



CARTOGRAPHIE ET FONCTIONNEMENT DES SOLS DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE SANON EN FONCTION DE PLUSIEURS ETATS DE SURFACE (BURKINA FASO).

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER

SPÉCIALITÉ GÉNIE CIVIL ET HYDRAULIQUE OPTION INFRASTRUCTURES ET RESEAUX
HYDRAULIQUES



Présenté et soutenu publiquement le **04 juillet 2019** par

Palingba Aimé Marie DOULKOM (20131400)

LABORATOIRE EAUX HYDRO-SYSTEMES ET AGRICULTURE (LEHSA)

Directeur de mémoire : Dr Mahamadou KOITA (enseignant-chercheur en Hydrogéologie)

Encadrant 2iE : Dr Dial NIANG (enseignant-chercheur en Hydrologie)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Angelbert Chabi BIAOU

Membres et correcteurs : Dr Vivien Chaim DOTO

M. Moussa FAYE

Promotion [2018/2019]

DEDICACES

Je dédie affectueusement ce travail ... 

*Au Seigneur Tout-Puissant
Pour sa bénédiction, sa protection et ses bienfaits dans ma vie.*

*A ma très chère mère
Votre amour inestimable, votre confiance, votre soutien, vos sacrifices, vos prières et vos
bénédictions m'ont toujours accompagné. Merci du fond de mon cœur.*

*A tous les membres de ma famille, petits et grands ainsi qu'à mes amis
Veuillez trouver dans ce modeste travail, l'expression de mon affection. Merci infiniment
pour tout le soutien que vous me portez.*

REMERCIEMENTS

Il m'est particulièrement agréable de traduire ma gratitude à l'endroit de tous ceux et celles qui ont d'une façon ou d'une autre contribué à l'élaboration de ce présent mémoire.

Cette étude a été menée au sein du laboratoire LEHSA sous la direction de Dr Dial NIANG et de Dr Mahamadou KOITA. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma gratitude pour m'avoir permis de vivre cette expérience enrichissante à la fois scientifiquement et humainement. Merci surtout pour votre disponibilité, votre dévouement et votre implication dans ce travail.

Mes remerciements s'adressent au corps professoral et au personnel de l'Institut 2iE pour l'accueil et la formation reçus.

Ce travail qui s'inscrit dans le cadre du projet dénommé BRAVE est mis en œuvre par l'IRC. Je tiens donc à traduire ma reconnaissance au coordonnateur Dr Narcisse GAYI, chercheur associé à l'IRC pour son expertise et son soutien indéfectible.

Je tiens à remercier mon camarade et binôme Oumar ABDOU NOUHOU pour les moments passés ensemble durant la campagne de mesures.

Je traduis également mes remerciements à l'endroit de l'équipe qui m'a assisté sur le terrain pour les différents travaux : M. Maïga SALFO, M. Jean Pierre ZONGO, Fridolin IRAKEZA, Parias Franck Yannick SABDANO et Leonel KANDEM.

A mon très cher ami Gaoussou Oumar OUATTARA et à tous mes camarades et amis, je vous dis grandement merci pour les marques de solidarité et de soutien ainsi que les moments partagés ensemble à 2iE.

Je remercie du fond de mon cœur, mon oncle Francis KABORE et mes mamans Elisabeth KABORE, Julienne BONKOUNGOU, Ambroisine KABRE, Patricia SAPO, Elise KABORE, Félicienne DOULKOM et Albertine BOUDA pour leurs conseils et leurs sollicitudes maternelles.

Je ne saurais oublier mes parents Pierre DOULKOM et Rosana Monique KABORE pour avoir cru en moi. Je vous aime et j'espère toujours être à la hauteur de vos attentes.

Je dis infiniment merci à mes très chers cousines et cousins ainsi qu'à mes sœurs et amies proches. Vous m'avez toujours soutenu et réconforté à tout moment.

Merci enfin aux hommes de Dieu qui ont cru et qui croient toujours en moi. Merci pour vos prières multiformes. A tous mes amis qui m'ont été d'une aide précieuse et à tous ceux qui ont contribué à ma réussite, je vous témoigne ma gratitude pour vos soutiens multiformes tout au long de mes études. Que DIEU vous bénisse et vous garde toujours dans sa paix.

RESUME

Cette recherche a été menée sur le bassin versant de Sanon situé dans la zone soudano sahélienne au Burkina Faso. C'est une zone qui subit depuis quelques années des aléas climatiques tant sur la répartition de la pluie que sur la dégradation dus aux fortes pressions anthropiques. Sur ce site expérimental, plusieurs mesures de terrain ont été effectuées afin de mieux comprendre la dynamique de l'eau dans le sol. Ainsi, nous avons disposé de trois parcelles (80m² chacune) équipées d'un même dispositif qui a permis de quantifier les paramètres physiques et hydrodynamiques du sol ainsi que les différents paramètres du bilan (ruissellement, drainage, pluviométrie, infiltration). Ces parcelles sont situées sur des états de surface différents dont deux en zone cultivée (parcelles arachide et mil) et une en zone non cultivée (parcelle latéritique). Les résultats nous ont permis de savoir que 64% de la superficie du bassin versant se situe en zone argilo sableuse contre 26% en zone graveleuse et 10% en zone argileuse. Par ailleurs, deux cas de figures se présentent. D'une part nous avons les parcelles arachide et mil situées sur la zone argilo sableuse qui présentent une conductivité hydraulique à saturation comprise entre 38.1mm/h et 47.3mm/h ainsi qu'un stock hydrique non négligeable de l'ordre de 112mm à 219mm. La vitesse d'infiltration y est élevée et le drainage au-delà de 90cm varie entre 92mm et 160mm. On note une teneur en eau variant entre 7% et 31%. D'autre part, la parcelle latéritique est peu perméable avec taux d'infiltration de 10.2mm/h et une grande capacité de ruissellement. Le stock d'eau compris entre 48mm et 118mm y est faible et est très vite repris par le phénomène d'évapotranspiration. Le drainage y est quasi nul. De façon générale, la teneur en eau quantifiée entre la surface du sol et la profondeur 80cm est de l'ordre de 2% à 17% et varie dans les 50 premiers centimètres. Elle est quasi constante dans les profondeurs. L'évapotranspiration réelle quant à elle est environ 1 à 3 mm/j. Les conditions d'occupation du sol doivent être bien considérées. Par ailleurs, la reconstitution du couvert des sols s'avère donc nécessaire pour palier au problème de déficit alimentaire.

Mots clés

- 1. Cartographie**
- 2. Etats de surface**
- 3. Jaugeages**
- 4. Sanon**
- 5. Suivi hydrique**

ABSTRACT

This research was conducted on the Sanon watershed located in the Sudano Sahelian zone in Burkina Faso. It is an area which undergoes for some years climatic hazards as much on the distribution of the rain as on the degradation due to the strong anthropic pressures. On this experimental site, several field measurements were made to better understand the dynamics of water in the soil. Thus, we had three plots (80m² each) equipped with the same device that allowed to quantify the physical and hydrodynamic parameters of the soil and the various parameters of the balance sheet (runoff, drainage, rainfall, infiltration). These plots are located on different surface conditions, two of which are in cultivated areas (groundnut plots and millet) and one in non-cultivated areas (lateritic plots). The results revealed that 64% of the catchment area is sandy clay, 26% in the gravelly zone and 10% in the clay zone. In addition, two situations arise. On the one hand we have groundnut and millet plots located on the sandy clay zone which have a saturation hydraulic conductivity between 38.1mm / h and 47.3mm / h as well as a not insignificant water reserve of the order of 112mm to 219mm. The rate of infiltration is high and the drainage beyond 90cm varies between 92mm and 160mm. A water content of between 7% and 31% is noted. On the other hand, the lateritic plot is not very permeable with an infiltration rate of 10.2 mm / h and a high runoff capacity. The stock of water between 48mm and 118mm is weak and is quickly taken up by the phenomenon of evapotranspiration. Drainage is almost zero. In general, the quantified water content between the soil surface and the depth 80cm is of the order of 2% to 17% and varies in the first 50 cm. It is almost constant in the depths. The actual evapotranspiration is about 1 to 3 mm / d. The conditions of occupation of the soil must be well considered. In addition, the restoration of soil cover is therefore necessary to overcome the problem of food deficit.

Keys words

- 1. Cartography**
- 2. Surface states**
- 3. Gaugings**
- 4. Sanon**
- 5. Water monitoring**

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CV : Coefficient de Variation

ETR : Evapotranspiration Réelle

IRC : International Water and Sanitation Center

LEHSA : Laboratoire Eau Hydro Systèmes et Agriculture

PA : Parcelle Arachide

PM : Parcelle Mil

PD : Parcelle Dégradée

PG : Point Granulométrique

PS : Profil de Sol

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

Table des matières

I.	Introduction.....	1
1.1.	Généralités	1
1.2.	Problématique.....	1
1.3.	Contexte.....	2
1.4.	Plan de l'étude	3
II.	Objectifs du travail et hypothèses de travail	3
2.1.	Objectifs général et spécifiques	3
2.2.	Revue bibliographique.....	3
2.3.	La dégradation et la baisse de la fertilité des sols au Burkina Faso	4
2.4.	Ruissellement.....	5
2.5.	Les états de surface du sol	6
2.6.	Les différents types de croûtes au Sahel.....	6
2.6.1.	Les croûtes structurales	7
2.6.2.	Les croûtes de dépôt.....	7
2.7.	Climat	8
2.8.	Géomorphologie	10
2.9.	Végétation.....	10
2.10.	Géologie.....	13
2.11.	Hydrogéologie.....	14
2.12.	Pédologie.....	15
2.13.	Situation démographique	16
2.14.	Situation socio-économique.....	16
III.	Matériels et Méthodes	17
3.1.	Localisation de la zone d'étude	17
3.2.	Matériel.....	18
3.3.	Cadre expérimental.....	18
3.4.	Méthodes	22
3.4.1.	Caractérisation des propriétés physiques du sol.....	22
3.4.2.	Caractérisation des propriétés hydrauliques de surface	24
a.	Détermination de la capacité d'infiltration et de la conductivité hydraulique à saturation.....	24
b.	Détermination de la conductivité hydraulique non saturée	25
□	Mise en œuvre de l'essai	26

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

□ Méthodologie d'interprétation	26
3.4.3. Bilan hydrique	28
A. Equations du bilan	29
B. Détermination des autres composantes du bilan hydrique	31
IV. Résultats et discussion.....	35
4.1. Résultats.....	35
4.1.1. Propriétés physiques du sol	35
4.1.2. Suivi des propriétés hydrauliques de surface	37
4.1.3. Suivi de la teneur en eau	41
4.1.4. Composantes du bilan hydrique	46
4.1.5. Calcul du Bilan hydrique.....	49
4.2. Discussion.....	52
V. Conclusion et recommandations	55
5.1. Conclusion	55
5.2. Recommandations	56
VI. Références bibliographiques	57
Bibliographie.....	57
VII. Annexes.....	x

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classes texturales des différents constituants solides 22
Tableau 2 : Paramètres de Van Genuchten et les valeurs de A pour le mini infiltromètre
(Source : DECAGON, 2006) 27
Tableau 3: Valeurs moyennes de la conductivité hydraulique à saturation sur les trois parcelles
..... 38
Tableau 4: Valeurs moyennes de la conductivité hydraulique non saturée sur les trois parcelles
..... 40
Tableau 5: Lamme d'eau ruisselée sur les trois parcelles 47
Tableau 6: Lamme d'eau drainée à 90 cm de profondeur sur les 3 parcelles 48
Tableau 7: Composantes du bilan hydrique du 01 juin au 31 octobre sur les trois parcelles... 50

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Zones climatiques du Burkina Faso (1980-1990).....	8
Figure 2 : Moyennes pluviométriques mensuelles (2012-2018).....	9
Figure 3 : Carte géologique de Sanon d'après BRGM-AQUATER (1991)	13
Figure 4 : Coupe lithologique d'un forage du site expérimental de Sanon (modifié d'après BRGM, 1991).....	15
Figure 5 : Carte de situation de la zone d'étude	17
Figure 6 : Carte de localisation des équipements et des parcelles du site de Sanon	20
Figure 7 : Dispositif expérimental sur les différentes parcelles	21
Figure 8 : Points d'échantillonnage pour l'étude granulométrique.....	23
Figure 9 : Triangle textural du Référentiel Pédologique Français faisant intervenir les pourcentages d'argile (< 2 µm), de limon (2 à 50 µm) et de sable (50 à 2000 µm)	24
Figure 10 : Mini infiltromètre à disque	26
Figure 11 : Exemple de calcul de la conductivité hydraulique	28
Figure 12 : Bilan hydrologique de l'eau dans un bassin versant	29
Figure 13: Texture des sols du bassin versant de Sanon.	35
Figure 14 : Répartition spatiale des types de sol du bassin versant de Sanon.....	36
Figure 15: Profil de crête en crête passant par le forage S15 modifié d'après Soro et al. (2015)	37
Figure 16 : Exemple d'évolution temporelle de la capacité d'infiltration sur la parcelle arachide.	38
Figure 17 : Valeurs de la conductivité hydraulique à saturation des années 2017 et 2018.....	39
Figure 18 : Valeurs de la conductivité hydraulique non saturée des années 2017 et 2018.....	41
Figure 19: Evolution temporelle de l'humidité volumique aux profondeurs 10, 30, 50 et 80 cm sur les 3 parcelles expérimentales.	43
Figure 20: Profils hydriques pour des périodes sèches et humides sur les 3 parcelles	44
Figure 21: Evolution temporelle du stock hydrique (mm) entre la surface du sol et 80 cm de profondeur sur les différentes parcelles.....	46
Figure 22: Précipitations sur le bassin de Sanon pour la période du 01 juin au 31 octobre 2018	47
Figure 23 : Valeurs du drainage des années 2017 et 2018	49
Figure 24: Bilan hydrique pour la période allant du 01 juin au 31 octobre 2018 sur toutes les parcelles.....	51

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Principales espèces végétales du bassin versant de Sanon	12
Photo 2 : Essai d'infiltrométrie au Muntz	25
Photo 3 : Pluviomètre à mesure directe sur support.....	31
Photo 4 : Dispositif de mesure de la lame d'eau ruisselée sur la parcelle.....	32
Photo 5 et Photo 6: Dispositifs de mesure de la lame d'eau ruisselée sur les parcelles 2 et 3.	33
Photo 7 : Mesure de l'humidité du sol avec le Diviner 2000	xxv
Photo 8 : Profil de sol.....	xxv
Photo 9 : Pluviomètre automatique de la station Météo de Sanon.....	xxvi
Photo 10 : Station Météo de Sanon	xxvi
Photo 11 : Parcelle Dégradée	xxvii
Photo 12 : Parcelle Mil.....	xxvii
Photo 13 : Parcelle Arachide	xxviii
Photo 14 : Exemple de tamisage des échantillons au laboratoire.....	xxviii
Photo 15 : Lecture et évacuation des bacs de ruissellement après un évènement pluvieux	xxviii
Photo 16 : Décharge des données automatiques du lysimètre et de l'humidité du sol	xxviii
Photo 17 : Mesures de débit à l'exutoire du bassin versant	xxix
Photo 18 : Mesure d'infiltrométrie.....	xxix
Photo 19 : Lysimètre automatique	xxix

I. Introduction

1.1. Généralités

L'agriculture au Burkina Faso constitue une composante essentielle de l'économie. Elle contribue pour 35% au Produit Intérieur Brut (PIB) du pays et emploie 82% de la population active. Sur les terres à vocation agricole estimées à 11.8 millions, seulement 5.7 millions d'hectares sont cultivées soit 48% environ. L'agriculture burkinabé est très majoritairement familiale avec 72% du total des exploitations de moins de 5ha. Il s'agit d'une agriculture de type pluvial rythmée par l'alternance de la saison sèche et de la saison des pluies. La production est essentiellement constituée de céréales et de légumineuses destinées à plus de 90% à l'autoconsommation.

Cependant, malgré les progrès réalisés au cours des dernières années, le secteur agricole burkinabé souffre d'une faible productivité surtout dans sa partie sahélienne en raison de plusieurs facteurs défavorables pouvant se résumer en deux grands volets. Le premier volet concerne les aspects techniques et financiers (faiblesse des infrastructures notamment des routes, manque d'organisation, faiblesse des investissements, insuffisance de formation des ressources humaines). Et le second volet, considéré comme le plus important, concerne la nature et le climat (aléas climatiques, baisse de la fertilité des sols...).

1.2. Problématique

En effet, le Sahel burkinabé, comme l'ensemble des régions sahéliennes, est confronté depuis quelques décennies à divers phénomènes de dégradation naturelle et anthropique des écosystèmes (Niang et al., 2004). Cette dégradation se trouve aggravée et accélérée par de fortes pressions anthropiques (extension des surfaces cultivées, techniques culturales inappropriées, durées de mise en jachère de plus en plus courtes, surpâturage, etc.) (Collinet et Valentin, 1979 ; Roose, 1986 ; Albergel et al., 1992 ; Serpentié et al., 1992).

Dans la zone sahélienne, on assiste de plus en plus à une diminution accélérée des ressources naturelles et à une aggravation de la pauvreté dans les zones rurales. Cela est en majorité provoqué par la pression démographique, les occupations irrationnelles des terres, les aridités climatiques, les catastrophes naturelles et la migration des populations. Ainsi, toutes ces actions ont engendré de graves conséquences sur l'environnement, entraînant de ce fait, un retard dans

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

le développement durable de plusieurs régions et rendant le Sahel aussi sensible que vulnérable. Ces dernières décennies ont le plus souvent été marquées par une irrégularité et une forte intensité des précipitations entraînant ainsi une fréquence accrue des poches de sécheresse et un phénomène de dégradation des ressources naturelles.

La dégradation des états de surface ou désertification est un problème crucial dans la zone soudano sahélienne au Burkina Faso. Elle se manifeste généralement par une baisse de la fertilité des sols, une érosion éolienne (Visser, 2004) et une érosion hydrique (Karambiri, 2003) importantes, une réduction de la réserve en eau des sols, une dénudation, un encroûtement, une production d'aérosols (Collinet et Valentin, 1979 ; Serpentié et al., 1992 ; Niang, 2006), une forte intensité de l'évaporation, une précarité de la ressource en eau et enfin par l'élévation des températures.

En effet, l'intensification de cycles de sécheresses et l'inadaptation des pratiques d'exploitation des ressources naturelles ont pour conséquence une destruction du couvert végétal et une exposition des sols au vent et à la pluie (Niang, 2006). Cela entraîne donc une diminution considérable de la réserve hydrique du sol affectant ainsi le rendement agricole. Les surfaces irriguées (périmètres irrigués, aménagement de bas-fonds) de l'ordre de 1.5% restent faibles et très en deçà des potentialités. Cependant, la production alimentaire ne peut se faire que par l'exploitation des ressources en eau et le sol (ressources naturelles). Dans un tel contexte, il faut impérativement trouver des solutions durables pour palier au déficit alimentaire de ces populations démunies.

1.3. Contexte

Pour mieux appréhender tous les contours du problème et apporter ainsi des solutions efficaces, il faut donc comprendre la dynamique de l'eau dans le sol en fonction des états de surface afin de réhabiliter les zones fortement dégradées et de protéger celles qui ne le sont pas encore. Cette recherche entre donc dans le cadre des études en cours sur le dispositif expérimental de la localité de Sanon située dans une zone soudano sahélienne. Ce site fait l'objet de différentes recherches sur les relations climat-sol-ressources en eau dans l'optique d'une meilleure compréhension de la dynamique de l'eau dans le sol et de sa répartition selon plusieurs pratiques culturales.

Cette étude vise à cartographier les différents états de surface du bassin, à déterminer le stock d'eau disponible et sa variation dans des tranches de sol de 0 à 90 cm.

1.4. Plan de l'étude

Notre travail consistera d'abord à faire une méthodologie de la démarche à suivre pour atteindre nos résultats ainsi que la présentation de notre zone d'étude. Ensuite, nous présenterons les résultats obtenus pour ensuite les analyser et les interpréter. Enfin nous passerons aux conclusions et aux perspectives afin de répondre aux exigences de notre thématique.

II. Objectifs du travail et hypothèses de travail

2.1. Objectifs général et spécifiques

L'objectif de base de cette recherche est de cartographier les différents états de surface du bassin versant de Sanon et de déterminer les différents processus de transferts de l'eau dans le sol. Les résultats attendus de cette étude sont les suivants :

- ❖ Cartographier des différents états de surface.
- ❖ Etudier du fonctionnement hydrique des sols (variation spatiale des propriétés hydrauliques de surface du sol, du stock d'eau dans les horizons superficiels).
- ❖ Déterminer les composantes du bilan hydrique

2.2. Revue bibliographique

Le site expérimental de Sanon a fait l'objet de plusieurs recherches bien avant cette étude. Il s'agissait notamment des mesures piézométriques, des essais de pompages, des analyses physico-chimiques et des mesures géophysiques (SE, trainé électrique, TRE et RMP). Ces études ont été menées par : BRGM-AQUATER en 1991 ; Compaoré en 1997 ; Vouillamoz en 2003 ; Toé en 2004 ; Outoumbe en 2014 ; Soro et al en 2015 ; Yonli, Dara et Tiono en 2016. Avec des objectifs bien précis, ces études ont permis une meilleure appréhension du complexe atmosphère-sol-nappe.

Ainsi, les premiers travaux réalisés de 1988 à 1991 par le groupe BRGM-AQUATER avaient comme objectif principal la recherche des zones favorables pour la réalisation de forages à débit productif afin de satisfaire les besoins en eau des cultures. Cela a permis la réalisation de 16 forages avec des débits compris entre $1\text{m}^3/\text{h}$ et $12\text{m}^3/\text{h}$.

En 1997, une deuxième étude menée par Compaoré avait pour objectif principal l'évaluation de la fonction capacitive des altérites du bassin de Sanon. Cela a permis l'estimation de la porosité des altérites entre 2 à 3%.

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

La troisième étude et la quatrième étude menées respectivement par Vouillamoz (2003) et Toé (2004) ont permis d'évaluer l'apport des techniques géophysiques à l'étude des aquifères de socle. Cela a conduit à la cinquième étude réalisée par Outoumbé en 2014 qui avait pour objectif la caractérisation hydro-géophysique et la détermination des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère du site.

Les travaux de Soro et al. (2015) et de Yonli (2016) respectivement la sixième étude et la septième étude ont permis de mieux comprendre la structure et la géométrie de l'aquifère et de caractériser les propriétés hydrodynamiques d'un milieu de socle fracturé.

Les derniers travaux réalisés sur la nappe ont été respectivement menés par Dara et de Tiono en 2016. Ils ont permis la modélisation hydrogéologique de la nappe souterraine de Sanon.

Par ailleurs, d'autres études ont également été menées sur le site en rapport surtout avec le sol. Ainsi, les travaux de Guilguet en 2016 ont consisté à suivre le processus de transfert de l'eau de la zone à travers les mesures des composantes du bilan sur trois états de surface différents à savoir une première parcelle dégradée, une deuxième parcelle sur laquelle la culture du mil y est pratiquée et enfin une dernière parcelle sur laquelle on pratique la culture de l'arachide. Cependant, le dysfonctionnement de certains appareils a limité ses travaux sur deux parcelles à savoir la parcelle dégradée et celle de la culture de mil. Ces travaux ont donc été reconduits en 2017 afin de compléter non seulement l'étude en tenant compte de toutes les parcelles mais aussi afin d'avoir une meilleure compréhension du bilan hydrique. Certains paramètres tels que le suivi des paramètres hydrauliques de surface et les propriétés physiques du sol ont été intégrés à cette étude. L'élaboration d'une courbe de tarage a été réalisée à travers les mesures de débit à l'exutoire du bassin versant.

En 2018, une nouvelle étude a été menée sur la cartographie des états des surfaces et sur le fonctionnement hydrique des sols afin de mener une étude complète et de faire ainsi une synthèse sur l'ensemble des trois (3) années d'étude.

2.3. La dégradation et la baisse de la fertilité des sols au Burkina Faso

La mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace de la pluviométrie ainsi que les fortes intensités entraînent la conjonction des phénomènes d'engorgement et d'encroûtement superficiel qui aboutissent à la formation de croûtes (quelques cm) ou de pellicules (quelques mm) très peu perméables. La formation des croûtes ou d'organisations pelliculaires superficielles, entraîne une réduction de l'infiltrabilité, se traduisant par un accroissement des risques de ruissellement et d'érosion hydrique (Casenave et Valentin, 1989). Il en résulte une

diminution des quantités d'eau stockée dans le sol et un déclenchement de la dégradation des sols.

