses de corrélations entre les paramètres climatiques observés et les occurrences de feux.

Tableau 1. Coefficients de corrélation et significativité des relations entre paramètres climatiques et nombres de feu

Paramètres	Coefficient de corrélation de Pearson	Test de signification (seuil 0.05)
Température maximale	0,43	Significatif
Humidité relative minimale	-0,81	Significatif
Indice d'Angstrom	0,58	Significatif
Réserve en eau du sol	-0,54	Significatif

- Les séries de températures maximales (Tmax) observées de 1996 à 2010 et les indices d'Angström calculés au cours de cette même période ont une corrélation positive significative respectivement de 0,43 et de 0,58 avec les nombres de feux enregistrés au cours de la même ;
- L'humidité relative et la réserve en eau du sol sont inversement corrélées respectivement de -0,81 et -0,54 à l'observation des feux.

#### 3.5.1 CONDITIONS EL NINO ET OCCURENCES DES FEUX

La figure 11 présente l'évolution interannuelle du risque de feu dans le district du Zanzan.

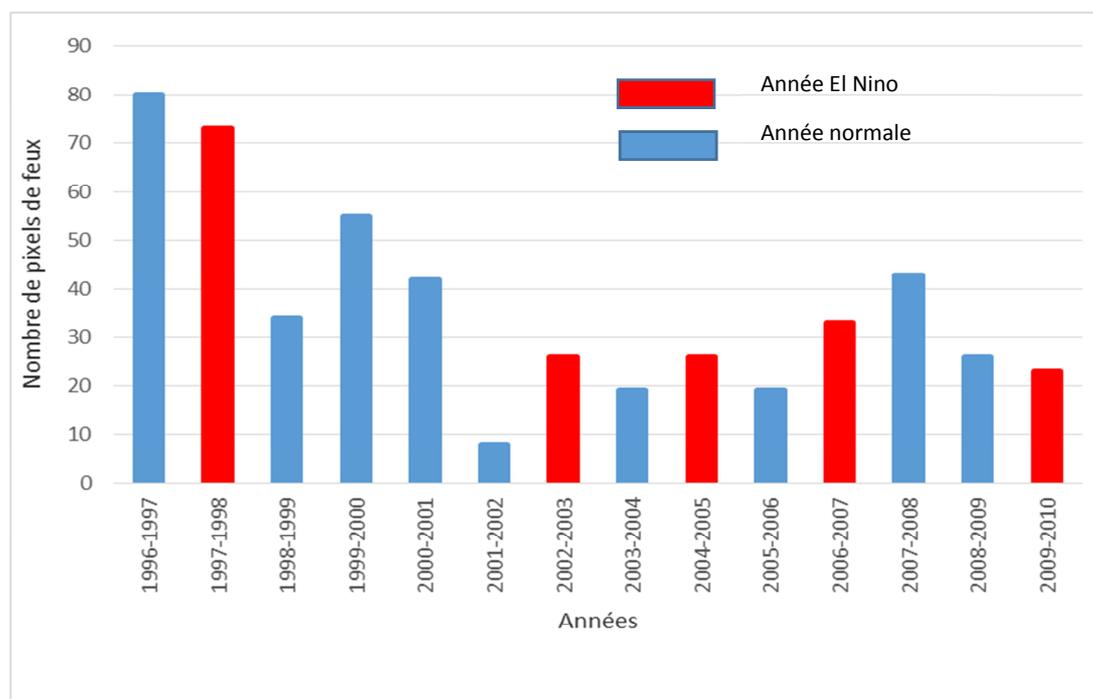


Fig. 11. Évolution interannuelle du nombre de feux

L'analyse de la figure 12 montre que :

- Occurrence de El Nino et augmentation des feux dans le Zanzan :
- Forte occurrence des feux au cours du phénomène de 97-98 ;
- augmentation des nombres de feux d'en moyenne 4% pendant les années El Nino par rapport aux années normales ;
- En année El Nino, notamment aux épisodes de 1999-2000, 2002-2003, 2004-2005 et 2007-2008, on note une augmentation des nombres de feux par rapport aux années précédentes. En effet, les nombres de feux détectés ont augmenté respectivement de 62% par rapport à la saison des feux 1998-1999, de 225% par rapport à la saison des feux 2001-2002, de 37% par rapport à la saison des feux 2003-2004 et de 30% par rapport à la saison des feux 2006-2007.

