



## Rôle des feux de savane sur les caractéristiques biogéochimiques des sols en zone soudanienne du Burkina Faso

Sabine W. M. F. DOAMBA<sup>1\*</sup>, Patrice SAVADOGO<sup>2,3</sup> et Hassan Bismarck NACRO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural, Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du Sol, 01 BP 1091, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

<sup>2</sup>Centre National de Recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Département de Productions Forestières, 03 BP 7047, Ouagadougou 03, Burkina Faso.

<sup>3</sup>World Agroforestry Centre (ICRAF) / International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), West and Central Africa Region-Sahel Node, BP 12404 Niamey, Niger.

\*Auteur correspondant, Email: [doambaflore@yahoo.fr](mailto:doambaflore@yahoo.fr); Tel: +226 70133571 Fax +226 20 98 25 77

---

### RESUME

Les feux de brousse dont les effets dépendent aussi bien de leurs intensités ainsi que de leur saison d'occurrence, sont considérés comme une perturbation écologique majeure des écosystèmes savaniques. L'objectif général de cette étude est de générer des connaissances sur l'effet de la quantité du combustible et de la saison du feu sur le comportement du feu et les propriétés chimiques et biologiques du sol afin d'aider à la gestion des écosystèmes savaniques. Les travaux de recherches ont été menés dans un dispositif expérimental couvrant 11,16 ha et installé dans la savane sud-soudanienne boisée de la forêt classée de Dindéresso (11° 13' 59, 88'' latitude nord and 4° 25' 59, 59'' longitude ouest). Sur la base de la quantité du combustible, trois traitements (Combustible réduit correspondant à la parcelle dont la quantité de combustible a été réduite de moitié; Combustible Normal pour la parcelle dont le combustible initial a été coupé et réparti de façon uniforme et le Combustible augmenté correspondant à la parcelle où la seconde moitié soustraite en CR a été rajoutée au combustible initial) ont été considérés en plus du témoin dans les deux régimes de feu. Les résultats n'ont montré aucune différence significative dans la vitesse de progression et dans l'intensité du feu. Cependant, un plus grand enrichissement en éléments nutritifs des couches superficielles a été observé. Le feu tardif a eu un effet plus néfaste sur les propriétés chimiques du sol que le feu précoce. L'effet immédiat du feu sur la macrofaune a été la réduction considérable du nombre d'individus. Toutefois, la quantité de combustible n'a affecté ni la composition ni l'abondance de la macrofaune. Les enseignements tirés de l'étude sur le comportement du feu ainsi que les résultats sur l'effet du feu sur les paramètres chimiques et biologiques du sol peuvent donc aider dans la gestion des formations boisées en zone soudanienne mais des investigations doivent cependant se poursuivre pour affiner les connaissances à l'échelle du paysage.

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** Comportement du feu, cycle des nutriments, propriétés du sol, macrofaune du sol, perturbation écologique, savane.

---

### INTRODUCTION

Le feu est un phénomène saisonnier répandu dans les écosystèmes savaniques

(Keeley et al., 2012). Il contrôle la structure, la composition, la succession, la productivité de la végétation (Midgley et al., 2010) et le

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i2.34>

cycle et la dynamique des nutriments (Badía-Villas et al., 2014 ). Le comportement du feu est décrit par sa vitesse de progression, les caractéristiques de sa flamme, son intensité, la consommation du combustible et d'autres phénomènes connexes (Savadogo et al., 2007). Il est aussi influencé par les variables telles que la topographie, les caractéristiques du combustible et les conditions climatiques du milieu (Trollope et al., 2002). L'effet du feu sur le système souterrain est le résultat de sa sévérité qui dépend de la quantité de combustible, de l'humidité du sol et subséquemment, de la température du sol et de la durée du feu (Neary et al., 2008). En fonction de la sévérité du feu, les changements au niveau du sol et de ses composants peuvent être bénéfiques ou nuisibles à l'écosystème tout entier. Outre l'élévation de la température, les feux agissent aussi sur la teneur en matière organique du sol, sur la chimie du sol (teneurs en cendre, pH), et sur l'importance de l'érosion (Gonzalez-Perez et al., 2004; Mataix-Solera et al., 2011). Quand il est appliqué fréquemment ou tardivement, le feu peut avoir des effets destructifs sur les propriétés du sol en détruisant la matière organique contenu dans la végétation, et la litière à la surface du sol (Parker et al., 2001). En plus de leur effet sur les paramètres physico-chimiques, les feux affectent aussi directement ou indirectement les organismes du sol. Les effets directs induisent des changements de courte durée qui altèrent la composition spécifique et l'abondance des groupes taxonomiques (Gongalskya et al., 2012 ). Les effets indirects entraînent généralement des changements à long terme sur l'environnement immédiat, qui influent sur le bien être des organismes du sol. Ils peuvent impliquer aussi des compétitions pour l'habitat, la nourriture et d'autres changements plus subtils du microclimat (destruction de l'état de la matière organique, augmentation de l'insolation à la surface du sol) (DeBano et al., 1998).

Dans les savanes soudaniennes, les feux précoces sont généralement recommandés comme outil de gestion, et

utilisés grâce à de leur effet moins prononcé sur la végétation (Bellefontaine et al., 2000). Mais il est évident que la végétation surtout ligneuse n'a pas le même comportement vis-à-vis du feu que les organismes vivants et les éléments nutritifs du sol. Plusieurs travaux se sont intéressés à l'effet du feu sur la structure et le fonctionnement de l'écosystème. Mais la plupart d'entre eux ont surtout porté sur l'impact du feu sur la végétation (Tracy et Dawes-Gromadzki, 2007). Les données relatives à l'effet du feu sur la faune du sol et la dynamique de la matière organique font particulièrement défaut pour les savanes d'Afrique de l'Ouest. Le manque de données quantitatives appelle à une étude plus approfondie afin de générer des connaissances permettant d'aider à la gestion des écosystèmes savaniques. C'est dans cette optique que notre étude a été conduite pour comprendre le comportement du feu et élucider les modifications induites dans les paramètres chimiques et biologiques des sols sujets à des feux répétés à différentes saisons, et avec des quantités variables de combustible. Notre approche a été bâtie autour des hypothèses selon lesquelles la quantité de combustible influence (1) la vitesse de progression et l'intensité du feu; (2) induit une altération des propriétés du sol et du pool de nutriments ; (3) provoque une diminution de la macrofaune du sol.

## MATERIEL ET METHODES

### Site d'étude

Les travaux de terrain se sont déroulés dans la forêt classée de Dindéresso avec pour coordonnées géographiques: 11 ° 13' 59, 88'' de latitude Nord et 4 ° 25' 59, 59'' de longitude Ouest Latitude Nord; altitude 300 m (Figure 1). Cette forêt est située dans la zone sud-soudanienne sur le plan phytogéographique (Fontès et Guinko, 1995). La forêt de Dindéresso délimitée par l'administration coloniale en 1935, couvre de nos jours une superficie de 8500 ha et est située à environ 20 km de la ville de Bobo Dioulasso. La forêt classée de Dindéresso appartient au climat tropical de type sud

soudanien (Fontès et Guinko, 1995). La précipitation moyenne annuelle durant la période d'étude est de  $1010 \pm 145$  mm (moyenne  $\pm$  erreur standard). La végétation du site est une savane arborée avec une strate herbeuse dominante (Fontès et Guinko, 1995). Les sols reposent sur des roches sédimentaires et sont classés comme des Lixisols selon le système de la classification de la FAO de Driessen et al. (2001). Ils sont légèrement profonds ( $> 85$  cm) et sont dominés par une texture limono-sableuse (57,5%) avec la présence de structures sableuse (17,5%), limoneux sableuse (15%) et les structures (10%). Les sols sont pauvres (0,058% d'azote; 1,77 ppm de phosphore; 0,33% de carbone) avec des quantités faibles en matière organique (BUNASOLS, 1985).