La dégradation des terres, d'un point de vue agronomique et écologique, peut être considérée comme toutes formes de changements physiques, chimiques et biologiques du sol affectant ses capacités à assurer une ou plusieurs de ses fonctions (Mazzucato et Niemeijer, 2000). C'est un problème mondial qui affecte environ 65% des surfaces émergées, et qui compromet la production agricole et la qualité de l'environnement (Calvet, 2003). Au Burkina Faso, plusieurs études révèlent qu'environ 11% des terres du pays sont considérées comme très dégradées et 34%, comme moyennement dégradées (Sawadogo, 2011) avec des pertes de sol pouvant atteindre 1000 à 2000 t/an pour tout le pays. On constate également que la moitié des terres sont pauvres en matière organique avec 85% et 61% très pauvres respectivement en phosphore et en azote (Mazzucato et Niemeijer, 2000).

De telles constatations ont déjà été rapportées par différents auteurs (Casenave et Valentin, 1989 ; Thiombiano et al, 2000) qui ont montré que dans la zone sahélienne, les caractéristiques hydrodynamiques du sol conditionnent de façon déterminante la quantité d'eau infiltrée.

2.4. Ruissellement

Le ruissellement correspond à la mise en mouvement d'un excès d'eau se formant à la surface du sol suite aux précipitations. On en distingue plusieurs types à savoir :

- Le ruissellement par dépassement de la capacité d'infiltration (excess infiltration overland flow). C'est le ruissellement hortonien, ou sur sol saturé (saturated overland flow).
- Il peut aussi avoir du ruissellement en l'absence de précipitations, on parle d'exfiltration (return flow, Dunne et Black, 1970).

L'importance du ruissellement par saturation et par exfiltration est tributaire de l'extension des zones saturées, elle-même contrôlée par le cumul pluviométrique et la transmissivité du profil. L'écoulement hortonien est contrôlé par la capacité d'infiltration de l'horizon de surface, elle-même influencée par la structure du sol.

2.5. Les états de surface du sol

Il est difficile d'appréhender la définition précise de l'état de surface du sol. Celle-ci varie en fonction des études ; toutefois, elle désigne en général la couverture et l'état des premiers centimètres du sol. Le terme « état de surface du sol » renvoie soit aux types de croûtes de surface du sol (Boiffin, 1984; Asseline et al., 1987; Auzet et al., 1990; Casenave et valentin, 1990) ; soit à la rugosité, (Boiffin, 1984; Van Dijk et al., 1996) ; soit à différentes variables de recouvrement de la surface du sol telles que le couvert végétal vivant ou mort (Papy et Boiffin, 1988; Martin, 1999 ; Roth, 2004) ou encore la couverture par les pierres (Casenave et Valentin, 1990; Descroix et al., 2000; Li et al., 2000).

A partir de ces différentes contributions, la définition proposée est la suivante : « l'état de surface du sol » désigne l'état structural, hydrique, et micro- topographique de la surface (Armand ROMAIN, 2009). Il regroupe les éléments suivants :

- L'ouverture du système poral, c'est-à-dire les éléments non- scellés à la matrice du sol (motte, cailloux) préservant l'état structural sous-jacent, la présence de macro-pores d'origine pédoclimatique (fentes de retrait) ou biologique liée à l'activité de la méso-faune (lombrics) ;
- La fermeture du système poral, lié à la formation des différents types de croûtes, les cailloux enchâssés dans la matrice du sol (Descroix et al., 2000)
- La couverture du sol par la végétation vivante ou inerte
- L'état hydrique qui influence la conductivité hydraulique
- Le microrelief constitué de l'irrégularité du sol. Selon les études, le microrelief peut être estimé à l'œil nu ou bien mesuré par des méthodes de rugosimétrie (Kamphorst et al., 2000).

Pour ce qui est du sahel, Casenave et Valentin (1990), en analysant les processus et les facteurs de formation des croûtes superficielles ont proposé une typologie des croûtes.

2.6. Les différents types de croûtes au Sahel

Ainsi, d'après Casenave et Valentin (1990), les processus de formation des croûtes permettent de les classer en deux grands groupes :

- Les croûtes structurales, et
- Les croûtes de dépôt.

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

Les croûtes structurales résultent d'une réorganisation in-situ, alors que celles de dépôt sont constituées d'éléments ayant subi un transport.

2.6.1. Les croûtes structurales

Quatre types de croûtes structurales peuvent être distingués en fonction du nombre et de la nature de leurs micro-horizons :

- La croûte ST1 : Aussi appelée croûte de désagrégation, elle est formée d'un micro-horizon et se forme dans les matériaux suffisamment riches en argile (supérieur à 20%).
- Les croûtes ST1 et ST3 : Avec respectivement 2 et 3 micro-horizons, elles se forment principalement dans des sols sableux (moins de 15% d'argile).
- La croûte de dessiccation (DES) : Elle se caractérise par l'affleurement d'un micro-horizon sableux, unique, légèrement pris en masse, très fragile, pouvant atteindre plusieurs dizaines de millimètres d'épaisseur.
- La croûte gravillonnaire (G) : Elle se forme dans des matériaux riches en éléments grossiers (de la taille des gravillons jusqu'à celle des galets à hauteur de 40%).

2.6.2. Les croûtes de dépôt

Trois grands types de croûtes de dépôt peuvent être distingués :

- La croûte de dépôt éolien (EOL) : N'ayant pas subi une réorganisation notable, elle est constituée d'une succession de lits de sable fin, légèrement pris en masse et très fragile.
- La croûte de ruissellement (RUI) : Elle est composée de micro-horizons qui alternent avec l'argile très compact. Elle se forme dans des zones de ruissellement, et recouvre les croûtes structurales formées avant l'apparition du ruissellement.
- La croûte de décantation (DEC) : Elle est caractérisée par un tri granulométrique vertical très net. Les sables se trouvent à la base, et l'argile au sommet. Elle se forme lors de la décantation des sédiments dans l'eau au repos ; en séchant, elles se craquent et se fendent.

A ces deux grandes familles de croûtes, s'ajoute la croûte d'érosion (ERO). Il s'agit d'un micro-horizon mince, dur, argileux et lisse. Elle se développe tant sur les sols argileux, limoneux que sableux, ceci aux dépens de ST1, ST2, ST3.

2.7. Climat

En premier lieu, le bassin versant de Sanon est sous l'influence du climat soudano sahélien. Il est caractérisé par l'alternance de deux saisons à savoir :

- ❖ une saison sèche de plus en plus longue (8 à 9 mois) qui s'étale généralement d'octobre à mai. Elle est marquée par l'influence de la mousson (mousson océanique), des vents chauds et humides qui soufflent du sud-ouest vers le nord-est.
- ❖ une saison pluvieuse de juin à septembre (3 à 4 mois) marquée par une forte variabilité interannuelle (figure 1). Elle est caractérisée par deux périodes assez distinctes : une période froide de novembre à février marquée par l'harmattan qui est un vent sec frais et qui souffle de l'est vers l'ouest et une seconde très chaude de mars à mai.

La moyenne pluviométrique interannuelle est environ 700 mm (1988 à 1994) avec un écart type de 163mm. Les valeurs minimales et maximales observées sont respectivement de 600mm et de 900mm. Nous remarquons ainsi une alternance de périodes humides et sèches par rapport à la moyenne interannuelle.

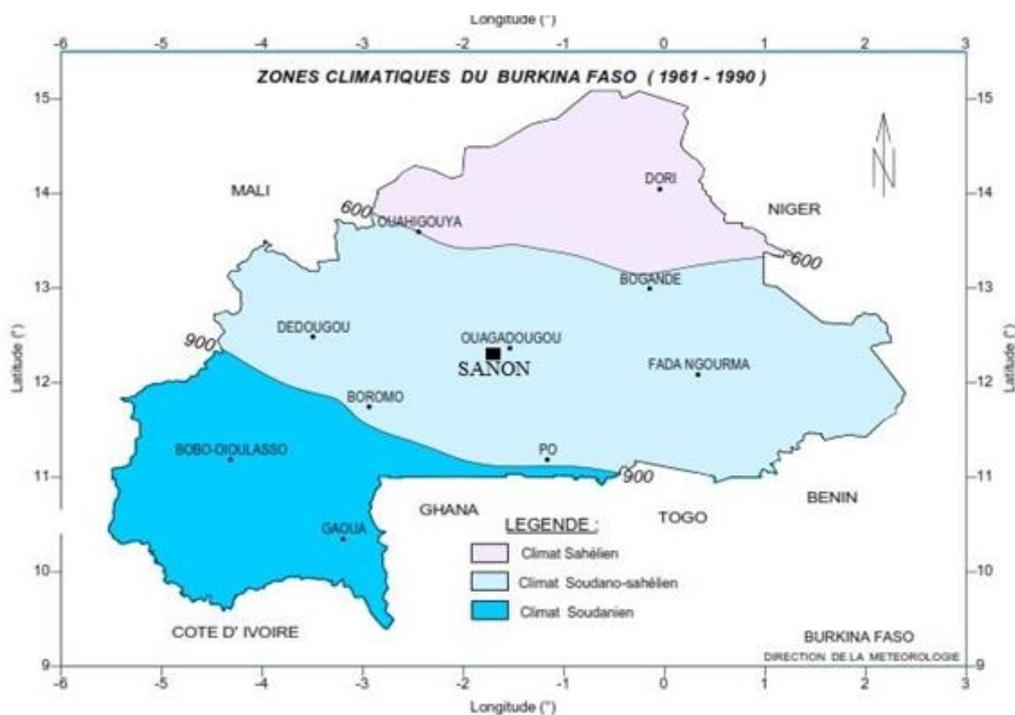


Figure 1 : Zones climatiques du Burkina Faso (1980-1990)

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

Par ailleurs, l'analyse des données pluviométriques (figure 2) enregistrées depuis le début du projet (2012), révèle que les mois de juillet, août et septembre sont les mois les plus pluvieux. Cependant le mois de septembre enregistre à lui seul le maximum de pluie tombée au cours de la saison des pluies avec un cumul avoisinant 194mm. Cela vient donc témoigner de l'inégale répartition de la pluie dans le temps. Cela nous renvoie ainsi à l'évapotranspiration potentielle (ETP) qui constitue un des paramètres du bilan hydrique.

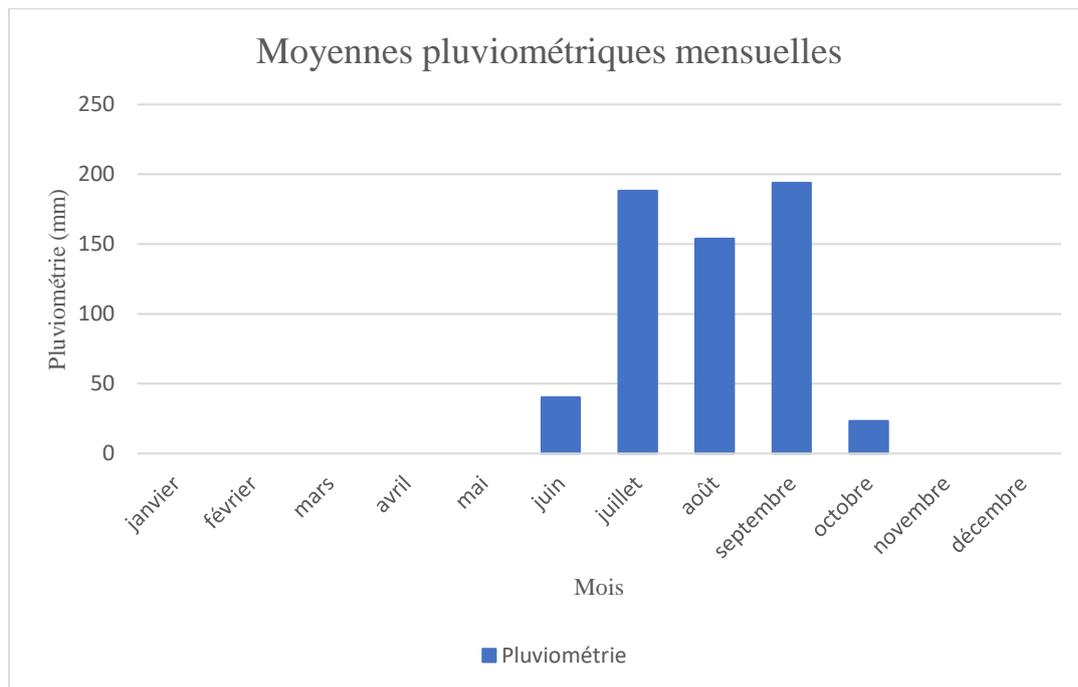


Figure 2 : Moyennes pluviométriques mensuelles (2012-2018)

En deuxième lieu, la moyenne inter mensuelle de l'évapotranspiration potentielle (ETP) est de l'ordre de 136 mm (1988 à 1994). Nous remarquons ainsi que ces valeurs sont généralement supérieures aux précipitations toute l'année à l'exception des mois de juillet, août et septembre qui constituent l'essentiel de la saison pluvieuse (Compaoré, 1997). Cela traduit ainsi le caractère déficitaire du bilan hydrique. Il faut ajouter également que la température est un facteur important dans le processus d'évapotranspiration.

En troisième lieu, les températures moyennes mensuelles à Sanon fluctuent entre 24.9°C et 32.9°C (Soro et al., 2015). Par contre, les températures minimales et maximales journalières peuvent atteindre respectivement 15°C (période d'harmattan de novembre à février) et 44°C (pics de chaleur généralement en avril) (Compaoré, 1997). Il faut noter également que pendant la saison hivernale les températures chutent pour atteindre des valeurs maximales de 33°C.

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

En quatrième lieu, la vitesse moyenne des vents est de 2.5m/s dans les mois de mai et juin. En début d'année, ces valeurs sont généralement modérées. Au cours de la saison hivernale, la vitesse moyenne est environ 1.3m/s. Par contre, en fin de saison pluvieuse elle augmente légèrement mais l'impact de ces vents est modéré contrairement aux tempêtes de sable enregistrées dans les zones sahéliennes.

En dernier lieu, l'humidité relative quant à elle oscille entre 26% et 62% tandis l'ensoleillement varie entre 8h/j et 9,9h/j.

2.8. Géomorphologie

Le relief est constitué de collines latéritiques au sommet tubulaire culminant entre 360 et 370 m. Ces cuirasses latéritiques qui affleurent au nord et au sud du site dominant d'une cinquantaine de mètres de dénivelée une large vallée à fond relativement plat, de pente générale orientée vers l'ouest. Cette vallée est drainée par un cours d'eau temporaire coulant d'est en ouest. Le bassin versant de Sanon est un sous bassin du Nazinon qui un des principaux affluents du Nakambé.

2.9. Végétation

La végétation de la zone d'étude est caractérisée par des formations de type savane et steppe (steppe arbustive). En fonction de la nature du sol et du taux d'humidité en permanence, des formations de composition individualisée y sont répandues. Il s'agit entre autres des espèces telles que *Khaya senegalensis*, *Lanhea acida*, *Zizyphus Mauritiana*, *Anogeissus leocapus*, *Acacia albida*, *Fucus gnafalocarpa* (Ringtounda, 1991). De même des arbustes et arbres (photo 1) du genre *Pilostigma reticulatum* abondent dans les zones non cultivées situées dans la vallée.

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).



✚ Le raisinier

Nom scientifique : *Lannea acida*.

De nom commun en français lannéa acide ou raisinier, c'est un arbre de la famille des Anacardiaceae, présent dans les savanes sahélo-soudanaises et soudanaises. Ce sont des arbres de petite stature, dont la taille atteint 4-6 mètres.

Usages : Les fruits sont comestibles et servent notamment à la fabrication de boissons alcoolisées. La gomme suintante de l'écorce du tronc est soluble dans l'eau et est comestible. Les feuilles aussi sont consommées par les animaux surtout en période de disette et constitue du fourrage pour animaux.



✚ Le jujubier

Nom scientifique : *Ziziphus Mauritiana*.

Les jujubiers sont de petits arbres de la famille des Rhamnaceae, originaires des pays tropicaux et subtropicaux de l'ancien et du nouveau monde. Ils sont souvent épineux et plusieurs espèces produisent des fruits comestibles appelés les jujubes.

Usages : Son fruit est paré de certaines vertus médicinales, notamment pour la confection de tisanes pectorales et de pâtes pour calmer la toux.

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).



✚ Zaanga (en mooré)

Nom scientifique : *Acacia albida*.

C'est une espèce d'arbre de grande taille de la famille des Fabaceae, originaire d'Afrique et du Moyen-Orient. Cet arbre aux rameaux épineux peut mesurer jusqu'à 30 m de hauteur et 2 m de diamètre. Il est le seul arbre de la zone semi-aride Sahélienne à perdre ses feuilles à la saison des pluies et à reverdir en fin de saison de pluies tout en prolongeant sa période de feuillaison en saison sèche.

Usages : C'est une espèce intéressante pour l'agroforesterie car elle offre un ombrage et un fourrage apprécié du bétail. Elle fournit également du bois et le tannin de son écorce ainsi que ses fruits et ses feuilles sont utilisés dans la pharmacopée traditionnelle.



✚ Baganda (en mooré)

Nom scientifique : *Piliostigma reticulatum*.

Cette espèce est de la famille des Caesalpiniaceae (Leguminosae - Caesalpinioideae).

Usages : Les feuilles cueillies pour aciduler la pâte de céréale, permettent de la garder intacte pendant au moins trois jours. Elles sont pressées et leur jus donne du vinaigre traditionnel. Les feuilles séchées sont comestibles. C'est aussi une plante fourragère.

Photo 1 : Principales espèces végétales du bassin versant de Sanon

2.10. Géologie

La géologie du Burkina Faso est caractérisée par une domination des formations de socle qui s'étendent sur 80% du territoire. Les terrains sédimentaires par contre représentent 20% du territoire (Vouillamoz, 2005). Le site de Sanon s'inscrit dans cette grande zone de socle et possède une importante épaisseur d'altération souvent saturée et recouverte par une épaisse cuirasse latéritique. La réalisation de nombreuses campagnes de foration dans le site a permis de mieux situer la géologie du milieu. Ainsi, les coupes lithologiques des forages réalisés révèlent la présence de gneiss, de migmatites et de granites. En effet, le substratum rocheux est couvert par un manteau d'altérites de quelques dizaines de mètres (environ 25 m dans la partie ouest, 30 à 50 m dans la vallée) composé de cuirasses latéritiques, de sables argileux et d'arènes grenues. On peut également observer une prédominance de formations granito-gneissiques voire migmatitiques au sein desquelles s'intercalent des roches vertes (amphibolites) (Compaoré, 1997). La figure 3 montre la cartographie des domaines occupés par ces différentes formations.

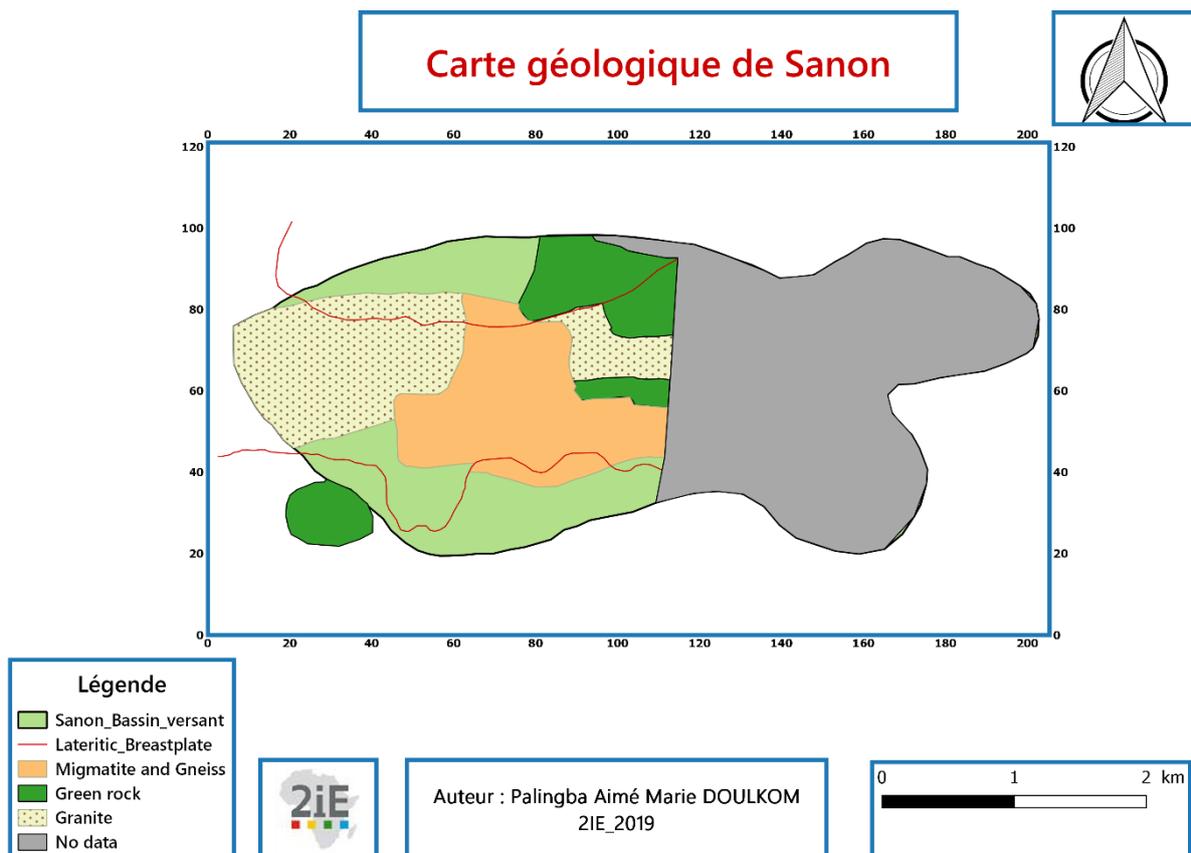


Figure 3 : Carte géologique de Sanon d'après BRGM-AQUATER (1991)

2.11. Hydrogéologie

L'aquifère du site expérimental de Sanon s'apparente au modèle conceptuel stratiforme décrit par J.-C. Maréchal et al., 2004 ; Wyns et Lachassagne, 2005 ; et Dewandel et al., 2010. En effet, ce modèle est subdivisé en trois couches différentes chacune des couches munies de ses propriétés. Ainsi l'on retrouve de la profondeur vers la surface les niveaux suivants :

- Le premier niveau se situe dans le substratum sain affecté par des fractures tectoniques (failles), le plus souvent subverticales. En effet, la roche saine est considérée comme un milieu où la perméabilité n'est que locale au droit de fractures tectoniques. D'une perméabilité comparable à celle de l'horizon fissuré, les fractures tectoniques ont par contre une densité en profondeur très faible par rapport à ce dernier. C'est un horizon pouvant être considéré comme imperméable du fait des difficultés techniques dans l'accessibilité (Maréchal *et al.*, 2004).
- Considéré comme niveau intermédiaire entre la roche saine et les altérites de surface, le deuxième aquifère est un horizon fissuré. Il est généralement caractérisé par un dense réseau de fissures horizontales dans les premiers mètres, subhorizontales et subverticales dans les mètres suivants. Il assure une bonne connexion hydraulique de l'aquifère et sa densité décroît avec la profondeur (Maréchal *et al.*, 2004 ; Delwandel et al., 2006). Les aquifères fissurés constituent une cible hydrogéologique prioritaire pour la production d'eau souterraine car ils assurent une fonction conductrice (forte transmissivité). Cet horizon est dans la plupart du temps capté par les forages en milieu de socle. Il résulte du même processus d'altération de la roche mère (Wyns *et al.*, 2004).
- Les altérites (saprolites ou rigolites) constituent le troisième milieu. Riches en matériaux argileux, elles sont développées en surface sur plusieurs mètres d'épaisseur (Courtois *et al.*, 2010) et recouvertes d'une cuirasse ferrugineuse souvent absente car érodée. Elles résultent du processus de décomposition prolongée de la roche mère (Courtois *et al.*, 2010). Elles possèdent une porosité efficace importante en fonction de la lithologie de la roche mère du fait de leur composition argilo-sableuse. Leur conductivité hydraulique est généralement faible et elles jouent un rôle capacitif (Compaoré, 1997).

