



**Original Paper**

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

## Typologie et caractérisation morphopédologique des sols de bas-fonds soudano-sahéliens : cas du sous-bassin versant du Nakanbé-Dem au Centre-nord du Burkina Faso

Adama ILBOUDO<sup>1\*</sup>, Maurice Ouango SAVADOGO<sup>2</sup>, Fidèle KABORE<sup>1</sup>, Der SOME<sup>1</sup>,  
Joseph Nomwindé KABORE<sup>4,5</sup>, Edmond HIEN<sup>1</sup> et Salifou TRAORE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Sols, Matériaux et Environnement, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

<sup>2</sup>Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Département Gestion des Ressources Naturelles et de Système de Production (GRN/SP), Burkina Faso.

<sup>3</sup>Laboratoire de Biologie et Écologie Végétales, Université de Ouagadougou, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

<sup>4</sup>Université Senghor- Senghor campus, Burkina Faso.

<sup>5</sup>Université Senghor- Senghor campus Burkina Faso. Direction Générale des Productions Végétales/Ministère de l'Agriculture des Ressources Animales et Halieutiques, Burkina Faso.

\*Auteur correspondant ; E-mail: [ilboudama@yahoo.fr](mailto:ilboudama@yahoo.fr)

Received: 09-02-2023

Accepted: 21-04-2023

Published: 30-04-2023

### RÉSUMÉ

Dans la zone soudano-sahélienne Burkinabè, la population locale est plus dépendante des bas-fonds dont l'exploitation s'est accrue au cours de ces dernières décennies. Cette étude a pour objectif d'analyser les caractéristiques morphopédologiques des sols de bas-fonds du sous-bassin versant du Nakanbé-Dem situé dans la partie Sud du sahel. Des échantillons rocheux ont été prélevés et des analyses microscopiques en ont été effectuées. Des fosses pédologiques ont été ouvertes, des échantillons de sol de bas-fonds ont été effectués et analysés au laboratoire. Les données collectées ont été analysées à l'aide du logiciel R et statistiquement évaluées par des analyses de variances (ANOVA). Les résultats ont montré que le type morphologique de bas-fond est fonction du milieu géologique. La fertilité chimique du sol est plus élevée en milieu volcano-sédimentaire (0,82) qu'en milieu plutonique (0,78). Quatre classes de sols ont été recensées : les sols peu évolués, les sols ferrugineux tropicaux lessivés, les sols brunifiés et les sols hydromorphes. Leur répartition est en fonction des sous unités géomorphologiques des bas-fonds. Il existe une corrélation positive entre le degré de fertilité chimique du sol et les sous unités géomorphologiques des bas-fonds. Les sols de zones centrales sont de fertilité plus élevée que ceux des versants et des glacis. L'étude a souligné la fertilité faible à moyenne des sols de bas-fonds. Elle suggère la nécessité d'en tenir compte dans la valorisation agricole des bas-fonds soudano-sahéliens dans un contexte de pluviosité limitée.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** Bas-fonds, dégradation, fertilité, unités géomorphologiques, contexte géologique.

## Typology and morphopedological characterization of the soils of the Sudano-Sahelian lowlands: case of the Nakanbé-Dem sub-watershed in the Center-North of Burkina Faso

### ABSTRACT

In the Sudano-Sahelian zone of Burkina Faso, local population is more dependent on lowlands. Lowlands exploitation has increased in recent decades. This study analyzes morphopedological characteristics of soils lowland of the Nakanbé-Dem sub-watershed, located in the sahel southern part. Rock samples were taken and microscopic analyzes were carried out. Soil pits were opened, bottomland soil samples were taken and analyzed in the laboratory. The data collected was analyzed using R software and statistically evaluated by analysis of variance (ANOVA). The results showed lowland morphological type is function of geological environment. Soil chemical fertility is higher in a volcano-sedimentary environment (0.82) than in plutonic environment (0.78). Four soils classes have been identified: poorly evolved soils, leached tropical ferruginous soils, brown soils and hydromorphic soils. Their distribution is based on the lowlands geomorphological subunits. There is positive correlation between degree of soil chemical fertility and lowlands geomorphological subunits. Central zone soils are higher fertility than those of the slopes and glacis. The study highlighted low fertility soils lowland. It suggests the need to take this into account in the agricultural development of Sudano-Sahelian lowlands in context of limited rainfall.

© 2023 *International Formulae Group*. All rights reserved.

**Keywords :** Lowlands, degradation, fertility, geomorphological units, geological context.

---

### INTRODUCTION

Dans la zone soudano-sahélienne burkinabé, les zones de bas-fonds, déjà fragilisées par plusieurs années d'exploitation, souffrent d'une pression démographique galopante et d'une précarité climatique persistante (Da et al., 2008). Malgré cet état de fait, les bas-fonds restent de nos jours des zones d'exploitation agricole par excellence pour les producteurs qui y voient un moyen de sécurisation de leur production dans un contexte de changement climatique.

C'est le cas dans le sous-bassin versant du Nakanbé-Dem au Centre-nord du Burkina Faso où la forte pression démographique sur les ressources naturelles a accéléré la dégradation des terres de plateau (Da et al., 2008; DREP/CN, 2017) et rendu la population locale plus dépendante des bas-fonds. Ces derniers sont alors devenus, par excellence, des domaines privilégiés de production des moyens de subsistance.

Autrefois délaissés, les bas-fonds sont aujourd'hui soumis à une forte pression agricole. A cause de leur rôle dans le système de production, ils sont considérés, quelles que soient leurs tailles, comme étant des zones

humides d'importance agricole locale ou régionale. Leur mise en valeur concourt à assurer la sécurité alimentaire notamment à travers le maraîchage et la riziculture. Le principal avantage des bas-fonds est de concentrer les écoulements superficiels et souterrains favorisant ainsi leur mise en culture avec des variétés plus exigeantes en eau.

Malgré l'importance agricole des zones humides, des études ont rarement porté sur les bas-fonds du sous bassin Nakanbé-Dem pour en caractériser les variables morphopédologiques et évaluer l'état de leur dégradation. Les auteurs tels que Da et al. (2008) et Karambiri (2009) ayant travaillé dans le bassin du Nakanbé se sont plutôt intéressés aux causes de la dégradation des bas-fonds qu'ils ont notamment attribué à l'érosion hydrique, la baisse et la mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies, la coupe abusive du bois, ainsi qu'aux mauvaises pratiques agricoles. La dégradation est surtout favorisée par une absence d'application de mesures idoines d'aménagement et de gestion durable des écosystèmes des bas-fonds dans le contexte actuel de changement climatique (Da et al., 2008).

La gestion durable d'un bas-fond passe par une meilleure connaissance de son sous bassin versant mais surtout ses caractéristiques morpho-pédologiques physico-chimiques (Akassimadou et Yao-kouamé, 2014). La mise en valeur agricole de ces zones constituerait l'une des réponses possibles à la crise actuelle des systèmes traditionnels de production. La valorisation des écosystèmes des bas-fonds devrait permettre d'accroître la capacité de production. Elle doit tenir compte d'un contexte local ou régional de dégradation des ressources naturelles. Une des approches efficaces pour gérer les risques potentiels du changement climatique sur les ressources naturelles en eau et en sols est l'application de bonnes pratiques de gestion des bas-fonds. La détermination de ces bonnes pratiques et la réussite de leur mise en application reposent sur l'analyse des caractéristiques morpho-pédologiques, chimiques et physiques de sol de bas-fonds. L'objectif de l'étude est de déterminer les caractéristiques morphopédologiques et physico-chimiques des sols de bas-fonds du sous-bassin versant du Nakanbé-Dem.

## MATERIEL ET METHODES

### Zone d'étude

La zone d'étude est le sous bassin versant du Nakanbé Dem, situé entre les longitudes 1° 26' 30" W et 0° 57' 43" W et les latitudes 13° 58' 58" N et 13° 31' -1" 48 N dans la zone soudano-sahélienne. La classification des climats, selon les précipitations, faite par Fontès et Ginko (1995) place celui de la zone d'étude dans le type dit de transition sahélo-soudanien avec une pluviosité comprise entre 600 et 700 mm. Ce climat est caractérisé par une longue saison sèche (novembre à mai) et une courte saison pluvieuse (juin à octobre). Il est marqué par de fortes irrégularités interannuelles des précipitations et une tendance générale à la baisse. Les températures moyennes annuelles varient entre 20 et 28°C pendant la saison humide et sont par contre très élevées en saison sèche, 35 à 40°C, favorisant l'assèchement des points d'eau par l'évaporation (Da et al., 2008).

Selon François et Hottin (1992), la couverture géologique du sous bassin versant

comprend deux principales formations géologiques. L'antébirrimien composé des formations granitiques et le Birimien essentiellement de roches volcano-sédimentaires (tufs, laves, sédiments associés, métavolcanites neutres à basiques). Les collines birimiennes constituent l'ossature du modelé de la zone d'étude dont le paysage géomorphologique s'organise depuis les reliefs résiduels jusqu'aux bas-fonds (Figure 1) qui constituent des zones préférentielles d'accumulation des eaux de ruissellement descendant à partir des versants des collines avoisinantes (Da et Yonkeu, 2008).

Son milieu naturel est caractérisé par une diversité de sous-groupes de sols dont les principaux sont les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés, les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétion, les sols peu évolués d'apport alluvial modaux, les sols peu évolués d'érosion régosoliques, les sols brunifiés (BUNASOLS, 1990).