### Dispositif expérimental

Après des observations préliminaires, l'emplacement des blocs a été sélectionné de façon à minimiser les variations environnementales dues à la pente, au type de sol. Le dispositif couvre une superficie totale de 11,16 ha et comprend trois blocs non contigus de 3,72 ha chacun (Figure 2). Chaque bloc a été divisé en sept (7) parcelles de 0,24 ha ( $80 \times 30$  m). 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. Le dispositif comprend trois traitements à trois répétitions: sans feu (témoin), feu précoce (le feu est appliqué pendant la saison sèche en décembre) et le feu tardif (le feu est appliqué à la fin de la saison sèche dans le mois de février). Dans chaque régime, le feu a été appliqué le matin (entre 6 h et 9 h) 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 à l'aide d'une torche pour rapidement établir l'inflammation linéaire. De plus, le feu a été appliqué dans chaque parcelle dans la direction allant contre le sens du vent. La variation de la charge de 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 a été pesée 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  $105^\circ\text{C}$ . Dans le but d'obtenir une variation de l'intensité du feu, trois traitements de combustible (Figure 2) ont été considérés dans les deux régimes de feu (précoce et tardif) sur la base du poids de la matière sèche de chaque parcelle:

- ✓ Combustible normal (CN), le combustible initial a été coupé et reparti 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 reparti de façon homogène.

### Mesure du comportement du feu

La température du feu a été mesurée à l'aide d'un pyromètre à laser de capacité comprise entre  $-50^\circ\text{C}$  à  $1000^\circ\text{C}$  et une résolution de 30:1 (model TP6 TROTEC, MIS instrumentation, France). La vitesse de progression du feu est obtenue en enregistrant le temps mis par le front du feu pour parcourir une distance de 20 m. Des opérateurs munis de chronomètres ont été postés à chaque 20 m pour relever le temps de parcours du feu. Les valeurs de ces paramètres ont permis de calculer l'intensité du feu en utilisant l'équation proposée par Byram (1959):

$$I = H \times w \times r ;$$

Où  $I$  est l'intensité du feu ( $\text{kJ s}^{-1} \text{m}^{-1}$ );  $H$  = la constante exprimant la chaleur dégagée ( $\text{kJ kg}^{-1}$ );  $w$  est la masse de combustible consommée par unité de surface ( $\text{kg m}^{-2}$ );  $r$  = est la vitesse de progression ( $\text{m s}^{-1}$ ). Pour calculer l'intensité du feu, nous avons adopté la valeur de quantité de chaleur ( $H$ ) libérée lors de la combustion des herbacés pendant un feu

appliqué contre le sens du vent, et estimée à 17 781 kJ kg<sup>-1</sup> (Trollope et Potgieter, 1985).

### Prélèvement et mesure des paramètres physico-chimiques du sol

Le pH H<sub>2</sub>O du sol a été mesuré à partir d'une suspension de sol dans l'eau par la méthode électrométrique au pH mètre à électrode de verre (AFNOR, 1999). Le rapport sol/solution est de 1/2,5. Le dosage du carbone total et de l'azote total de chaque échantillon de sol a été effectué respectivement par la méthode de (Walkley et Black, 1934) et par celle de Kjeldahl (Bremner, 1965).

### Evaluation de la macrofaune du sol

La macrofaune du sol a été évaluée par la méthode TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) préconisée par Anderson et Ingram (1993) et Moreira (2008). La macrofaune du sol a été inventoriée pendant deux années consécutives. A chaque point d'échantillonnage, une tranchée est creusée à 30 cm de profondeur à l'aide d'un quadrat de 25 cm de côté. Le monolithe est extrait du sol, et reparti en trois couches de 10 cm d'épaisseur (0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm). Les individus visibles à l'œil nu et les larves ont été ensuite prélevés dans chaque bloc de terre, et conservés dans de l'alcool à 70 °C. Au total, 64 monolithes ont été extraites: 54 monolithes dans les parcelles soumises au feu (27 avant et 27 après le passage du feu) et 9 monolithes dans la parcelle témoin. Les individus de la macrofaune du sol, soigneusement recueillis, ont été identifiées avec des clés d'identification de Delvare et Aberlenc (1999) et l'aide de taxonomistes. Avec les difficultés de l'identification des stades juvéniles et larvaires, la plupart des groupes ont été identifiés jusqu'au niveau de la famille (Mamaev, 1972).

### Analyse statistiques des données

#### Comportement du feu

Pour appréhender l'effet du taux de recouvrement 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):

$$Y_{ij} = \mu + T_i + R_j + T_iR_j + e_{ij};$$

Y<sub>ijk</sub> est la variable réponse; μ est la moyenne générale; T<sub>i</sub> est l'effet du traitement; R<sub>j</sub> est l'effet du recouvrement ligneux; e<sub>ij</sub> est l'erreur associée aux mesures.

### Paramètres chimiques du sol

Etant donné que tous les paramètres n'ont pas été tous mesurés durant les trois années d'expérimentation du fait d'un feu inattendu dans les parcelles du dispositif feu tardif, les données ont été soumises à deux modèles différents; le modèle (1) pour les données collectées sur la période des trois ans, et le modèle (2) pour les données collectées dans les parcelles protégées contre le feu (témoin).

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \lambda_j + (\beta \lambda)_{ij} + \varepsilon_{j(i)} + \varepsilon_{j(k)} \quad (1)$$

$$Y_{ij} = \mu + Profondeur_i + \lambda_j + Profondeur_i \times \lambda_j + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

Y<sub>ijk</sub> et Y<sub>ij</sub> représentent les réponses des variables; μ est la moyenne générale; β<sub>i</sub> est l'effet inter-sujets; i (la quantité du combustible, la profondeur de prélèvement, l'environnement avant-après le passage du feu et leur interaction); λ<sub>j</sub> est l'effet à l'intérieur des facteurs; j représente l'année; (βλ)<sub>ij</sub> est l'effet appelé « entre et à l'intérieur des facteurs »; ε<sub>j(i)</sub>, ε<sub>j(k)</sub> et ε<sub>ijk</sub> représentent l'erreur. Toutes les données du feu tardif et sur la distribution des particules (granulométrie du sol) qui sont seulement disponibles pour la première année d'expérimentation, le modèle (3) a été utilisé :

$$Y_{ijk} = \mu + Traitement_i + Profondeur_j + Test_k + Traitement_i \times Profondeur_j + Profondeur_j \times Test_k + Traitement_i \times Profondeur_j \times Test_k + \varepsilon_{ijk} \quad (3)$$

Les données collectées ont été analysées à l'aide du logiciel SPSS 19.0 for Windows (IBM Corporation, USA). Lorsqu'une différence est détectée, le test de comparaison de Tukey au seuil de 5% est utilisé par la suite pour des comparaisons multiples. L'ampleur des effets des différents paramètres du modèle est déterminée par une statistique appelée tête

partiel carré ( $\eta^2$ ), 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.