Au regard de ces résultats, on peut conclure que le phénomène El Nino impacte négativement sur l'occurrence de la pluie dans le Zanzan dérégulant ainsi le comportement des saisons. Les raccourcissements de la saison des pluies au cours de ces périodes El Nino constitue des conditions très vulnérables à la survenue des feux de brousse.

Au niveau climatique, la Région du Zanzan est soumise à l'influence des phénomènes

El Nino accentuant fortement la sécheresse de la saison sèche. Les années qualifiées d'années El Niño sont marquées par de très faibles précipitations, de nombreux feux de brousse ainsi que des pénuries d'eau. La saison des feux de brousse s'étend du début du mois de novembre à la fin du mois d'avril.

En résumé les facteurs climatiques qui causent des dommages sont les températures élevées, de faibles taux d'humidité relative, de faibles taux d'humidité du sol et des vents d'est caractéristiques de l'harmattan. Un déficit hydrique tant au niveau atmosphérique qu'édaphique au niveau de la Région constitue donc un indicateur pour l'augmentation des occurrences de feux de brousse dans le Zanzan. Le réchauffement moyen de 0,4°C par rapport à la normale 1971-2000 de la région du Zanzan est conforme à celle de la hausse moyenne nationale en Côte d'Ivoire qui est de 0,3°C [6]. Cependant cette valeur reste en dessous de la hausse moyenne globale qui est de 0,6°C [10] Ces hausses de température sont particulièrement accentuées au cours des années réputées années El Nino [16] qui impactent négativement les activités agricoles notamment sur les saisons culturales à l'exemple des épisodes de 1973, 1983 et 1998, reconnus au niveau global comme les plus forts. Ces conditions climatiques drastiques constituent un facteur essentiel de l'occurrence des feux de brousse dont le Zanzan détient la plus grande fréquence à l'échelle nationale. Cette étude montre aussi que l'apparition de El Nino phénomène d'échelle globale, contribue à prolonger la saison sèche et provoquer ainsi la persistance des risques de feu de végétation à l'échelle du Zanzan.

Les conditions climatiques favorables à l'occurrence des feux dans la Région du Zanzan sont notamment un déficit hydrique avec une réserve en eau du sol inférieure à 5 mm, des températures comprises entre 31 et 35°C et une humidité relative inférieure à 40%. Les conditions climatiques qui regroupent les 3 critères deviennent une circonstance aggravante.

#### **4 DISCUSSIONS**

Les feux détectés au cours de la période d'étude fait apparaître que la saison des feux s'étale, de manière générale, de novembre à avril à l'échelle nationale et de novembre à mars dans le Zanzan. Il y a eu plus de feux détectés dans les régions situées au-dessus de la latitude 8°N qu'en dessous de cette même latitude. Ce résultat confirme ceux diffusés par le système Fire Information for Resource Management System (FIRMS) (<https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>) et dérivé des données du satellite MODIS, celui de [4] qui montrent que la zone d'incendies en Côte d'Ivoire se situe essentiellement au nord de cette limite, celui de [6] qui a montré qu'en Afrique de l'ouest l'espace des feux est compris entre 8°N et 16°N et aussi celui de [25] qui a montré que l'activité du feu commence généralement tôt à des latitudes plus élevées (14° -12° N) avant de descendre vers le sud avec la saison sèche jusqu'au 6° N. son étude a également montré que dans les pays de l'Afrique de l'ouest, et notamment en Côte d'Ivoire, l'activité des feux a lieu dans la savane soudano-guinéenne et guinéenne et cette activité est répandue en Décembre.

Le département de Bouna est le premier département du district touché par les feux. Sa vulnérabilité précoce aux feux s'explique en partie par la répartition des paysages végétaux constitués en grande partie par la savane. Elle s'explique aussi par le mouvement du FIT vers le sud qui expose dès novembre le département à l'entrée de l'harmattan provoquant un déficit hydrique favorable à l'éclosion des feux. Cela peut en outre s'expliquer par le fait que les populations opèrent des feux précoces en début de saison sèche afin de limiter les possibilités d'extension des feux accidentels lorsque la dessiccation de la végétation sera plus accentuée et aussi pour favoriser la repousse de la végétation utile à l'élevage.