Ces sols supportent des formations végétales dégradées principalement composées de savanes-parcs dans lesquelles les forêts galeries ont quasiment disparu et des formations ripicoles se présentent sous la forme d'un cordon de végétation, plus ou moins étroit, qui se rencontre le long des cours d'eau temporaires. La mince bande végétalisée est principalement dominée par *Anogeissus leiocarpa*, *Acacia seyal* et *Mitragyna inermis*, pour les parties les plus longuement inondées (Da et al., 2008).

Au cours de ces dernières décennies, le sous bassin versant du Nakanbé-Dem a connu une forte diminution de la pluviométrie qui se superpose aux pressions anthropiques et à la surcharge du cheptel. Cette double pression a contribué à la réduction du couvert végétal et à l'extension des zones des champs de culture (Da et al., 2008).

La population est caractérisée par une croissance démographique de 2,6% en moyenne entre les recensements de 1996 et 2006, et estimée à 1 593 214 habitants en 2016 et atteindra 1 787 082 en 2020. L'agriculture est encore extensive et dominée par les travaux champêtres manuels. Elle est pratiquée cumulativement avec l'élevage qui constitue la deuxième grande activité (INSD, 2009 ;

DREP/CN, 2017). La population du sous bassin, toujours en quête des terres fertiles, intervient activement dans la valorisation des bas-fonds constituant un palliatif aux variabilités climatiques.

### Collecte des données

Les caractéristiques morphopédologiques des bas-fonds étant liées à la lithologie en place, vingt-huit (28) échantillons rocheux ont été prélevés dans plusieurs localités du sous-bassin du Nakanbé-Dem pour analyse. Le prélèvement d'échantillons a concerné deux (02) milieux géologiques différents ; le milieu de l'ensemble plutonique et celui de l'ensemble volcano-sédimentaire (Figure 2). Les échantillons ont été acheminés au laboratoire de géologie de l'Université Joseph KI-ZERBO. Des lames minces en ont été confectionnées et l'analyse microscopique effectuée pour confirmer la nature pétrographique des roches et établir un éventuel lien entre les sols du site et la nature du matériau à l'origine de leur formation.

La prospection pédologique des bas-fonds étudiés s'est basée sur la toposéquence du milieu comprenant trois sous unités géomorphologiques du bas-fond à savoir le glacis, le versant et la zone centrale. La détermination des variables descriptives des bas-fonds ont permis d'en déterminer les types morphologiques. Sur chaque bas-fond, six fosses pédologiques ont été ouvertes sur deux transects suivant les trois unités géomorphologiques. Les fosses ouvertes sont de profondeur maximale de 1,4 m et orientées suivant la direction SE-NW. Un total de 240 observations ont été effectuées et 36 fosses pédologiques ouvertes. Des prélèvements de sol à la tarière ont également été effectués à 60 cm de profondeur. Les fosses pédologiques et leur environnement ont été décrits selon les directives de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture et classifiés selon la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (C.P.C.S.,1967). Au moins trois échantillons de sol ont été prélevés par fosse pour des analyses de laboratoire.

### Analyses des données

Les échantillons de sol ont été analysés dans le laboratoire du Bureau National des Sols (BUNASOLS) en considérant les propriétés physico-chimiques suivantes :

- l'azote total avec la méthode de Kjeldahl (Bremner, 1965);
- le phosphore assimilable: méthode de Bray-I. (Bray et Kurtz, 1945)
- la réaction du sol: pH eau et pHKCl déterminées par potentiométrie.
- les bases échangeables et la CEC: déterminées par spectrophotométrie à l'absorption atomique (Ca ++, Mg ++) et à émission de flamme (Na+, K+);
- la granulométrie (5 fractions) reposant sur la méthode internationale adaptée à la pipette « Robinson Khöln »;
- le potentiel capillaire: méthode d'extraction de l'eau sous pression (Marmite RICHARD).
- la réserve en eau utile (RU):  $RU = (HpF2, 5 - HpF4,2) \times da \times Z / 100$  avec da = densité apparente; Z = épaisseur de l'horizon (mm);
- la densité apparente du sol: les prélèvements ont été faits au cylindre (Blake & Hartge, 1986).
- le carbone organique reposant sur la méthode Walkley et Black (1934).
- Matière organique= C (%) \* 1,72

L'évaluation de la fertilité du sol s'est basée sur le critère de classification du BUNASOLS (1990) qui considère la matière organique, la somme des bases échangeables et le pH<sub>eau</sub> comme étant des principaux paramètres et dont chacun est coté de 1 (défavorable) à 5 (très favorable). La détermination de la classe de fertilité des sols étudiés a été déduite de la somme des cotations des paramètres précités.

L'analyse statistique des données collectées a été réalisée à l'aide du logiciel R. Les données ont été évaluées statistiquement par des analyses de variances (ANOVA) et les moyennes ont été comparées en utilisant le test de Tukey au seuil de 5%.

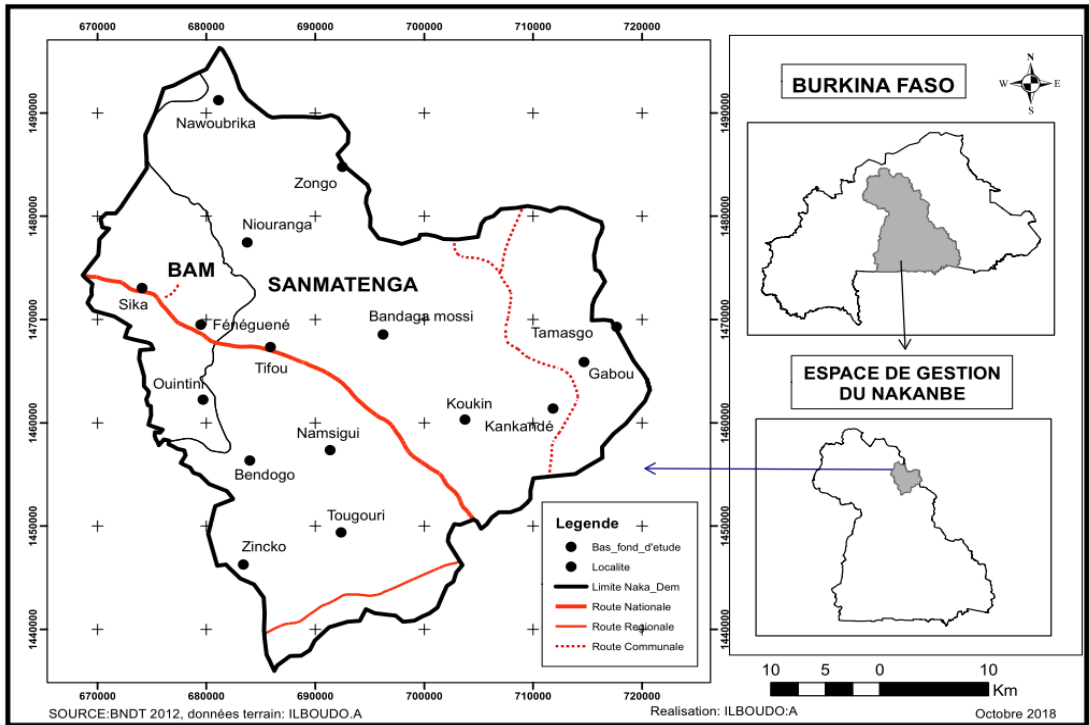


Figure 1: Localisation des bas-fonds d'étude.

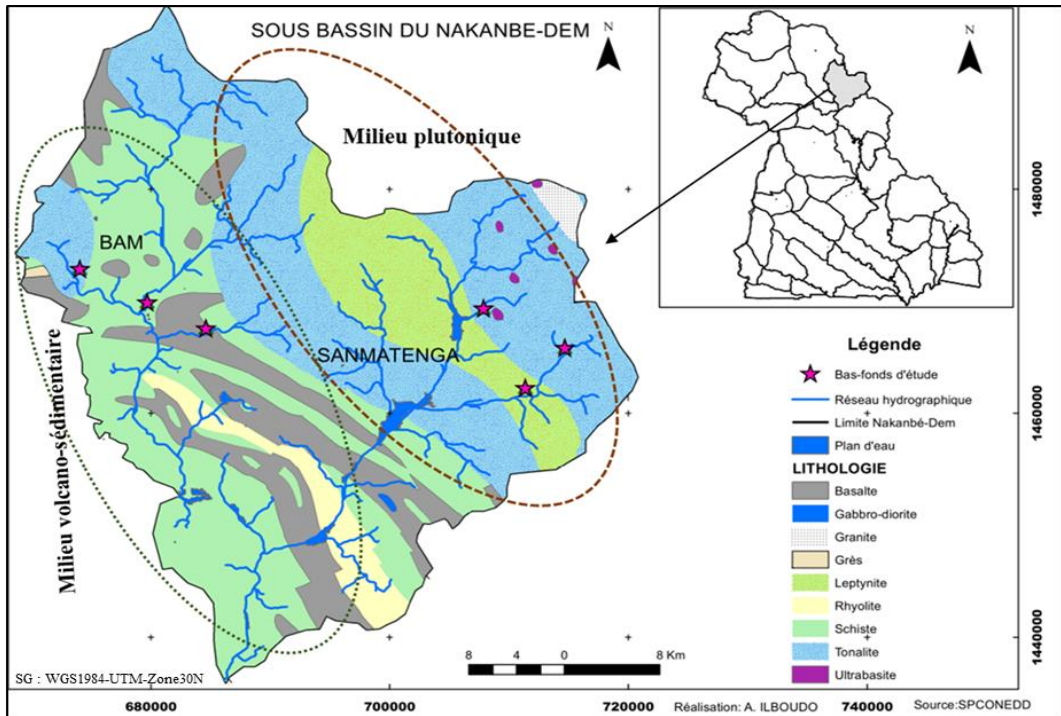


Figure 2: Carte des ensembles géologiques du sous-bassin du Nakanbé-Dem.