### Macrofaune du sol

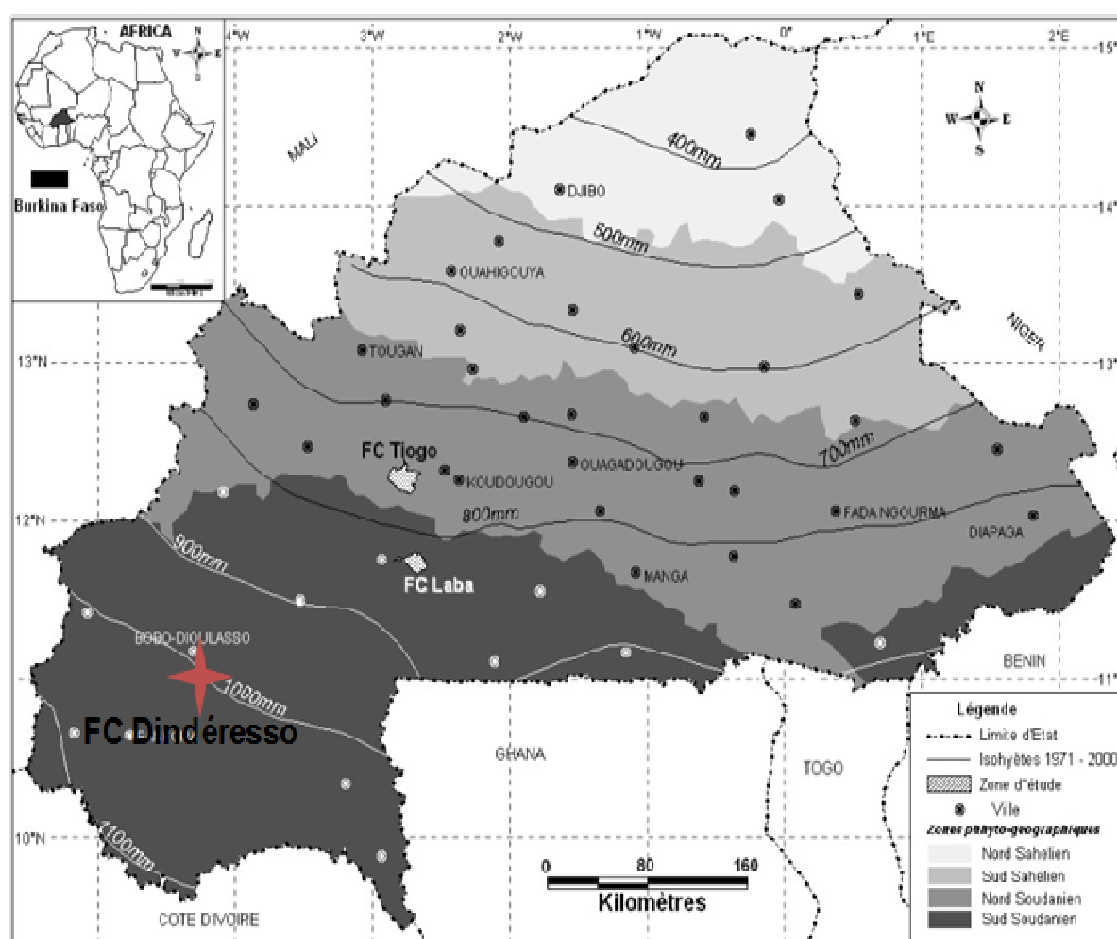
La richesse taxonomique a été estimée en nombre de famille dans les parcelles témoin et brûlées. L'abondance de la macrofaune a aussi été calculée. Ces paramètres ont aussi été exprimés en fonction de la profondeur d'échantillonnage. L'impact des différents facteurs étudiés « traitement de combustible », « profondeur de prélèvement »

et les « environnement avant et après feu » sur l'abondance et la richesse taxonomique de la macrofaune du sol ont été testés à l'aide du modèle Linéaire Généralisé (GLM).

Pour la richesse taxonomique et l'abondance, le modèle suivant a été utilisé :

$$\text{Nisk} \sim P(\exp(\mu + \alpha s + \beta k + \gamma sk))$$

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R (RDCT, 2012). Lorsqu'une différence significative est décelée, le test de comparaison de Tukey au seuil de 5% est utilisé par la suite pour des comparaisons multiples.



**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).

## RESULTATS

### Comportement du feu

Dans l'ensemble, la quantité moyenne de combustible pour les trois années d'étude a été de  $0,41 \pm 0,106$ ;  $0,75 \pm 0,21$  et  $1,56 \pm 0,32$  t.ha<sup>-1</sup>, respectivement pour les traitements CR (Combustible réduit), CN (Combustible Normal) et CA (Combustible Augmenté) (Tableau 1). La série d'analyse de données effectuée a indiqué des variations interannuelles. En outre, les valeurs de l'humidité moyenne du combustible des trois années d'étude sont restées sensiblement les mêmes pour les différents traitements (Tableau 1). Les valeurs sont de  $47,62 \pm 3,46$ ;  $47,65 \pm 8,08$ ;  $41,21 \pm 5,14\%$  respectivement pour CR, CN et CA. La température du feu la plus forte enregistrée a été de  $635,31 \pm 53,58$  °C dans la parcelle CA durant la troisième année d'étude (Tableau 1). Cependant, les tests statistiques n'indiquent pas de différence significative entre les traitements de combustible, et entre les années ( $F_{[2,9]}=1,344$ ,  $p=0,329$ ,  $\eta^2=0,369$ ). De même, aucune différence significative ( $F_{[2,9]}=0,966$ ,  $p=0,433$ ,  $\eta^2=0,244$ ) n'a aussi été notée, ni dans la vitesse de progression du feu, ni dans son intensité (Tableau 1). L'intensité du feu n'a varié de façon significative qu'en première année d'étude (Tableau 1).

Pour le dispositif "Feu tardif" étudié seulement en 2009, aucune différence significative n'a été détectée entre les différents traitements de combustible, dans l'environnement avant et après feu, et pour les paramètres de comportement du feu. Les vitesses de progression du feu enregistrées ont été de  $0,029 \pm 0,012$ ,  $1,31 \pm 0,38$ ,  $0,025 \pm 0,004$  (m s<sup>-1</sup>) et les intensités correspondantes variaient de  $37,20 \pm 18,53$ ,  $62,2 \pm 26,14$ ,  $68,02$  (kJ m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>), respectivement pour CA, CN et CR.

### Effet du feu précoce sur les propriétés physico-chimiques du sol

Globalement, le pH, le carbone total (Ct), l'azote total (Nt) n'ont pas varié

significativement ( $p>0,05$ ) durant les trois années d'application du feu précoce (Tableau 3). Les valeurs moyennes du pH, du carbone total sont respectivement proches de 6 et de 6,5 g/kg. La profondeur de prélèvement a un effet significatif pour le pH, le carbone organique, et l'azote total (Nt) (Tableau 3,  $p<0,05$ ). La valeur du pH a diminué de 0,37 de l'horizon 0-5 cm à l'horizon 5-10 cm et de 0,24 de l'horizon 5-10 cm à l'horizon 10-15 cm. Les teneurs en carbone total (Ct), en azote totale (Nt) sont faibles au niveau des horizons 5-10 cm et 10-15 cm comparativement à l'horizon 0-5 cm. En se référant aux résultats d'analyse statistique entre l'environnement avant et après feu, le feu n'a eu aucun effet significatif ( $p>0,05$ ) sur les teneurs en carbone du sol. L'analyse des paramètres du sol des parcelles témoins (protégées du feu), a indiqué que le pH du sol a significativement varié avec la profondeur (Tableau 2). Les valeurs de pH sont passées de 6,18 à 6,00 puis à 6,31 pour les horizons 0-5 cm, 5-10 cm et 10-15 cm respectivement. La valeur du pH est passée respectivement de  $6,18 \pm 0,06$  à  $6 \pm 0,11$  et  $6,31 \pm 0,12$ . En outre, des variations interannuelles ainsi qu'une interaction des facteurs « année » et « profondeur de prélèvement » ont été observées pour les paramètres pH, Ct et Nt. Les valeurs du pH et du Nt ont particulièrement diminué durant les trois ans pendant que les teneurs en Ct ont augmenté à la première et à la troisième année d'étude (Tableau 3).

