

Facteurs écologiques et intensité du feu en savane soudanienne au Burkina Faso

**Sabine W. M. F. DOAMBA^{1*}, Bassiaka OUATTARA¹, Patrice SAVADOGO²
et Bismarck Hassan NACRO³**

¹ *Université de Fada N'Gourma, Ecole Supérieure d'Ingénierie, BP 54 Fada N'Gourma, Burkina Faso*

² *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Sénégal*

³ *Université Nazi Boni (UNB), Institut du Développement Rural (IDR), Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du sol (LERF), 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso*

* Correspondance, courriel : doambaflore@yahoo.fr

Résumé

Les feux de brousse sont considérés comme une perturbation écologique majeure des écosystèmes savaniques. Leurs effets dépendent aussi bien de leur intensité que de leur saison. L'objectif de cette étude est de déterminer les facteurs écologiques qui peuvent influencer l'intensité du feu en savane boisée soudanienne. L'étude a été menée dans la forêt classée de Dindéresso à l'Ouest du Burkina Faso (11. 225° N, 4. 447° O, altitude 359 m). Un dispositif couvrant 1,8 ha a été installé et sur la base de la quantité de combustible, trois traitements ont été considérés (CA : Combustible augmenté, CN : Combustible Normal, CR : Combustible réduit). Les résultats de l'étude montrent que la quantité de combustible a un effet significatif sur l'intensité du feu ($p < 0,001$). Les parcelles à combustible augmenté (CA) et à combustible normal (CN) ont enregistré les plus fortes intensités. Aussi, l'intensité du feu est positivement et significativement corrélée avec la quantité du combustible ($r^2 = 0,913$; $p < 0,002$) mais négativement avec son humidité ($r^2 = 0,731$; $p < 0,03$). Cependant, la couverture végétative n'a pas eu d'effets significatifs sur les caractéristiques du combustible et le comportement du feu. Aussi, des modèles de prédiction du comportement du feu ont pu être élaborés sur la base des conditions climatiques, des caractéristiques du combustible et de la couverture végétative.

Mots-clés : *feu, température du feu, intensité du feu, combustible, savane soudanienne.*

Abstract

Ecological factors and fire intensity in savana-woodland of Burkina Faso

Fires are considered the most important disturbance agent in savanna ecosystems. Their effects depend on their intensity and seasonality. The objective of this study is to determine the ecological factors that can influence the intensity of fire in sudanian savanna-woodland. The study was carried out in the State forest reserve of Dinderesso in Western Burkina Faso (11.225° N, 4.447° W, altitude 359 m). The experiment was conducted on an area of 1.8 ha. Three treatments were considered based on fuel load (CA : Increased fuel load, CN : Normal fuel load, CR : reduced fuel load). The results show that fuel load has a significant effect on the intensity of fire ($p < 0.001$). The increased fuel load (CA) and normal fuel load (CN) plots recorded the highest intensities. Also, fire intensity is positively and significantly correlated with the quantity of fuel load

($r^2 = 0.913$; $p < 0.002$) but negatively with its humidity ($r^2 = 0.731$; $p < 0.03$). However, vegetative cover hadn't a significant effect on fuel characteristics and fire behavior. Also, fire behavior prediction models have been developed based on climatic conditions, fuel characteristic and vegetation cover.

Keywords : *fire, fire temperature, fire intensity, fuel load, savanna-woodland.*

1. Introduction

Le feu est un important composant des écosystèmes savanicoles africains [1]. Il est utilisé à l'entretien et à la conservation de ces écosystèmes. Ils contrôlent en effet, la structure, la composition, la succession, la productivité de ces écosystèmes [2] ainsi que la dynamique des nutriments dans le sol [3]. Son effet sur les organismes dépend de sa fréquence, de sa saisonnalité, de son régime (précoce entre les mois de novembre et décembre ou tardif entre les mois de Janvier à Mai) et de son intensité [4]. Les feux fréquents peuvent avoir des conséquences à long terme sur les processus biogéochimiques, physiques et microbiens qui régissent le stockage des éléments nutritifs et la capacité du sol à retenir l'eau et les nutriments [5]. Les conséquences de ces feux peuvent être bénéfiques ou néfastes pour les écosystèmes savanicoles en fonction de leur intensité et de leur sévérité. Cette sévérité du feu fait référence en effet, à l'impact écologique du feu sur les écosystèmes [6]. Les études récentes effectuées en savane Guinéenne en Côte d'Ivoire ont montré que les espèces de graminées pérennes différaient dans leur sensibilité aux traitements au feu [7]. Les feux tardifs provoquent toujours le déclin de la population de ces espèces par contre l'inexistence de feu est défavorable aux graminées et conduit même à la disparition de *L. simplex* [8]. Concernant les arbres, les feux à fortes intensité peuvent provoquer une perte des branches et par conséquent contribuer à les déformer et à inhiber leur croissance [9]. En outre, à l'issue d'un feu de forte intensité, 8 % des arbres sont déformés et ce pourcentage devient cinq fois plus élevé (48 %) après plusieurs passages du feu [10].