2.12. Pédologie

Sur le bassin versant de Sanon, l'on remarque de façon générale une homogénéité des types de sols rencontrés. Les coupes lithologiques des forages à travers les altérites nous ont permis de déterminer la composition structurale du sous-sol (figure 4). On distingue d'abord une cuirasse d'épaisseur variant de 0 à 2 m qui est recouverte par des fines épaisseurs de sable généralement absentes sur les crêtes (Soro *et al.*, 2015). Ensuite, cette cuirasse se repose sur un horizon de silts et d'argiles latéritiques rouges ou jaunes (2 à 6 m) et une couche d'argile kaolinique plus épaisse (15 à 20 m). Enfin, des arènes argilo-sableuses terminées par des arènes grenues (30 à 50 m) apparaissent en dessous de ces formations. Il est à noter que la cuirasse est absente au centre du bassin (Compaoré *et al.*, 1997).

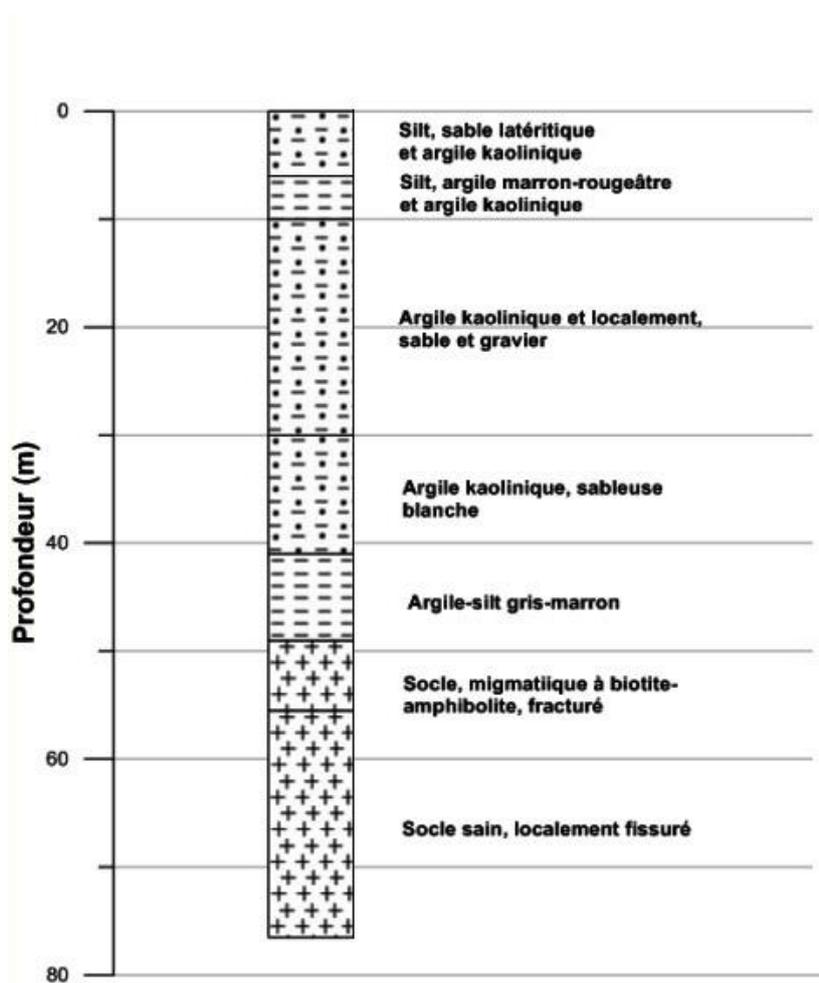


Figure 4 : Coupe lithologique d'un forage du site expérimental de Sanon (modifié d'après BRGM, 1991)

2.13. Situation démographique

La population du site d'étude était estimée à 3668 habitants selon le dernier recensement général (2006). En effet, la population de l'ensemble du bassin versant est composée de 2456 habitants pour le village de Sanon contre 1232 habitants pour le village de Barouli. Avec un taux d'accroissement naturel de 3.1%, la population totale est estimée à 5291 habitants en 2018 soit une densité de 378hbts/km². Les populations qui composent les villages sont majoritairement des mossis originaires de Malaga.

2.14. Situation socio-économique

La principale activité des habitants de la zone d'étude est l'agriculture de type pluvial et familial. En effet, tous les habitants sont mobilisés pendant la saison hivernale afin de produire des céréales et des légumineuses destinées à l'autoconsommation. Cependant, les récoltes peinent à couvrir l'année surtout dans ces conditions de changement climatique. En saison sèche, la maraîcher culture y est pratiquée à petite échelle. Par ailleurs, l'élevage y est également pratiqué à l'échelle familiale.

III. Matériels et Méthodes

3.1. Localisation de la zone d'étude

Localisé dans la province du Kourwéogo (région du plateau central) à 45 km au Nord-Ouest de Ouagadougou (capitale du Burkina Faso), le site expérimental de Sanon (figure 5) s'étend sur une superficie d'environ 14 km². D'un périmètre de 17 km, d'un indice de forme K_G de 1.27 et d'une densité de drainage D_d de 0.29, le bassin versant se situe dans une entité hydrologique (sous-bassin versant du Nazinon ou Volta Rouge). Il est accessible même saison hivernale par une route bitumée (environ 20 km) jusqu'à Laye puis par une piste secondaire en bifurquant par la gauche. Son exutoire peut être représenté par les coordonnées géographiques suivantes : 12°26'18'' de latitude Nord et 1°48'81'' de longitude Ouest.

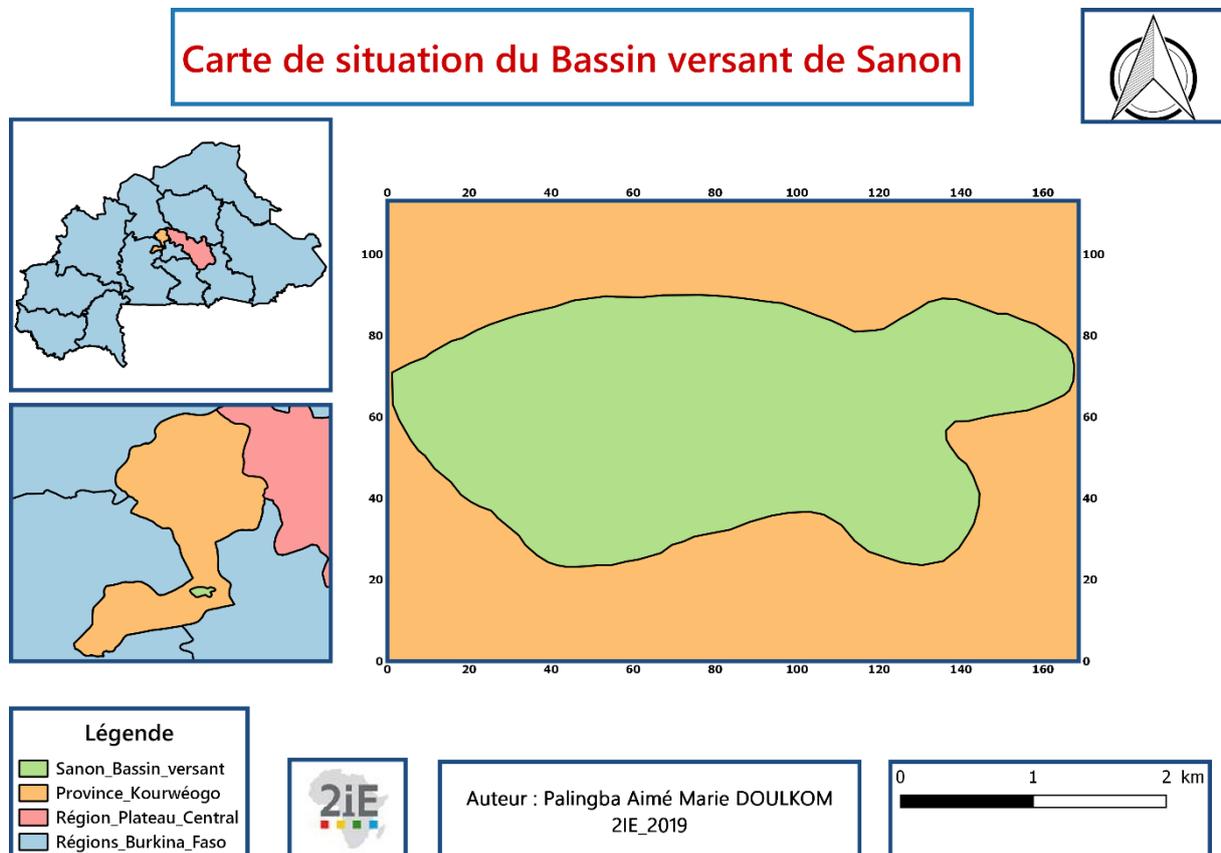


Figure 5 : Carte de situation de la zone d'étude

3.2. Matériel

Pour la collecte des données nécessaires à la réalisation de notre étude, différents types de matériels ont été utilisés. En effet, deux types de mesures ont été réalisés : les mesures manuelles et les mesures automatiques. En ce qui concerne les mesures manuelles, nous avons utilisé les éléments suivants :

- un infiltromètre Mini-Disk pour la détermination de la conductivité hydraulique non saturée ;
- un double anneau de Muntz pour la détermination de la conductivité hydraulique à saturation ;
- une tarière pour le prélèvement des échantillons de sol ;
- un seize pour l'analyse granulométrique ;
- une balance de précision pour les pesées ;
- un Diviner 2000 pour les mesures d'humidité du sol ;
- un moulinet pour les mesures de débit ;
- un GPS pour les coordonnées géographiques ;
- un micro-lysimètre pour l'estimation de l'évaporation journalière ;
- un pluviomètre pour l'estimation de la quantité d'eau tombée ;
- un dispositif pour l'estimation du ruissellement ;
- une sonde manuelle pour la mesure des niveaux piézométriques.

Quant aux mesures des différents paramètres automatiques, les instruments suivants ont été utilisés :

- un lysimètre pour l'évaluation du drainage ;
- une station météo ;
- une sonde automatique pour la mesure de la pression et du niveau piézométrique.

3.3. Cadre expérimental

Dans le but de mieux appréhender les relations climat-sol-ressources en eau, un dispositif important d'appareils de mesure a été installé sur le site expérimental de Sanon. Ce cadre permet ainsi de mesurer plusieurs paramètres hydro-climatiques (figure 6) sur trois états de surface différents.

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

Le site dispose donc de trois (3) parcelles expérimentales d'égales dimensions (4 x 20) m² (figure 7). Elles ont été placées en fonction du sens de l'écoulement des eaux afin d'éviter toute perturbation et se définissent comme suit :

- ❖ La parcelle N°1 est située sur la crête latéritique au Nord du bassin versant. Cette parcelle est caractérisée par une végétation naturelle.
- ❖ La parcelle N°2 quant à elle se situe dans la vallée centrale. La culture pratiquée est le mil afin d'observer le comportement du sol vis-à-vis de cette spéculation.
- ❖ Enfin, la parcelle N°3 se situe à quelques encablures de l'exutoire et la culture de l'arachide y est exploitée.

Le choix des cultures s'est fait sur la base des principales cultures du Burkina Faso. En effet, le mil est une céréale fortement consommée dans la zone. Parmi les légumineuses, l'arachide se distingue par sa résistance à la sécheresse et à la chaleur et fait également partie des aliments les plus consommés.

Par ailleurs, chaque parcelle est munie d'un lysimètre installé à 90 cm de profondeur. Ce dispositif est destiné à quantifier le volume de drainage. Au-delà de 90 cm l'eau perdue par percolation est supposée aller recharger la nappe. Le réservoir de ce lysimètre est installé à l'intérieur de la parcelle avec un dispositif de mesure installé à l'extérieur à une distance de (01) mètre de la parcelle.

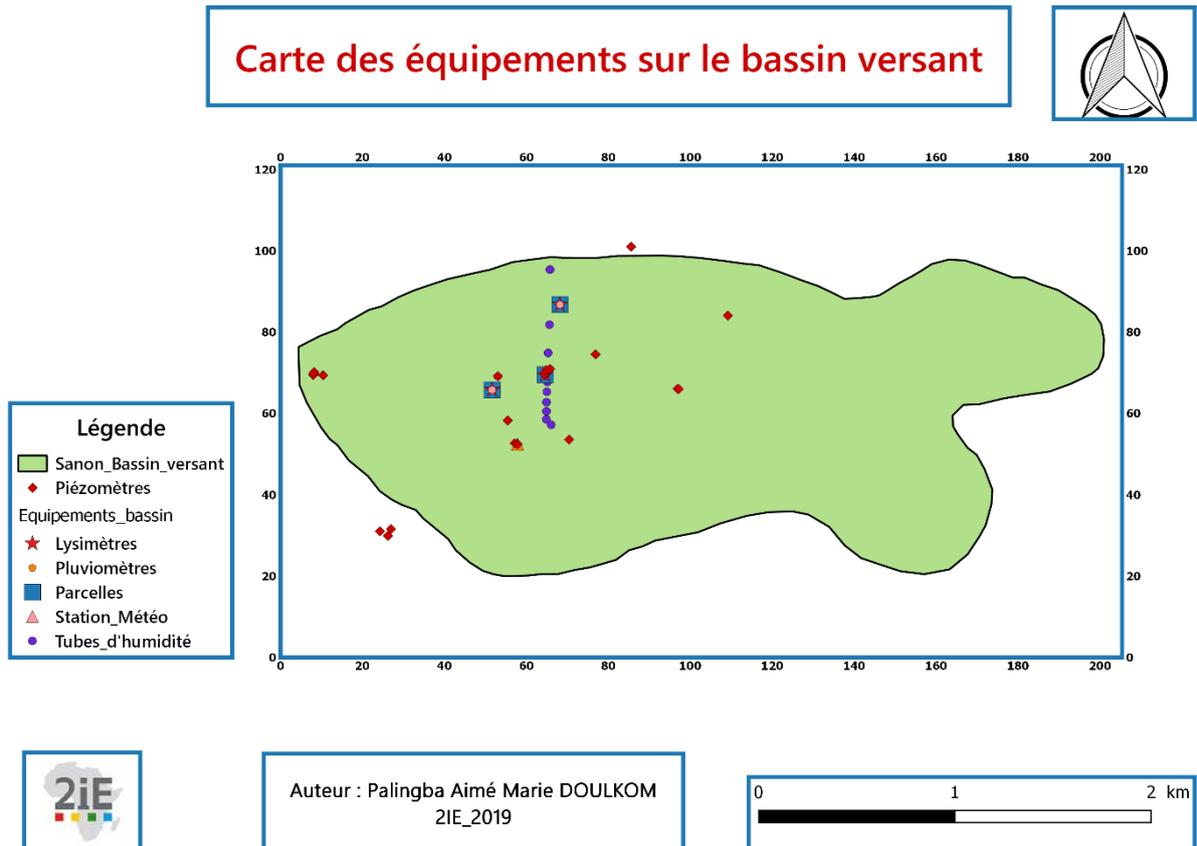


Figure 6 : Carte de localisation des équipements et des parcelles du site de Sanon

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

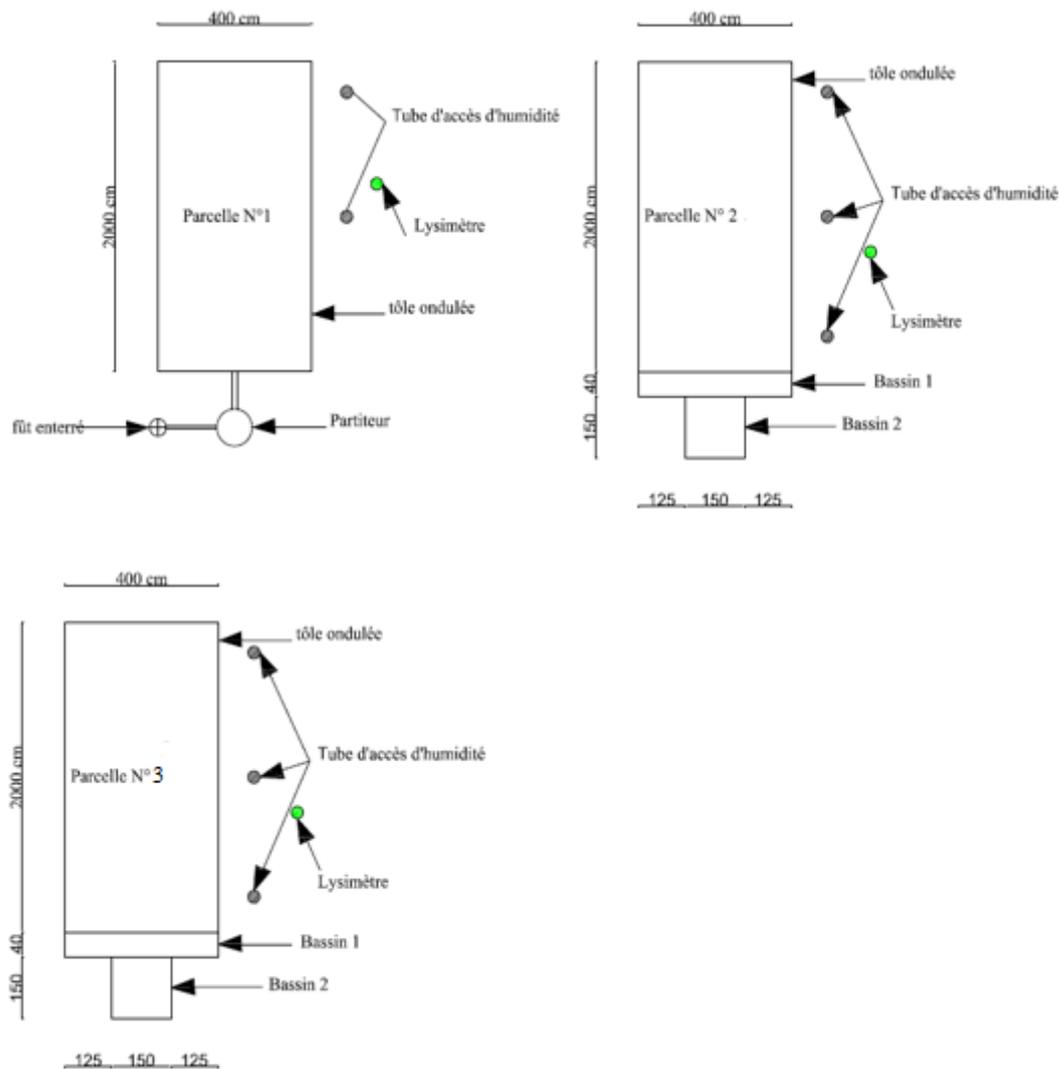


Figure 7 : Dispositif expérimental sur les différentes parcelles

En outre, l'évaluation de la quantité d'eau tombée (pluviométrie) se fait à l'aide de pluviomètre installé sur chaque parcelle. Un transect composé de vingt-huit (28) tubes d'accès d'humidité en PVC de 2 m de profondeur est réalisé dans la zone d'étude afin de percevoir la variation spatiale de l'humidité du sol. Chaque parcelle est dotée de trois profils de sol permettant de mesurer l'humidité à l'exception de la parcelle latéritique qui en compte seulement deux. Il est à noter que les capteurs de ces tubes sont placés à l'intérieur des parcelles.

Enfin, afin de quantifier le ruissellement, un des paramètres du bilan hydrique, des fosses de recueillement de l'eau de pluie ont été réalisées sur chaque parcelle. Les mesures des niveaux piézométriques à travers les sondes manuelle et automatique permettent d'évaluer la recharge. Il faut noter qu'à travers des mesures de débit (hydrométrie) effectuées lors des évènements

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

pluvieux au niveau de l'exutoire, nous arrivons à estimer le volume d'eau qui transite sur le bassin versant. Des prélèvements d'échantillons d'eau après les événements pluvieux sont réalisés au niveau des pluviomètres et de l'exutoire du bassin versant.

3.4. Méthodes

Le protocole expérimental est centré sur trois grands axes :

- une caractérisation des propriétés physiques et hydrodynamiques des sols ;
- un suivi de l'évolution temporelle des paramètres hydrauliques de surface ;
- des mesures systématiques de certaines variables d'état (teneur en eau et charge de pression) et du ruissellement.

3.4.1. Caractérisation des propriétés physiques du sol

Cette étude a consisté à élaborer une cartographie des différents états de surface du bassin versant. Pour se faire, une caractérisation spatiale de la répartition granulométrique des sols du bassin sur les 50 premiers centimètres de profondeur a été au préalable nécessaire. La démarche a consisté à faire des prélèvements de sols à partir d'un cylindre de 5 cm de diamètre et de 5 cm de profondeur. A l'aide de tamis, nous avons pu déterminer pour chaque point de prélèvement la proportion des différents constituants solides en utilisant la classification fournie par le tableau 1.

Tableau 1 : Classes texturales des différents constituants solides

Argile	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers	Graviers	Cailloux
< 2 μm	2 à 20 μm	20 à 50 μm	50 à 200 μm	200 μm à 2 mm	2 à 20 mm	> 20 mm

Pour mieux appréhender la composition structurale de la couche superficielle du site, plusieurs échantillons ont été prélevés à différents points représentatifs de sorte à couvrir toute la zone. Ainsi, six prélèvements d'échantillons de sol ont été effectués sur les zones d'influence de chaque point représentatif (figure 8).

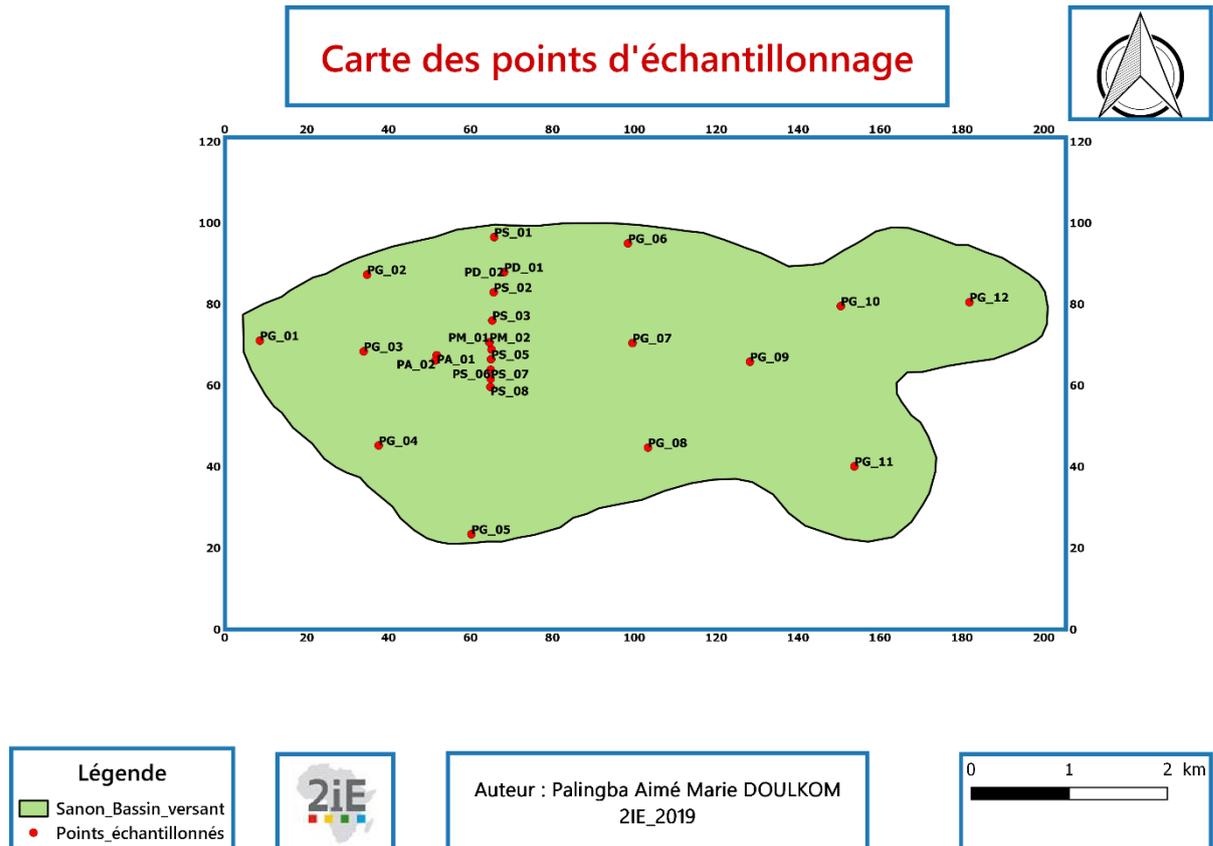
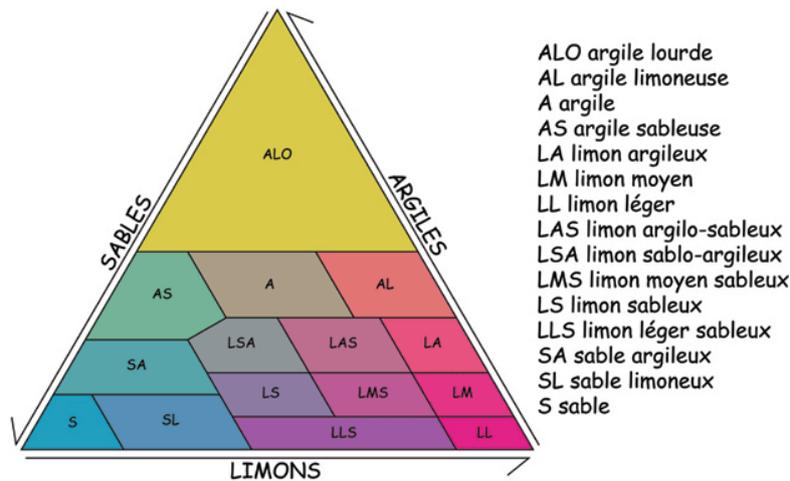


Figure 8 : Points d'échantillonnage pour l'étude granulométrique

L'étude proprement dite a consisté à faire une analyse granulométrique par tamisage pour les éléments de diamètre $\varnothing \geq 80\mu m$ et une analyse granulométrique par sédimentation pour les éléments de diamètre $\varnothing < 80\mu m$. Les résultats obtenus nous ont permis de déterminer la texture du sol afin de calibrer avec précision les types de sols pour la détermination de la conductivité hydraulique non saturée et ce, à travers le triangle textural du référentiel (figure 9). Ce référentiel requiert les proportions de sable, de silt et d'argile.