Dans les parcelles à feu tardif, le pH était inférieur pour les parcelles à combustible réduit (CR), combustible normal (CN) et combustible augmenté (CA) comparativement à la parcelle témoin. La profondeur de prélèvement a également un effet significatif sur le pH du sol, qui a montré une tendance à la baisse de l'horizon 0-5 cm à l'horizon 10-15 cm. Le passage du feu a induit une baisse significative ( $F_{[1,42]}=160,174$ ,  $p<0,001$ ) du pH. Sa valeur a varié respectivement de  $6,127 \pm 0,053$  à  $5,352 \pm 0,083$  pour les échantillons avant et après feu (Tableau 4). Par contre,

aucune différence significative n'a été observée entre les différents traitements du combustible pour le carbone total du sol ( $p > 0,05$ ). En revanche, ce paramètre a significativement diminué ( $F_{[1,42]} = 10,759$ ,  $p = 0,002$ ) de l'horizon 0-5 cm à 10-15cm. De même, l'azote total (Nt) a varié

significativement en fonction des traitements du combustible, de la profondeur de prélèvement du sol et du feu (environnement avant et après feu) ( $p < 0,05$ ). Sa valeur a diminué de 0,14 g/kg unité après le feu (Tableau 4).

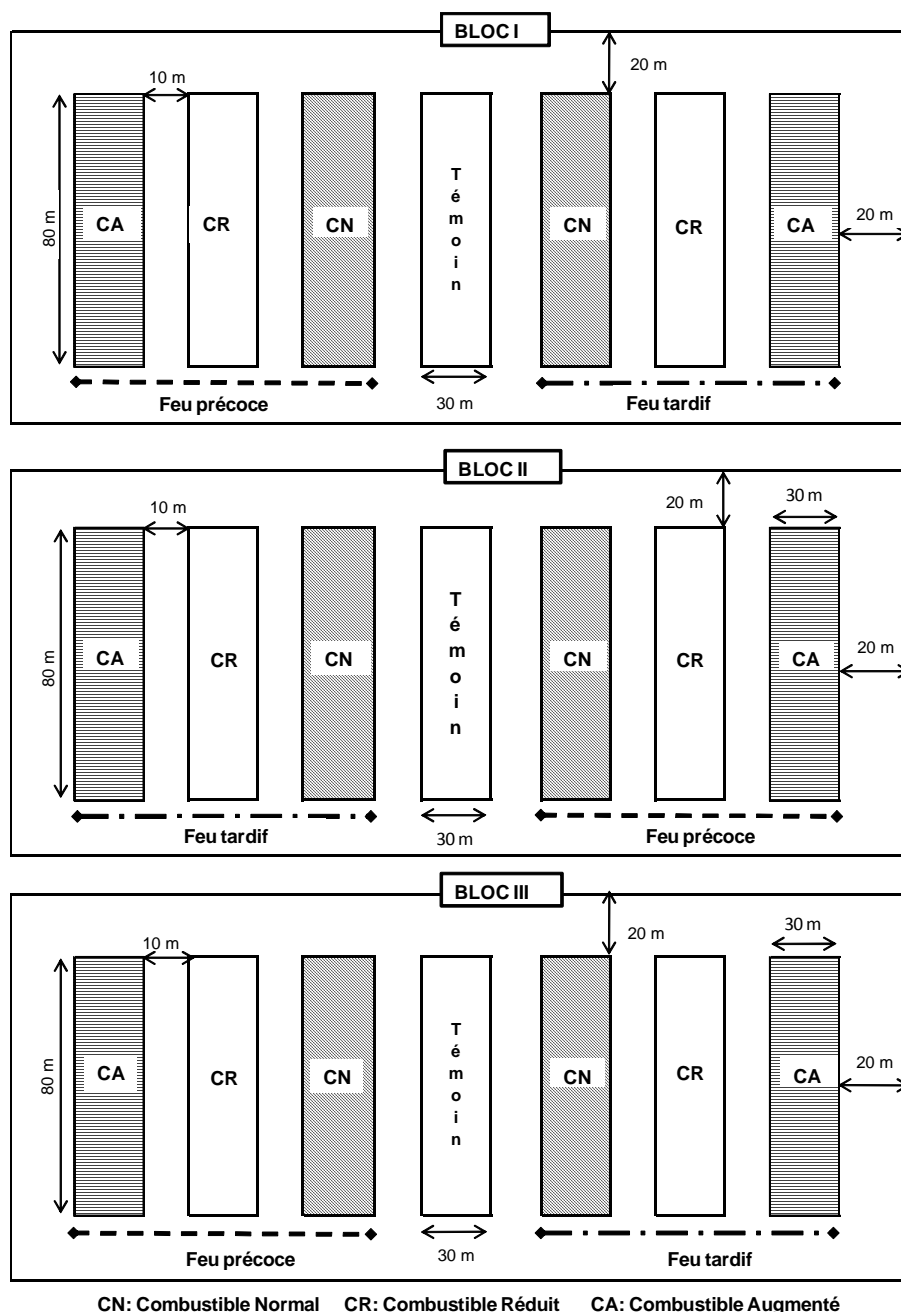


Figure 2 : Dispositif expérimental d'étude installé dans la forêt classée de Dindéresso.

**Tableau 1 :** Caractéristiques du combustible (quantité du combustible en T/ha) et comportement du feu (température du feu °C; sa vitesse de propagation (m.s<sup>-1</sup>) et son intensité (Kj.m<sup>-1</sup>S<sup>-1</sup>)) dans des parcelles soumises à différents traitements de combustible en savane soudanienne.

| Traitement | Quantité du combustible (T/ha) | Humidité du combustible | Température du feu (°C) | Vitesse de progression (m.s <sup>-1</sup> ) | Intensité du feu (Kj/m <sup>-1</sup> S <sup>-1</sup> ) |
|------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|---|--|
| CR         | 0,411±0,11 a                   | 47,615±3,460a           | 485,911±40,76a          | 0,043 ±0,013a                               | 30,40± 8,66a   |
| CN         | 0,750±0,21 a                   | 47,654±8,076a           | 568,264 ±34,85a         | 0,045±0,01a                                 | 62,920 ±20,20a   |
| CA         | 1,56±0,320 b                   | 41,21±5,136a            | 620,30±21,88 a          | 0,040±0,006a                                | 114,80 ± 24,020a                                       |

Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de 5 %.

**Tableau 2:** Variation interannuelle des propriétés du sol des parcelles protégées en savane soudanienne boisée au Burkina Faso.

| Paramètres           | Année-2009    | Année-2010    | Année-2011    |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|
| PHeau                | 6,390 ± 0,029 | 5,893 ± 0,075 | 5,841 ± 0,051 |
| Carbone total (g/kg) | 6,27 ± 0,35   | 7,21 ± 0,46   | 8,23 ± 0,26   |
| Azote total (g/kg)   | 0,62 ± 0,02   | 0,47 ± 0,04   | 0,43 ± 0,02   |

Moyenne ± erreur standard.