Des travaux ont aussi relevé une faible mortalité des ligneux lorsque l'intensité du feu est faible [11]. Le taux de mortalité baisse rapidement pour toutes les espèces lorsque le feu est exclu [12]. Ces résultats montrent l'importance de l'intensité du feu dans la compréhension du fonctionnement des écosystèmes savanicoles. L'intensité du feu décrit en effet, le processus de combustion physique et la libération d'énergie à partir de la matière organique [13]. Il contribue avec d'autres paramètres tels que les caractéristiques de la flamme, la consommation du combustible et d'autres phénomènes connexes à prédire le comportement du feu [14, 15]. Pour prédire l'impact des changements qu'il peut y avoir au niveau de la distribution de la végétation sur les propriétés physico-chimiques et géomorphologique du sol due au feu, il est nécessaire de comprendre comment l'intensité des feux interagit avec les caractéristiques du combustible et les conditions météorologiques pour influencer la végétation et les différents paramètres du sol des savanes. Des expériences à long terme ont été mises en œuvre en Australie [16] et en Afrique du Sud [17] pour mesurer l'intensité du feu et comprendre son impact sur les organismes vivants. De même, des modèles basés sur les effets de la quantité et de l'humidité du combustible, celle relative de l'air et de la vitesse du vent, ont été développés en Australie et adaptés en Afrique du Sud [11, 18] pour prédire le comportement des feux et son impact écologique. Dans les savanes Ouest africaines, des études expérimentales commencent à s'intéresser à la mesure de l'intensité du feu et à la prédiction de son comportement [14, 20, 21]. Néanmoins, une meilleure connaissance du comportement du feu et son interaction avec les autres facteurs environnementaux (densité ligneuse et conditions climatiques) pourrait permettre d'élaborer des stratégies d'aménagement et de gestion des écosystèmes savanicoles. Cette activité de recherche consiste à étudier l'effet de la couverture végétative, des conditions climatiques ainsi que des caractéristiques du combustible sur le comportement du

feu (température, vitesse de propagation et intensité du feu). Plus spécifiquement les objectifs de cette recherche sont: (i) analyser l'effet de la couverture végétative sur les caractéristiques du combustible ; (ii) de proposer des modèles de prédiction du comportement du feu sur la base des caractéristiques du combustible, des conditions climatiques et de la couverture végétative.

2. Matériel et méthodes

2-1. Site d'étude

Les travaux de terrain se sont déroulés dans la forêt classée de Dindéresso (11. 225°N, 4. 447° O, altitude 359 m) (**Figure 1**). Le climat est du type sud soudanien avec l'alternance de deux saisons; une saison pluvieuse allant de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril [19]. La pluviosité moyenne (2009 - 2011) est de 1010 ± 145 mm (moyenne, erreur standard). Les sols sont légèrement profonds (> 85 cm) et reposent sur des roches sédimentaires et sont classés comme des Lixisols (système de classification de la FAO) [20]. La végétation du site d'étude est du type savane arborée/arbustive avec une couche d'herbe dominée par les graminées annuelles *Andropogon pseudapricus* Stapf. et *Loudezia simplex* (Pilger) C.E. Hubbard ainsi que des graminées vivaces *Andropogon gayanus* Kunth. et *Andropogon ascinodis* C.B.Cl. La proximité de la forêt classée de Dindéresso avec quelques villages et du centre urbain de Bobo Dioulasso rend sa gestion difficile du fait de la pression anthropique. Ainsi, la forêt est souvent sujette à de nombreux prélèvements tels que le bois de chauffe, le bois d'œuvre, la fauche des graminées, le pâturage et le prélèvement d'organes pour la pharmacopée. La forêt est aussi confrontée à des feux de brousse qui sont appliqués pour stimuler la repousse des graminées.

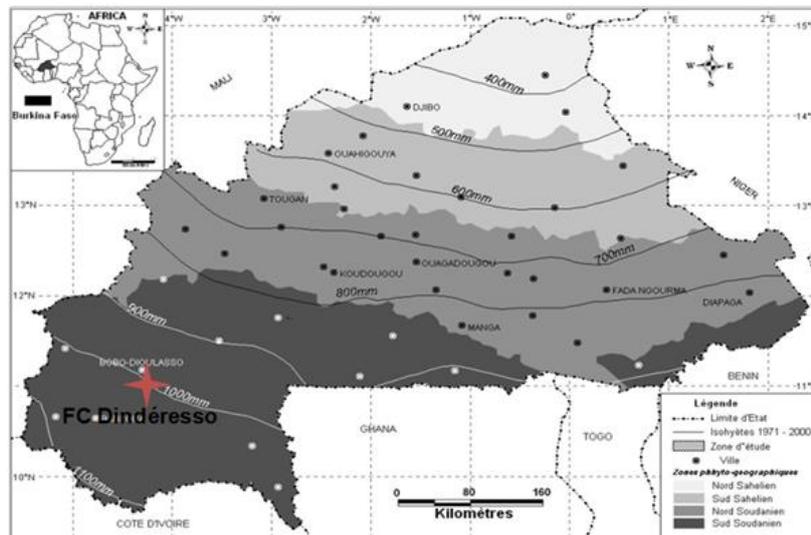


Figure 1 : Localisation de la forêt classée (FC) de Dindéresso selon la zone phytogéographique et les isohyètes

Réadaptée en Avril 2007 par CTIG/INERA /Burkina Faso après Fontès et Guinko, 1995 et la Direction Nationale de Météorologie