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).



(Source : www.wikipedia.org)

Figure 9 : Triangle textural du Référentiel Pédologique Français faisant intervenir les pourcentages d'argile (< 2 μm), de limon (2 à 50 μm) et de sable (50 à 2000 μm)

3.4.2. Caractérisation des propriétés hydrauliques de surface

L'évolution temporelle des propriétés hydrauliques de surface des sols a été suivie par des essais réalisés durant la saison humide. Les paramètres suivis sont la conductivité hydraulique à saturation et la conductivité hydraulique non saturée.

a. Détermination de la capacité d'infiltration et de la conductivité hydraulique à saturation

La capacité d'infiltration et la conductivité hydraulique à saturation de la surface du sol ont été déterminées avec la méthode du double anneau (infiltromètre de Müntz). Lors de la mesure, une charge constante de 3 cm (photo 2) a été maintenue à la surface du sol jusqu'à ce que le régime d'infiltration stabilisée soit atteint. Chaque parcelle a ainsi fait l'objet de dix (10) répétitions afin de mailler toute la parcelle.



Photo 2 : Essai d'infiltrométrie au Muntz

b. Détermination de la conductivité hydraulique non saturée

La conductivité hydraulique non saturée a été déterminée en utilisant la méthode du mini infiltromètre à disque (figure 10). Il s'agit d'un appareil permettant de mesurer la conductivité hydraulique insaturée à des tensions comprises entre -0,5 cm et -6 cm. Il est constitué à sa base d'un élastomère supportant un disque poreux en acier inoxydable en contact avec le sol. Le disque est alimenté par un réservoir (chambre inférieure) gradué en [ml] contenant le volume d'eau qui s'infiltré dans le sol. L'entrée de l'air dans le réservoir se fait par un tube B (tube de Mariotte) connecté à la chambre supérieure (chambre à bulle) qui permet de contrôler le taux de suction au niveau de la surface du sol. L'eau qui quitte l'infiltromètre pour s'infiltrer dans le sol doit être remplacée par un volume identique d'air dans le réservoir d'alimentation. Cet air passe à travers la chambre à bulle par un tube A (tube de commande d'aspiration à la pression atmosphérique). Les bulles d'air qui se sont formées à la base du tube A remontent ensuite dans la chambre à bulle et rejoignent le volume d'air existant dans celle-ci. Le volume d'air dans la chambre à bulle est influencé par l'existence d'une charge hydrostatique h_1 (en cm) entre la base du tube A et la surface de l'eau contenue dans la cette dernière. Ce volume est donc à une pression inférieure à la pression atmosphérique. Lors de l'infiltration, l'air quitte la chambre à bulle par le tube B pour rejoindre le réservoir d'alimentation. L'eau qui se trouve à la sortie du tube B a donc une pression égale à celle de l'air qui sort du tube. On en déduit le potentiel de l'eau h_0 à la sortie de l'infiltromètre.

$$h_0 = h_2 - h_1 \quad (1)$$

Avec : h_0 : potentiel de l'eau à la sortie de l'infiltromètre

h_1 : potentiel de l'eau entre la base du tube A et la surface de l'eau

h_2 : potentiel de l'eau entre la base du tube B et le disque poreux

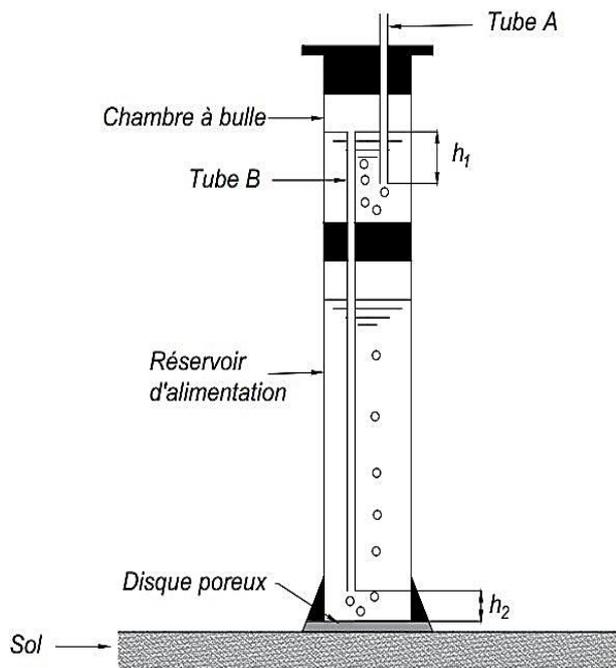


Figure 10 : Mini infiltromètre à disque

✓ Mise en œuvre de l'essai

Le principe de l'essai d'infiltration repose sur la mesure du flux d'infiltration de l'eau dans les conditions de non saturation. Ainsi, une lecture du niveau de l'eau se fait toutes les trente (30) secondes jusqu'à ce que vingt (20) mm d'eau s'infiltrent dans le sol. Les mesures ont été faites suivant une variation temporelle et spatiale. En résumé, quatre-vingt et deux (82) essais ont été sur la parcelle arachide contre quatre-vingt-quatorze (94) sur la parcelle mil et quatre-vingt-onze (91) sur la parcelle latéritique. Les mesures ont été faites sous une charge de pression comprise entre -5 et -60mm.

✓ Méthodologie d'interprétation

La détermination de la conductivité hydraulique non saturée a été effectuée à partir de la méthode de ZHANG (1997). Cette méthode consiste à mesurer l'infiltration cumulative par rapport au temps en exploitant la capacité d'infiltration de Philips définie par l'équation 2 :

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad (2)$$

Où I [L] est l'infiltration cumulée, C_1 [L.T⁻¹] et C_2 [L.T^{-1/2}] sont des paramètres et t [T] le temps. C_1 est lié à la conductivité hydraulique et C_2 à la sorptivité du sol. La conductivité hydraulique K du sol à la tension appliquée h est alors calculée comme suit :

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

$$K(h) = \frac{C_1}{A} \quad (3)$$

Où C_1 traduit la pente de la courbe d'infiltration cumulée en fonction de la racine carrée du temps et A une valeur relative des paramètres de Van Genuchten fonction du type de sol, de la vitesse d'aspiration et du rayon du disque de l'infiltromètre. Le calcul de A se fait par les formules suivantes :

$$A = \frac{11,65(n^{0,1}-1)\exp[2,92(n-1,9)ah_0]}{(ar_0)^{0,91}} \quad n \geq 1,9 \quad (4)$$

$$A = \frac{11,65(n^{0,1}-1)\exp[7,5(n-1,9)ah_0]}{(ar_0)^{0,91}} \quad n < 1,9 \quad (5)$$

Avec n [-] et α [L^{-1}] des paramètres de Van Genuchten pour le type de sol donné, r_0 [L] le rayon du disque et h_0 [L] la tension appliquée. Le mini infiltromètre à disque à un rayon de 2,2 cm et laisse infiltrer l'eau à une succion de -0,5 cm à -6 cm. Les valeurs de A calculées pour le mini infiltromètre à disque sont données au tableau 2 et figure 11 :

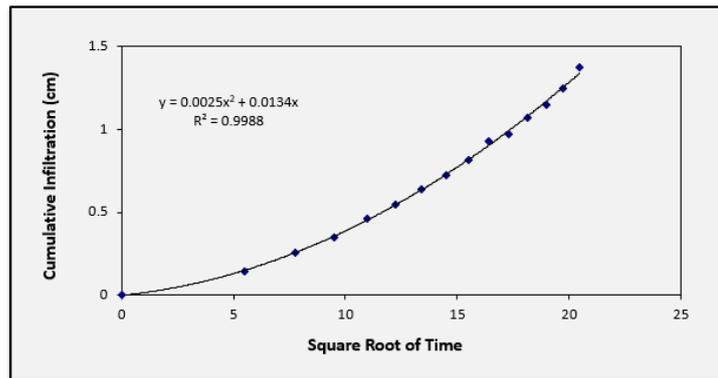
Tableau 2 : Paramètres de Van Genuchten et les valeurs de A pour le mini infiltromètre (Source : DECAGON, 2006)

	Radius	2.25	A						
	Alpha	n / ho	-0.5	-1	-2	-3	-4	-5	-6
Sand	0.145	2.68	2.8357	2.40407	1.72791	1.24192	0.89262	0.64156	0.46112
Loamy sand	0.124	2.28	2.9853	2.78683	2.4286	2.11642	1.84436	1.60728	1.40067
Sandy loam	0.075	1.89	3.87706	3.88798	3.90991	3.93197	3.95415	3.97645	3.99888
Loam	0.036	1.56	5.46115	5.71766	6.26738	6.86997	7.53048	8.2545	9.04814
Silt	0.016	1.37	7.92145	8.1774	8.71438	9.28662	9.89643	10.5463	11.2388
Silt loam	0.02	1.41	7.10208	7.36793	7.92987	8.53467	9.1856	9.88617	10.6402
Sandy clay loam	0.059	1.48	3.21066	3.52332	4.24292	5.10951	6.15308	7.4098	8.92318
Clay loam	0.019	1.31	5.85753	6.10902	6.64484	7.22767	7.86161	8.55115	9.30118
Silty clay loam	0.01	1.23	7.89323	8.09406	8.51117	8.94979	9.41101	9.89599	10.406
Sandy clay	0.027	1.23	3.33629	3.57047	4.08929	4.6835	5.36406	6.14351	7.03622
Silty clay	0.005	1.09	6.07632	6.16931	6.35957	6.55571	6.7579	6.96632	7.18116
Clay	0.008	1.09	3.99806	4.0964	4.3004	4.51456	4.73939	4.97541	5.22319

La conductivité hydraulique non saturée est calculée à partir de l'équation (3).

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

Time (s)	sqrt (t)	Volume (ml)	Infil (cm)
0	0	65	0
30	5.4772256	62.7	0.1446149
60	7.7459667	60.9	0.2577917
90	9.486833	59.4	0.3521058
120	10.954451	57.6	0.4652826
150	12.247449	56.3	0.5470214
180	13.416408	54.9	0.6350479
210	14.491377	53.5	0.7230743
240	15.491933	52	0.8173883
270	16.431677	50.2	0.9305652
300	17.320508	49.6	0.9682908
330	18.165902	48	1.0688925
360	18.973666	46.7	1.1506313
390	19.748418	45.2	1.2449453
420	20.493902	43.2	1.3706974



Radius	2.25
alpha	0.02
n/ho	1.41
Suction	-2

A	7.929874
C1	0.002536
K	0.0003198

Figure 11 : Exemple de calcul de la conductivité hydraulique

3.4.3. Bilan hydrique

Le bilan hydrique est un paramètre très important dans la compréhension du sol et du climat. Selon GUERIN et al. (2012). Il permet une appréhension plus fine de la répartition de la ressource en eau dans le système sol-plante-atmosphère. C'est un processus à perpétuel recommencement avec pour point de départ le soleil. En effet, l'eau des océans et des surfaces terrestres s'évapore dans l'atmosphère sous l'influence du rayonnement solaire. Par condensation, elle retombe sur les océans et les continents sous forme de précipitations. D'abord, une partie des précipitations est interceptée par le couvert végétal. Ensuite, une autre partie s'infiltre dans le sol pour rejoindre les nappes d'eau souterraine. Et enfin, la dernière partie ruisselle sur le sol pour former les cours d'eau et réserves d'eau de surface. L'action combinée de l'évaporation des eaux et la transpiration des végétaux forme ainsi le phénomène d'évapotranspiration (figure 12).

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

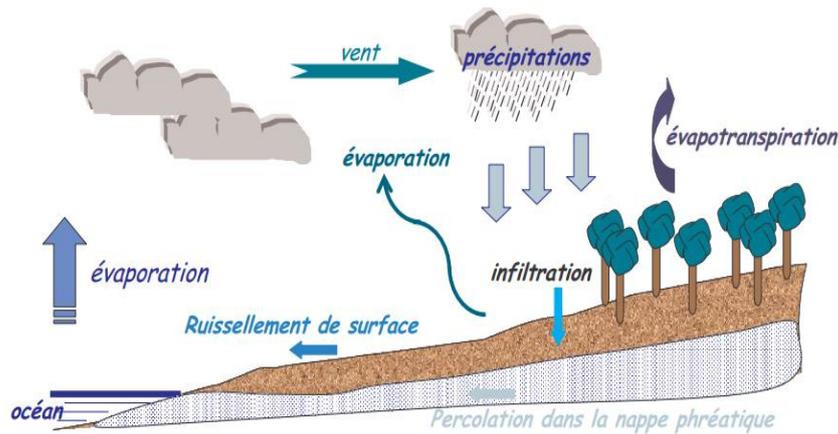


Figure 12 : Bilan hydrologique de l'eau dans un bassin versant

A. Equations du bilan

Le bilan hydrique d'un système repose sur le principe de la loi de conservation de la masse. Il résulte de l'intégration de l'équation de continuité sur un certain volume de sol et sur une certaine durée.

L'équation de continuité

Selon la loi dynamique (loi de Darcy), la conductivité hydraulique n'est pas constante en milieu non saturé (équation 6).

$$q = - k(\theta) \text{ grad } H \tag{6}$$

avec q la densité de flux volumique (m/s) ;

$k(\theta)$ est la conductivité hydraulique du sol (m/s) et est une fonction non linéaire de l'humidité ;

et H est la charge hydraulique (m) définie par :

$$H = h(\theta) - z. \tag{7}$$

Dans cette équation 7, h représente la pression effective de l'eau (potentiel hydrique) qui dépend de façon non linéaire de l'humidité volumique du sol. L'axe z des profondeurs est orienté positivement vers le bas avec une origine à la surface du sol.

On peut donc écrire :

$$q = - k(\theta) \text{ grad } [h(\theta) - z] \tag{8}$$

En supposant que l'écoulement est unidimensionnel (vertical),

$$q = - k(\theta) \frac{\partial}{\partial z} [h(\theta) - z] \quad \boxed{q = - k(\theta) \left[\frac{\partial h(\theta)}{\partial z} - 1 \right]} \tag{9}$$

Loi de conservation

Cette loi montre que le régime de la variation de la teneur en eau dans le temps est égal au régime de variations spatiales du flux. Dans un sol cultivé non saturé en eau, elle s'exprime par la relation suivante :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\text{div}q - S \quad (10)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} - S \quad (11)$$

où θ est la teneur volumique en eau (m^3/m^3) ;

S le taux d'extraction d'eau par les racines situées à la profondeur z au temps t .

Le paramètre S est tel que : $S = S(z, t)$ pour $z < z_r(t)$ (12)

$$S = 0 \quad \text{pour } z > z_r(t) \quad (13)$$

avec z_r la profondeur maximale d'enracinement.

En remplaçant q par son expression, on obtient donc :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(\theta) \left(\frac{\partial h(\theta)}{\partial z} - 1 \right) \right] - S(z, t) \quad (14)$$

Cette équation 14 montre que l'écoulement de l'eau est conditionné d'une part par les propriétés de rétention $h(\theta)$ et de conductivité hydraulique $K(\theta)$ du sol et d'autre part par la présence du système racinaire de la végétation, assimilée au terme $S(z, t)$. L'intégration de l'équation 14 aboutit à l'équation du bilan hydrique (équation 15).

L'équation du bilan stipule que toute différence entre apports et pertes pendant la période considérée se traduit par une variation ΔS du stock d'eau dans le profil de sol :

$$\Delta S = \text{Apports} - \text{Pertes} \quad (15)$$

Les apports sont constitués principalement par les précipitations P et d'éventuelles remontées capillaires G . Les pertes quant à elles sont représentées par l'évapotranspiration réelle ETR , le ruissellement R et le drainage D au-delà de la limite inférieure considérée.

$$\text{L'équation générale du bilan est donc : } \Delta S = (P + G) - (ETR + R + D) \quad (16)$$

Dans notre cas, les remontées capillaires sont négligées, ce qui donne finalement :

$$\Delta S = P - (ETR + R + D) \quad (17)$$

B. Détermination des autres composantes du bilan hydrique

Sur le site de l'étude, tous les termes du bilan à savoir la pluie P, le ruissellement R, le drainage D et la variation de stock ΔS ont été mesurés à l'exception de l'évapotranspiration réelle ETR estimée à partir de l'équation du bilan hydrique.

➤ **Pluviométrie**

Les précipitations ont été quantifiées à travers un pluviomètre. C'est un instrument météorologique gradué en millimètre (mm) et servant à mesurer la quantité d'eau tombée à un endroit sur un intervalle de temps. Notre site en dispose deux types à savoir un pluviomètre à mesure directe installé sur chaque parcelle et un pluviomètre à mesure automatique installé dans une station météo. Pour notre étude, les données des pluviomètres à mesure directe ont été priorisées du fait de leur proximité avec les parcelles (photo 3).



Photo 3 : Pluviomètre à mesure directe sur support

➤ **Ruissellement**

✚ **Parcelle n°1 (zone fortement dégradée laissée à la végétation naturelle)**

Le dispositif de quantification du ruissellement sur la parcelle latérique est un partiteur de diamètre 100cm et de hauteur 30 cm. Il comporte 40 trous de dimensions identiques placés à la même hauteur de 20 cm sur toute sa circonférence. Ces trous servent d'évacuateurs pour la lame d'eau excédant les 20 cm. Pour quantifier le volume d'eau évacué, un des 40 trous du partiteur est relié à un fût gradué permettant ainsi de récupérer un quarantième (1/40) du volume d'eau excédant (Photo 4).

La hauteur d'eau ruisselée (h_r) sera obtenue à partir de l'équation 18 :

$$h_r = \frac{V_{partiteur} + 40 \times V_{fût}}{\text{surface délimitée}} \quad (18)$$



Photo 4 : Dispositif de mesure de la lame d'eau ruisselée sur la parcelle

✚ **Parcelle n°2 (champ de mil)**

La spéculiation cultivée sur cette parcelle est le mil. Sur cette parcelle, l'estimation de la quantité d'eau ruisselée se fait à l'aide d'un dispositif de deux bassins placés à l'aval du bassin. Le premier bassin s'étend sur toute la largeur de la parcelle. D'une profondeur de 150 cm et d'une largeur de 50 cm, ce bassin est relié directement à un second bassin de dimensions (150 × 150) cm² à travers un orifice. En effet, le rôle de ce deuxième bassin est de recueillir les excédents d'eau du premier bassin. Chaque bassin est muni d'une échelle limnimétrique permettant de

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

lire la hauteur d'eau ruisselée (photos 6 et 7) et ces bassins sont calés pour une pluie centennale.

La hauteur d'eau s'obtient ainsi :

$$h_r = \frac{V_{bassin1} + V_{bassin2}}{\text{surface délimitée}} \quad (19)$$

Parcelle n°3 (champ d'arachide)

Le dispositif installé dans cette parcelle est identique à celui de la parcelle n°2. La différence se trouve au niveau de la culture qui y est pratiquée : il s'agit de l'arachide.

Notons également que l'emplacement des bassins est fait selon la topographie du milieu de sorte à éviter d'éventuelles perturbations des eaux de l'extérieur des parcelles sur le ruissellement.

Vue en profil



Vue en face



Photo 5 et Photo 6: Dispositifs de mesure de la lame d'eau ruisselée sur les parcelles 2 et 3

➤ **Drainage**

Le drainage correspond à la quantité d'eau infiltrée par percolation, c'est-à-dire la quantité d'eau atteignant une certaine profondeur. En fonction des cultures exploitées, la profondeur considérée dans cette étude correspond à la profondeur maximale d'enracinement qui est de 90cm. Cette eau est supposée recharger la nappe.

Le drainage sur les différentes parcelles a été mesuré à l'aide d'un lysimètre automatique « DRAIN Gauge G3 ». Cet appareil est équipé d'un réservoir installé à 90 cm de profondeur qui recueille les eaux qui traversent cette profondeur de référence.

➤ **Variation de stock**

Pendant les campagnes de mesures, un suivi temporel de l'humidité et de la charge de pression de l'eau du sol a été minutieusement effectué en milieu sec, semi humide et humide.

Pour obtenir une valeur précise de la teneur en eau du sol, il est nécessaire de faire un étalonnage de l'appareil (Diviner, 2000). Le principe a consisté à faire un couplage de mesures de l'humidité à des profondeurs données et de mesures de la teneur en eau déterminée en laboratoire sur des prélèvements effectués à la tarière (trois par profondeur) au même moment. Les valeurs obtenues aux différentes profondeurs de prélèvement (pour toutes les parcelles : 0-10 cm, 10-30 cm, 30-50 cm, 50-80 cm), ont été reliées aux mesures effectuées par la sonde aux profondeurs 10 cm, 30 cm, 50 cm et 80 cm, respectivement. Au niveau de chaque site, une relation linéaire a été ajustée aux couples comptage réduit-humidité volumique mesurés (cf. Annexe 1).

Un certain nombre de profils de teneur en eau gravimétrique a été établi, en particulier après les événements pluvieux importants, pour s'assurer de la pertinence des mesures à la sonde automatique et compléter l'information sur les variations d'humidité.

Le stock d'eau S d'une couche de sol à un instant donné peut être estimé à partir du profil hydrique $\theta(z)$; avec θ la teneur en eau volumique et z la profondeur. Entre deux points z_1 et z_2 , le stock d'eau est défini par l'équation 19 :

$$S = \int_{z_1}^{z_2} \theta(z) dz \quad (20)$$

Dans le présent travail, le stock d'eau a été estimé en considérant que les mesures de teneur en eau aux profondeurs z_i sont représentatives d'une couche de i cm d'épaisseur. Le stock d'eau suivant la profondeur z est calculé sur la base de l'équation 20 :

$$S_{0-z} = (\theta_{10} \times 100) + (\theta_{30} \times 200) + \dots + (\theta_z \times 300) \quad (21)$$

IV. Résultats et discussion

4.1. Résultats

4.1.1. Propriétés physiques du sol

L'analyse de vingt-trois (23) échantillons de masse comprise entre 1 et 2 kilogrammes a permis d'obtenir différents profils pédologiques. Ces prélèvements effectués sur une profondeur de 50 cm ont été faits selon les principes de la méthode de quartage. Les résultats obtenus sous l'action combinée de l'analyse granulométrique par tamisage et de l'analyse granulométrique par sédimentation sont représentés à la figure 13.