## RESULTATS

### Description géologique et typologie des bas-fonds du milieu de l'ensemble plutonique

L'observation macroscopique (Figure 3-a) des échantillons rocheux prélevés dans la localité de Kankandé a indiqué qu'il s'agit d'une granodiorite à texture grenue. L'observation microscopique (Figure 3-b) a révélé que le plagioclase constitue le minéral le plus abondant. Ce plagioclase est localement affecté par des exsolutions de quartz sous forme de myrmékites. Quant au feldspath, il y est représenté par le microcline (dominant) et l'orthose. Une altération partielle en séricite affecte le plagioclase et les feldspaths potassiques. Le microcline est parfois pœcilitique et contient en inclusion des microlites de plagioclase et d'orthose. Une faible perthitisation se développe sur certains feldspaths potassiques. Le quartz en fins et gros cristaux se localise aux interstices des feldspaths. La biotite en larges feuillets est localement effilochée et peut contenir en inclusion de l'apatite et du zircon. La hornblende verte généralement en association avec la biotite est déstabilisée.

Dans la localité de Tamasgo, l'observation macroscopique (Figure 3-c) a montré une roche caractérisée par une texture à grain grossier supérieur à 1 mm. Le plagioclase développe une texture granophyrique marquée par des exsolutions en son sein. La hornblende est plus abondante que la biotite. L'observation microscopique (Figure 3-d) a précisé qu'il s'agit d'une diorite quartzique déformée partiellement hydrothermalisée. Le plagioclase représente environ 50% des minéraux de la roche. Le quartz également abondant est généralement recristallisé en sous-grains. Le feldspath potassique est moins abondant et comprend le microcline et l'orthose qui est le plus souvent de petite taille. La biotite est plus abondante que la hornblende ; elles sont partiellement remplacées par l'épidote. La caractérisation morphologique des bas-fonds

de ce milieu montre un type dissymétrique et faiblement encaissé (Figure 4).

### Description géologique et typologie des bas-fonds du milieu de l'ensemble volcano-sédimentaire

A Tifou, les échantillons prélevés ont présenté à l'œil nu une structure massive et une texture microlitique porphyrique (Figure 5-a). Au microscope (Figure 5-b), c'est un basalte localement porphyrique et faiblement hydrothermalisé. Les minéraux primaires sont affectés par l'altération hydrothermale entraînant le remplacement des microlites de plagioclase par de l'épidote. Les minéraux ferromagnésiens (amphiboles et pyroxène) sont également remplacés par l'épidote. Les phénocristaux de plagioclase et de pyroxène sont remplacés par le quartz tout en conservant leur forme primaire. Des plans de fractures tardives à remplissage de quartz et d'épidote parcourent par endroit la roche, faible en sulfures qui se disséminent au sein de la matrice microlitique.

Dans la localité de Sika, l'observation macroscopique des échantillons a présenté une structure massive et une texture microlitique porphyrique (Figure 5-c). L'observation au microscope (Figure 5-d) révèle une métadacite faiblement hydrothermalisée. Les phénocristaux ont représenté environ 15% de la roche. Les porphyres se composent de plagioclase en abondance et accessoirement de microcline et d'orthose. Une damauritisation partielle affecte des feldspaths potassiques tandis que le plagioclase est remplacé par le carbonate et ou quartz carbonate. La biotite en faible proportion est déstabilisée en chlorite et en épidote. Le fond matriciel est formé par le quartz cryptocristallin et des microlites de feldspath. La caractérisation morphologique des bas-fonds en milieu de l'ensemble volcano-sédimentaire relève un type symétrique, large avec un lit limeur bien marqué (Figure 6).

### **Caractéristiques physiques et chimiques des sols de bas-fonds du Nakanbé-Dem**

#### **Caractéristiques physiques des sols de bas-fonds**

En milieu plutonique, la distribution spatiale des teintes est caractérisée d'une manière générale par l'exclusivité des teintes 10YR sur le versant et en zone centrale. En revanche, la teinte 7,5YR apparaît préférentiellement sur le glaciais.

En milieu volcano-sédimentaire, la distribution des couleurs des sols a montré une forte dominance des teintes 7,5YR sur le glaciais et le versant, tandis qu'en zone centrale, dominent les teintes 10YR et 5YR.

Sur le plan textural, les sols ont présenté quasiment les mêmes caractéristiques avec cependant des spécificités granulométriques selon le contexte géologique (Tableau 1). En milieu plutonique, les sols de glaciais sont de texture d'ensemble sablo-limoneuse (72,1% de sable) dans les horizons de surface à limon-argilo-sableuse (65,50% de sable) dans l'horizon sous-jacent immédiat. Les sols des versants ont présenté un taux élevé du sable en surface (65,50%) qui a diminué drastiquement avec la profondeur où l'argile domine à 42,25%. En zone centrale, la texture est limono-argileuse avec un taux d'argile de 35,25% dans les premiers horizons et qui a varié de 43,75% à 68,75% en profondeur.

En milieu volcano-sédimentaire, les glaciais ont présenté une texture sableuse à limon-argilo-sableuse (45,76% à 85,13% de sable) dans les horizons de surface. Sur les versants, la texture a varié d'argileuse à argilo-limoneuse. Le taux d'argile, en général faible en surface (19,75%), a augmenté avec la profondeur (42,25%). Au niveau des zones centrales des bas-fonds, les caractéristiques granulométriques ont peu varié avec le milieu géologique. Elles ont conservé la même tendance qu'en milieu d'ensemble plutonique.

Quant aux valeurs de l'humidité pondérale à la capacité au champ en milieu

plutonique, elles sont de 9,18% et de 18,6%, respectivement pour le premier et le deuxième horizon sur les glaciais tandis qu'elles passent à 55,47% et à 39,92% pour les sols de zones centrales. La même tendance est observée en milieu volcano-sédimentaire avec cependant des valeurs plus élevées atteignant les 50,40% dans les horizons de profondeur. La Figure 7 présente la variation de la réserve en eau utile selon les unités géomorphologiques des bas-fonds.

Le cumul de la réserve en eau utile (RU) dans les 50 premiers centimètres a montré une valeur variant de 30,25 à 77,39 mm sur le glaciais et atteignant 101mm sur le versant. Dans la zone centrale, sa valeur a varié entre 115,97 et 150,98mm. L'analyse statistique (Figure 8) a montré une corrélation entre le taux d'argile et l'eau utile du sol avec un coefficient de régression  $R^2$  égale à 0,542 en milieu volcano-sédimentaire et 0,678 en milieu plutonique.

La variable qualitative de cette corrélation est le gradient des unités géomorphologiques du bas-fond. La densité apparente moyenne du sol en milieu plutonique est de 1,46. Elle est de 1,51 en milieu volcano-sédimentaire.

#### **Caractéristiques chimiques des sols de bas-fonds**

Dans les deux contextes géologiques, le taux de carbone total est plus élevé dans la zone centrale (0,78%) que sur les versants (0,56 %) et les glaciais (0,51%) (Tableau 2).

La capacité d'échange cationique (CEC), sur les glaciais en milieu plutonique, ont varié entre 2,94 cmol/kg du sol et 4,23 cmol/kg pour les horizons de surface et entre 2,24 cmol/kg et 5,2 cmol/kg pour les horizons de profondeur. Sur les versants, sa valeur oscille entre 3,68 cmol/kg et 4,62 cmol/kg du sol dans les premiers horizons. Elle est de 3,61 cmol/kg de sol dans les zones centrales. En milieu volcano-sédimentaire, elle est relativement élevée (5,53) cmol/kg) en zone

centrale comparativement à celles des versants (4,14 cmol/kg) et du glacis (2,90 cmol/kg).

Les bases échangeables sont de faible valeur sur les glacis (1,54 cmol/kg) et de forte valeur (3,86 cmol/kg) sur les versants en milieu plutonique. En milieu volcano-sédimentaire, les bases échangeables ont varié de 2,28 cmol/kg à 3,72 cmol/kg en zones centrales. Elles ont fluctué entre 2,8 cmol/kg et 1,71 cmol/kg sur les versants, et varié entre 1,4 cmol/kg à 2,64 cmol/kg sur les glacis. Le potassium disponible a présenté le taux le plus élevé dans les zones centrales (103,24 mg/kg) des bas-fonds et sur les versants (245,43 mg/kg) en milieu plutonique. En contexte volcano-sédimentaire, il a présenté la même tendance avec des teneurs plus élevées dans les horizons de profondeur qu'en surface.

Quant au phosphore assimilable, son taux est également plus élevé (4,81 mg/kg) dans la zone centrale mais avec une tendance à la baisse dans les horizons de profondeur. Son taux a varié entre 2,72 mg/kg et 4,81 mg/kg du sol dans les zones centrales. Il est situé entre 2,30 mg/kg et 3,13 mg/kg sur les versants et a varié entre 2,30 mg/kg et 5,22 mg/kg sur les glacis. Les valeurs du phosphore assimilable sont pratiquement identiques dans les deux contextes géologiques. Les résultats de l'analyse (Figure 9) ont montré une faible corrélation entre la CEC et le taux de la matière organique (MO) de chaque type de sol des différentes unités géomorphologiques.

La probabilité de cette relation est de 0,044 dans les deux milieux géologiques étudiés. Le coefficient de corrélation  $R^2$  entre le taux de la CEC et de la MO est de 0,388 en milieu plutonique et 0,407 en milieu volcano-sédimentaire.