Comparativement aux départements de Bouna et de Tanda, celui de Bondoukou semble peu favorable à l'éclosion des feux. En effet, malgré de nombreuses caractéristiques, notamment climatiques favorables normalement au passage des feux réguliers dans ce département. En effet, selon les statistiques élaborées sur la base des données du Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement (BNETD), le département de Bondoukou se particularise au point de vue floristique par très peu de végétation de savane c'est-à-dire 71,34 Km<sup>2</sup> contre 875,79 Km<sup>2</sup> pour Tanda et 7362,7 Km<sup>2</sup> pour Bouna. Cette végétation semble résister aux feux car constituée de forêt dense et de forêts galerie peu pyrophytes. A l'opposé, la relative exposition du département de Tanda aux feux s'explique sûrement par la présence de la végétation de savane qui couvre de larges parties du département de Tanda. De plus, selon [7] l'absence ou la rareté des feux dans un contexte naturel pourtant favorable à leur utilisation montre que plusieurs modes de domestication du milieu peuvent coexister sous les mêmes conditions climatiques.

La distribution des feux est fortement liée aux cycles climatiques. Le mouvement de la Zone de Convergence Intertropicale (Z.C.I.T) détermine l'alternance saison des pluies et des saisons sèches siège des saisons des feux.

L'analyse montre des différences notables entre les sévérités saisonnières. En effet, au cours des saisons 1997-1998, 2002-2003, 2004-2005 et 2006-2007 réputées années El Nino, les nombres de feux ont connu des augmentations d'en moyenne 39% par rapport à la moyenne du Zanzan et de 20% par rapport à la moyenne nationale. Le pic des feux enregistrés au cours de la période d'étude est de 262 feux et cela au cours de la saison 1997-1998. Il est suivi de 249 cas pour la saison 1996-1997 et de 234 cas pour la saison 2006-2007. La saison 1997-1998 correspond à l'un des épisodes El Nino les plus marqués dans l'histoire de la science du climat. En effet, l'OMM a classé l'année 1998 comme la plus chaude depuis 1850, début des enregistrements des données climatiques. Au niveau national, cette année est classée la plus chaude depuis 1905, début des observations météorologiques en Côte d'Ivoire.

La saison des feux est circonscrite dans la période allant de décembre à mars tant au niveau du Zanzan. D'avril à novembre, les cas de feux sont presque inexistants. Ces deux périodes coïncident avec le découpage climatique en Côte d'Ivoire. En effet, la saison des feux correspond à la période de la grande saison sèche où l'harmattan sévit sur tout le pays et particulièrement sur la partie nord du pays. Ces résultats confirment les études réalisées par [6] à partir de l'indice d'Angstrom, indice de danger de feu construit à partir de paramètres climatiques, qui ont montré que la vulnérabilité aux feux de brousse est très élevée au cours de la période allant de décembre à mars dans le nord de la Côte d'Ivoire.

L'analyse des résultats de cette étude montrent que le mouvement du FIT vers le Sud laissant sa partie Nord en proie à un déficit hydrique favorable à l'éclosion des feux. Cette situation est aggravée par le phénomène climatique El Nino qui provoque la persistance de la sécheresse en Afrique de l'Ouest. Ces résultats confirment au niveau du Zanzan, ceux de

l'OMM qui indiquent que le phénomène El Nino provoque des situations climatiques extrêmes dont les sécheresses dans certaines régions de la planète [22].

Cependant, le phénomène climatique ne peut à lui seul expliquer la forte occurrence des feux de brousse dans le Zanzan. Les nombres de feux enregistrés pourraient s'expliquer par d'autres facteurs dont notamment celui de l'homme malgré les actions vigoureuses tant gouvernementales que non gouvernementales, entreprises pour juguler la catastrophe sinon réduire le nombre d'ignition. Les contrastes interannuels mettent en évidence les limites du déterminisme des fluctuations climatiques pour expliquer seul la distribution saisonnière des feux. La distribution temporelle des feux s'explique en partie par la répartition des paysages végétaux constitués en grande partie par la savane dans la Région du Zanzan, porte d'entrée des vents secs de secteur Nord-Est de l'harmattan sur le territoire ivoirien.