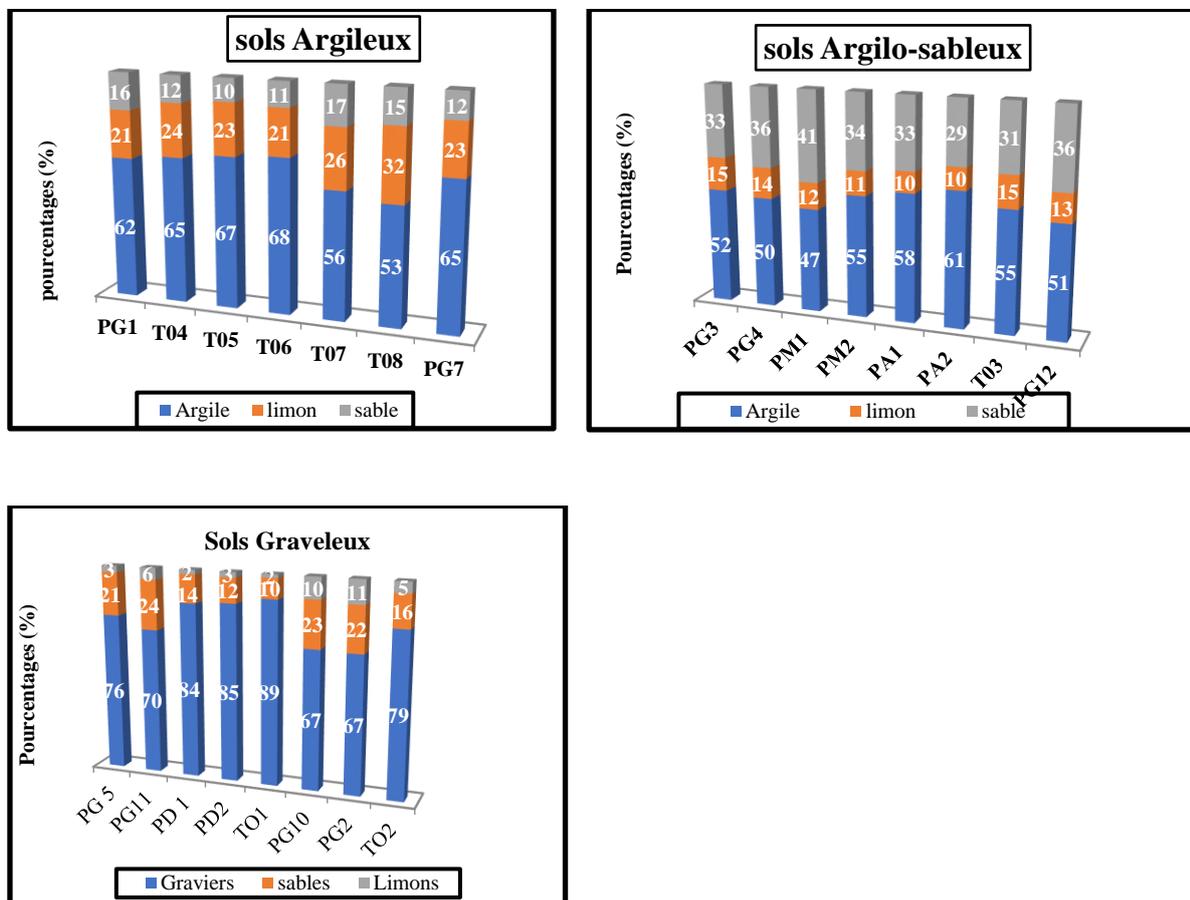


Figure 13: Texture des sols du bassin versant de Sanon.

L'analyse de la figure 13 révèle que les sols du bassin versant de Sanon sont essentiellement répartis en trois grandes catégories. En effet, la première catégorie de sol est un sol graveleux ($\Phi > 65\%$). Ce type de sol est généralement présent sur les versants où nous remarquons la présence de croûtes gravillonnaires. Généralement caractérisé par un taux de ruissellement

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

important, ce type de sol fait l'objet d'une étude approfondie à travers l'installation de la parcelle N°1. La deuxième catégorie de sol s'agit d'un sol à dominance argilo-sableuse. Il est généralement localisé en bas de pente (localisation des parcelles N°2 et N°3). Les sols de la parcelle N°2 et de la parcelle N°3 diffèrent de par la proportion d'argile qui se retrouve plus élevée dans la parcelle N°3. Cependant, ces deux sols restent dans la même grande famille. Ce sont des sols généralement propices à l'agriculture et les populations locales y cultivent des céréales. Enfin, la troisième catégorie de sol est argileuse ($\Phi > 50\%$) et se situe à proximité des vallées et de l'exutoire. Ce type de sol est généralement peu filtrant et possède une grande capacité de rétention de l'eau. Riche en minéraux, les populations y pratiquent la riziculture. Cette étude nous a ainsi permis de représenter les différents types de sol qui composent le bassin versant de Sanon par une cartographie (figure 14). En effet, cette carte réalisée à travers les outils SIG révèle une prédominance des sols argilo-sableux. Ils constituent environ trois quart (2/3) de la superficie du bassin versant. Les croûtes gravillonnaires sur les crêtes occupent la deuxième plus grande superficie révélant une importante partie accidentée.

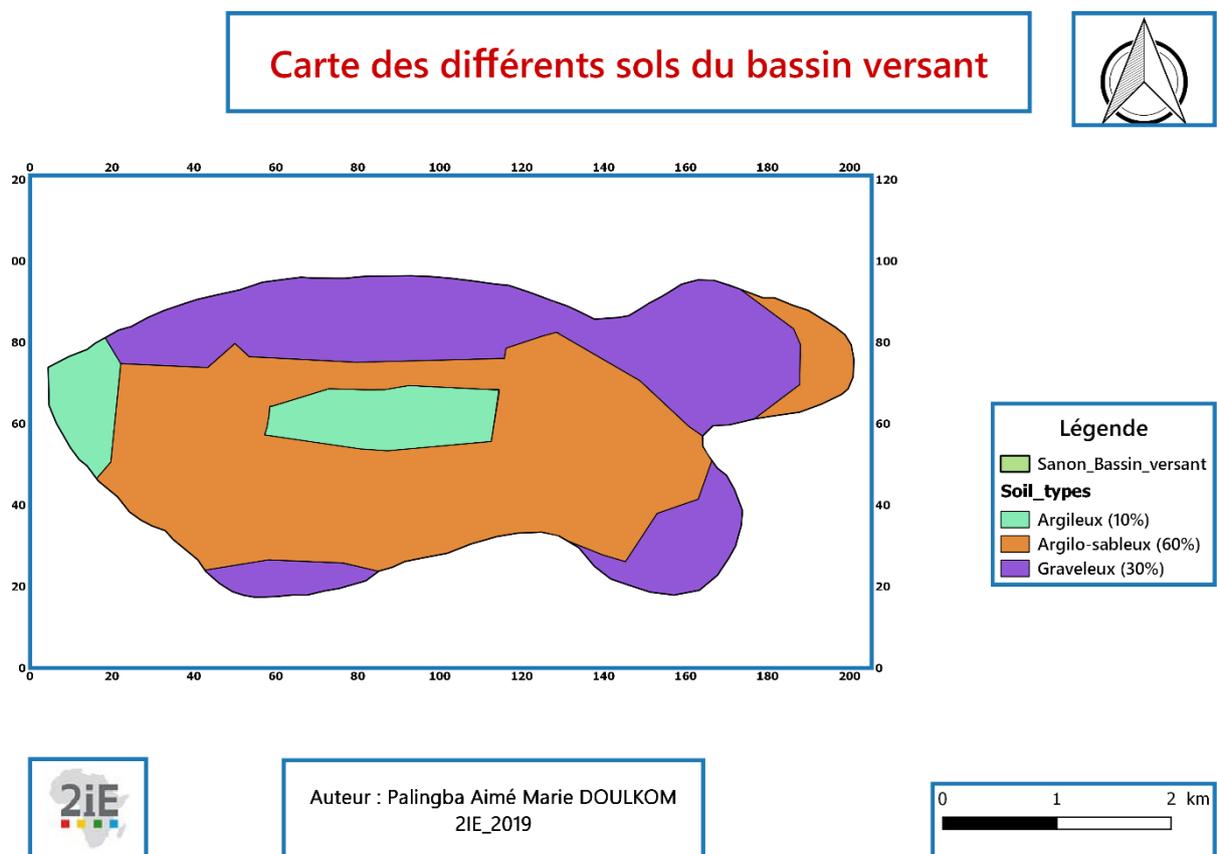


Figure 14 : Répartition spatiale des types de sol du bassin versant de Sanon

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

Les résultats obtenus par notre étude rejoignent ceux de Soro et al., (2015). En effet, selon ces auteurs les sols du bassin versant de Sanon sont généralement composés d'un mélange de particules graveleuses (sable, gravier) et de particules fines (limons et argiles). Ils ont également montré les différentes épaisseurs du manteau d'altération sur les trois grandes familles précédemment décrites. Elles varient entre 25 et 50 m au niveau de la vallée et passent à environ 25 m dans la partie Ouest. Le profil d'altération révèle un épaissement de l'horizon fissuré et une légère remontée du socle au niveau des crêtes (figure 15).

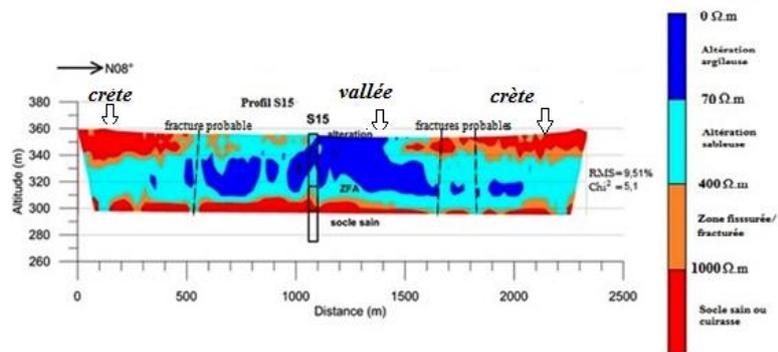


Figure 15: Profil de crête en crête passant par le forage S15 modifié d'après Soro et al. (2015)

4.1.2. Suivi des propriétés hydrauliques de surface

Une grande gamme de mesures a été effectuée sur notre site d'étude afin de mieux appréhender les variabilités spatiale et temporelle de l'infiltrabilité des sols. Nous avons ainsi réalisé environ 298 essais sur l'ensemble des trois parcelles dont 30 essais du double anneau de Muntz contre 268 essais pour l'infiltromètre Mini-Disk.

➤ Conductivité hydraulique à saturation

La méthode de l'infiltromètre de Müntz (double anneau) a été nécessaire pour déterminer la conductivité hydraulique à saturation de la surface du sol. En effet, au début du processus d'infiltration, on assiste généralement à une décroissance rapide du niveau de l'eau. Ensuite, la diminution devient de plus en plus lente avant de se stabiliser à la fin. On obtient ainsi la conductivité hydraulique à saturation qui n'est autre que l'asymptote de la courbe d'infiltration (figure 16). L'équation de la courbe s'écrit sous la forme suivante :

$$i = C_1 e^{-kt} + C_2 \quad (22)$$

avec C_2 la conductivité à saturation K_{sat} lorsque le temps tend vers l'infini.

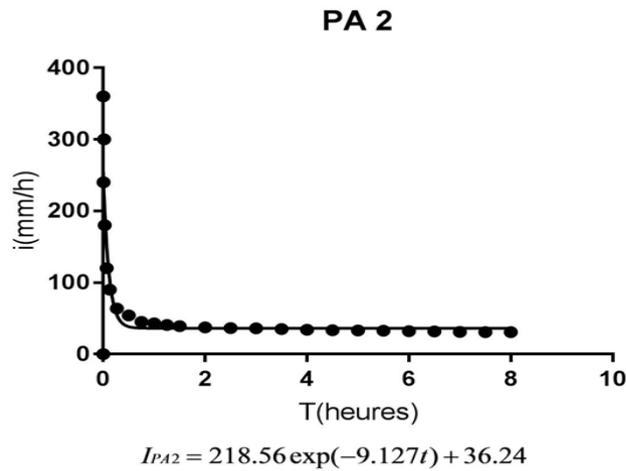


Figure 16 : Exemple d'évolution temporelle de la capacité d'infiltration sur la parcelle arachide.

Les valeurs moyennes de conductivité hydraulique à saturation obtenues sont consignées dans le tableau 3.

Tableau 3: Valeurs moyennes de la conductivité hydraulique à saturation sur les trois parcelles

Parcelles	Parcelle latéritique	Parcelle mil	Parcelle arachide
Ks (mm/h)	10.2	38.1	47.3
Ecart type	0,4	0,7	1,2
CV (%)	4	2	3

L'analyse de ce tableau 3 révèle une nette différence de comportement selon les états de surface. En effet, les plus fortes valeurs se situent sur les parcelles cultivées (mil et arachide) tandis que la parcelle gravillonnaire à végétation naturelle détient la plus petite valeur de conductivité hydraulique à saturation. Une éventuelle réorganisation des états de surface entraînant ainsi une modification de l'organisation du système poral des horizons superficiels (Vandervaere, 1995 ; Niang, 2000 et Ndiaye, 2001) peut expliquer ces différences. Les conséquences de cette réorganisation sont la baisse de la conductivité hydraulique à saturation. L'organisation superficielle des états de surface sahéliens constitue un facteur très influant sur leur capacité d'infiltration.

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

Les zones cultivées sont des milieux constitués essentiellement de dépôt sableux provenant des érosions éolienne et hydrique. Ce sont des zones qui favorisent l'infiltration au détriment du ruissellement. Ainsi, les importantes valeurs de conductivité hydraulique à saturation obtenues au niveau de ces parcelles viennent corroborer cette hypothèse. En effet, sur les surfaces cultivées, l'action du vent provoque le départ des particules fines et rendant ces sols plus perméables. L'homme en réorganisant les sables en surface provoque sous l'action du vent, la formation de dépôts sableux plus ou moins importants. Tout cela peut favoriser l'infiltration d'autant plus que sur ces parcelles, les sols sont à dominance argilo-sableuse. La différence qui réside entre la conductivité hydraulique à saturation de la parcelle arachide et celle de la parcelle mil se justifie par le fait que la proportion d'argile dans la parcelle arachide est supérieure à celle de la parcelle mil.

Cependant, les faibles valeurs de conductivité hydraulique à saturation observées sur la parcelle gravillonnaire (parcelle latéritique) s'expliquent par la présence d'une couche totalement dégradée favorisant davantage le ruissellement (Ribolzi et al., 2006). Cette augmentation du ruissellement s'accompagne toujours d'une réduction de la macroporosité qui résulte de la dégradation du milieu dont l'évolution ultime est l'apparition de croûtes d'érosion. La capacité d'infiltration devient ainsi faible. La parcelle latéritique résiste donc à l'infiltration.

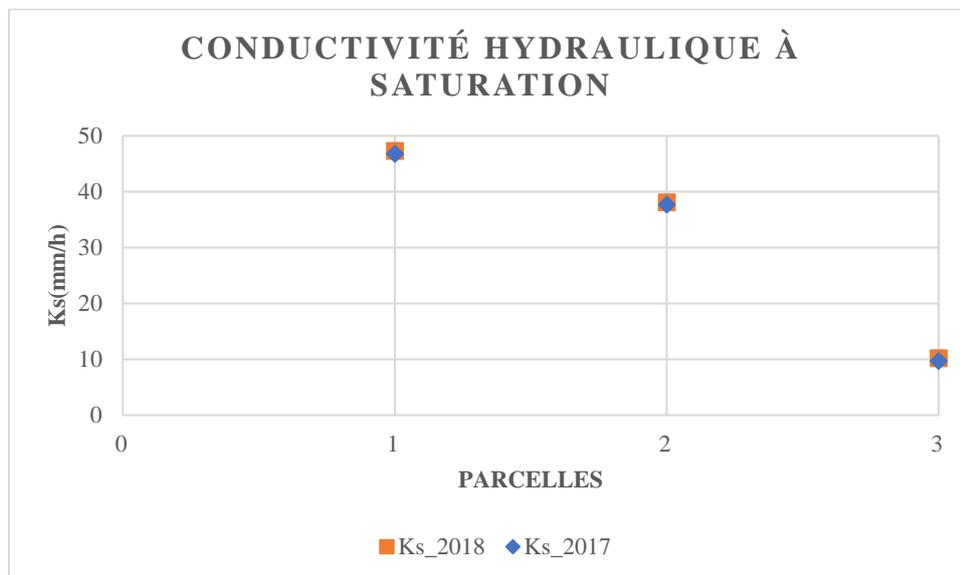


Figure 17 : Valeurs de la conductivité hydraulique à saturation des années 2017 et 2018

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

La figure 17 révèle que les conductivités hydrauliques à saturation des années 2017 et 2018 sont quasi similaires. Le sol n'a donc pas subi une très grande modification quant à sa saturation.

➤ **Conductivité hydraulique non saturée**

La conductivité hydraulique non saturée du sol a été déterminée à partir l'infiltromètre Mini-Disk. L'analyse des 268 essais effectués sur l'ensemble des parcelles nous donne les valeurs moyennes représentées dans le tableau 4.

Tableau 4: Valeurs moyennes de la conductivité hydraulique non saturée sur les trois parcelles

Parcelles	Parcelle latéritique	Parcelle mil	Parcelle arachide
K (mm/h)	5,62	13,83	15,15
Ecart type	0,61	1,27	1,86
CV (%)	11	9	12

Les résultats de la conductivité hydraulique non saturée présentés dans ce tableau viennent corroborer ceux obtenus avec la méthode du double anneau. En effet, nous remarquons que les plus fortes valeurs de la conductivité hydraulique non saturée se retrouvent sur les parcelles mil et arachide tandis que la parcelle latéritique présente la valeur la plus faible. Cette différence est due sans doute à une modification de la porosité du sol liée à l'évolution des états de surface. La parcelle latéritique, dépourvue le plus souvent de végétation comporte une pellicule superficielle défavorable à l'infiltration. Quant aux deux autres parcelles, les pratiques culturales rendent le sol plus perméable et améliorent de ce fait les transferts hydriques.

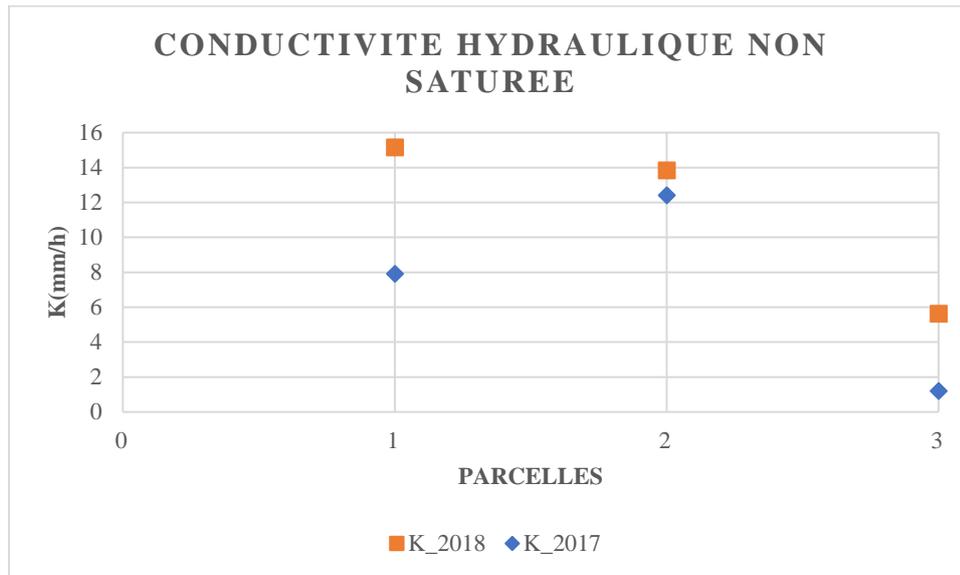


Figure 18 : Valeurs de la conductivité hydraulique non saturée des années 2017 et 2018

Selon la figure 18, les valeurs de la conductivité hydraulique non saturée évoluent dans le même sens pour les deux années 2017 et 2018. Par contre, il subsiste un écart entre ces différentes conductivités. Et de façon générale, les conductivités hydrauliques de l'année 2018 sont supérieures à celles de 2017. Cela peut s'expliquer par le fait qu'il y a eu une réorganisation superficielle des couches du sol telle que les dépôts de sable qui a plus favorisé l'infiltration. En outre, nous pouvons ajouter que l'année 2018 a enregistré plus de précipitations que celles de l'année 2017.

4.1.3. Suivi de la teneur en eau

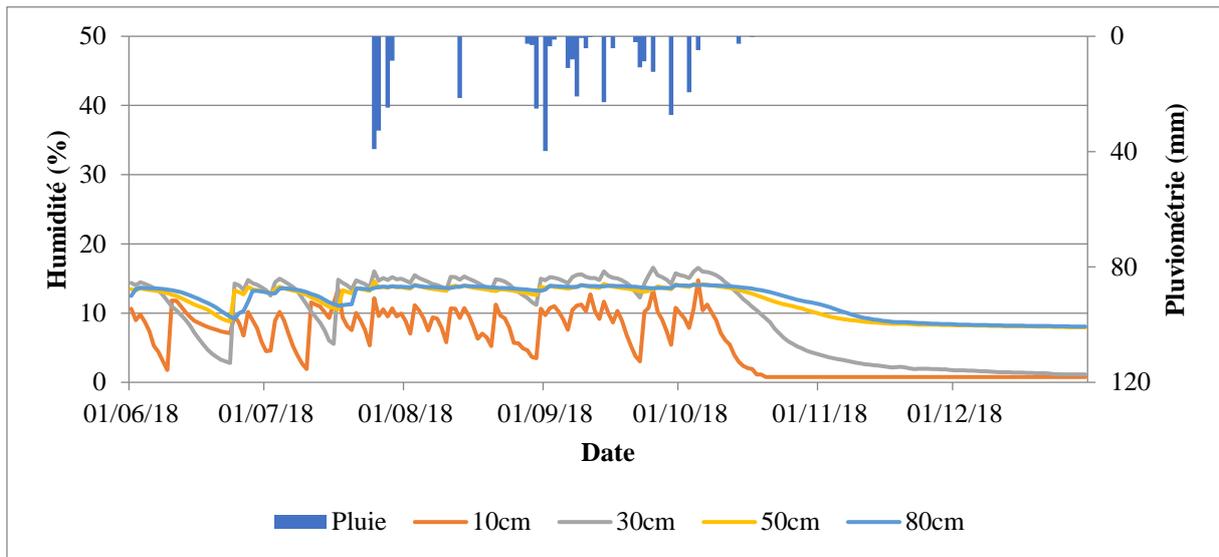
➤ L'évolution temporelle de la teneur en eau

L'évolution temporelle des humidités volumiques mesurées aux profondeurs 10, 30, 50 et 80 cm sur les 3 parcelles pour l'année 2018 est représentée par la figure 19.

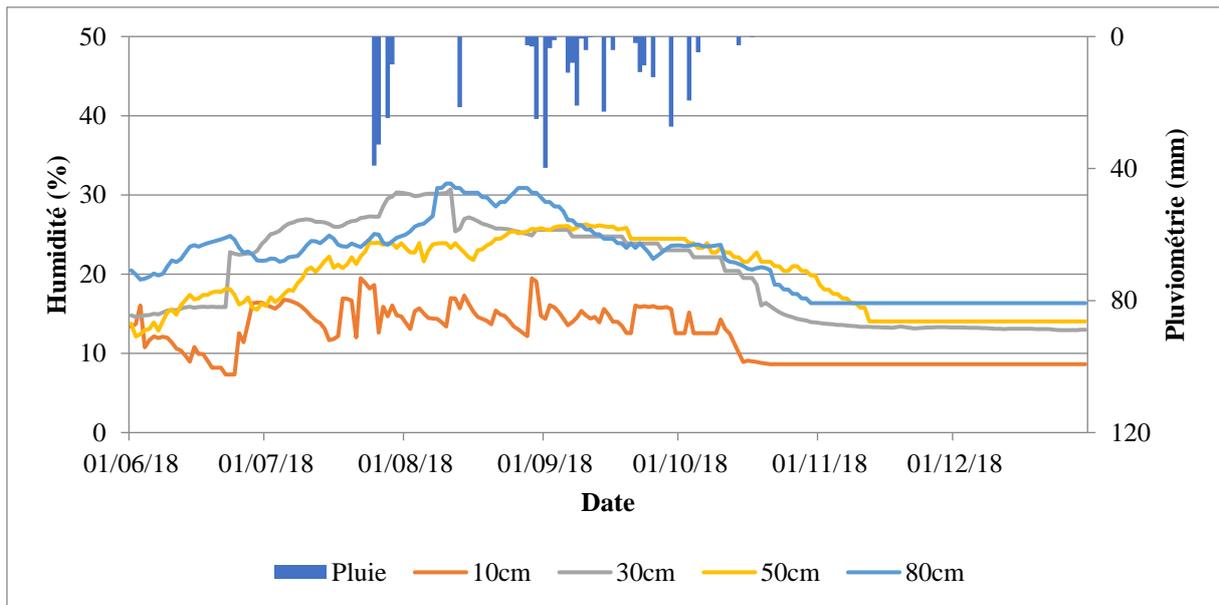
L'examen de ces courbes révèle que l'humidité varie fortement dans les horizons de surface (30 premiers centimètres) et faiblement en profondeur.