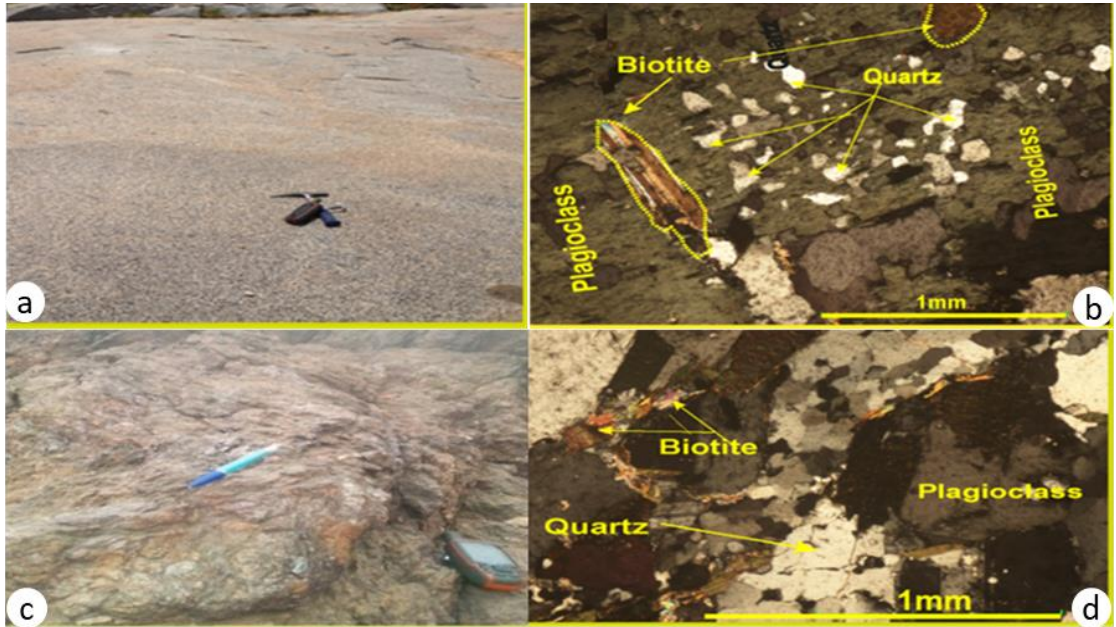
Il est également noté une corrélation positive entre les bases échangeables et le pH<sub>eau</sub> du sol avec la profondeur des horizons (Figure 10). Le coefficient de corrélation  $R^2$

est de 0,974 avec une probabilité de 0,008 en milieu plutonique. En milieu volcano-sédimentaire, la corrélation est positive entre les unités géomorphologiques avec un coefficient  $R^2$  de 0,437.

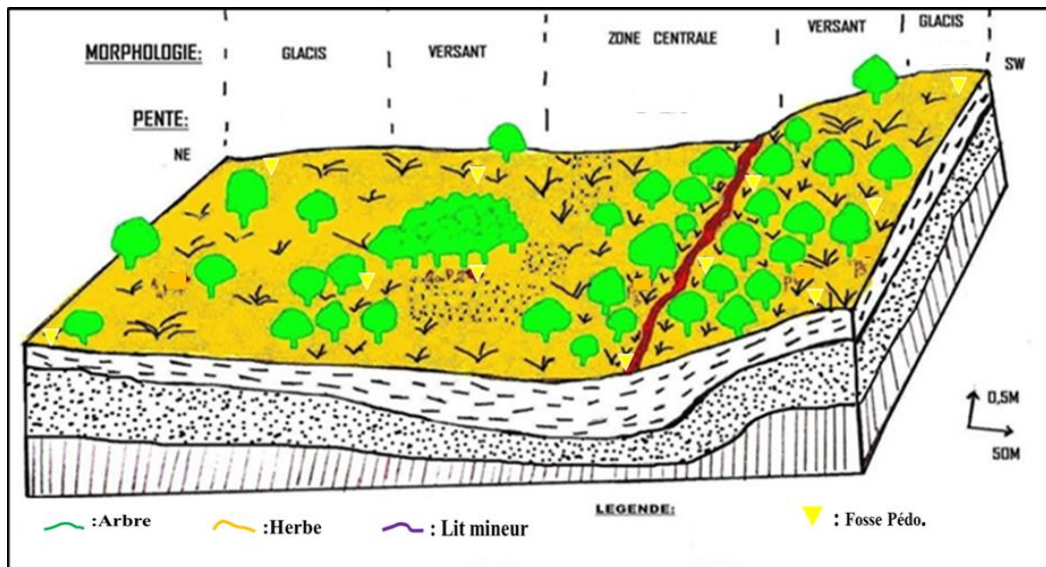
### **Types des sols de bas-fonds étudiés et état de la fertilité**

Sur l'ensemble des bas-fonds étudiés, quatre classes de sols ont été recensées : les sols peu évolués, les sols ferrugineux tropicaux lessivés, les sols brunifiés et les sols hydromorphes. Ainsi, les sous-groupes de sols rencontrés sont les sols peu évolués d'apport colluvial alluvial, les sols peu évolués, les sols ferrugineux tropicaux lessivés, les sols brunifiés et les sols hydromorphes, les sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes (FLH), les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions (FLTC), les sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux (FLM), les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés moyennement profonds (FLIMP), les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profonds (FLIPP), les sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphe (PEAAH) et les sols hydromorphes à pseudogley de surface (HPGS). Les résultats d'analyse (Figure 11) ont montré que la fertilité chimique des sols est d'une manière générale faible sur toutes les unités géomorphologiques des bas-fonds. En milieu volcano-sédimentaire, la fertilité chimique des sols est moyenne dans les zones centrales et sur les versants. L'analyse de la variance de corrélation a montré une corrélation positive entre le degré de fertilité chimique du sol et les unités géomorphologiques des bas-fonds. La fertilité est plus élevée en milieu de l'ensemble plutonique (0,82) qu'en milieu de l'ensemble volcano-sédimentaire (0,78). Il en ressort que les sols de zones centrales sont de fertilité plus élevée que ceux des versants et des glacis.