Comparativement aux départements de Bouna et de Tanda, celui de Bondoukou semble peu favorable à l'éclosion des feux. En effet, malgré de nombreuses caractéristiques, notamment climatiques favorables normalement au passage des feux réguliers dans ce département. Cela pourrait s'expliquer par une végétation moins savanicole. En effet, selon les statistiques élaborées sur la base des données du BNETD, le département de Bondoukou se particularise au point de vue floristique par très peu de végétation de savane c'est-à-dire 71,34 Km<sup>2</sup> contre 875,79 Km<sup>2</sup> pour Tanda et 7362,7 Km<sup>2</sup> pour Bouna. Cette végétation semble échapper aux feux car constituée de forêts denses et de forêts galeries peu pyrophytes. Le nombre peu élevé de feux pourrait aussi s'expliquer par le fait que les populations opèrent des feux précoces en début de saison sèche afin de limiter les possibilités d'extension des feux accidentels lorsque la dessiccation de la végétation sera plus accentuée et aussi pour favoriser la repousse de la végétation utile à l'élevage. De plus, selon [7] l'absence ou la rareté des feux dans un contexte naturel favorable à leur utilisation montre que plusieurs modes de domestication du milieu peuvent coexister sous les mêmes conditions climatiques. A l'opposé, la relative exposition du département de Tanda aux feux s'explique sûrement par la présence de la végétation de savane qui couvre de larges parties du département de Tanda.

L'étude montre qu'un taux d'humidité relative de 40 % peut être retenu valeur seuil de la teneur maximale en humidité qui permettrait une occurrence du feu dans le Zanzan. Les feux enregistrés avec des taux d'humidité voisins de 60% pourraient s'expliquer par les feux précoces enregistrés en début de saison sèche lorsque la végétation n'a pas encore été atteinte de stress hydrique.

Au niveau climatique, la Région du Zanzan est soumise à l'influence des phénomènes El Nino accentuant fortement la sécheresse de la saison sèche. Les années qualifiées d'années El Niño sont marquées par de très faibles précipitations, de nombreux feux de brousse ainsi que des pénuries d'eau. La saison des feux de brousse s'étend du début du mois de novembre à la fin du mois d'avril.

Ce résultat confirme celui de [18] qui a montré, à partir d'une étude menée sur les aspects climatiques des feux de végétation de 1982/1983 au Nigéria, la prévisibilité des feux de végétation au Nigéria et dans les tropiques à partir de l'indice d'Angstrom.

## **5 CONCLUSION**

L'analyse des données satellitaires relatives aux feux fournit des informations indispensables pour comprendre leur distribution spatio-temporelle, leur relation avec les variables climatiques et leurs effets sur la végétation naturelle.

Cette étude a montré que les feux de brousse surviennent en Côte d'Ivoire pendant la saison sèche. Les régions les plus affectées sont celles du Nord-Est. La saison des feux dans le Zanzan est circonscrite de décembre à mars ;

- Les feux précoces, ceux de novembre, sont très peu fréquents dans le district du Zanzan,
- Le département de Bouna est le plus exposé aux feux au cours de la saison des feux de brousse

L'analyse des statistiques climatologiques ont montré que l'importance de la surveillance météorologique des feux de brousse en Côte d'Ivoire. En effet, il ressort de cette étude qu'il existe une corrélation significative entre les variables climatiques et les feux de brousse au niveau du district du Zanzan. Les cycles annuels de feux de brousse et leur sévérité sont donc liés aux variations climatiques. Le risque météorologique d'incendie est conditionné par plusieurs paramètres climatiques dont la température, l'humidité, le vent et la pluviométrie paraissent déterminants. Aussi, le phénomène El Nino a une incidence aggravante sur l'occurrence des feux de végétation dans le district.

En outre, une assistance météorologique au service en charge des feux de brousse nécessite des points de mesures dans le district du Zanzan qui est une zone à risque. Les résultats de cette étude montrent la nécessité de réhabiliter le réseau météorologique existant dans le Zanzan et même de le densifier afin de mettre à la disposition des structures en charge de la protection de la forêt des résultats d'étude qui répondent aux besoins locaux. Par ailleurs, les services forestiers devront

s'investir dans le développement d'un système national de prévision du danger de feux de végétation. Leur collaboration avec les services en charge du climat est de ce fait indispensable.