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

Parcelle latéritique



Parcelle mil



Parcelle arachide

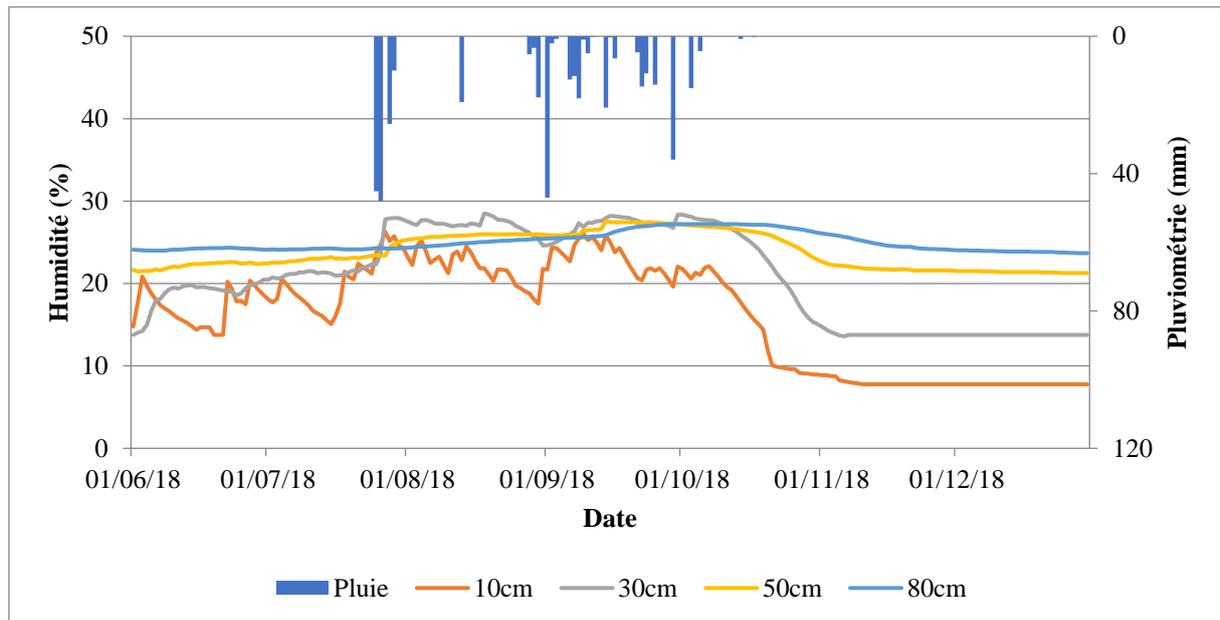


Figure 19: Evolution temporelle de l'humidité volumique aux profondeurs 10, 30, 50 et 80 cm sur les 3 parcelles expérimentales.

L'analyse de cette figure montre que les variations de l'humidité sont perceptibles dans toutes les profondeurs lors de grandes périodes arrosées sur les parcelles mil et arachide. Cependant sur la parcelle latéritique cette perception n'est visible que sur les 30 premiers centimètres.

On peut donc regrouper les sites d'études en deux grands ensembles. Le premier ensemble constitué par la parcelle latéritique (zone non cultivée) présente un taux d'humidité maximal à hauteur de 17%. Sur les 30 premiers centimètres, cette valeur peut osciller jusqu'à 2%. Au-delà de 30cm, l'humidité reste quasi constante et cela laisse présager que les précipitations ont un faible impact sur cet état de surface d'où un drainage nul.

Le second ensemble est quant à lui constitué par les parcelles mil et arachide. L'examen de la figure montre que contrairement à la parcelle latéritique où les humidités n'atteignent pas les 20%, le taux d'humidité maximal de cet ensemble est de l'ordre de 31% contre 8% pour la valeur minimale. Ces variations d'humidité sont perceptibles sur toute la profondeur avec des valeurs beaucoup plus importantes en surface qu'en profondeur. Cela peut traduire une éventuelle possibilité de drainage.

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

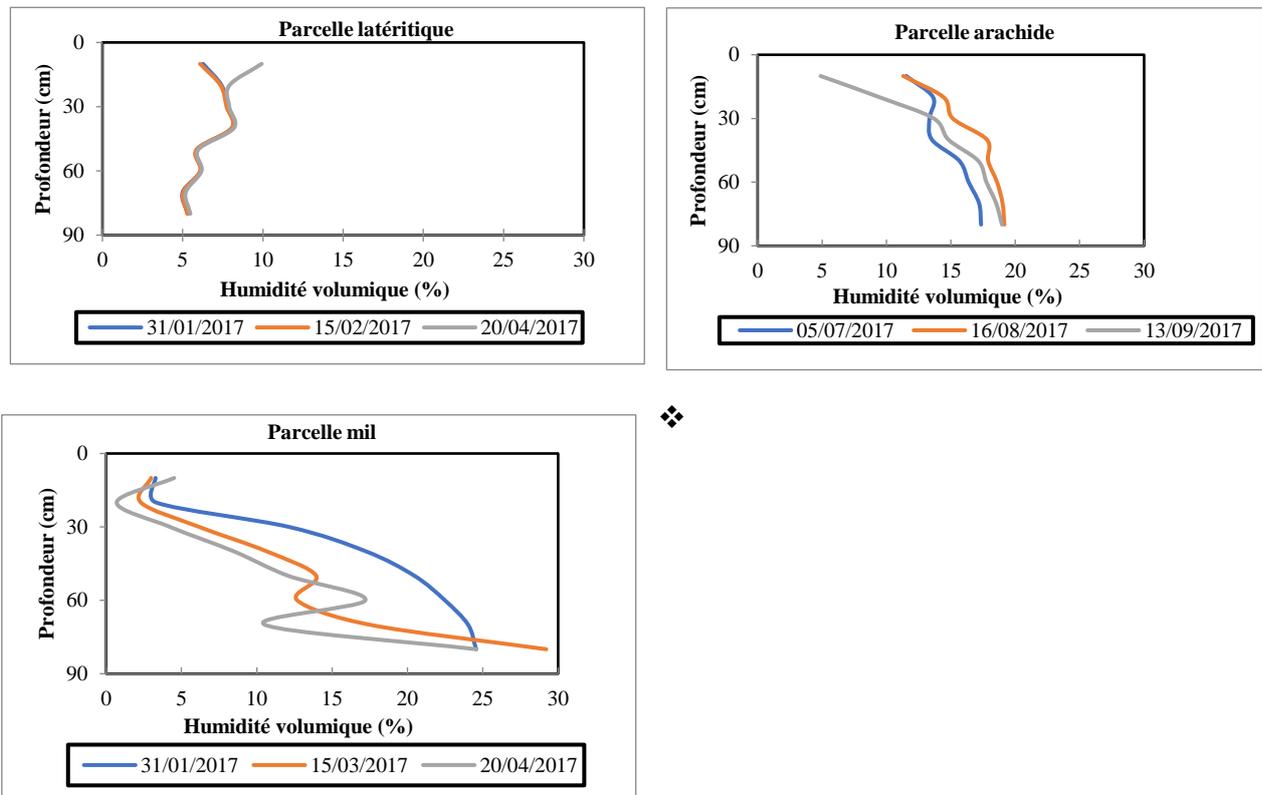


Figure 20: Profils hydriques pour des périodes sèches et humides sur les 3 parcelles

Les résultats de l'évolution de l'humidité en fonction de la profondeur ont été confirmés par une étude des profils hydriques. En effet, la figure 20 révèle que les variations d'humidité se situent généralement dans les 30 premiers cm du sol. Les valeurs de teneur en eau restent très faibles surtout en début de campagne avec un stockage d'eau interannuel minimal. L'évaporation constitue la principale cause de cette variation de la teneur en eau.

➤ **Evaluation du stock hydrique entre la surface et 80 cm de profondeur.**

L'analyse de la figure 21 montre que le stock d'eau est relativement faible par rapport à l'importance des précipitations sur l'ensemble des parcelles. En effet, nous constatons que sur la parcelle latéritique, la quantité d'eau infiltrée est faible et reste emmagasinée dans l'horizon superficiel (les 30 premiers centimètres). Ainsi, durant les jours qui suivent l'évènement pluvieux, une reprise rapide par évaporation est favorisée. Cependant, le stock hydrique accumulé sur les parcelles mil et arachide est beaucoup plus important.

Par ailleurs, l'examen de la figure 21 révèle que le stock hydrique oscille entre 48mm et 118mm sur la parcelle latéritique tandis que sur les parcelles mil et arachide il varie entre 112mm et

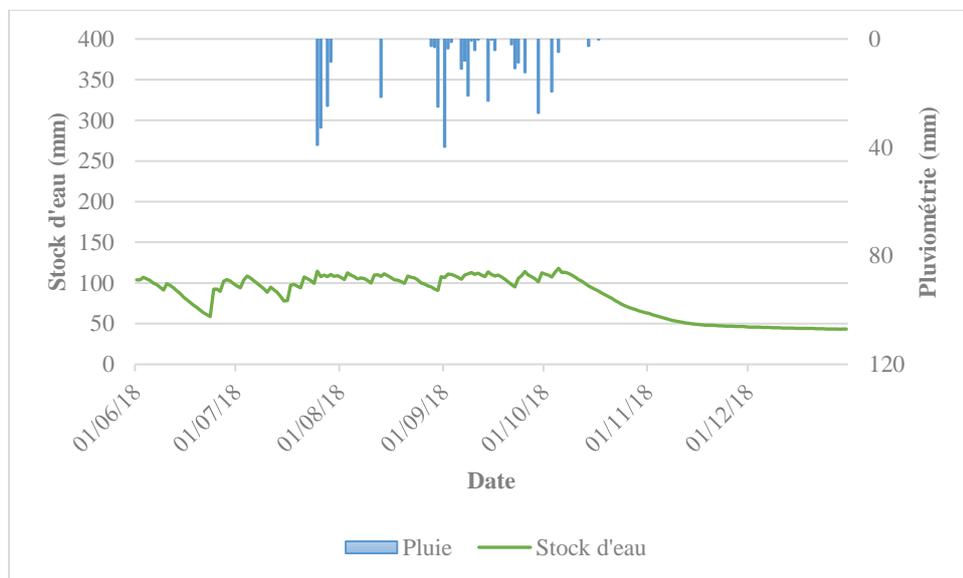
Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

219mm. De façon générale, le stock d'eau maximum disponible ne dépasse guère les 250 mm (Niang, 2006). Ces deux parcelles ont un comportement quasi similaire à la différence que la parcelle arachide a une plus grande quantité de rétention. La capacité d'infiltration élevée sur ces deux parcelles est due au type de surface (sol argilo-sableux) qui est essentiellement propice à l'infiltration.

Sur la parcelle latéritique par contre, la présence de silt entre les vides inhibe une bonne infiltration.

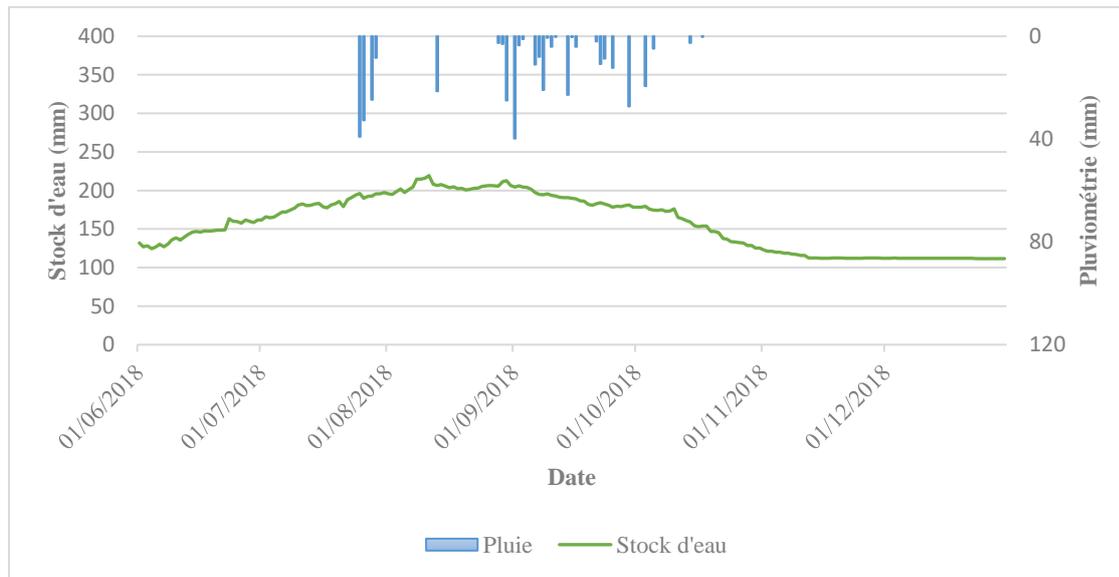
Nous constatons qu'à partir du mois d'octobre (fin de la saison pluvieuse), ce stock diminue sur tous les états de surface et est surtout remarquable sur la parcelle latéritique.

Parcelle latéritique



Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

Parcelle mil



Parcelle arachide

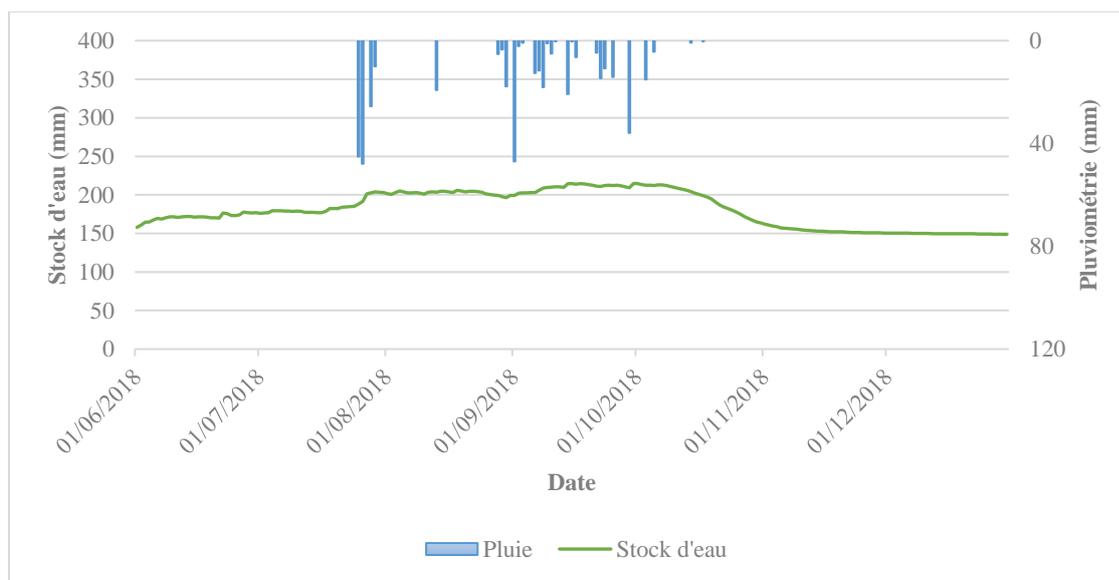


Figure 21: Evolution temporelle du stock hydrique (mm) entre la surface du sol et 80 cm de profondeur sur les différentes parcelles.

4.1.4. Composantes du bilan hydrique

➤ Précipitations

Le bilan hydrique s'est dressé à partir des observations faites à partir du 01 juin 2018 jusqu'au 31 octobre 2018. Sur cette période, nous avons pu enregistrer une hauteur de pluie d'environ 499.7mm sur le bassin versant de Sanon (figure 22).

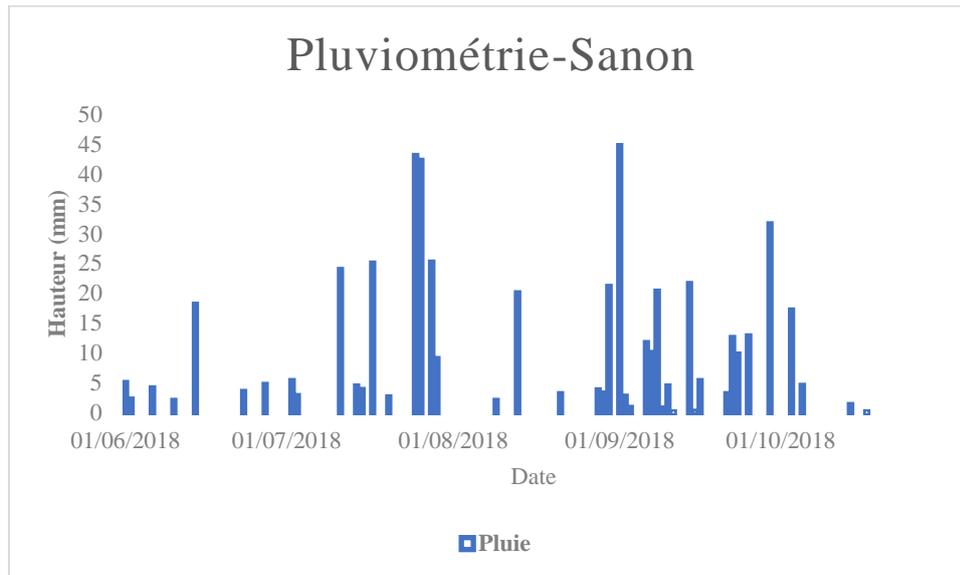


Figure 22: Précipitations sur le bassin de Sanon pour la période du 01 juin au 31 octobre 2018

➤ **Ruissellement**

Les observations faites au niveau des instruments de mesure du ruissellement sur les trois parcelles sont consignées dans le tableau 5.

Tableau 5: Lame d'eau ruisselée sur les trois parcelles

Arachide	Mil	Dégradée
7,0	16,8	30,9
13,5	12,5	35,2
6,2	7,8	14,9
2,0	5,0	2,7
1,5	1,5	5,5
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,8	0,5	3,5
21,4	18,0	34,5
0,0	0,0	0,2
19,0	20,0	34,4
1,3	1,1	1,8

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

3,8	5,1	2,1
8,5	12,3	7,9
0,0	0,0	0,0
0,8	0,5	0,2
0,0	0,0	0,0
3,5	2,3	4,2
8,9	13,9	30,0
0,5	0,3	0,2
0,0	0,0	0,0
3,1	1,8	2,0
2,5	2,8	1,6
7,5	8,3	3,6
20,0	18,5	7,9
3,5	6,3	3,9
5,5	6,8	5,5
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
140,6	161,7	232,5

➤ **Détermination des quantités d'eau drainée**

Les lysimètres automatiques placés en dessous de chaque parcelle nous ont permis de quantifier les hauteurs d'eau drainée en dessous de la profondeur de référence (80 cm). Le tableau 6 regroupe les hauteurs d'eau drainée sur la période d'observation.

Tableau 6: Lame d'eau drainée à 90 cm de profondeur sur les 3 parcelles

Parcelles	Parcelle latéritique	Parcelle mil	Parcelle arachide
Drainage (mm)	0	159.6	91.9

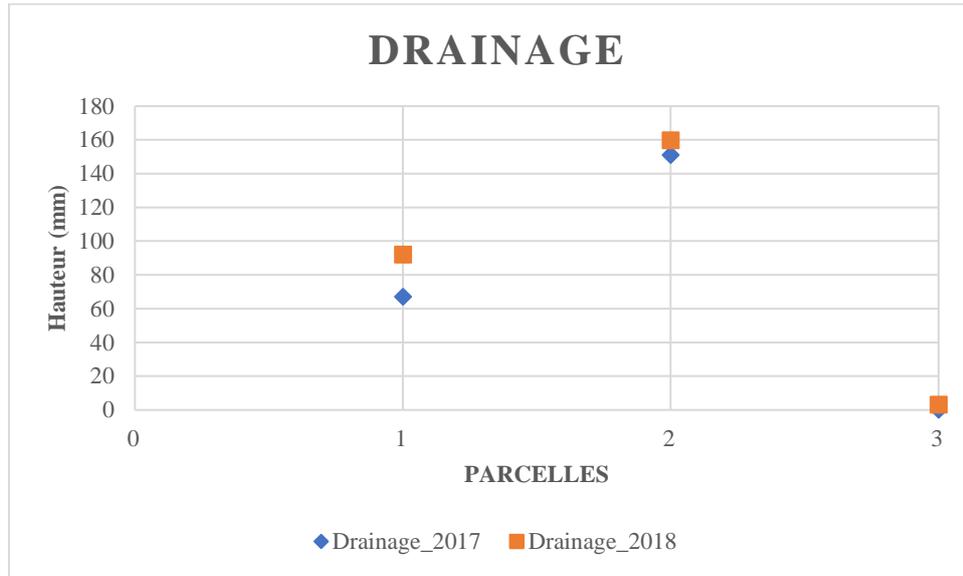


Figure 23 : Valeurs du drainage des années 2017 et 2018

Nous remarquons dans la figure 23 que le drainage observé en 2018 est généralement supérieur à celui de l'année 2017 du fait que l'année 2018 a été plus humide que celle de 2017. Par ailleurs, le drainage est généralement observé lors d'une succession d'évènements pluvieux ou lors de l'avènement d'une grosse précipitation.

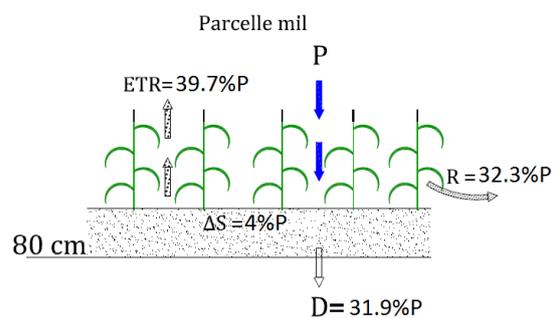
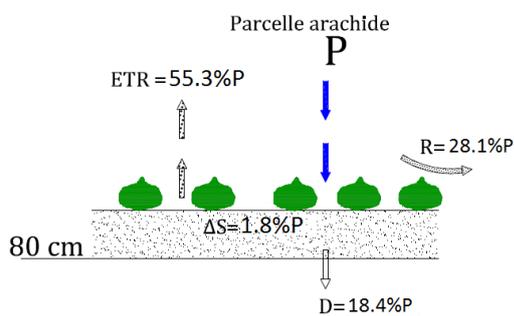
4.1.5. Calcul du Bilan hydrique

Le calcul du bilan hydrique a été réalisé à travers l'équation 17. Sur la période allant du 01 juin 2018 au 31 octobre 2018, nous avons pu déterminer sur les trois (3) parcelles les valeurs des différents termes du bilan hydrique. Ces valeurs sont ainsi reportées au tableau 7 et illustrées à la figure 24.

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

Tableau 7: Composantes du bilan hydrique du 01 juin au 31 octobre sur les trois parcelles.

Années	2017			2018		
Parcelles	Arachide	Mil	Végétation	Arachide	Mil	Végétation
Pluie (mm)	472,7	472,7	472,7	499,7	499,7	499,7
Ruissellement (mm)	59	99	179	140,6	161,6	232,5
Drainage (mm)	67	151	0	91,9	159,6	0
ΔS (mm)	-8	-10	6	-9	-20	-60
ETR (mm)	354,7	232,7	287,7	276,2	198,5	327,2



Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

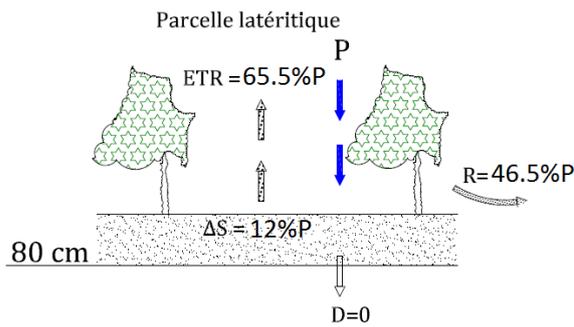


Figure 24: Bilan hydrique pour la période allant du 01 juin au 31 octobre 2018 sur toutes les parcelles.

L'évapotranspiration réelle est très importante par rapport à la pluviométrie sur toutes les parcelles. Elle varie entre 39.7% et 65.5%. Elle est beaucoup plus représentée sur la parcelle latéritique (65.5%) du fait que le stock d'eau est faible et reste dans les 30 premiers centimètres favorisant ainsi l'évaporation. Quant aux parcelles mil et arachide, elle est surtout provoquée par la transpiration des cultures.