**Tableau 3 :** Effet de la quantité du combustible, de la profondeur de prélèvement et du passage du feu précoce sur les paramètres chimiques du sol en savane soudanienne.

| Paramètres | Traitement du combustible |                |                | Profondeur de prélèvement |                |                | Environnement avant et après feu |                |
|------------|---------------------------|----------------|----------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------------------------|----------------|
|            | CR                        | CN             | CA             | 0-5 cm                    | 5-10 cm        | 10-15 cm       | Avant                            | Après          |
| PHeau      | 5,929 ± 0,053a            | 5,844 ± 0,050a | 5,873 ± 0,050a | 6,209 ± 0,037a            | 5,840 ± 0,039b | 5,597 ± 0,038c | 5,950 ± 0,036a                   | 5,810 ± 0,045b |
| Ct (g/kg)  | 6,46 ± 0,19a              | 6,55 ± 0,20a   | 6,61 ± 0,21a   | 7,06 ± 0,20a              | 6,45 ± 0,19b   | 6,11 ± 0,20b   | 6,60 ± 0,18a                     | 6,50 ± 0,15a   |
| Nt (g/kg)  | 0,43 ± 0,02a              | 0,45 ± 0,02a   | 0,44 ± 0,01a   | 0,50 ± 0,02a              | 0,43 ± 0,01b   | 0,40 ± 0,01b   | 0,50 ± 0,01a                     | 0,40 ± 0,01b   |

Moyenne ± erreur standard, CR: Combustible réduit; CN: Combustible Normal; CA: Combustible augmenté; Ct : Carbone total ; Nt :Azote total. Les moyennes suivies de la même lettre sur la même ligne ne sont pas significativement différentes (p <0,05).

**Tableau 4 :** Les effets principaux du traitement du feu, de la profondeur de prélèvement du sol et de la période de prélèvement (avant et après feu) sur les paramètres du sol du feu tardif dans la savane soudanienne au Burkina Faso (moyenne ± erreur standard).

| Paramètres | Traitement du combustible |                |                |                | Profondeur de prélèvement du sol |                |                | Environnement avant et après le feu |                |
|------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|----------------|
|            | CR                        | CN             | CA             | CT             | 0-5 cm                           | 5-10 cm        | 10-15 cm       | Avant                               | Après          |
| PHeau      | 5,794 ± 0,120a            | 5,662 ± 0,129a | 5,762 ± 0,131a | 6,390 ± 0,029b | 6,144 ± 0,075a                   | 5,773 ± 0,115b | 5,580 ± 0,128c | 6,127 ± 0,053a                      | 5,352 ± 0,083b |
| Ct (g/kg)  | 6,02 ± 0,25a              | 6,04 ± 0,38a   | 6,82 ± 0,462a  | 6,267 ± 0,35a  | 6,97 ± 0,31a                     | 6,39 ± 0,32ab  | 5,50 ± 0,031b  | 6,88 ± 0,35a                        | 5,71 ± 0,21b   |
| Nt (g/kg)  | 0,45 ± 0,03ab             | 0,41 ± 0,02a   | 0,52 ± 0,04b   | 0,62 ± 0,02c   | 0,53 ± 0,03a                     | 0,49 ± 0,03ab  | 0,432 ± 0,03b  | 0,53 ± 0,02a                        | 0,39 ± 0,02b   |

CR: Combustible réduit; CN: Combustible Normal; CA: Combustible augmenté; CT: Témoin (protégé contre le feu). Ct : Carbone total ; Nt :Azote total. Les moyennes suivies de la même lettre sur la même ligne ne sont pas significativement différentes (p <0,05).

**Tableau 5:** Composition et structure de la communauté de la macrofaune du sol en 2009 (A) et 2010 (B) en fonction de la quantité de combustible en savane soudanienne au Burkina Faso.

**A) Année 2009**

| Traitement de combustible | Groupe taxonomique |           |            |               |                                      | Larves    |                                      |       |
|---------------------------|--------------------|-----------|------------|---------------|--------------------------------------|-----------|--------------------------------------|-------|
|                           | Nb Familles        | Nb Ordres | Nb Classes | Nb Individues | Densité Moyenne (Nb/m <sup>2</sup> ) | Nb larves | Densité Moyenne (Nb/m <sup>2</sup> ) |       |
| Avant feu                 | CA                 | 5         | 5          | 3             | 91                                   | 214,12    | 7                                    | 16,47 |
|                           | CR                 | 6         | 6          | 4             | 230                                  | 541,18    | 13                                   | 30,58 |
|                           | CN                 | 7         | 7          | 4             | 227                                  | 534,18    | 0                                    | 0,00  |
|                           | CT                 | 7         | 7          | 3             | 94                                   | 221,18    | 2                                    | 4,71  |
| Après feu                 | CA                 | 2         | 2          | 2             | 15                                   | 35,30     | 0                                    | 0     |
|                           | CR                 | 3         | 2          | 1             | 29                                   | 68,23     | 0                                    | 0     |
|                           | CN                 | 3         | 3          | 2             | 13                                   | 30,60     | 0                                    | 0     |

**B) Année 2010**

|           | Traitement de combustible | Groupe taxonomique |           |           |               | Densité Moyenne (Nb/m <sup>2</sup> ) | Larves    |                                      |
|-----------|---------------------------|--------------------|-----------|-----------|---------------|--------------------------------------|-----------|--------------------------------------|
|           |                           | Nb Familles        | Nb Ordres | Nb Classe | Nb Individues |                                      | Nb larves | Densité Moyenne (Nb/m <sup>2</sup> ) |
| Avant feu | CA                        | 4                  | 4         | 2         | 220           | 517,65                               | 3         | 7,06                                 |
|           | CR                        | 7                  | 6         | 2         | 47            | 110,60                               | 2         | 4,71                                 |
|           | CN                        | 3                  | 4         | 2         | 144           | 338,82                               | 10        | 23,53                                |
|           | CT                        | 6                  | 6         | 4         | 134           | 315,30                               | 8         | 18,82                                |
| Après feu | CA                        | 7                  | 7         | 4         | 117           | 275,30                               | 11        | 11,88                                |
|           | CR                        | 5                  | 5         | 4         | 391           | 920                                  | 3         | 7,06                                 |
|           | CN                        | 5                  | 5         | 3         | 432           | 1016,47                              | 2         | 4,71                                 |

**Tableau 6 :** Les effets du passage du feu sur les indices de diversité de la macrofaune du sol au cours de deux années d'application de feux précoces dans une savane soudanienne boisée au Burkina Faso (moyenne ± erreur standard).

| Densité (individus/m <sup>2</sup> ) | 2009            |                | 2010           |                 |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
|                                     | Avant feu       | Après feu      | Avant feu      | Après feu       |
| Abondance globale (N)               | 93,498±28,5801a | 9,382±2,676b   | 68,310±24,290a | 168,888±50,964b |
| Densité des Formicidae              | 35,390±9,056a   | 4,115±1,607b   | 19,92±11,01a   | 76,38±41,21a    |
| Densité des Termitidae              | 26,995±13,761a  | 4,609±2,390a   | 42,140±18,850a | 82,140±33,650a  |
| Richesse taxonomique (S)            | 2,593 ± 0,228a  | 0,704 ± 0,149b | 1,630 ± 0,284a | 2,778 ± 0,257b  |

Les moyennes suivies de la même lettre sur la même ligne ne sont pas significativement différentes (p < 0,05).