2-2. Dispositif expérimental

Le dispositif couvre une superficie totale de 1,8 ha et comprend trois blocs non contigus de 0,72 ha chacun (**Figure 2**). Les blocs d'étude ont été installés sur des terrains plats afin d'éviter l'influence de la pente sur le comportement du feu [21]. Chaque bloc a été subdivisé en trois (3) parcelles de 0,24 ha (80 × 30 m)

(Figure 2). Les parcelles sont séparées les unes des autres par des pare-feux de 10 m de large et chaque bloc est entouré d'un pare-feu de 20 m de large. Tous les blocs sont ouverts au pâturage modéré. La variation de la charge du combustible a été effectuée de la manière suivante : premièrement, à l'exception du témoin (sans feu), la végétation herbeuse a été coupée à la base, approximativement à 10 cm du sol. La biomasse récoltée ainsi que la litière disponible ont été pesées par parcelle. Un échantillon de cette biomasse est prélevé pour la détermination au laboratoire du taux d'humidité du combustible après qu'il ait été placé pendant 48 h à l'étuve à 105°C. Sur la base du poids de la matière sèche de chaque parcelle, trois traitements de combustible ont été considérés[22].

- Combustible normal (CN): le combustible initial a été coupé et réparti de façon uniforme afin d'assurer 100 % de la continuité du feu ;
- Combustible réduit (CR): la moitié du combustible initial a été soustrait et supprimé de cette parcelle ;
- Combustible augmenté (CA) : la seconde moitié soustraite en CR a été rajoutée au combustible initial, et le tout a été réparti de façon homogène. Dans cette étude, les caractéristiques du combustible et le comportement du feu ont été examinés en relation avec le recouvrement ligneux, l'humidité de l'air et la vitesse du vent.

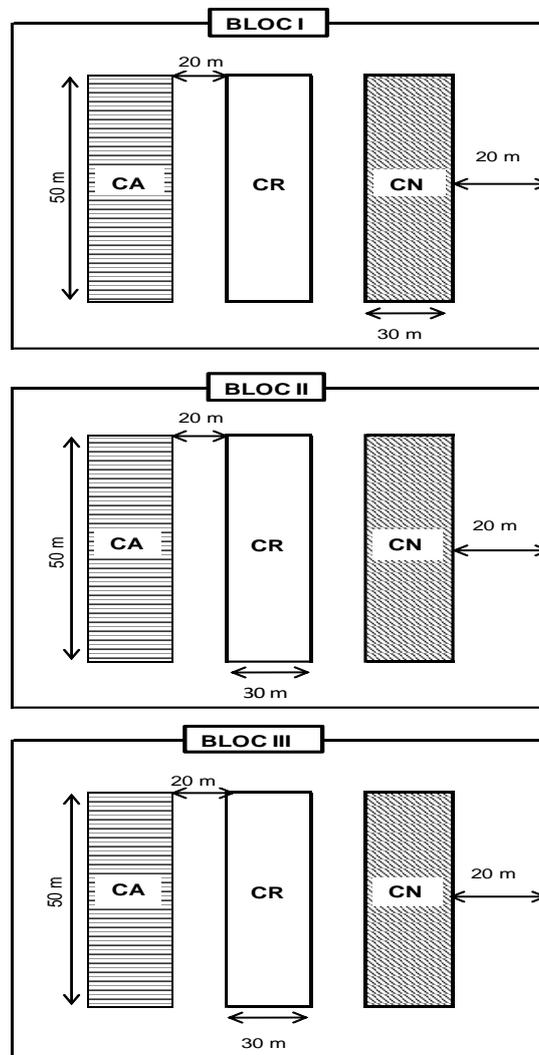


Figure 2 : Dispositif expérimental (CA : Combustible Augmenté; CN : Combustible Normal; CR : Combustible Réduit. Ce dispositif expérimental a été répété dans trois zones différentes dans la forêt de Dindéresso)

2-3. Mesure des caractéristiques du combustible

Le combustible est constitué par la litière (herbe et feuilles mortes des arbres au sol), la biomasse herbacée (herbe verte toujours sur pied) et la nécromasse herbacée (herbe sèche sur pied). Pour caractériser ce combustible, les paramètres tels que sa masse avant le feu (kg/m^2) et son taux d'humidité (%) ont été évalués.

- ✓ La quantité disponible de combustible a été contrôlée et mesurée expérimentalement ;
- ✓ Le taux d'humidité (%) a ensuite été calculé par parcelle ;
- ✓ Les ligneux, épargnés pendant la coupe ont été recensés par comptage direct sur des unités de 25 m x 25 m dans chaque parcelle;
- ✓ Le feu a été appliqué le matin (entre 6h et 9h) quand la vitesse du vent et la température de l'air sont les plus faibles de la journée. Le feu est allumé le long d'un côté de chaque parcelle et dans le sens contraire du vent pour éviter que le feu ne puisse aller au-delà des pare feux et atteindre la cime de la strate ligneuse. Bien que le combustible non consommé par le feu n'ait pas été évalué, les observations après le passage du feu montrent une combustion quasi complète.