En terme journalier, les valeurs moyennes obtenues se situent entre 2 et 3 mm/j. Ces valeurs se rapprochent de celles trouvées par (Niang 2006, Wallace et al., 1989) au sahel Burkinabè et au Niger. En effet, ces deux auteurs ont obtenu des valeurs de l'ETR se situant entre 1 et 3 mm/j. Cependant, Peugeot (1995) a obtenu au Niger des valeurs de 5 mm/j. Cela s'explique par le fait que le stock d'eau emmagasiné se trouve très faible par rapport à la pluie et il a été repris rapidement par les phénomènes d'évapotranspiration. Par ailleurs, au niveau de certaines parcelles il existe une quantité non négligeable du drainage.

4.2. Discussion

Le bassin versant de Sanon à l'image d'une grande partie du Burkina connaît des irrégularités et des agressivités pluviométriques entraînant ainsi des poches de sécheresse dans le sol ainsi que sa dégradation. Et la répétition cumulée de ces poches de sécheresse ainsi que la dégradation du sol entraînent ainsi une baisse du rendement agricole d'où le déficit alimentaire. Pour l'ensemble des sites, le stock final est très faible par rapport au total pluviométrique mesuré durant la période considérée. Cette faible quantité d'eau infiltrée n'est emmagasinée que superficiellement (30 premiers centimètres) dans la majorité des cas, ce qui favorise une reprise par évaporation très rapide dans les jours qui suivent l'événement pluvieux. Nous retrouvons ainsi les deux ensembles décrits plus haut.

En effet, la parcelle latéritique présente un stock hydrique faible alors que les parcelles mil et arachide sont caractérisées par un stock nettement plus élevé. Le fonctionnement hydrique de la parcelle latéritique est contrôlé par une fine couche de surface très peu perméable qui a tendance à freiner l'infiltration. Dans ces zones dégradées, la végétation peine à s'y installer.

Par contre le dépôt sableux sur les parcelles mil et arachide entraîne une grande porosité de ces sols facilitant ainsi l'infiltration. Ces résultats ont été corroborés par les travaux de (Descroix, 2012) sur les sols sableux du Niger. En effet, dans un tel milieu, le comportement hydrodynamique dépend à la fois des caractéristiques superficielles et des horizons sous-jacents (dépôt sableux) qui ont plus tendance à favoriser l'infiltration que le ruissellement.

Par ailleurs, dès 1979, COLLINET et LAFFORGUE ont montré qu'il n'existe pas de relation nette entre l'aptitude au ruissellement et les organisations pédologiques internes. En revanche, les états de surface semblent déterminants pour l'hydrodynamique superficielle. Ces résultats ont été confirmés par les travaux d'ALBERGEL et BERNARD (1984 a et b), et de PONTANIER et al. (1986). L'analyse des résultats acquis sur 48 parcelles au Burkina Faso a clairement établi que le pourcentage de couverture végétale auquel est liée l'activité méso faunique, est le principal facteur explicatif de l'infiltration (ALBERGEL et al., 1986). Une analyse similaire, inédite, effectuée sur 83 parcelles de la zone sahélienne, montre que 3 variables (pourcentage de couvert végétal, activité faunique et réorganisations de surface) suffisent à expliquer significativement, le coefficient d'infiltration mesuré, pour la zone de pluviométrie annuelle inférieure à 800mm (VALENTIN et CASENAVE, 1989).

Certaines différenciations pédologiques sont particulièrement liées au fonctionnement hydrique (PEDRO et al., 1987) :

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

- la surface du sol : ses caractères déterminent la part de l'eau qui s'infiltré et celle qui ruisselle,
- les horizons superficiels : leur appauvrissement résulte de transferts latéraux d'eau, de fer et d'argile,
- le niveau plus profond, à la limite des horizons B et C : les exportations latérales d'argiles et leur accumulation en aval sont tributaires d'une nappe fluctuante et temporaire.

Par ailleurs, lorsque l'espace entre deux événements pluvieux successifs est d'une dizaine de jours, le stock d'eau accumulé lors des averses antérieures s'épuise rapidement à cause des températures élevées qui entraînent une forte demande évaporatoire (Hiernaux et al., 2009).

Cette étude nous a également révélé que les valeurs moyennes journalières de l'évapotranspiration réelle en saison humide se rapprochent de celles obtenues en région ouest africaine.

Dans la partie sahéenne du Burkina Faso, la variabilité du comportement hydrodynamique des sols semble constituer l'un des facteurs majeurs de la formation des différents paysages (glacis, dépôts sableux) rencontrés dans la région (Boudet, 1977). Une relation s'établit donc entre le type d'états de surface, le type de paysages et le rapport ruissellement/infiltration de l'eau au niveau du sol. En effet, les pratiques culturales conduisent à un taux de porosité élevé entraînant corrélativement une forte capacité d'infiltration. Plusieurs travaux comme ceux de NDIAYE (2000) et SAWADOGO (2012) ont permis de conforter ces résultats. Ces auteurs ont révélé que la capacité d'infiltration d'un sol dépend en grande partie de sa composition et de son organisation superficielle.

En plus des caractères physiques (structure, porosité) et de la capacité de rétention qui conditionnent les mouvements de l'eau dans le sol, le fonctionnement des sols du bassin versant dépend aussi de la variation temporelle des pluies. En effet, cette partie du Burkina Faso située sur la zone soudano sahéenne est marquée par une forte irrégularité pluviométrique avec souvent de fortes intensités.

Par ailleurs, la fluctuation de l'eau dans les piézomètres vient corroborer les résultats de drainage profond obtenus à partir des lysimètres. Cela est surtout perceptible sur les parcelles mil et arachide qui ont nappes proches du sol dont certains piézomètres sont placés dans l'altération. Quant à la parcelle latéritique, la nappe étant profonde, la fluctuation est quasi nulle.

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

Avec une conductivité hydraulique non saturée et saturée inférieure à celle de la parcelle arachide, la parcelle mil présente un temps de réaction plus rapide que celle de la parcelle arachide. En effet, cela se justifie par le fait qu'au-delà des 50 premiers centimètres dont on connaît la texture, le sol présente un comportement assez différent. En plus, le travail du sol étant différent sur les deux sites, ainsi que le fait que la parcelle arachide soit vers l'exutoire, l'infiltration est beaucoup plus poussée dans la parcelle arachide mais l'eau reste piégée.

En se basant sur la classification de Calvet (2003), nous pouvons ainsi classer nos parcelles. De cette classification, nous pouvons dire que l'essentiel de nos parcelles est constitué de sols à dominance argilo-sableuse avec la présence d'agrégats stables, d'un drainage moyen à bon, et est apte pour l'agriculture. En ce qui concerne la zone argileuse, les sols possèdent une mauvaise stabilité structurale, un très mauvais drainage et les cultures sont limitées à des plantes à enracinement peu profond. Ces sols présentent un risque de pollution des eaux de surface par ruissellement. Enfin, les sols à texture grossière présentent une faible réserve en eau et une irrigation difficile.

V. Conclusion et recommandations

5.1. Conclusion

Cette étude sur le bassin versant de Sanon avait pour objectif une cartographie des états de surface en fonction des principales cultures du Burkina Faso. Elle a permis de mettre en relief le fonctionnement hydrique des sols en fonction des différents états de surface en vue de mieux appréhender la dynamique climat-sol-eau. Pour se faire, le suivi de l'évolution des caractéristiques physiques et hydrodynamiques des sols ainsi que le suivi de l'évolution diachronique des variables d'état et des différentes composantes du bilan hydrique ont été nécessaires.

L'expérimentation a permis de mettre en évidence une influence décisive des caractéristiques hydrauliques de surface notamment la conductivité hydraulique saturée et non saturée sur les différentes composantes du bilan hydrique. Les variations d'humidité sont plus importantes en surface qu'en profondeur avec des comportements différents selon les parcelles.

D'une part, nous avons des parcelles favorables à l'infiltration avec une bonne conductivité hydraulique. Ces sols de type argilo-sableux sont des zones cultivées ayant un stock hydrique acceptable. On y observe également le drainage. D'autre part, certaines parcelles présentent des variations d'humidité uniquement au niveau des horizons supérieurs (50 premiers centimètres). Ce sont des sols de type latéritique avec un faible stock hydrique et une faible capacité d'infiltration. Le ruissellement y est beaucoup prononcé. Ces milieux sont des zones non cultivées et présentent une faible conductivité hydraulique. Le drainage y est difficilement perçu. Ces différences de comportement sont liées pour l'essentiel aux réorganisations des parties superficielles du sol.

L'évapotranspiration réelle de l'ordre de 1 à 3mm/j représente quant à elle un taux élevé de la pluviométrie. Par ailleurs, pour palier à la dégradation le maintien et la reconstitution du couvert s'avèrent nécessaires. Cela se manifeste essentiellement par la couverture du sol par des résidus organiques, l'utilisation d'agents anticroustrants, le travail du sol, la réalisation du couvert herbacé et des cordons pierreux.

5.2. Recommandations

Les résultats obtenus à travers le dispositif installé sur le site d'expérimentation ont apporté un grand nombre d'informations sur les différents termes du bilan hydrique. Cependant, il est souhaitable de réhabiliter certains dispositifs de mesure comme les lysimètres et les tubes d'humidité pour minimiser les erreurs qu'ils engendrent. De plus, il serait nécessaire d'installer sur chaque parcelle d'expérimentation un pluviomètre afin de tenir compte de la répartition spatiale de la pluie qui est le paramètre de base dans l'établissement du bilan hydrique. En fin, il serait bien de réaliser une nouvelle fosse pédologique sur le site compte tenu de la variation des épaisseurs des différentes couches de surface. Cela pourrait améliorer la description de l'état physique du sol sur le site.

Pour réussir une meilleure cartographie, l'association de prises de vue aériennes et le traitement d'images satellitaires seraient très bénéfiques.

VI. Références bibliographiques

Bibliographie

ALBERGEL, J., DIATTA, M., GROUZIS, M. & SENE, M., 1995. Réhabilitation d'un écosystème aride par l'aménagement des éléments du paysage. *Pontanier et al. Editions, L'homme peut-il refaire ce qu'il a déjà défait?*, pp. 293-306.

Aquater, B., 1991. Exploitation des eaux souterraines en socle cristallin et valorisation agricole: pilote expérimental en milieu rural pour des zones soudano-sahéliennes et sahéliennes.. Issue 33576.

Armand, R., 2009. Etude des états de surface du sol et de leur dynamique pour différentes pratiques de travail du sol. Mise au point d'un indicateur de ruissellement. *Thèse*, Volume 2-3.

CALVET, R., 2003. Le sol: Propriétés et fonctions, Tome 2: Phénomènes physiques et chimiques , Applications agronomiques et environnementales. *France Agricole. Editions DUNOD.*

COLLINET, J. & VALENTIN, C., 1979. Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives-Applications agronomiques. *Cahiers ORSTOM*, 16,17(4), pp. 283-328.

COMPAORE, G., 1997. Evaluation de la fonction capacitive des altérites, site expérimental de Sanon: socle granito-gneissique sous climat de type soudano-sahélien.. *Thèse de doctorat, Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, France.*

DESCROIX, L. et al., 2012. Experimental evidence of deep infiltration under sandy flats and gullies in the Sahel. *Journal of Hydrology* , pp. 1-15.

GUERIN, D., CHEVRIER, B. & DECUNG, F., 2012. Guide technique "Caractérisation hydrique de la zone non saturée".

Guilguet, H. L., 2016. Quantification des composantes du bilan hydrique dans le bassin de Sanon au Burkina Faso. *Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en ingénierie, 2IE, Burkina Faso*, pp. 1-48.

GUILLOBEZ & ZOUGMORE, R., 1991. Etude du ruissellement et de ses principaux paramètres la parcelle (saria, Burkina Faso). *Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Editions John Libbey Eurotext, Paris*, pp. 319-329.

Harouna, K., 2003. Crues et érosion hydrique au Sahel: étude et modélisation des flux d'eau et de matières sur un petit versant pastoral au nord du Burkina Faso. *Thèse de doctorat de l'université Paris VI*, pp. 1-341.

HIERNAUX, P. et al., 2009. Trends in productivity of crops, fallow and rangelands in South West Niger: impact of land use , management and variable rainfalls. *J. Hydrol. AMMA Special*, Issue 375 (1-2), pp. 65-77.

INSD, 2008. Annuaire statistique du Burkina. Rapport Institutionnel. *INSD, Burkina Faso.*

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

KARAMBIRI, H. & RIBOLZI, O., 2004. Caractérisation des évènements averses-crués et de l'érosion hydrique à l'échelle d'un petit bassin versant pastoral sahélien (nord du Burkian Faso). *Sud Sciences Technologies*, Issue 11, pp. 30-40.

LAMACHERE, J., 1991. Aptitude au ruissellement et à l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. *Rapport*.

LAMACHERE, J. & PUECH, C., 1996. Cartographie des états de surface par télédétection et prédétermination des crues des petits bassins versants en zone sahélienne et tropicale sèche. *Rapport*.

MARECHAL, J., DEWANDEL, B. & SUBRAHMANYAM, K., 2004. Use of hydraulic tests at different scales to characterize fracture network properties in the weathered-fractured layer of a hard rock aquifer. *Water Resources Research*, 40(11), pp. 1-17.

MUSY, A. & SOUTTER, M., 1991. Physique du sol. *Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes*.

NDIAYE, B., 2001. Etude expérimentale et modélisation du comportement hydrodynamique des sols cultivés: application au bassin de Thyssékaymor (Sénégal). *Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier-Grenoble 1, France*, pp. 1-183.

NIANG, D., 2006. Fonctionnement hydrique de différents types de placages sableux dans le Sahel Burkinabé. *Thèse de doctorat, EPFL, Issue 3667*, pp. 1-136.

NIANG, D., MERMOUD, A., YACOUBA, H. & KARAMBIRI, H., 2004. *Fonctionnement hydrique de différents types de formations éoliennes en milieu sahélien burkinabé*. s.l.:s.n.

PARIS, T., 2001. Détermination expérimentale des propriétés hydrodynamiques au voisinage de la saturation: Incidence sur le fonctionnement hydrique d'un sol à nappe superficielle. *Paris: Université Pierre et Marie Curie*.

PERRIER, E., 1994. Structure géométrique et fonctionnement hydrique des sols: simulations exploratoires. *Paris, ORSTOM*, pp. 1-264.

PEUGEOT, C., 1995. Influence de l'encroûtement superficiel du sol sur le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant sahélien (Niger). Expérimentations in-situ et modélisation.. *Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier-Grenoble 1*, pp. 1-356.

PIERI, C., 1989. Fertilité des terres de savanes, bilan de trente ans de recherches et de développement agricoles au sud du sahara. *Ministère de la coopération française et CIRAD-IRAT*, pp. 1-444.

POMEL, S., HA PHAM, Q. & THIET NGUYEN, V., 2007. Etats de surface des sols au nord du Vietnam: Une méthode pour estimer et cartographier les risques d'érosion. *Rapport*.

RIBOLZI, O. et al., 2006. Wind processes improve water infiltration in Sahelian sandy rangeland. *Catena*, Issue 67, pp. 145-154.

ROOSE, E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES).. *Bulletin Pédologique FAO*, Issue 70, pp. 1-420.

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

SAWADOGO, W., 2012. Fonctionnement hydrique des sols du bassin versant de tougou (Nord du Burkina Faso). *Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en ingénierie, 2IE, Burkina Faso*, pp. 1-61.

SERPENTIE, G., TEZENAS DE MONTCEL, L. & VALENTIN, C., 1992. La dynamique des états de surface d'un territoire agropastoral soudano-sahélien, conséquences et propositions. *L'aridité, une contrainte au développement, caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés, ORSTORM*, pp. 419-447.

TOE, G., 2004. Apport de nouvelles technologies géophysiques à la connaissance des aquifères de socle, Tomographie électrique, électromagnétisme fréquentiel, Résonance magnétique Protonique: application au Burkina Faso. *Thèse de doctorat, Université Paris 6*.

VALENTIN, C. & CASENAVE, A., 1989. *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration..* Paris: Editions de l'ORSTORM.

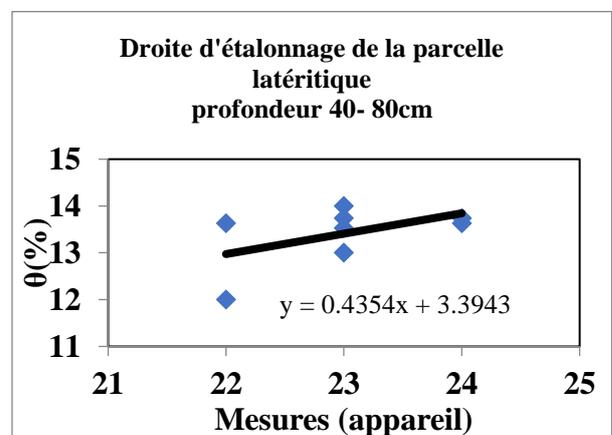
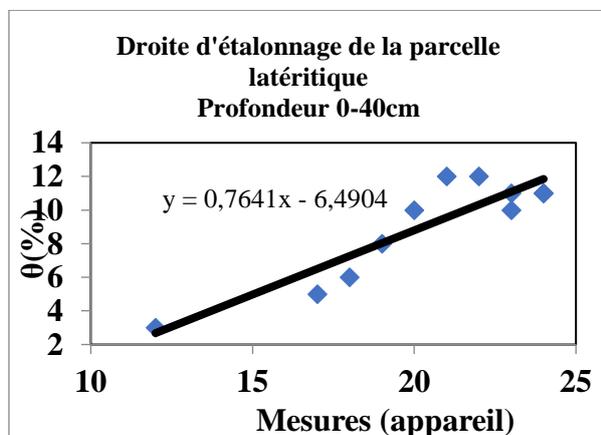
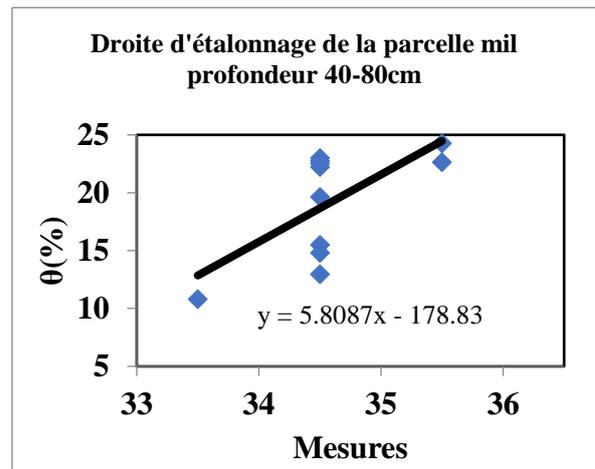
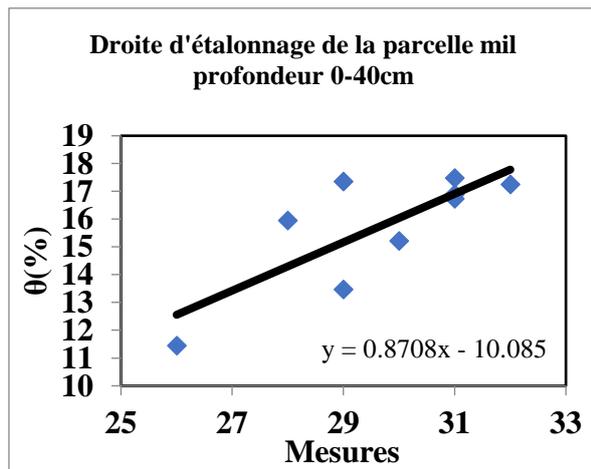
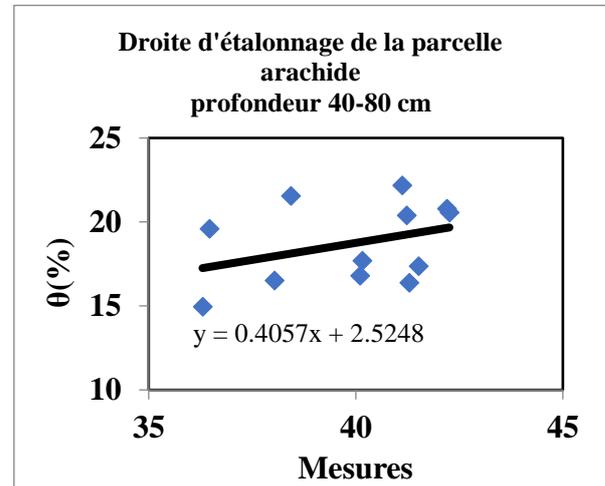
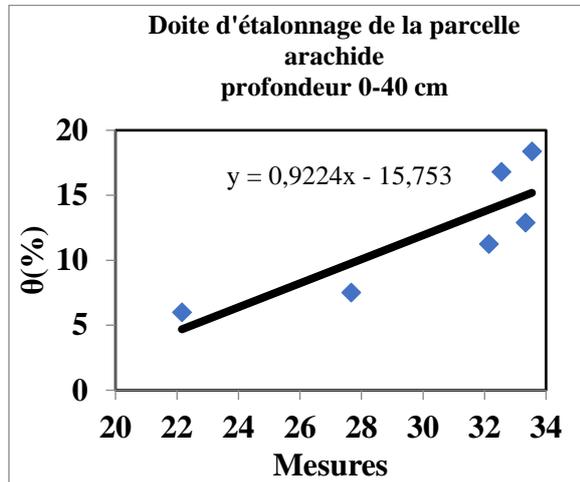
VANDERVAERE, J., 1995. Caractérisation hydrodynamique du sol in situ par infiltrométrie à disques. Analyse critique des régimes pseudo-permanents, méthodes transitoires et cas des sols encroûtés. *Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier-Grenoble 1*, pp. 1-329.

VISSER, S., 2004. Modelling nutrient erosion by wind and water in northern Burkina Faso. *Tropical Resource Papers*, ISBN 90(53), pp. 6754-7859.

WALLACE, J., GRASH, J., MCNEIL, D. & SIVAKUMAR, M., 1989. Quantifying the water the balance of dryland millet in Niger using state of the art evaporation technics. Proceeding of the forum "The state of the art of hydrology and hydrogeology in the arid and semi-arid areas of Africa". *Ouagadougou, Burkina Faso*, pp. 353-360.