## REFERENCES

- [1] Allen G.R., Pereira L.S., Raes D., Smith M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO, Irrigation and drainage paper, 1998, 300p.
- [2] ARIF A., 1992. Situation climatique et déclenchement des incendies de forêts. In météorologie et incendies de forêts, édité par OMM et FAO. pp 129- 137.
- [3] ASECNA, 1979. Le climat de la Côte d'Ivoire. Service météorologique, Abidjan, 69 p.
- [4] BIGOT S., BROU Y.T., OSZWALD J., DIEDHIOU A. 2005. Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. Sécheresse, 1 (6), 5 -13.
- [5] BROU T. Y., 1997 : Analyse et dynamique de la pluviométrie en milieu forestier ivoirien : recherche de corrélations entre les variables climatiques et les variables liées aux activités anthropiques. Thèse de Doctorat 3ème cycle, IGT, Abidjan, 210 P
- [6] DJE, 2006. Apport d'un SIG et de la météorologie dans le suivi et la gestion des feux de brousse en Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA, Centre Universitaire de Recherche et d'Application de la Télédétection, Université de Cocody.
- [7] DOLIDON H., 2007. La multiplicité des échelles dans l'analyse d'un phénomène d'interface nature/ société. L'exemple des feux de brousse en Afrique de l'ouest. Cybergeog : european Journal of Geography n° 363. 20p.
- [8] ESA, 2006. World fire maps now available online in near-real time.  
[http://www.esa.int/About\\_Us/ESRIN/World\\_fire\\_maps\\_now\\_available\\_online\\_in\\_near-real\\_time](http://www.esa.int/About_Us/ESRIN/World_fire_maps_now_available_online_in_near-real_time)
- [9] ESA, 2009. Contrôle des variables climatiques essentielles depuis l'espace : couverture végétale et incendies. Solutions aux Changements Climatiques 2009. [www.esa.int](http://www.esa.int)
- [10] GIEC. (2013). Bilan sur les changements climatiques : Rapport de synthèse GIEC, Stockholm, en Suède, 34 p.
- [11] GUILLAUMET J.-L., ADJANOHOUN E., 1971. Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire, chapitre : la végétation. Mémoire ORSTOM n° 50 Paris 1971, pp 157-263
- [12] HARGREAVES, G. H. SAMANI, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture 1(2), pp 96–99.
- [13] INRA, 2009. Indicateurs écophysologiques de sécheresse édaphique. Unité mixte de recherches INRA-Nancy-Université 1137 « Ecologie et écophysologie forestières ».
- [14] NDABALISHYE I., 1995. Agriculture vivrière ouest-africaine à travers le cas de la Côte d'Ivoire. Bouaké, IDESSA; Abidjan, CEDA, 384p.
- [15] NOAA (2009), Monthly Niño-3.4 sea surface temperature
- [16] NOAA (2009), Monthly Niño-3.4 sea surface temperature, <http://www.cpc.noeaa.gov/data/indices/sstoi.indices>, Clim. Predict. Cent., Camp Springs, Md.
- [17] OGUNTALA A., 1982. Wildland fires particularly in tropical regions. Agricultural Meteorology. CAGM report N° 10. 44p.
- [18] Oguntala, A. B., 1987. The climate aspects of the 1982 / 1983 wildlandfires in Nigeria. In Reisneider and Darnhofer. Meteorology and Agroforestry, pp 539 – 545
- [19] OMM (1994). Guides des pratiques hydrologiques : acquisition et traitement des données, analyses, prévision et autres applications. Organisation Météorologique Mondiale, OMM n°168, 829 p.
- [20] OMM (2009). Troisième conférence mondiale sur le climat, Nouvelles du climat mondial, 34, janvier, [www.wmo.ch](http://www.wmo.ch) (April 19, 2016)
- [21] OMM, 1982. Système mondial intégré de services océaniques, Plan général et programme de mise en oeuvre pour 1982-1985
- [22] OMM, 2005. Rapport sur la Conférence mondiale sur la prévention des catastrophes, Kobe, Hyogo, Japon, 18-22 janvier 2005
- [23] Reifsneider, W. E., 1978. Systems for evaluating and predicting the effects of weather and climate on wildfires fires. World Meteorological Organization Special Report No 11, WMO No 496, 34 p.
- [24] SHUANGHE S., YUANSHU J., 2004. Agrometeorology. WMO Regional Meteorological Training Center. International Training Course. Nanning China. Chapter 5 pp 1-27, chapter 6 pp 1- 61.
- [25] YAO N., 2010. Mapping Bushfire Distribution and Burn Severity in West Africa Using Remote Sensing Observations. Thèse de doctorat. Würzburg 2010. Allemagne.