2-4. Collecte des données météorologiques et du comportement du feu

Au cours des expérimentations du feu, les données météorologiques (vitesse du vent, l'humidité et la température de l'air) ont été relevés à la station météorologique station météorologique synoptique de l'aéroport de Bobo Dioulasso (ASECNA-Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar, de coordonnées $11^{\circ} 09' 36 \text{ N}$ et $4^{\circ} 19' 51'' \text{ W}$) du site. Les paramètres du comportement du feu, la vitesse de propagation (m. s^{-1}), la température ($^{\circ}\text{C}$) et l'intensité du feu ($\text{Kj m}^{-1}\text{s}^{-1}$) ont été aussi évalués. La température du feu a été mesurée à l'aide d'un pyromètre à laser de capacité comprise entre -50°C à 1000°C et une résolution de 30:1 (model TP6 TROTEC, MIS instrumentation, France). Les valeurs de ces paramètres ont permis de calculer l'intensité du feu en utilisant l'équation proposée par Byram's [23] :

$$I = H \times W \times r \tag{1}$$

Où I est l'intensité du feu ($\text{kJ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$), H = la constante exprimant la chaleur dégagée (kJ kg^{-1}), w est la masse sèche du combustible disponible par unité de surface (kg m^{-2}), r = est la vitesse de progression (ms^{-1}). La valeur (H) est estimée à $17\,781 \text{ kJ kg}^{-1}$ selon [17].

2-5. Analyse statistique

Pour appréhender l'effet de la densité ligneuse et les caractéristiques du combustible sur le comportement et la température du feu, les différents paramètres mesurés ont été soumis à une analyse de variance selon le modèle linéaire général (GLM) suivant :

$$Y_{ij} = \mu + T_i + D_j + T_i D_j + e_{ij} \tag{2}$$

où Y_{ijk} est la variable réponse, μ est la moyenne générale, T_i est l'effet du traitement, D_j est l'effet de la densité ligneuse, e_{ij} est l'erreur associée aux mesures.

La normalité et l'homogénéité de variance des données ont été vérifiées avant de procéder aux analyses de variance. Lorsqu'une différence significative est détectée, le test de comparaison de Tukey au seuil de 5 % est utilisé pour des comparaisons multiples. L'ampleur des effets des différents paramètres du modèle est

déterminée par une statistique appelée tête partiel carré (η^2) et l'effet est jugé faible, modéré ou important si la valeur de cette statistique est de l'ordre de 0,01; 0,06 ou 0,14 respectivement [24]. Les modèles de prédiction du comportement du feu ont été obtenus par régression linéaire multiple ascendante. Ces analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS 20 (Copyright IBM Corporation 1989-2011). Enfin, des analyses de corrélation ont été effectuées à l'aide du logiciel XLSTAT pro 7.2 pour examiner les relations existantes entre les paramètres du comportement du feu, les caractéristiques du combustible et le recouvrement ligneux. Les figures ont été réalisées à l'aide du logiciel graphique Sigma Plot 2001 for Windows version 7.0 (Copyright SPSS Inc. 1986-2001). Des analyses de corrélation ont aussi été effectuées à l'aide du logiciel XLSTAT pro 7,2 pour examiner les relations existantes entre les paramètres du comportement du feu, les caractéristiques du combustible et le recouvrement ligneux.

3. Résultats

L'expérimentation s'est déroulée sur une courte période; cinq jours consécutifs d'étude sur le feu et cela pour minimiser la variation du taux d'humidité du combustible et des variables climatiques. Les moyennes journalières pour la période des cinq jours de la température de l'air, de la vitesse du vent et de l'humidité de l'air sont respectivement de : $27,75 \pm 0,25^\circ\text{C}$; $3,4 \pm 0,11\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et de $19,33 \pm 1,14\%$. Concernant, les caractéristiques du combustible, sa quantité est estimée à $0,744 \pm 0,21$ t/ha (moyenne, erreur standard); $0,47 \pm 0,13$ t/ha; $2,69 \pm 0,38$ t/ha respectivement pour CR (combustible réduit), CN (combustible normal) et CA (combustible augmenté) (**Figure 3A**). Les résultats d'analyse indiquent aussi que les valeurs trouvées en CN et CR sont significativement faibles comparées à celles enregistrées en CA ($F_{[2,9]} = 21,184$; $P < 0,002$; $\eta^2 = 0,876$). Concernant son taux d'humidité, aucune différence significative n'a été observée dans les différents traitements (**Figure 3B**). La vitesse de propagation du feu est presque deux fois plus élevée en CN comparée aux parcelles CR et CA. Les valeurs enregistrées de la vitesse de progression ont été de $0,03 \pm 0,01\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $0,06 \pm 0,01\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $0,04 \pm 0,004\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (moyenne, erreur standard) respectivement pour CR, CN et CA (**Figure 3E**). Les températures du feu relevées ont varié de $479,17 \pm 43,65$; $511,90 \pm 54,84$ et $619,77 \pm 7,81^\circ\text{C}$ respectivement pour CN, CR et CA (**Figure 3C**). Cependant, malgré les variations observées entre les traitements, les tests statistiques ne révèlent aucune différence significative dans la vitesse de progression ($P > 0,161$) ni dans la température du feu ($P > 0,110$). Cependant, l'intensité du feu a enregistré une augmentation significative dans le traitement CA ($F_{[2,9]} = 11,52$; $P < 0,009$) (**Figure 3D**). Sa valeur est plus élevée dans les traitements CA ($183,07 \pm 12,42\text{Kj}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) et CN ($61,52 \pm 32,30\text{Kj}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) comparativement au traitement CR ($42,56 \pm 17,80\text{Kj}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$). En outre, les résultats montrent que la densité ligneuse n'a pas eu d'effet sur la température du feu ($P > 0,340$) ni sur sa vitesse de progression ($P > 0,757$). De même, les résultats ne montrent aucune différence significative ($F_{[2,8]} = 0,742$; $P > 0,515$) dans la densité ligneuse dans les différentes parcelles.