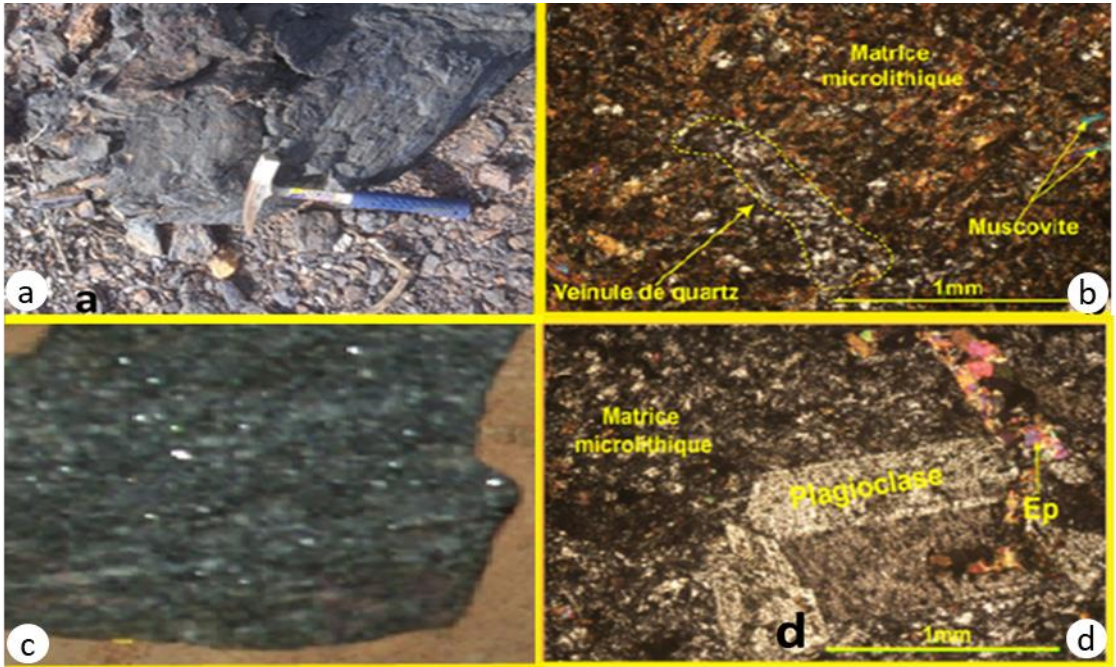




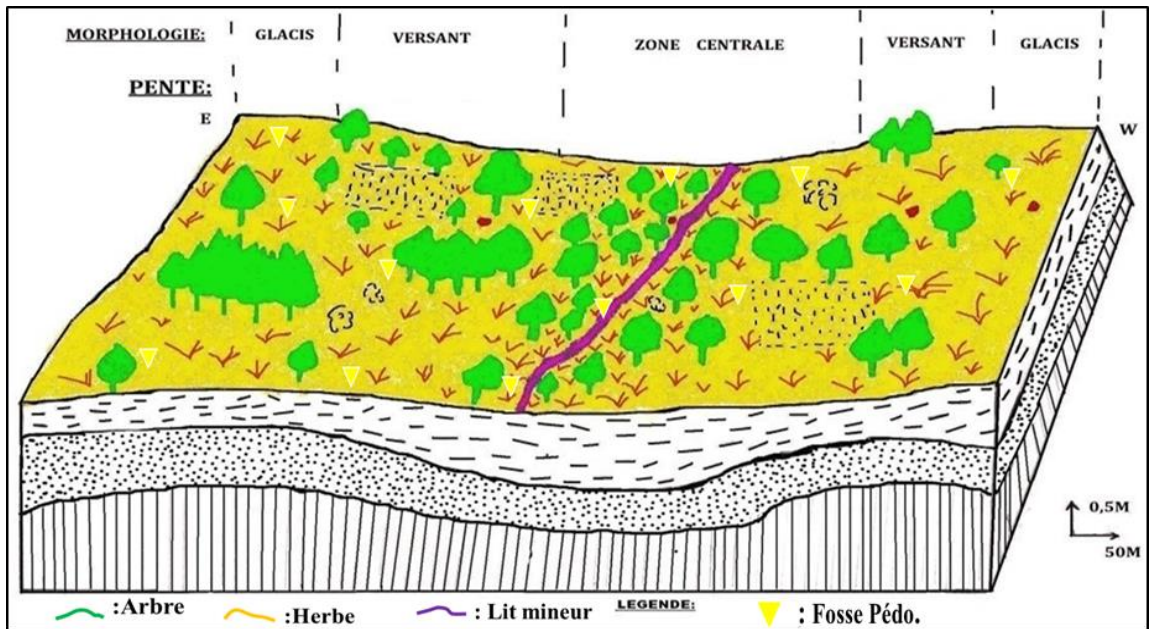
**Figure 1:** Microphotographie des échantillons de roches du milieu plutonique  
 a) Microphotographie de la granodiorite à texture grenue ; b) observation microscopique de la granodiorite ; c) Microphotographie de la diorite quartzique déformée ; d) observation microscopique de la diorite quartzique.



**Figure 4:** Coupe schématique du bas-fond de Kankandé  
 Type morphologique : dissymétrique, peu marqué  
 Source : Ilboudo, 2021.



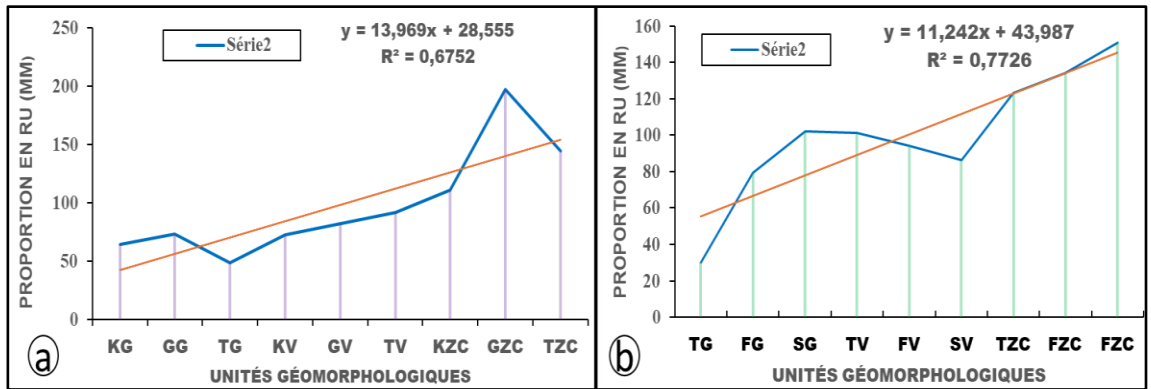
**Figure 5:** Microphotographie des échantillons rocheux du milieu volcano-sédimentaire  
 a) Microphotographie du basalte porphyrique b) Microphotographie de la métadacite;  
 c) observation microscopique du basalte; d) observation microscopique de la métadacite.



**Figure 6:** Coupe schématique du bas-fond de Tifou.  
 Type morphologique : symétrique, large et marqué  
 Source : Ilboudo, 2021.

**Tableau 1:** Variation des types granulométriques selon la profondeur du sol.

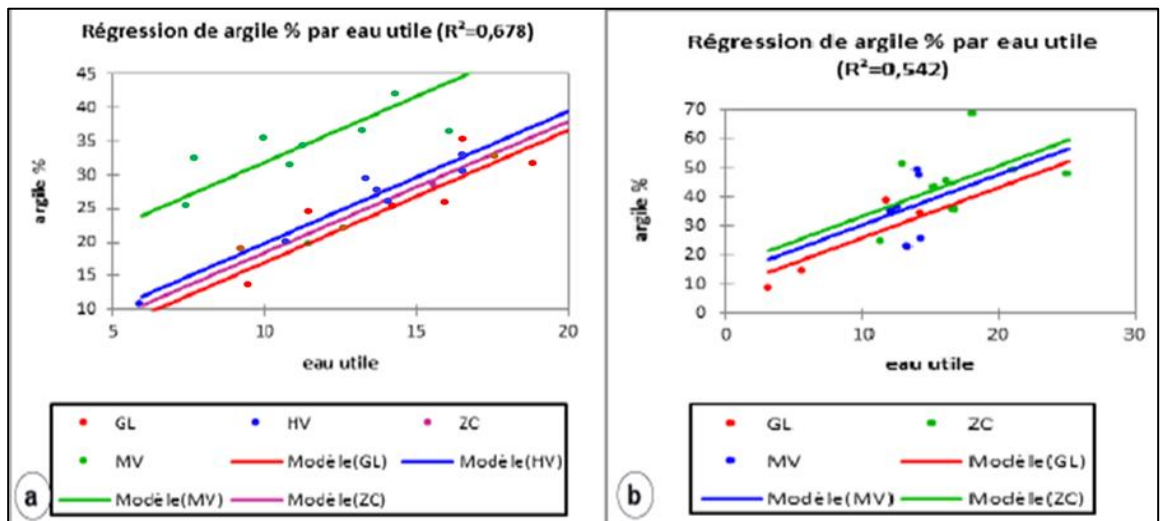
Profondeur (cm)	Milieu plutonique			Milieu volcano-sédimentaire		
	Glacis	Versant	Zone centrale	Glacis	Versant	Zone centrale
0-20	Sablo-limoneux	Sableux	Limono-argileux	Sableuse	Argilo-sable	Limono-argileux
20-40	Limono-argilo-sableux	Sablo-argilo	Argilo-limoneux	Argilo-sable	Sablo-argilo	Argilo-limoneux
40-60	Limono-argilo	Argilo-limoneux	Argilo-limoneux	Limono-argileux	Argilo-limoneux	Argilo-limoneux



**Figure 7:** Variation de la réserve en eau utile selon les unités géomorphologiques des bas-fonds.

a) Milieu d'ensemble plutonique ; b) milieu d'ensemble volcano-sédimentaire.

**Légende.** KG = Kankandé sur Glacis, GG = Gabou sur Glacis, TG = Tamasgo sur Glacis, KV = Kankandé sur Versant, GV = Gabou sur Versant, TV = Tamasgo sur Versant, KZC = Kankandé en zone centrale, GZC = Gabou en zone centrale, TZC = Tamasgo en zone centrale, TG = Tifou sur Glacis, FG = Fénéguéné sur Glacis, SG = Sika sur Glacis, TV = Tifou sur Versant, FV = Fénéguéné sur Versant, SV = Sika sur Versant, TZC = Tifou en zone centrale, SZC = Sika en zone centrale, FZC = Fénéguéné en zone centrale.



**Figure 8:** Relation argile - eau utile du sol

a) milieu d'ensemble plutonique; b) milieu d'ensemble volcano-sédimentaire.

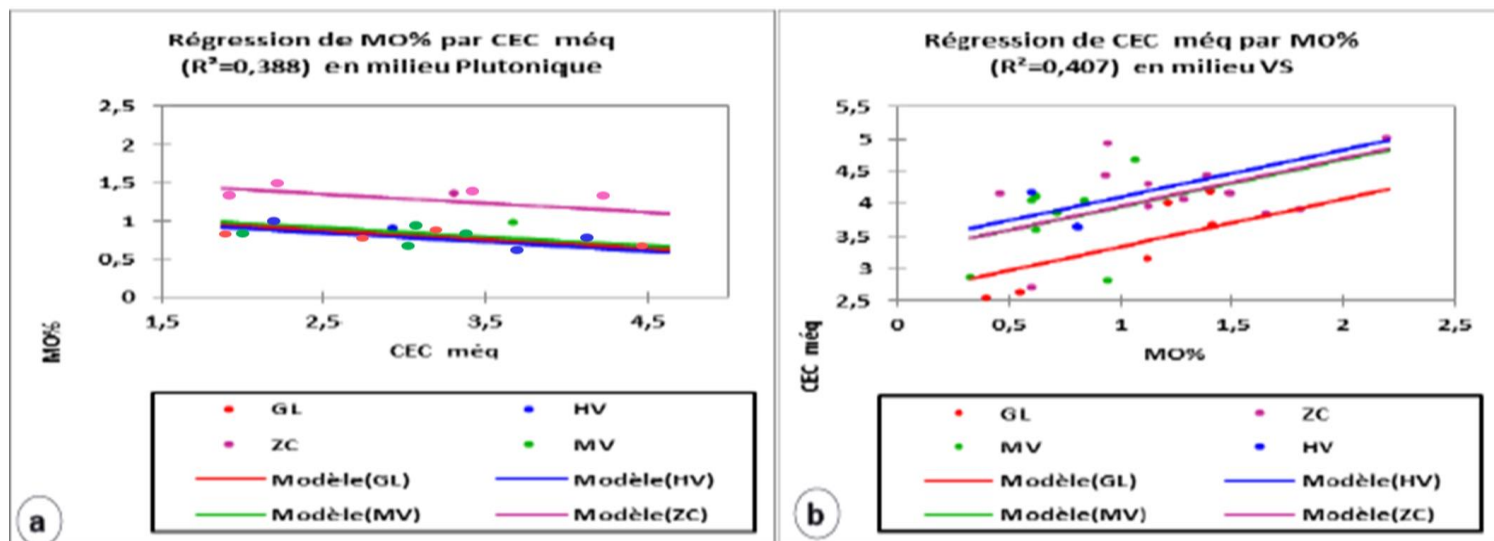
**Légende.** GL = Glacis, HV = Haut versant (glacis), MV = moyen versant, ZC = Zone centrale.