### **Composition et structure de la communauté de la macrofaune du sol**

Au total, 642 individus ont été recensés avant le feu contre seulement 57 individus après le passage du feu en 2009 (Tableau 5). Ces individus sont repartis dans 9 familles, appartenant à 8 ordres et 4 classes. On observe une nette dominance de la classe des insectes qui représente 90,7% des individus dénombrés; les familles les plus représentées sont les Termitidae (53% avant feu et 49,1% après feu) et les Formicidae (38% avant feu et 44% après feu). Après le passage du feu, le nombre total d'individus ainsi que la densité moyenne (Nb/m<sup>2</sup>) a fortement chuté dans tous les traitements. Les "pertes" s'évaluent à 85% lorsque la quantité du combustible a été augmentée (CA); 88,53% dans la parcelle à combustible réduit de moitié (CR) et à 94,27% dans la parcelle à combustible Normale (CN). Les larves ont été presque complètement décimées par les feux en 2009. Le taux de diminution de la population totale des larves est estimé à 85% en CA, 88,53% en CR et 94,27% en CN. En outre, la dynamique de la population de la macrofaune du sol est marquée par une variation inter-annuelle. A la deuxième année d'application du feu (2010), une augmentation du nombre d'individus ainsi que de la densité (Nb/m<sup>2</sup>) a été observée dans la plupart des parcelles brûlées, excepté la parcelle CA dans laquelle une baisse du nombre d'individus a été notée. En moyenne, la densité passe de 64±9 individus/m<sup>2</sup> dans CA, à 67 ± 40 individus/m<sup>2</sup> en CR en 2009, et de 83 ± 26 individus/m<sup>2</sup> dans CA à 108 ± 50 individus/m<sup>2</sup> en CR en 2010. Dans le témoin, la densité varie de 24 ± 8 à 35 ± 13 individus/m<sup>2</sup> respectivement en 2009 et 2010.

### **Diversité taxonomique**

La richesse taxonomique n'est pas affectée par le traitement du combustible dans aucune des périodes d'échantillonnage ( $p > 0,05$ ) (Tableau 6). Cependant, l'analyse des résultats avant et après feu montre que son passage a induit un changement significatif dans la richesse taxonomique de la

macrofaune du sol. A la première année d'échantillonnage, les fortes richesses taxonomiques ( $F_{[1,36]} = 46,446$ ,  $p = 0,0001$ ,  $\eta^2 = 0,563$ ) ont été notées avant le passage du feu alors qu'en seconde année, la richesse taxonomique est plutôt plus élevée après le passage du feu (Tableau 6).

## **DISCUSSION**

### **Comportement du feu**

Les résultats ont montré que malgré la variation dans la quantité de combustible, aucune différence significative n'a été observée dans l'intensité et la vitesse de progression du feu. La plus forte température enregistrée est de 637±36 °C. Cette valeur est légèrement supérieure à celle enregistrée au Tchad (Guiguindibaye et al., 2013). De nombreuses études ont rapporté que les températures du feu augmentaient avec la quantité de combustible (Archibald et al., 2009; Cheney et Sullivan, 1997). Ces mêmes auteurs ont aussi montré que le comportement du feu est déterminé par les propriétés physiques et les paramètres environnementaux. Ainsi, l'effet positif de la vitesse du vent contribue à oxygéner la combustion qui stimule le transfert de la chaleur par conduction ou par radiation à l'avant du front du feu (Savadogo et al., 2007).

### **Effet du feu précoce sur les propriétés chimiques du sol**

Contrairement à ce qui était attendu, la quantité de combustible (feu précoce) n'a pas modifié de manière significative les caractéristiques chimiques du sol (pH, carbone total, azote total). Ce résultat peut principalement être expliqué par le fait qu'en dépit de la variation de la quantité de combustible (normal, augmenté et réduit), les températures du feu mesurées étaient statistiquement semblables dans les parcelles étudiées. La température du sol, qui est étroitement liée à la chaleur issue de la combustion, affecte fortement les propriétés du sol (Knicker, 2007). Mais Raison et Woods

(1986) estiment que seulement 5% de toute l'énergie libérée par le feu sont transmises au sol. On comprend alors pourquoi effectivement dans notre cas, les faibles températures enregistrées n'ont significativement pas impacté le pH, le carbone total et l'azote total du sol.

Toutefois, les valeurs du pH, du Ct, et Nt ont significativement baissé avec la profondeur de prélèvement du sol. Les fortes valeurs mesurées pour l'horizon superficiel 0-5 cm pourraient être due à l'accumulation des cendres, qui sont riches en éléments nutritifs. En effet, certains nutriments accumulés dans la biomasse végétale épigée et dans la litière, sont déposés avec les cendres, qui, en fonction de la sévérité du feu, contiennent des quantités variées de nutriments (Gimeno-Garcia et al., 2000). Toutefois, le feu n'a pas induit des changements considérables dans les quantités de carbone du sol. Ces résultats sont en accord avec les observations déjà notées en Afrique de l'Ouest (Axelsson, 2003; Dembélé, 1996). Cependant, des pertes de plus de 50% de carbone dans les premiers centimètres du sol ont été aussi enregistrées (Gonzalez-Perez et al., 2004). Contrairement aux pertes de matières organiques relevées par les études précédentes, de légères augmentations du carbone total ont aussi été trouvées dans les savanes sèches en Afrique du Sud (Oluwole et al., 2008). Ceci montre bien la complexité de la problématique du feu dans les savanes. L'analyse des résultats a montré aussi que les teneurs en azote total, et les valeurs du pH ont significativement diminué après le passage du feu contrairement à ce qui est rapporté dans d'autres travaux (Aref et al., 2011). L'augmentation du pH est généralement expliquée par la présence de la cendre, l'accumulation du potassium, de l'hydroxyde de sodium, du magnésium, du carbonate de calcium mais aussi par la destruction de certains groupes d'acides contenus dans la matière organique (Giovannini et al., 1990). Cependant, à des températures élevées, ces constituants tendent à s'évaporer ou à se volatiliser. La température atteinte dans la

présente étude était autour de 635 °C, ce qui a pu avoir comme conséquence, la perte de certains ions et la diminution subséquente du pH. Les quantités d'azote ont été également réduites après le feu, très probablement à cause de la rapide perte par volatilisation. En effet, dès 200 °C, l'azote est facilement perdu sous forme de gaz et de cendre et à 500 °C, plus de la moitié de l'azote est perdue dans l'atmosphère (Knicker, 2007).