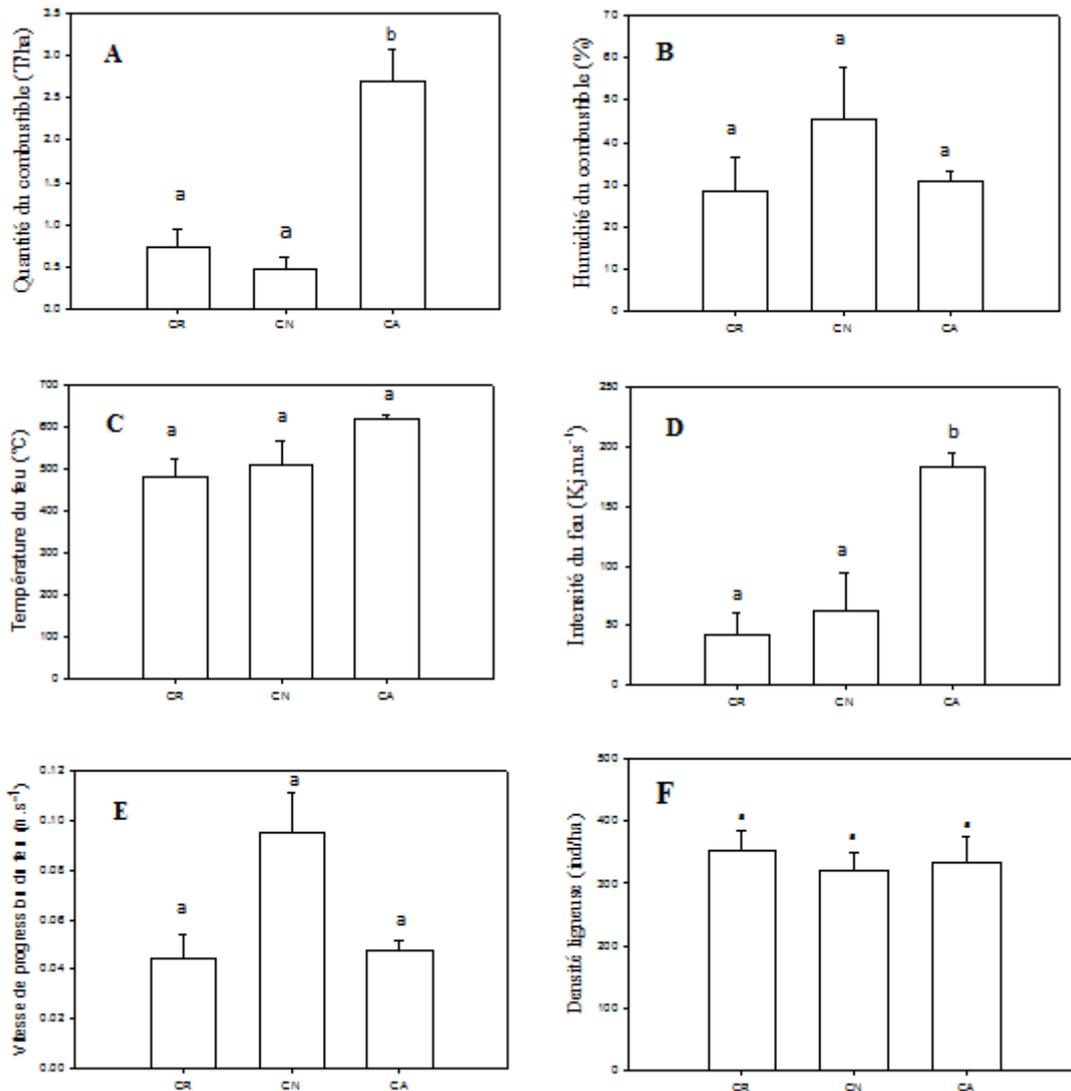


Figure 3 : *Caractéristiques du combustible (A, B); caractéristiques du feu précoce (B, C, D et E); et recouvrement ligneux (F). CA : Combustible Augmenté; CN : Combustible Normal ; CR : Combustible Réduit. Les histogrammes accompagnés d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5 %. Caractéristiques du combustible (A et B), du feu précoce (B, C, D et E) et recouvrement ligneux (F)*

3-2. Couverture végétative et caractéristiques du combustible

L'évaluation des relations entre les variables par la corrélation de Pearson montre des corrélations significatives entre les caractéristiques du feu, celles du combustible et l'humidité de l'air sont présentées dans le **Tableau 1**. La quantité du combustible (QC) est corrélée significativement à la température du feu ($r^2 = 0,696$, $P < 0,037$) et à son intensité ($r^2 = 0,913$, $P < 0,001$). Par contre, l'humidité du combustible est reliée négativement à l'intensité du feu ($r^2 = 0,731$, $P < 0,025$). De même, l'humidité de l'air est reliée négativement à la température du feu et à son intensité. L'humidité du combustible quant à elle, est reliée négativement à la température du feu et significativement corrélée à son intensité. Par contre, la densité ligneuse n'a pas montré de corrélation significative avec les paramètres du feu (intensité, température et vitesse de progression du feu) (**Tableau 1**). Cependant, elle est tout de même négativement reliée à la vitesse de progression du feu bien que l'analyse statistique ne soit pas significative ($r^2 = 0,120$; $P > 0,757$).