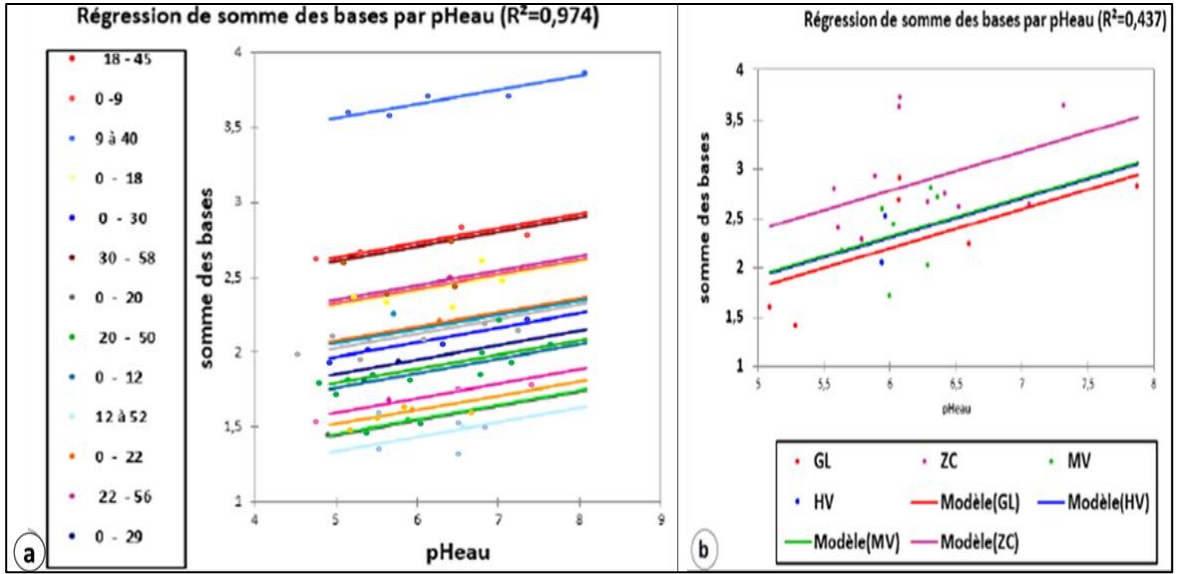
**Tableau 2:** Paramètres physico-chimiques des sols de bas-fonds.

<b>a</b>														
Unité Géomor.	Hz (cm)	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	Ca <sup>++</sup> (még)	Mg <sup>++</sup> (még)	K <sup>+</sup> (még)	CEC (még)	pHeau	P assi (mg/Kg)	C tot (%)	N (%)	K disp (mg/Kg)	Taux de Saturation (%)
<b>Glacis</b>	0-9	15,69	23,53	60,78	1,69	0,83	0,02	2,94	7,29	2,3	0,515	0,04	60,38	87,00
	9--40	17,65	27,45	54,9	2,67	1,16	0,02	4,23	8,08	4,81	0,393	0,03	26,3	91,00
	40-84	23,53	23,53	52,94	2,6	0,23	0,02	5,2	8,06	5,02	0,361	0,026	23,37	55,00
	84-120	31,37	11,77	56,86	2,8	0,55	0,02	4,24	8,05	5,22	0,285	0,02	21,43	80,00
<b>Versant</b>	0-30	27,45	15,69	56,86	1,45	0,49	0,03	3,68	5,4	2,3	0,554	0,046	54,54	54,00
	30-58	31,37	15,69	52,94	1,67	0,91	0,04	4,62	5,21	2,72	0,323	0,033	41,88	57,00
	58-90	37,25	17,65	45,1	1,85	0,66	0,02	4,09	5,66	3,13	0,285	0,026	245,43	62,00
	90-125	39,22	21,56	39,22	1,86	0,36	0,03	3,2	5,68	2,93	0,231	0,016	31,17	71,00
<b>Zone centrale</b>	0-18	19,61	31,37	49,02	1,52	0,86	0,06	3,31	6,43	4,81	0,784	0,072	103,24	74,00
	18-45	25,49	33,33	41,18	1,49	1,24	0,02	3,61	6,41	4,6	0,562	0,053	24,35	77,00
	45-72	33,33	29,42	37,25	1,68	0,66	0,01	3,07	6,55	4,39	0,469	0,04	21,43	77,00
	72-97	37,25	29,42	33,33	1,86	0,45	0,02	3,03	6,58	4,18	0,407	0,033	20,45	77,00
	97-120	43,14	25,49	31,37	1,5	0,36	0,03	2,9	6,84	4,18	0,269	0,03	20,45	66,00
<b>b</b>														
Unité Géomor.	Hz (cm)	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	Ca <sup>++</sup> (még)	Mg <sup>++</sup> (még)	K <sup>+</sup> (még)	CEC (még)	pHeau	P assi (mg/Kg)	C tot (%)	N (%)	K disp (mg/Kg)	Taux de Saturation (%)
<b>Glacis</b>	0-22	27,45	27,45	45,1	1,28	0,06	0,05	2,53	5,29	5,02	0,239	0,023	112	55,00
	22-44	15,69	7,84	76,47	1,41	0,1	0,07	2,62	5,09	3,13	0,323	0,03	113,95	61,00
	44- 87	19,61	11,76	68,63	1,66	0,22	0,03	2,9	5,66	2,51	0,269	0,02	85,71	66,00
	87-126	21,57	11,76	66,67	1,68	0,29	0,06	2,74	5,73	2,3	0,223	0,016	70,12	74,00
<b>Versant</b>	0-43	17,65	15,68	66,67	1,7	0,24	0,27	3,66	6,6	2,3	0,824	0,072	46,75	54,00
	43-80	21,57	17,65	60,78	1,82	0,81	0,18	4,14	7,88	2,72	0,654	0,053	18,5	68,00

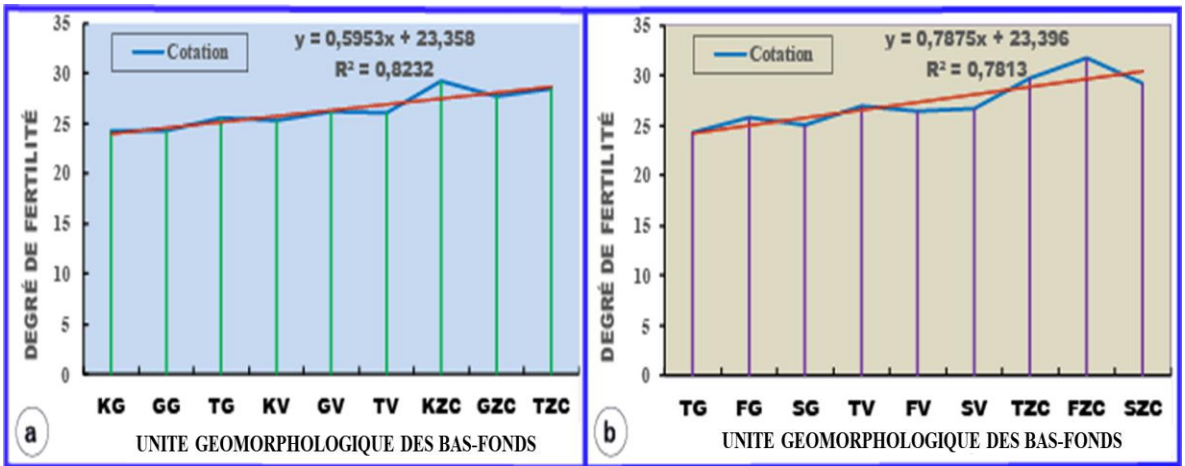
	80-122	29,41	13,73	56,86	1,82	0,68	0,12	3,53	7,66	2,72	0,315	0,03	17,53	69,00
<b>Zone centrale</b>	0-25	23,53	19,61	56,86	1,62	0,45	0,2	4,14	5,79	2,72	0,87	0,072	23,37	55,00
	25-49	27,45	19,61	52,94	2,14	0,55	0,23	4,43	5,89	2,93	0,808	0,06	12,66	66,00
	49-100	33,33	19,61	47,06	2,23	1,82	0,12	5,53	6,02	3,13	0,407	0,033	15,58	76,00
	100-123	45,1	27,45	27,45	2,55	1,32	0,11	5,03	6,03	3,03	0,246	0,023	15,58	79,00

a) Milieu plutonique ; b) Milieu volcano-sédimentaire





**Figure 10:** Relation entre les bases échangeables et le pHeau  
 a) milieu d'ensemble plutonique ; b) milieu d'ensemble volcano-sédimentaire.