#### **Effet du feu tardif sur les propriétés chimiques du sol**

Pour le feu tardif, les résultats ont également montré que le pH était significativement inférieur dans les parcelles brûlées comparativement à la parcelle témoin. Ces résultats sont contraires à certains travaux montrant plutôt une augmentation du pH après le passage du feu dû à la dénaturation d'acide organique et à la libération des bases dans le sol (Snyman, 2003). Toutefois, ils sont en accord avec d'autres travaux montrant une diminution du pH consécutive au passage du feu. Toutefois, ils sont en accord avec d'autres travaux montrant une diminution du pH consécutive au passage du feu (Snyman, 2003). Les valeurs du pH dans les parcelles à feu précoce étaient plus élevées que celles du feu tardif de 0,458 unités. Nous pouvons donc déduire que la dénaturation des colloïdes du sol et la libération des ions hydroxyle du à l'effet de la chaleur, est plus forte avec le feu tardif, pouvant donc entraîner à terme, l'acidification du sol. En outre, la profondeur de prélèvement du sol a affecté de manière significative le pH. Les horizons superficiels ont des valeurs de pH plus élevées que les horizons profonds; l'incorporation de la cendre, généralement plus prononcée dans les horizons superficiels, peut expliquer cette différence. Les résultats ont montré aussi que le feu tardif a eu un effet dépressif significatif sur la teneur du sol en azote total, et en carbone total. Ces résultats sont conformes à ceux d'autres travaux (Snyman, 2003). Le carbone et l'azote ont diminué respectivement de 12,15% et 2,5%. La baisse des quantités de

carbone et d'azote pourrait être due à l'oxydation du carbone et sa perte sous forme de dioxyde de carbone (CO), phénomène qui se produit dès que la température de la combustion de la matière organique atteint 200 °C (DeBano et al., 1998). De la même façon, l'azote peut s'altérer chimiquement et une partie restera dans le sol sous forme d'ammonium, mais la plus grande partie peut être facilement perdu sous forme de gaz (Knicker, 2007).

#### **Effet du feu sur la macrofaune du sol**

Les résultats ont montré en général, une variation spatiale et temporelle dans la composition de la macrofaune du sol. Comme prévu, l'analyse des résultats de 2009 a montré que l'effet immédiat du feu est la réduction considérable du nombre des spécimens. Ceci est probablement dû au fait que bon nombre d'individus vivant à la surface du sol ont été tués par les flammes, ou ont migré vers d'autres refuges. Ces résultats corroborent ceux de nombreux autres auteurs (Gongalskya et al., 2012 ; Malmström et al., 2009). A Lamto en Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest), les résultats d'une étude sur l'effet du feu sur la macrofaune du sol ont montré une baisse du nombre d'individu variant respectivement de 39,95% et 59,59% après des feux précoce et tardif (Loupe et al., 1998). Les larves ont été totalement éliminées dès le premier passage du feu en 2009. Cela parce que la température du feu a dépassé le seuil de tolérance des larves, c'est-à-dire 35 °C (Malmström, 2008). Les organismes ont donc été directement tués et leurs œufs détruits par les flammes ou la chaleur. Des variations annuelles dans la structure et la composition de la macrofaune de sol ont également été observées. Ainsi, contrairement à la diminution de la densité observée en 2009, une augmentation du nombre d'individus et de la densité a été notée au cours de la deuxième année de l'expérimentation. Ceci peut être lié à la variabilité interannuelle de la pluviosité au cours des deux années d'étude. Des

expérimentations conduites en Afrique du Sud sur l'effet des feux répétés sur la macrofaune ont également relevé une augmentation de 31,13% à 51,36% de la population de la macrofaune due au passage répété du feu (Oluwole et al., 2008). De même, Anderson et al. (1989) ont aussi noté une augmentation de la population. Cet effet positif du feu sur la macrofaune du sol pourrait être dû au fait que le sol n'a pas atteint les températures assez élevées pour tuer les invertébrés. Toutefois, une légère augmentation de la température du sol et la disponibilité des nutriments (issus des restes des plantes brûlées et leur racines) relevées par d'autres études pourraient stimuler la prolifération des organismes et le fonctionnement de certains groupes d'animaux qui ont survécu aux flammes (Debouzie et al., 2002).

De façon générale, les résultats ont révélé aussi que la diversité de la macrofaune n'est pas affectée par la quantité du combustible ni par les périodes d'échantillonnage. Ceci est probablement lié au manque de différence significative dans l'intensité du feu. En revanche, des variations annuelles de la richesse taxonomique ont été observées, en droite ligne de résultats reportés dans la littérature (Dawes-Gromadzki, 2007). Ces variations observées entre les années et entre les parcelles brûlées, pourraient s'expliquer par les changements qui peuvent s'opérer dans la richesse taxonomique ou dans la structure de dominance entre les espèces. Les variations dans des paramètres climatiques constituent aussi des facteurs de régulation de la présence des différents groupes d'invertébrés dans les différents horizons du sol. Certains auteurs (Argyropoulou et al., 1993) ont montré que les réponses de la faune du sol au feu dépendent fortement de la saison, de l'intensité et de la fréquence du feu. Ainsi, pendant la première année de l'étude en 2009, le feu a induit une diminution significative de la diversité de la macrofaune du sol. La plus grande diversité taxonomique a été enregistrée pour les parcelles non brûlées qui ont donc l'indice de

Shannon le plus élevé. Ces résultats sont conformes à ceux de Decaëns et al. (1994) qui ont constaté que les parcelles protégées du feu ont une diversité spécifique plus élevée que les parcelles soumises au feu. Ils corroborent également ceux de Castano-Meneses et Palacios-Vargas (2003) qui ont rapporté que la baisse de la diversité de la macrofaune est due à la mortalité des organismes dont l'ampleur dépend de l'intensité du feu.

### Conclusion

Cette étude s'inscrit dans le cadre général de la compréhension des modifications induites par le feu sur la dynamique de la matière organique et les propriétés biologiques du sol en savane tropicale. Les résultats ont révélé que la charge du combustible n'a pas eu d'impact significatif sur les paramètres chimiques du sol, et que seuls le pH et l'azote ont été de façon significative, négativement affectés par le passage du feu. L'effet immédiat du feu fut la réduction considérable de l'abondance de la macrofaune du sol. Toutefois, la structure et la composition de cette macrofaune de sol ont varié dans le temps, à cause probablement de facteurs environnementaux tels que les conditions pédoclimatiques, la modification de l'équilibre proie/prédateurs, etc.). Nos résultats confirment l'effet nocif des feux tardifs. Par conséquent, nous pouvons déduire que les modifications observées dans les propriétés du sol sont plus dues à la période d'application ou saison du feu qu'à la quantité du combustible présente au moment du feu. Cependant, des études devraient être poursuivies dans le long terme afin de pouvoir tirer des conclusions assez conséquentes qui pourraient compléter celles déjà existantes sur la végétation. Il serait alors possible de mieux appréhender les effets des feux de brousse sur le fonctionnement des savanes.

### REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier sincèrement « International Foundation for Science (Grant Agreement No. C/4816-1) et le projet RIPIESCA qui nous ont fourni les moyens

financiers pour cette étude. Nous remercions également les personnes qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

### REFERENCES

- AFNOR (Association Française de Normalisation). 1999. *Détermination du pH*. Association Française de Normalisation NF ISO 103 90, AFNOR Qualité des sols: Paris; 339-348.
- Anderson JM, Ingram J. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility (T.S.B.F.): A Handbook of Methods* (2nd edn). CAB: Oxford.
- Anderson RCT, Leah A, Dhillon S. 1989. Numbers and biomass of selected insect groups on burned and unburned sand prairie. *American Midland Naturalist*, **122**: 151-162.
- Archibald S, Roy D, Van Wilgen, BW, Scholes RJ. 2009. What limits fire? An examination of the drivers of burnt area in southern Africa. *Global Change Biology*, **15**: 613-630.
- Aref IM, Atta HA, Ghamade AR. 2011. Effect of forest fires on tree diversity and some soil properties. *International Journal of Agriculture and Biology*, **13**: 659-664.
- Argyropoulou MD, Asikidis GD, Stamou GP. 1993. Colonization patterns of decomposing litter in a maquis ecosystem. *European Journal of Soil Biology*, **29**: 183-191.
- Bellefontaine R, Gaston A, Petrucci Y. 2000. *Management of Natural Forests of Dry Tropical Zones*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, Italy; 318.
- Bremner JM. 1965. *Inorganic Forms of Nitrogen* (Part 2), Black CA (ed). Am.Soc.Agron.,: Madison, USA; 1179-1237.
- Axelsson C. 2003. The isolated effects by fire on the soil organic matter in the savanna woodlands of Burkina Faso, Department of Forest Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences, 27.
- Badía-Villas D, José A, González-Pér JA, Aznar JM, Arjona-Gracia B, Martí-