Tableau 1 : Coefficients de corrélation de Pearson entre les caractéristiques du combustible, du feu et le recouvrement ligneux dans la forêt classée de Dindéresso en zone sud-soudanienne au Burkina Faso

Paramètres du feu	QC	CV	HC	HA
VP	-0,168	-0,120	0,052	0,283
T	0,696*	0,361	-0,246	-0,487
I	0,913*	0,002	-0,731*	-0,115

QC = quantité du combustible (Kg); CV = Couverture Végétative (%); HC = Humidité du combustible (%); HA = Humidité de l'air (%); VP = vitesse de propagation du feu ($m.s^{-1}$); T = température du feu ($^{\circ}C$); I = intensité du feu ($Kj/m^1 s^{-1}$); *corrélation significative à $P < 0,05$.

3-3. Les Modèles de prédiction du comportement du feu

Les modèles les plus pertinents de la prédiction du comportement du feu sont présentés dans le **Tableau 2**. Les résultats montrent que la couverture végétative et l'humidité du combustible expliquent à 63 % la variation de la vitesse de propagation (VP) du feu. De plus ces variables sont négativement reliées à la vitesse de propagation indiquant ainsi qu'elles influencent de façon négative la progression du feu. En outre, la quantité de combustible (QC) et l'humidité du combustible (HC) expliquent aussi à 62 % la variation de la température du feu (T). L'intensité du feu est prédictible avec la quantité de combustible et la couverture végétative lesquelles expliquent à 86 % la variation de l'intensité du feu. La quantité et l'humidité du combustible ainsi que la couverture végétative semblent être des facteurs déterminant dans la température du feu, sa vitesse de propagation ainsi que son intensité.

Tableau 2 : Modèles de prédiction de la vitesse de propagation du feu (VP), la température et l'intensité du feu

Variables	SEE	r^2	P
VP = 0,153 - 3,164 CV - 1,689 HC	0,016	0,626	0,05
T = 3,255 + 2,995 QC + 1,49 HC	62,546	0,623	0,05
Log(I) = 1,447 + 5,741 QC - 0,208 CV	31,519	0,864	0,002

Les paramètres de prédiction sont : la quantité de combustible (QC), la couverture végétative (CV), l'humidité du combustible (HC). SEE = Erreur standard estimée ; r^2 = coefficient de détermination.

4. Discussion

4-1. Conditions climatiques et comportement du feu

Les résultats d'analyse ont relevé des variations significatives observées dans la quantité de combustible en fonction des différents traitements. Ces résultats justifient l'approche méthodologique utilisée et montrent bien une hiérarchisation de la quantité de combustible (CA, CR et CN) et probablement celles de la température et de l'intensité du feu. L'évaluation des quantités de combustible montre qu'elles sont sensiblement égales à celles obtenues dans la savane soudanienne au Tchad [25] mais elles restent tout de même faibles comparées aux quantités relevées au Burkina Faso ($7,3 t/ha^{-1}$) dans la forêt classée de Tiogo [26]. Ces faibles

quantités au niveau de la forêt classée de Dindéresso pourraient s'expliquer par les nombreux prélèvements en bois de chauffe et d'œuvre mais aussi par la fausse de graminées pour l'alimentation des animaux et la construction des toitures de maison d'habitation [27]. Ces prélèvements contribuent à diminuer considérablement la quantité de biomasse dans cette forêt. Les résultats ont aussi montré que, les températures les plus élevées ont atteints $657 \pm 36^\circ\text{C}$. Des résultats similaires ont été enregistrés dans la forêt de Guirkouh au Tchad [28]. En savane Guinéenne en Côte d'Ivoire, les températures variaient de $489 \pm 2^\circ\text{C}$ à 645°C respectivement pour les feux précoces et de mi-saison [29]. L'intensité du feu cependant, est significativement plus élevée dans les traitements CA (Combustible Augmenté) et CN (Combustible Normal) et beaucoup plus faible dans le traitement CR (Combustible réduit). En outre, l'intensité du feu est une partie intégrante de sa sévérité et varie en fonction de la quantité et de la qualité du combustible [12] mais aussi par son humidité [30]. Par conséquent, l'intensité du feu et la quantité du combustible sont intimement liées et expliquent la sévérité que le feu peut avoir sur les différents paramètres écologiques des écosystèmes savaniques [1].