**Figure 11:** Degré de fertilité des sols selon les unites géomorphologiques.

**DISCUSSION**

La caractérisation morphologique a montré que les bas-fonds du milieu d'ensemble plutonique sont en général de type dissymétrique et peu marqué tandis que ceux du milieu volcano-sédimentaire sont de type symétrique, large et marqué. A ce titre, Ibrahim (2013) concluait que la nature lithologique du substratum reste déterminante dans les caractéristiques morphopédologiques des bas-

fonds. Utilisant les variables descriptives des bas-fonds, des auteurs ont distingué les bas-fonds étroits et peu marqués en zone de socle des bas-fonds larges et marqués du milieu volcano-sédimentaire (Kilian et Teissier, 1973 ; Houndagba et al., 2000). En milieu d'ensemble plutonique, notamment dans les localités de Kankandé, Tamasgo et de Gabou, nos résultats d'analyse microscopique ont relevé la dominance de granodiorite et de

diorite quartzique dont les principaux minéraux sont par ordre d'abondance le plagioclase, le quartz, le microcline, l'orthose, le feldspath potassique, la hornblende et la biotite. Selon l'ordre de l'altérabilité des minéraux, établi par Goldich (1938) en zone tropicale, ces quartzo-feldspathiques sont plus résistants à l'altération et pourraient être déterminants dans le type morphologique de ces bas-fonds. Il en est de même pour les bas-fonds du milieu volcano-sédimentaire dont le type morphologique pourrait être rattachée à la présence des formations granodioritiques et granitiques calco-alkalines à biotite, à amphibole et à deux micas. Ces minéraux ferromagnésiens sont moins résistants à l'altération par la grande surface qu'offre leur lamelle à l'attaque physique et par la présence du fer (Fe) et de magnésium (Mg) (Goldich, 1938). Leur dominance dans le milieu pourrait expliquer le type morphologique large et encaissé des bas-fonds comme relevé dans les localités de Tifou, Sika et Fénéguéné de la zone d'étude. Ce constat rejoint l'analyse de Houndagba et al. (2000), qui, travaillant sur les bas-fonds de la région de Dassa-Zoumè (Centre-Bénin), ont relevé que les terrains où prédominent les minéraux ferro-magnésiens donnent lieu à un modelé quasi plat, avec une extension des sols hydromorphes tandis que les terrains à dominance de minéraux quartzo-feldspathiques ont tendance à être façonnés en une plaine ondulée. Cette situation est la plus fréquente dans les régions tropicales où les caractéristiques du sol dépendent de la nature lithologique des roches à l'origine du processus de transformation. Sur le substratum plutonique, nos résultats ont relevé une érosion intense des sols, suivie, comme l'ont indiqué Koussoubé et al., 2009, de dépôts importants surtout dans les axes d'écoulement. Sur les FLTC et FLIMP recensés, ayant une faible vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol (Savado et al, 2015), l'eau en ruiselant arrache les particules fines du sol pour les déposer dans la zone centrale du bas-fond. Ce dépôt de particules fines serait favorisé par la granulométrie des sédiments érodés et l'existence de pentes d'écoulement d'eau. Ce qui expliquerait la variation des couleurs des

horizons de brun clair (7,5R6/4) sur le glacis à brun sombre (10YR3/3) dans la zone centrale. Analysant la texture des dépressions, de morphologie comparable aux bas-fonds étudiés, Da et al. (2008) ont conclu qu'elles sont riches en argile, en raison de leur emplacement en tant que zones de transition entre les reliefs résiduels et les glacis dans le paysage. Nos résultats ont montré une coloration des horizons de surface qui va de 10YR6/8 (jaune brunâtre) sur le glacis et de 7,5YR3/2 (brun sombre) sur les versants à une coloration olive brun (2,5YR4/4) dans les zones centrales. Des résultats similaires ont été relevé par Akassimadou et Yao-kouamé (2014) qui ont observé le long de la toposéquence, une variation de la coloration des sols : rouge (5YR ; 5YR) jaune (7,5YR ; 10YR), gris (10YR ; Gley) dans le bas-fond ; de même, il y a une tendance d'épaississement de la couche humifère. Pour ces auteurs, si les teintes 2,5Y, 5Y et 10YR sont fréquentes dans le bas-fond, la teinte 2,5YR apparaît, préférentiellement, dans la zone hydromorphe de la zone centrale. Cette variation de couleurs suivant les sous unités géomorphologiques des bas-fonds étudiés pourrait s'expliquer par l'accumulation progressive des débris végétaux et animaux dans les horizons de surface des zones centrales. La dominance de la teinte 2,5YR4/4 dans les zones centrales suggérerait une texture équilibrée permettant un bon drainage dans le milieu (Fageria et al., 2002). L'analyse granulométrique y a effectivement montré une texture sableuse à limono sableuse sur les glacis et les versants. La zone centrale est dominée par une texture argilo-limoneuse à argileuse. Cela s'expliquerait par l'emplacement de la zone centrale du bas-fond qui reçoit les particules fines issues du lessivage des sols de versants et de glacis. Akassimadou et Yao-kouamé (2014) expliquent que cette situation serait la conséquence de la dynamique de l'eau le long de la toposéquence, marquée par l'érosion des sols de plateau, dont les particules plus fines (argile et limon) sont transportées et déposées plus loin, dans le bas-fond. Ces auteurs avaient également constaté un enrichissement en sable sur les plateau et du sommet vers le bas

de versant, alors que la teneur en argile était relativement plus élevée dans la zone centrale du bas-fond (Akassimadou et Yao-kouamé, 2014). Sur les glacis et les versants de nos bas-fonds étudiés, la texture sableuse à sablo-limoneuse atteste une pauvreté en colloïdes organo-minéraux et confirme l'analyse de (Kissou, 2009) que les sols de texture sablo-limoneuse sont pauvres en colloïdes organo-minéraux. Ces résultats indiqueraient une certaine transgression de couches moins fertiles sur celles plus fertiles, dans les parties latérales des bas-fonds, pouvant suggérer un récent colluvionnement (Akassimadou et Yao-kouamé, 2014). La synthèse de cette répartition spatiale des textures (Figure 3) révèle qu'il y a seulement trois textures qui se rencontrent depuis la surface jusqu'à 60 cm de profondeur (la texture sablo-limoneuse, qui se rencontre exclusivement dans la zone hydromorphe, les textures argilo-sableuse et argilo-limonosableuse, observée dans le bas-fond). Sur le plateau, il y a un enrichissement en sable, du sommet vers le bas de versant, alors que la teneur en argile est d'environ 39 p.c. dans le bas-fond (Akassimadou et Yao-kouamé, 2014). Le ruissellement ne concerne que la partie haute des bas-fonds, d'où le transport et le dépôt de la matière organique dans la zone centrale. L'hydromorphie est temporaire et joue un rôle déterminant dans le ruissellement et l'accumulation des particules fines dans la zone centrale du bas-fond. Ces flux internes peuvent également emporter les particules fines, enrichissant en sable les zones amont ou latérales des bas-fonds (Delville et al., 1996). La rétention en eau utile (RU) reste élevée dans la zone centrale des bas-fonds par rapport au glacis et aux versants. La RU reste corrélée positivement à la teneur en argile des horizons. Dembele et al. (1991) ont montré que la valeur élevée de la RU dépendait des éléments fins du sol (argile+ limon) sur les sols bruns eutrophes à Sabouna. En zone plutonique, la rétention en eau utile (RU) renseigne sur les aptitudes du sol à retenir plus ou moins longtemps l'eau infiltrée donc sur ses capacités à tamponner les effets de la variabilité temporelle des pluies. Les valeurs de RU sont élevées dans les horizons de profondeur par rapport à celle de surface.

Cependant, les sols des versants prennent en masse très rapidement dès qu'ils sont soumis à la dessiccation. Ce comportement des sols pourrait s'expliquer par la présence d'argiles peu gonflantes essentiellement de la kaolinite avec la prédominance de sable fin (Dembelé, 2010). Les faibles valeurs de la RU des FLIMP (64,13 mm) et FLTC (75,70 mm) sont fonction de la teneur en argile du sol. Ces valeurs se situent dans le même ordre de grandeur que celles obtenues dans d'autres localités sur des sols aux caractéristiques similaires (Zida, 1992; Adjeffa, 2015).

L'analyse des caractéristiques chimiques des sols a montré que le milieu plutonique est caractérisé par un pH<sub>eau</sub> qui tend à l'acidification. Le pH<sub>eau</sub> acide à légèrement acide des sols de glacis et de versants serait lié à la faible teneur en bases échangeables. Cette analyse est confirmée par les travaux de Delville et al. (1996) ; Dabre et al. (2017) qui ont souligné le caractère particulièrement sensible des sols acides à la lixiviation qui, emportant les ions Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup>, diminue le taux de saturation en bases, et aggrave encore l'acidification. Le taux de matière organique est faible sur les versants et les glacis de nos bas-fonds étudiés et, élevé dans les zones centrales. Ces résultats sont également similaires à ceux déjà observés par Some et al. (2015) dans un agrosystème comparable et qui expliqueraient que cette matière organique serait liée à l'accumulation des particules fines (limons fins, argiles) dans les zones centrales de bas-fonds (Dabre et al., 2017), par les eaux de ruissellement. La minéralisation de la matière organique est rapide dans les zones centrales de nos bas-fonds d'étude au regard du rapport C/N qui est compris entre 10 et 12. La différence significative de l'azote entre la zone centrale et le versant confirme selon Pallo et al. (2008) ; Kissou (2009), l'enrichissement de la zone centrale par la matière organique transportée par l'eau. L'azote total, bien que peu élevé dans les zones centrales, s'est révélé relativement faible dans toutes les autres sous unités géomorphologiques des bas-fonds du milieu plutonique. (Akassimadou et Yao-kouamé, 2014) ont



soutenu que les teneurs en carbone organique (C-org) et en azote total sont décroissantes le long de la toposéquence (du sommet vers le bas-fond). Ces auteurs insistent que les teneurs en P, Ca, Mg et K, ainsi que la CEC, présentent la même tendance d'évolution jusqu'au bas de versant (zone hydromorphe), avec, par contre, une augmentation dans le bas-fond. Ces résultats ont les mêmes tendances que ceux des travaux d'autres auteurs (Bilgo et al., 2001 ; Tantely, 2005 ; Pallo et al., 2008 ; Ouedraogo et al., 2017).