- Dalmau C. 2014. Changes in water repellency, aggregation and organic matter of a mollic horizon burned in laboratory: Soil depth affected by fire. *Geoderma*, **213**: 400–407.
- BUNASOLS. 1985. Etude pédologique de la forêt classée de Dindéresso, province du Houet, échelle 1120000. Rapport BUNASOL
- Byram GM. 1959. *Combustion of Forest Fuels, Forest Fire Control and Use*. Davis K P (ed). McGraw-Hill: New York; 61–89.
- Castano-Meneses G, Palacios-Vargas JG. 2003. Effects of fire and agricultural practices on neotropical ant communities. *Biodiversity and Conservation*, **12**: 1913–1919.
- Cheney NP, Sullivan A. 1997. *Grassfires: Fuel, Weather and Fire Behaviour*. CSIRO Publishing, Collingwood.
- DeBano LF, Neary DG, Ffolliott PF. 1998. *Fire's Effects on Ecosystems*. John Wiley & Sons, Inc.: New York, USA; 333.
- Debouzie D, Desouhant E, Oberli F, Menu F. 2002. Resource limitation in natural populations of phytophagous insects. A long-term study case with the chestnut weevil. *Acta Oecol.*, **23**: 31–39.
- Decaëns T, Lavelle P, Jiineieez Jaen JJ, Escobar G, Rippstein G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *Eur. J. Soil Biol.*, **30**: 157-168.
- Delvare G, Aberlenc H. 1999. *Les Insectes d'Afrique et d'Amérique Tropicale*. Imprimerie Caballery-58500: Clamecy, France.
- Dembélé F. 1996. Influence du feu et du pâturage sur la végétation et la biodiversité dans les jachères en zone soudanienne-Nord du Mali : Cas des jeunes jachères du terroir de Missira (Cercle de Kolokani), Biologie des Populations et Ecologie. Université de droit, d'économie et des sciences (Aix Marseille), Marseille, p. 202.
- Driessen P, Deckers J, Spaargaren O. 2001. Lecture notes on the major soils of the world, FAO World Soil Resources Reports-94. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fontès J, Guinko S. 1995. Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso/ Notice explicative CNRS, Université de Toulouse III (France), Institut du Développement Rural, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Ouagadougou.
- Gimeno-Garcia E, Andreu V, Rubio JL. 2000. Changes in organic matter, nitrogen, phosphorus and cations as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape. *Eur. J. Soil Sci.*, **51**: 201–210.
- Giovannini G, Lucchesi S, Giachetti M. 1990. Effect of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth. *Soil Sci. Soc.* **149**, 344–350.
- Gongalskya KB, Malmströmb A, Zaitseva AS, Shakhaba SV, Bengtssonb J, Persson, T. 2012. Do burned areas recover from inside? An experiment with soil fauna in a heterogeneous landscape. *Applied Soil Ecology*, **59**: 73–86.
- Gonzalez-Perez J, Gonzalez-Vila F, Almendros G, Knicker H. 2004. The effect of fire on soil organic matter – a review. *Environment International*, **30**: 855-870.
- Guiguindibaye M, Belem MO, Boussim JI. 2013. Caractéristiques des feux dans un incendie en savane soudanienne au Tchad. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **7**: 1147-1156.
- Keeley JE, Bond WJ, Bradstock RA, Pausas, JG, Rundel PW. 2012. *Fire in Mediterranean Ecosystems: Ecology*. Cambridge University Press.
- Knicker H. 2007. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon ? A review. *Biogeochemistry*, **85**: 95-118.



- Loupe D, Olivier R, Ouattara N, Fortier M. 1998. Impacts des feux répétés sur les sols des savanes du centre de Côte d'Ivoire. Aménagement intégré des forêts naturelles de l'Ouest, Ouagadougou (Burkina Faso), p. 11.
- Malmström A. 2008. Temperature tolerance in soil microarthropods: Simulation of forest-fire heating in the laboratory. *Pedobiologia*, **51**: 419–426.
- Malmström A, Persson T, Ahlströma K, Gongalsky KB, Bengtsson J. 2009. Dynamics of soil meso- and macrofauna during a 5-year period after clear-cut burning in a boreal forest. *Applied Soil Ecology*, **43**: 61–74.
- Mamaev BM. 1972. Identification Keys for Insect Larvae. Prosveshenie, Moscow (in Russian).
- Mataix-Solera J, Cerdà A, Arcenegui V, Jordán A, Zavala LM. 2011. Fire effects on soil aggregation: a review. *Earth Sci. Rev.*, **109**: 44–60.
- Midgley JJ, Lawes MJ, Chamaille-Jammes S. 2010. Savanna woody plant dynamics: the role of fire and herbivory, separately and synergistically. *Australian Journal of Botany*, **58**: 1-11.
- Moreira FMS, Huising EJ, Bignell D. 2008. *A Handbook of Tropical Soil Biology: Sampling and Characterization of Below-Ground Biodiversity*. Earthscan: London.
- Neary DG, Ryan KC, DeBano LF. 2008. *Wildland Fire in Ecosystems: Effects of Fire on Soils and Water*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42. Ogden, UT: U.S.
- Oluwole FA, Sambo JM, Sikkhalazo D. 2008. Long-term effects of different burning frequencies on the dry savannah grassland in South Africa. *African Journal of Agricultural Research*, **3**: 147-153.
- Parker JL, Fernandez IJ, Rustad LE, Norton SA. 2001. Effects of Nitrogen Enrichment, Wildfire, and Harvesting on Forest-Soil Carbon and Nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **65**: 1248–1255.
- Raison RJ, Woods PV. 1986. Soil temperatures during and following low-intensity prescribed burning in a Eucalypt forest. *Australian Journal of Soil Research*, **24**: 33-47.
- RDCT (R Development Core Team). 2006. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical computing: Vienna, Austria.
- Savadogo P, Zida D, Sawadogo L, Tiveau D, Tigabu M, Oden PC. 2007. Fuel and fire characteristics in savanna-woodland of West Africa in relation to grazing and dominant grass type. *International Journal of Wildland fire*, **16**: 531-539.
- Snyman HA. 2003. Short-term response of rangeland following an unplanned fire in terms of soil characteristics in a semi-arid of south Africa. *Journal of Arid Environments*, **55**: 160-180.
- Tracy Z, Dawes-Gromadzki. 2007. Short-term effects of low intensity fire on soil macroinvertebrate assemblages in different vegetation patch types in an Australian tropical savanna. *Austral Ecology*, **32**: 663–668.
- Trollope WSW, Potgieter ALF. 1985. Fire behaviour in the Krugger National Park. *Journal of the Grassland Society of South Africa*, **2**: 17-22.
- Trollope WSW, Trollope LA, Hartnett DC. 2002. *Fire Behaviour a Key Factor in the Ecology of African Grasslands and Savannas*. Millpress: Rotterdam.
- Walkley A, Black JA. 1934. An examination of the Detjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromatic acid titration method. *Soil Science*, **37**: 29-38.