4-2. Couverture végétative et caractéristiques du combustible

L'analyse des résultats montre que des corrélations significatives ont été observées entre les caractéristiques du combustible et celles du feu. Les résultats relèvent aussi de fortes corrélations positives ($r^2 = 0,91$) entre la quantité du combustible et l'intensité du feu ainsi qu'avec sa température ($r^2 = 0,69$). Nos résultats sont similaires aux conclusions d'autres études menées en Afrique du Sud et en Australie [16, 31]. Ces études ont relevé que les températures ainsi que l'intensité du feu augmentent avec la quantité du combustible [16, 31]. En outre, les expérimentations effectuées dans le Kruger National Park en Afrique du Sud ont relevé de fortes corrélations entre ces deux paramètres [21]. De même, les travaux réalisés à Tiogo au Burkina Faso ont abouti aux mêmes conclusions [26]. Les résultats indiquent aussi que, l'intensité du feu est négativement corrélée avec l'humidité du combustible. Cette corrélation négative pourrait être expliquée par l'étouffement de la flamme par la vapeur d'eau dégagée lors de la combustion. Ce qui entraîne alors, une baisse de la température du feu et de son intensité. Les résultats d'études précédentes avaient noté une baisse de plus de 67 % de l'intensité du feu [1]. De même, son maintien et sa propagation sont aussi fonction de la quantité et de l'humidité du combustible [14]. Par conséquent, le comportement du feu est déterminé par les propriétés physiques du combustible et des paramètres météorologiques [16].

4-3. Les modèles de prédictions du comportement du feu

Des modèles de prédictions du comportement du feu peuvent en effet être définis en intégrant des paramètres environnementaux et climatiques. Ces modèles de prédiction, établis dans le cadre de la présente étude ont montré que la température du feu et son intensité peuvent être expliqués en se basant sur la quantité du combustible et son humidité. Ils sont statistiquement significatifs et complètent ceux obtenus dans la forêt de Tiogo [26]. Ils peuvent donc être utilisés pour prédire le comportement du feu en zone sud soudanienne.

5. Conclusion

Cette étude avait pour objectif de déterminer les paramètres qui pourront aider à prédire le comportement du feu en savane soudanienne. Les résultats de cette étude indiquent que l'augmentation de la quantité de combustible a eu un effet significatif sur l'intensité du feu. En effet, les parcelles à combustible augmenté (CA) et à combustible normal (CN) ont enregistré les plus fortes intensités. Les résultats de nos travaux de

recherche montrent également que le comportement du feu peut être prédit à partir des caractéristiques du combustible et du recouvrement ligneux. Ainsi, le recouvrement ligneux et l'humidité du combustible expliquent à 63 % la variation de la vitesse de propagation pendant que l'intensité du feu est prédictible avec la quantité de combustible. Des corrélations positives ont été observées entre l'intensité du feu, l'humidité de l'air et l'humidité du combustible. Dans un objectif de conservation de nos formations naturelles savaniques, notre modèle empirique sur le comportement du feu peut servir de base pour la gestion des feux dans la zone d'étude. Toutefois, une étude plus étendue dans le temps et dans l'espace intégrant un grand nombre de paramètres météorologiques et de caractéristiques du combustible seront nécessaires pour améliorer le modèle.

Remerciements

Ce travail a été possible grâce au financement de la Fondation International pour la Science (Grant Agreement N° C/4816-1). Les auteurs remercient également Sanou Boukary et Simporé T. Pascal pour leur aide dans la collecte des données.

Références

- [1] - S. ARCHIBALD, A. C. STAVER, and S. A. LEVIN, Evolution of human-driven fire regimes in Africa.. United States of America, *Proceedings of the National Academy of Sciences*. (2012)
- [2] - J. J. MIDGLEY, M. J. LAWES and S. CHAMAILLE-JAMMES, Savanna woody plant dynamics: the role of fire and herbivory, separately and synergistically. *Australian Journal of Botany*,. 58(1) (2010) 1 - 11
- [3] - D. BADÍA-VILLAS, C. MARTI, A. J. AGUIRRE, J. M. AZNAR, J. M. GONZALEZ-PEREZ, J. M. DE LA ROSA, J. LEON, P. I.BARRA, T. ECHEVERRIA, Changes in water repellency, aggregation and organic matter of a mollic horizon burned in laboratory : Soil depth affected by fire. *Geoderma*, 213 (2014) 400 - 407
- [4] - P. G. H. FROST and F. ROBERTSON, The ecological effects of fire in savannas. Determinants of tropical savannas. IRL Press, ed. W.B.H. (Ed.), Harare, Zimbabwe, Oxford, The International Union of Biological Sciences, IUBS Monograph Series. (1985)
- [5] - D. G. NEARY, C. C. KLOPATEK, L. F. DEBANO, P. F. FFOLLIOITTC, Fire effects on belowground sustainability : a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*,. 122 (1999) 51 - 71
- [6] - K. C. RYAN, Dynamic interactions between forest structure and fire behavior in boreal ecosystems. *Silva Fennica*, 36 (2002) 13 - 39
- [7] - K. F. KOFFI, Impact du feu sur la démographie des Graminées de savane (Lamto : Côte d'Ivoire), Sorbonne Université (France) et Université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire), (2019) 174 p.
- [8] - K. F. KOFFI, J. C. LATA, S. KONATE, T. SRIKANTHASAMY, M. KONAN, S. BAROT, Effect of fire regime on the grass community of the humid savanna of Lamto, Ivory Coast. *Journal of Tropical Ecology*, 35 (1) (2019) 1 - 7
- [9] - A. B. N'DRI, Interactions termites-feu et dynamique de la végétation en savane (Lamto, Côte d'Ivoire), Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, Université d'Abobo-Adjamé. (2011) p. 177
- [10] - A. B. N'DRI, J. GIGNOUX, S. BAROT, S. KONATE, A. DEMBELE, P. A. WERNER, The dynamics of hollowing in annually burnt savanna trees and its effect on adult tree mortality. *Plant Ecol.* , 215 (2014) 27 - 37
- [11] - W. S. W. TROLLOPE and N. M. TAINTON, Effect of fire intensity on the grass and bush components of the Eastern Cape Thornveld. *J. Grassl.Soc. Afr.*,. 2 (1986) 27 - 42
- [12] - M. FLANNIGAN, W. J. DE GROOT, M. WOTTON, A. NEWBERY, L. M. GOWMAN, Global wildland fire season severity in the 21 st century. *Forest Ecology and Management*, 294, (2013) 54 - 61