En milieu d'ensemble volcano-sédimentaire, nos analyses chimiques ont révélé que les sols ont une fertilité chimique moyenne conformément à la classe de cotation (BUNASOLS, 1990). Les pHeau ont une tendance à la neutralité du fait que les PEAAH et HPGS sont plus pourvus en bases échangeables, principalement en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ . Aussi, le taux élevé en matière organique dans les zones centrales (1,2 à 2, 2%) des bas-fonds comparé à celui des sols du Burkina Faso (1%) (Ouedraogo, 1999), améliore la fourniture du sol en éléments minéraux. Ce taux de matière organique élevé pourrait être dû à une faible minéralisation causée par l'hydromorphie. Le rapport C/N (12 à 14) des sols de bas-fonds étudiés en milieu volcano-sédimentaire traduit une vitesse de décomposition faible de la MO. Ces résultats sont similaires à ceux de Akassimadou et al. (2014) qui ont affirmé que la relative richesse en matière organique des horizons de surface du bas-fond, tel que constatée dans leur étude, pourrait aussi s'expliquer par le phénomène d'hydromorphie qui bloque l'évolution de la matière organique. Ces auteurs ont conclu à la création d'un sol organique en surface dans la zone centrale du bas-fond, du fait de l'accumulation progressive de la matière organique. Sur les versants et les glacis, le taux de la matière organique reste faible, tout comme ceux de la Capacité d'Echange Cationique (CEC) et des bases échangeables.

### Conclusion

Notre travail visait à étudier les caractéristiques morphopédologiques et physico-chimiques des sols de bas-fonds du

sous-bassin versant du Nakanbé-Dem. Les résultats de la caractérisation morphologique ont montré que les bas-fonds du milieu de l'ensemble plutonique sont de type dissymétrique et faiblement encaissé tandis que ceux du milieu volcano-sédimentaire sont de type symétrique, large avec un lit limeur bien marqué. La fertilité est plus élevée en milieu de l'ensemble volcano-sédimentaire qu'en milieu plutonique où les éléments minéraux sont en faible quantité sauf le phosphore et le potassium qui sont de quantité moyenne. En milieu volcano-sédimentaire, la fertilité chimique des sols est moyenne surtout dans les zones centrales et sur les versants. Il en ressort que les sols de zones centrales sont de fertilité plus élevée que ceux des versants et des glacis. La fertilité faible à moyenne des sols de bas-fonds du sous bassin du Nakanbé-Dem nécessite une correction des éléments déficitaires.

### CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts sur cet article.

### REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Agence de l'Eau du Nakanbé (AEN) et le Secrétariat Permanent pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau qui ont financé l'étude.

### REFERENCES

- Adjefia E. 2015. Incidence du fonctionnement hydraulique et pédologique des périmètres irrigués sur la production agricole : Cas du périmètre irrigué de Gouran dans la vallée du Sourou au Burkina Faso. *2iE*, 163p.
- Akassimadou E, Yao-kouamé A. 2014. Caractéristiques morpho-pédologiques et potentiels d'un sol de bas-fond secondaire développé sur granito-gneiss en région de savane guinéenne (Centre de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, **79**(1): 6968–6982. DOI: 10.4314/jab.v79i0.17.
- Bilgo A, Hien V, Serpantie G, Masse D, Chotte JL, Fournier J, Zaonero P. 2001. Matière organique et éléments minéraux déplacés

- par l'érosion hydrique sur des parcelles cultivées, en jachère, ou mixtes en savane soudanienne (Burkina Faso). Rapport d'étude. Projet D.S.O. Etsher, 208–222.
- Blake GR, Hartge KH. 1986. Bulk density. In *Methods of Soil Analysis, Part 1*. Klute (AEd). Madison, WI, USA. American Society of Agronomy, 363-375.
- Bray RH, TL Kurtz 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorous in soils. *Soil Science*, **59**: 39–45. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-194501000-00006>.
- Bremner J. 1965. Total nitrogen. In *Black Methods of Soil Analysis, part 2*. (CA., ed.) Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, 2: 1149–1178.
- BUNASOLS. 1990. Manuel pour l'évaluation des terres. Documentations Techniques, 181p.
- C.P.C.S. 1967. Classification des sols. Commission de pédologie et de cartographie des sols.
- Da D, Yacouba H, Yonkeu S. 2008. Unités morphopédologiques et gestion de la fertilité des sols dans le Centre-Nord du Burkina Faso par les populations locales. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **2**(3): 306–315. DOI: 10.4314/ijbcs.v2i3.39746.
- Dabre A, Hien E, Some D, Jacques J, Fabatropimed P, Fondation D, International A. 2017. Effets d'amendements organiques et phosphatés sous zaï sur les propriétés chimiques et biologiques du sol et la qualité de la matière organique en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(1): 473-487. DOI: 10.4314/ijbcs.v11i1.38.
- Delville L, Boucher L, Vidal L. 1996. Les bas-fonds en Afrique tropicale humide: stratégies paysannes, contraintes agronomiques aménagement. actes du séminaire international. CIRAD, pp. 148-161.
- Dembelé Y. 2010. Intérêt du développement des bas-fonds en Afrique de l'Ouest: Implication des bénéficiaires et inventaire du potentiel. Atelier de Clôture Du Projet RAP Phase 1 (2009-2010). INERA/Burkina Faso. 18p.
- Dembele Y, Some L. 1991. Propriétés hydrodynamiques des principaux types de sol du Burkina Faso. *IAHS-AISH Publication*, (199): 217–227.
- DREP/CN. 2017. Profil régional 2017 du centre-Nord. Direction Régionale de l'économie et de la Planification du Centre-Nord, 52p.
- Fageria NK, Baligar C, Clark RB. 2002. Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*, **77**(1): 185-268. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(02\)77015-6](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(02)77015-6).
- Fontès J, Ginko S. 1995. Carte de végétation et de l'occupation d'un sol du Burkina Faso. Notice explicative. Université Paul Sabatier, Projet campus (881-3101).
- Goldich SS. 1938. A Study in Rock Weathering. *Journal de Géologie*, **46**(1): 17–58. DOI: <https://doi.org/10.1086/624619>.
- Houndagba J, Akuegninou A, Biaoou FF, Dagbenonbakin G. 2000. Caractérisation semi-détaillée des bas-fonds dans la région de Dassa-Zoumè (Centre-Bénin). Rapport d'étude. 10p.
- Ibrahim B. 2013. Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé. Thèse de Doctorat. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2012.P246.
- INSD. 2009. Projections démographiques de 2007 à 2020 par province et région. Institut National de la Statistique et de la Démographie. Retrieved from [www.insd.bf](http://www.insd.bf). 226p.
- Karambiri H. 2009. Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau Plan. Rapport final. 24p.
- Kilian J, Teissier J. 1973. Méthode et investigation pour l'analyse et le classement des bas-fonds dans quelques régions de l'Afrique de l'Ouest. *Agr. Trop.* **1**(2): 23p.
- Kissou R. 2009. Dynamique de quelques paramètres de fertilité des sols selon la

- géomorphologie dans les agro-paysages de la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. Université de Ouagadougou. Mémoire de DEA, 56p.
- Koussoubé A, Da DC, H Yakouba, H Karambiri. 2009. Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur le rendement agricole dans le bassin versant de Tougou. Programme AMMA. Burkina Faso. 2iE, 12p.
- Ouédraogo AK. 1999. Télédétection et cartographie des sols dégradés dans quelques terroirs du Centre-Nord du Burkina-Faso: Cas des villages de Loaga, Niénéga, Dablo, Namissiguima et Soubeira. Mémoire de Fin d'études, 147p.
- Ouédraogo F, Hottin G. 1992. Carte géologique du Burkina Faso. Echelle 1 : 1 000 000. Notice explicative. 12p.
- Ouedraogo J, Ouedraogo E, Nacro HB. 2017. La macrofaune du sol améliore l'efficacité de l'utilisation de l'énergie par les microorganismes. *Journal of Applied Biosciences*, **114**(04): 11345–11356. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v114i1.8>.
- Pallo FJP, Asimi S, Assa A, Sedogo PM, Sawadogo N. 2008. Statut de la matière organique des sols de la région sahéenne du Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, **12**(3): 291–301. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1506664112>
- Savadogo OM, Ouattara K., Barron J. 2015. Etats des écosystèmes sahéens : reverdissement , perte de la diversité et qualité des sols. *Afrique Science*, **11**(5): 433–446. <http://www.afriquescience.info>.
- Some D, Hien E, Assigbetse K, Drevon J, D Masse. 2015. Dynamique des compartiments du carbone et de l'azote dans le sol cultivé en niébé et sorgho dans le système *zai* en zone Nord soudanienne du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **9**(2): 954. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i2.32>.
- Tantely R .2005. Stockage et protection du carbone dans un sol ferrallitique sous systèmes en semis direct avec couverture végétale des Hautes Terres malgache. Sciences Agricoles. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. Thèse. 162p.
- Walkley A, Black IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, **37**: 29–38.
- Zida M.1992. Conditions hydriques dans un bas-fond sahéen incidences les sur cultures vivrières. Université de Ouagadougou. Mémoire de Fin d'étude. ORSTOM, 127p.