- [13] - J. E. KEELEY, Fire Intensity, Fire Severity and Burn Severity: A Brief Review and Suggested Usage. *International Journal of Wildland Fire*,. 18(1) (2009) p. 116
- [14] - M. SOW, C. MBOW, B. SAMBOU, Fuel and fire behavior analysis for early-season prescribed fire planning in Sudanian and Sahalian savannas. *Journal of Arid Environments* 89, (2013) 84 - 93
- [15] - W. S. TROLLOPE, L. A. TROLOPPE and O. C. HARTNETT, eds. *Fire Behaviour a Key Factor in the Ecology of African Grasslands and Savannas*. Research & Wildland Fire Safety Forest Fire, ed. V. (ed.), Millpress : Rotterdam. (2002) 17 p.
- [16] - N. P. CHENEY and A. SULLIVAN, Grassfires : fuel, weather and fire behaviour : CSIRO, Canberra (2008)
- [17] - W. S. W. TROLLOPE and A. L. F. POTGIETER, Fire behaviour in the Krugger National Park. *Journal of the Grassland Society of South Africa*, 2 (1985) 17 - 22
- [18] - R. H. LUKE and A. G. MCARTHUR, Bush fires in Australia. Australian Govt. Pub. Serv., Canberra, (1978)
- [19] - J. FONTÈS and S. GUINKO, Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso., Note explicative, ministère de la Coopération française, Projet Campus 88 313 101 (1995) 67 p.
- [20] - P. DRIESSEN, J. DECKERS and O. SPAARGAREN, eds. Lecture notes on the major soils of the world, Food and Agriculture Organization of the United Nations : Rome, Italy (2001) 334 p.
- [21] - W. S. W. TROLLOPE and L. A. TROLLOPE, Fire behaviour a key factor in the fire ecology of African grasslands and savannas. Forest Fire Research et Wildland Fire Safety, ed. V. (ed.), Rotterdam Millpress. (2002)
- [22] - S. W. M. F. DOAMBA, Feu et propriétés biogéochimiques des sols en savane soudanienne., Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, (2014) p. 146
- [23] - G. M. BYRAM, Combustion of forest fuels, in : Davis K.P. (Ed.), Forest fire : control and use, McGraw-Hill, New York, (1959) 90 - 123
- [24] - J. COHEN, Statistical power analysis for the behavioral sciences, Hillsdale New Jersey: Lawrence Erlbaum (1988)
- [25] - M. GUIGUINDIBAYE, M. O. BELEM, J. I. BOUSSIM, Impact of early fires on soil physicochemical properties in Sudan Savanna in Chad. *International Journal of Research Studies in Agricultural Science*, 5 (2) 2019 7 - 17
- [26] - P. SAVADOGO, D. ZIDA, L. SAWADOGO, D. TIVEAU, M. TIGABU, P. C. ODEN, Fuel and fire characteristics in savanna-woodland of West Africa in relation to grazing and dominant grass type. *International Journal of Wildland fire*,. 16 (2007) 531 - 539
- [27] - E. VAN BERWAER, C. BUSQUETS, C. GERRITSEN, S. NANA, J. C. RAZAFIARISON, S. SCHILIZZI, L. EKAYANGE, S. SINDAYES. Performances des systèmes de productions villageois et pression sur la forêt classée de Dindéresso. ed. ICRA.. 108 (1992)
- [28] - M. GUIGUINDIBAYE, M. O. BELEM and J. I. BOUSSIM, *Caractéristiques des feux dans un incendie en savane soudanienne au Tchad*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*,. 7 (2013) 1147 - 1156
- [29] - A. B. N'DRI, M. FONGBE, T. D. SORO, J. GIGNOUX, M. KONE, K. DOSSO, J. K. N'DRI, N. A. KONE, S. BAROT, Principaux indices de l'intensité du feu dans une savane Guinéenne d'Afrique de l'Ouest. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*,. 12(1) (2018) 266 - 274
- [30] - W. A. HOFFMANN, S. JACONIS, K. L. MCKINLEY, E. L. GEIGER, S. G. GOSTCH, A. C. FRANCO, Fuels or microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna forest boundaries. *Austral Ecology*,. 37 (2012) 634 - 643
- [31] - S. ARCHIBALD, D. P. ROY, B. W. VAN WILGEN, R. SCHOLES, What limits fire? An examination of drivers of burnt area in Southern Africa. *Global Change Biology*,. 15 (2009) 613 - 630