VII. Annexes

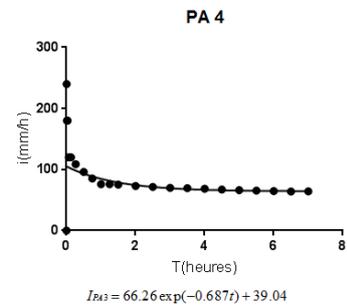
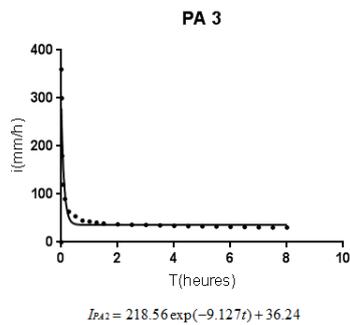
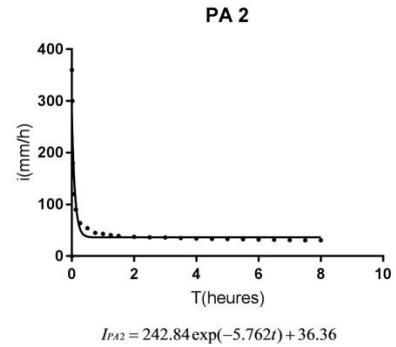
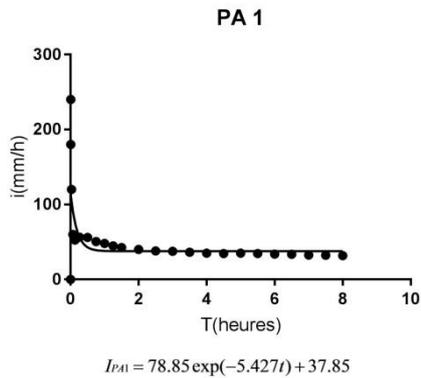
❖ Droites d'étalonnage (Annexe 1)



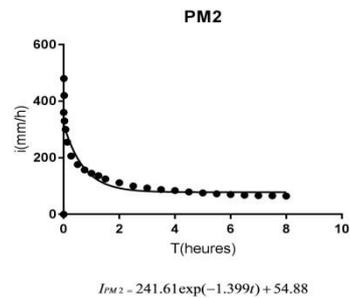
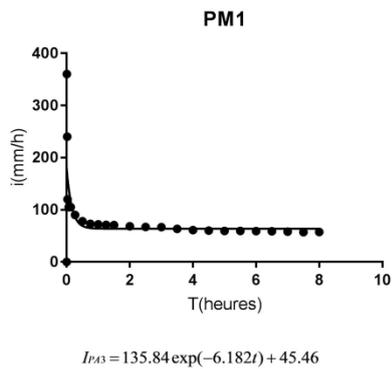
Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

❖ **Courbes de détermination de la conductivité hydraulique à saturation (Annexe 2)**

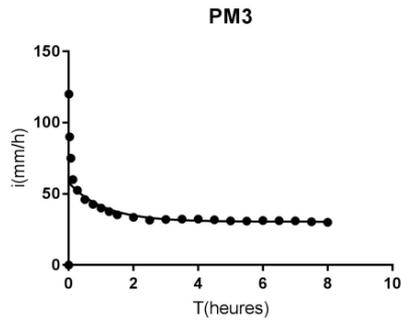
Parcelle arachide



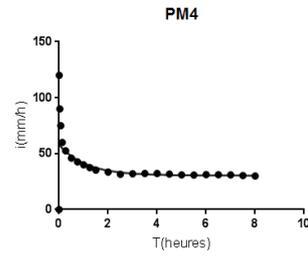
Parcelle mil



Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

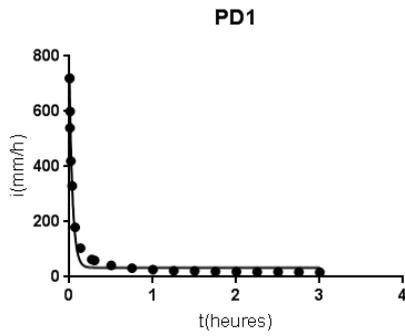


$$I_{PM3} = 27.56 \exp(-0.9158t) + 40.11$$

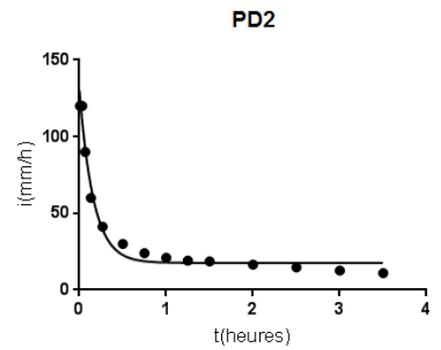


$$I_{PM4} = 30.16 \exp(-0.815t) + 43.2$$

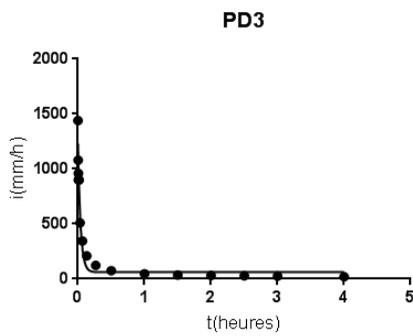
Parcelle dégradée



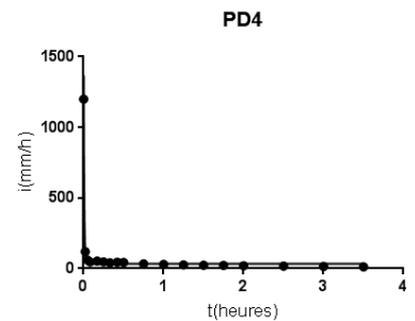
$$i = 658.33 \exp(-23.39t) + 7.62$$



$$i = 112.8 \exp(-6.139t) + 13.67$$



$$i = 1100 \exp(-20t) + 8.03$$



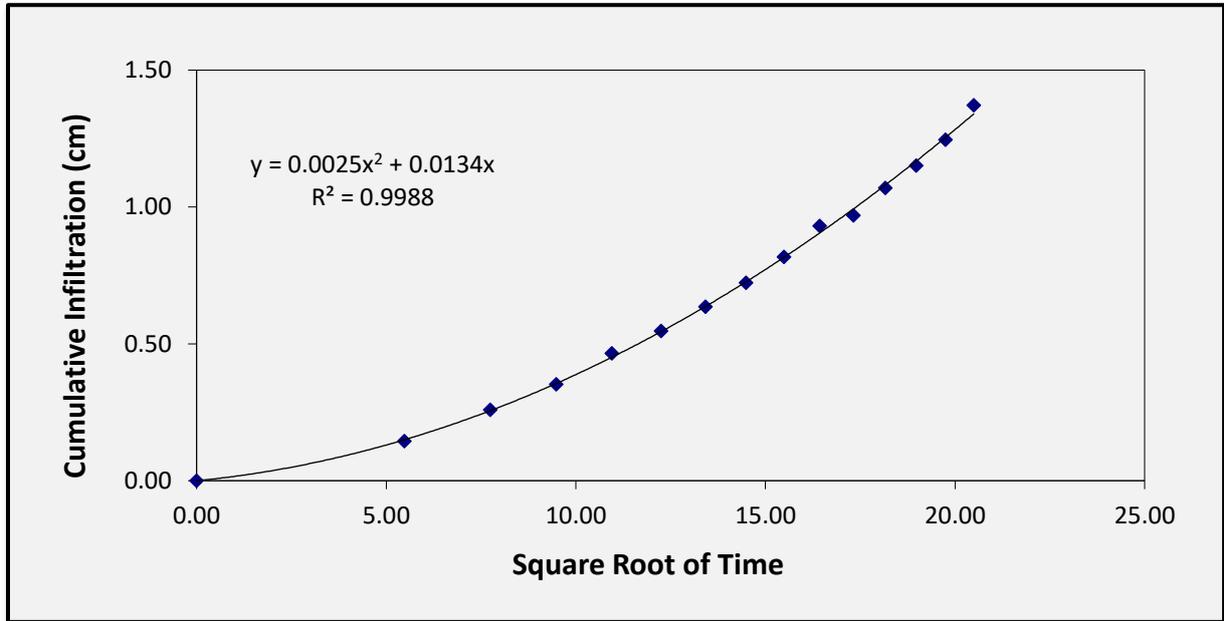
$$i = 1315.82 \exp(-127.522t) + 9.04$$

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

❖ **Courbes de détermination de la conductivité hydraulique non saturée (Annexe 3)**

Parcelle arachide

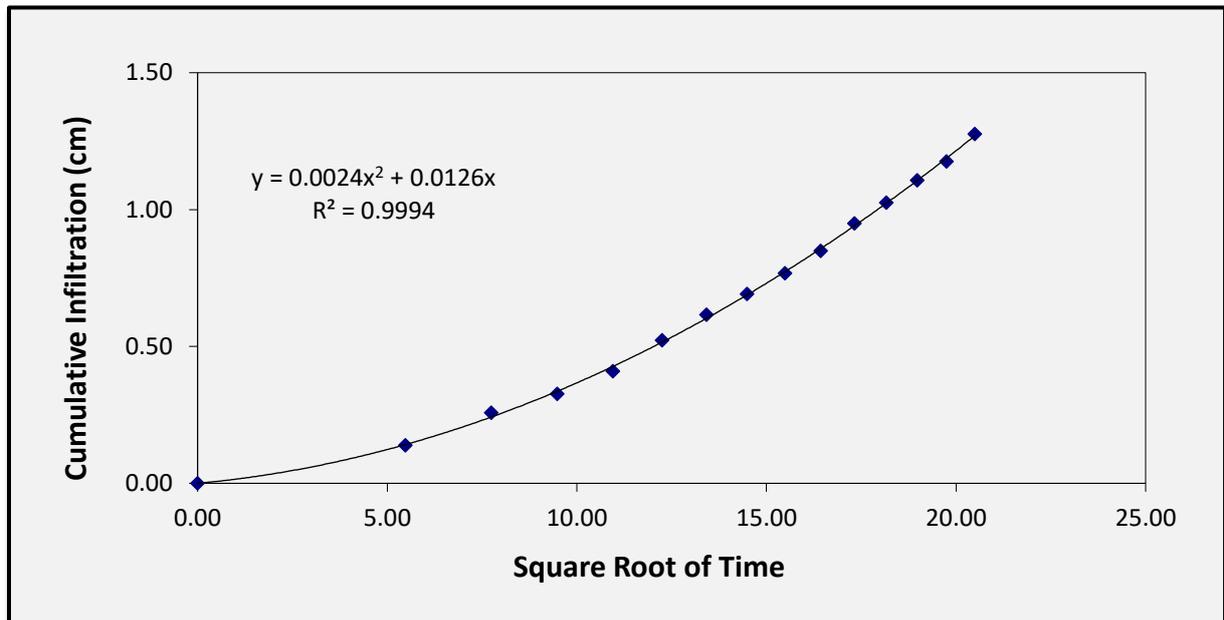
- Essai 1



A	4.300400644
C1	0.002536016 cm/s
K	0.00058972 cm/s

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

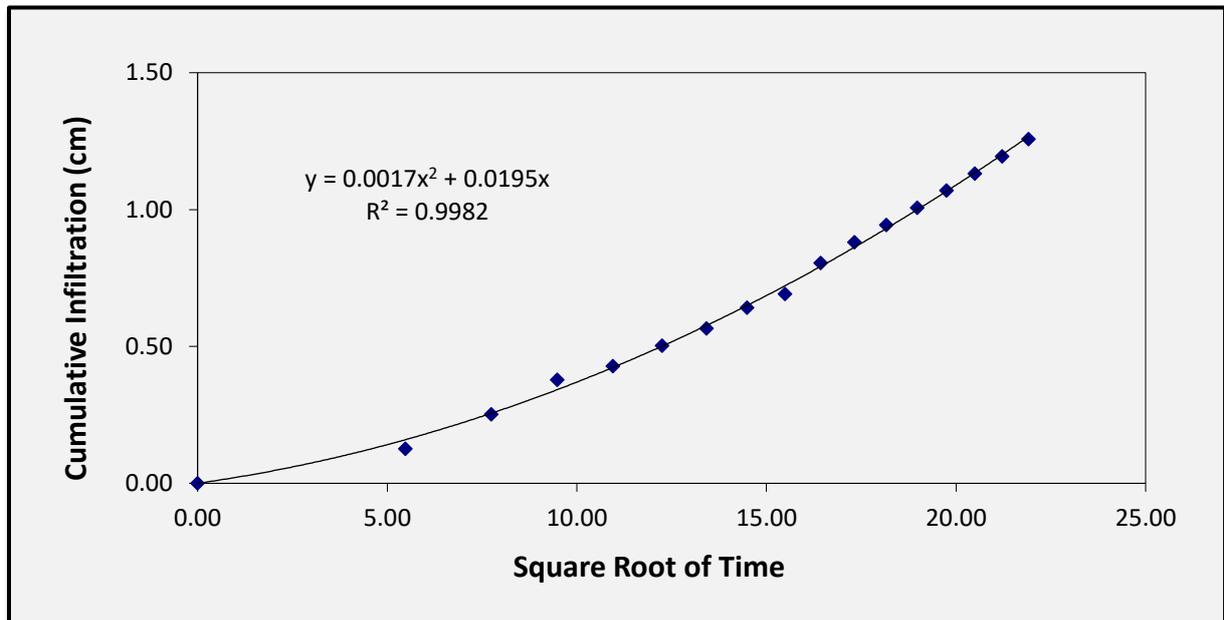
- Essai 30



A	4.300400644
C1	0.002405915 cm/s
K	0.00055946 cm/s

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

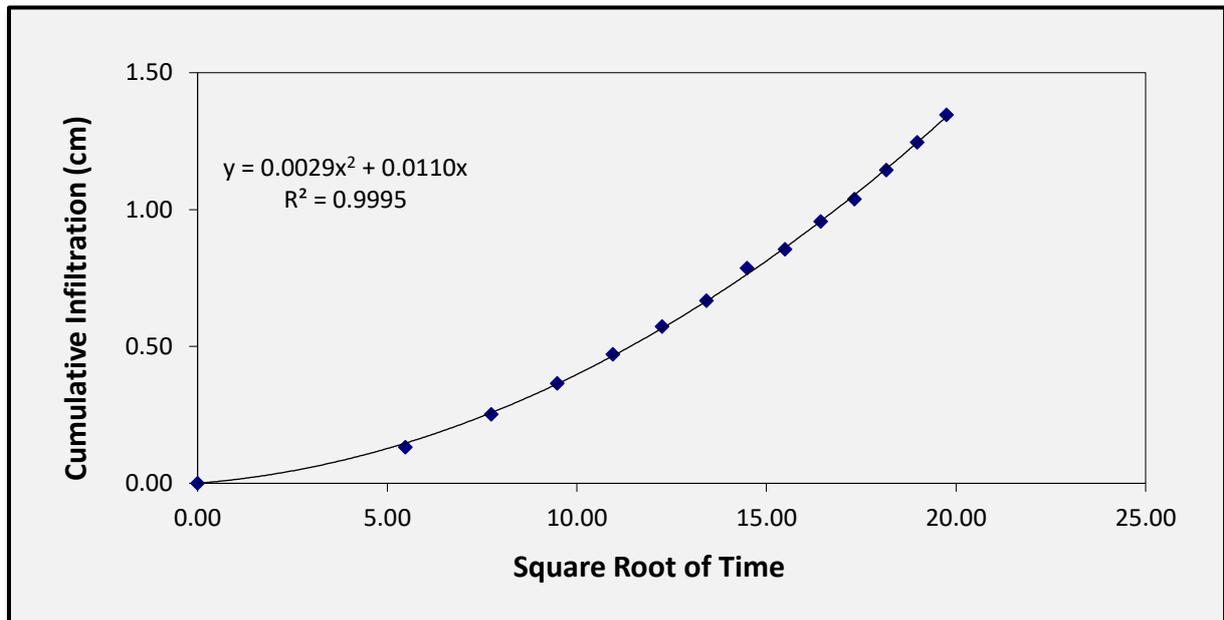
- Essai 60



A	4.096398575
C1	0.001749075 cm/s
K	0.00042698 cm/s

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

- Essai 80

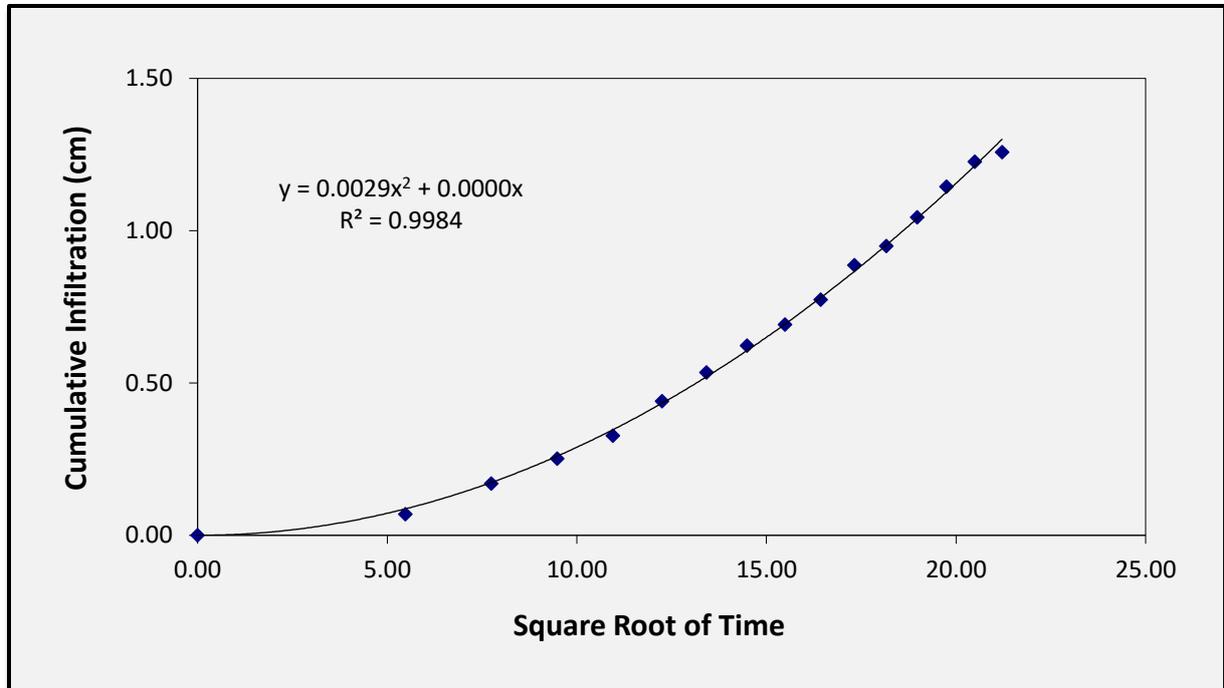


A	4.300400644
C1	0.002876997 cm/s
K	0.00066901 cm/s

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

Parcelle mil

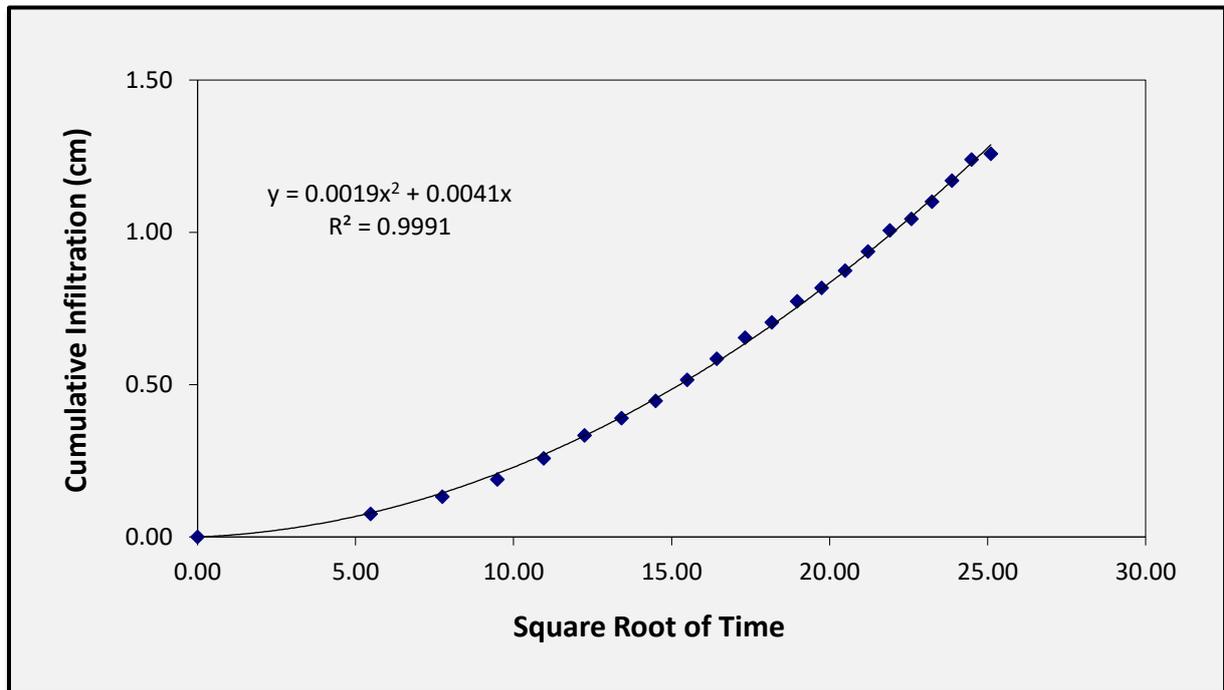
- Essai 1



A	4.089288008
C1	0.002887758 cm/s
K	0.00070618 cm/s

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

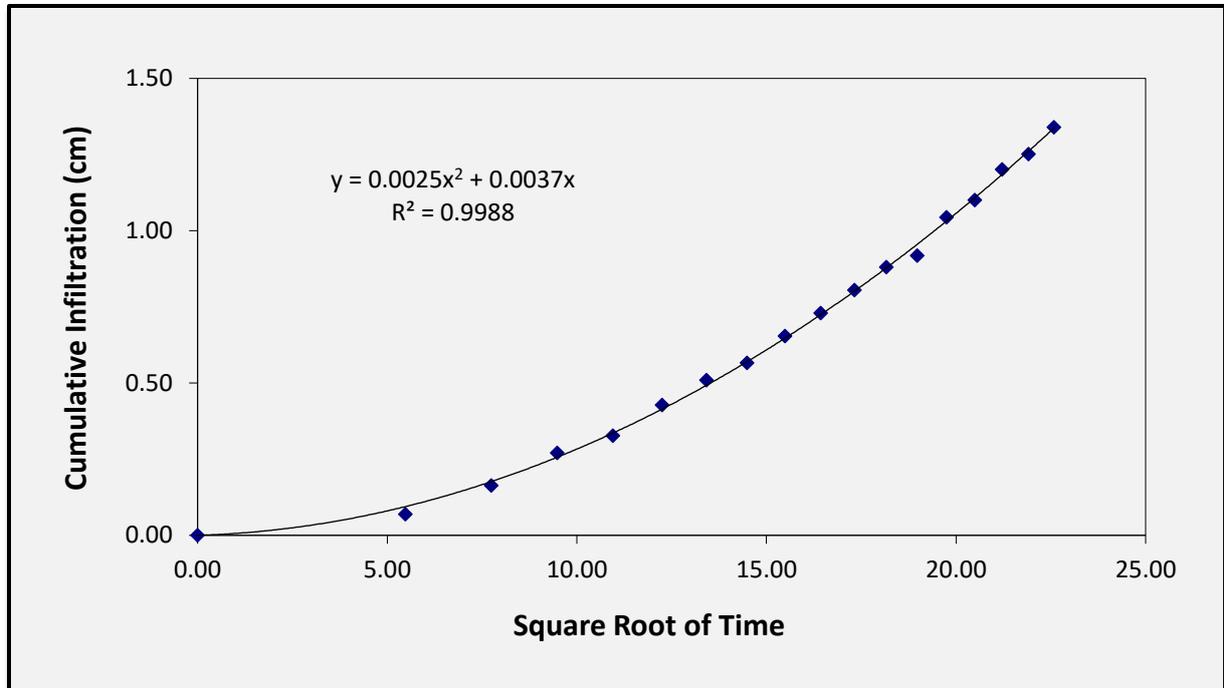
- Essai 30



A	4.089288008
C1	0.00188073 cm/s
K	0.00045992 cm/s

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

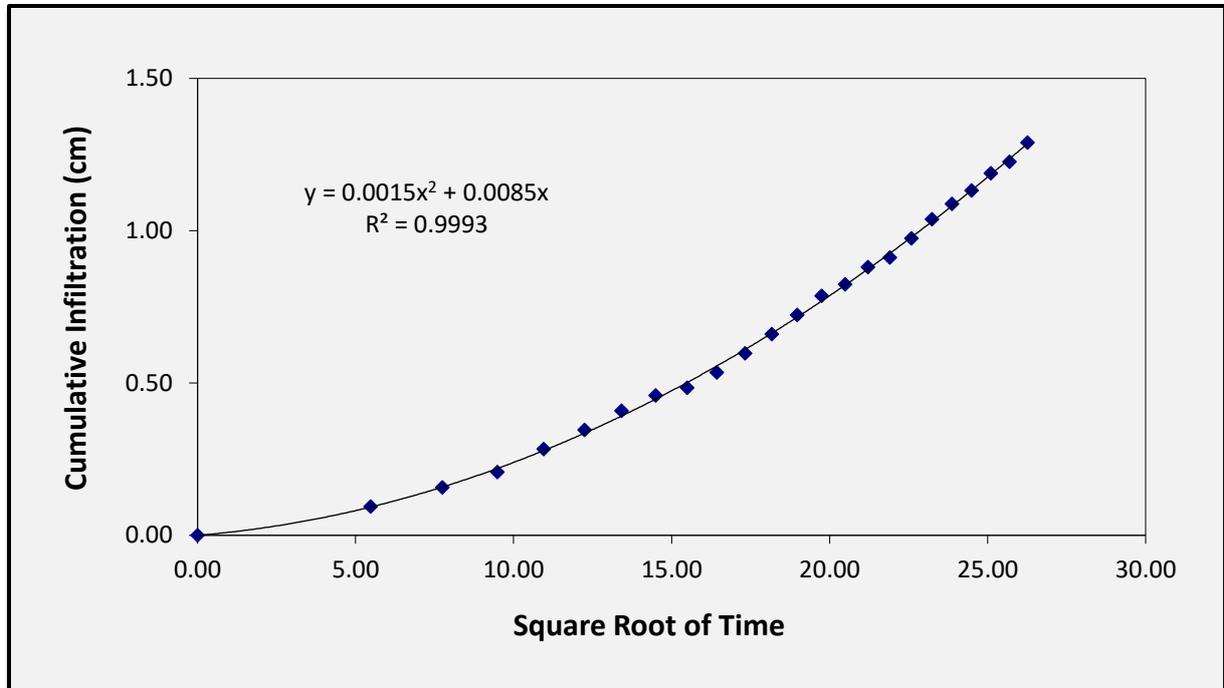
- Essai 60



A	3.570465123
C1	0.002455536 cm/s
K	0.00068774 cm/s

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

- Essai 80

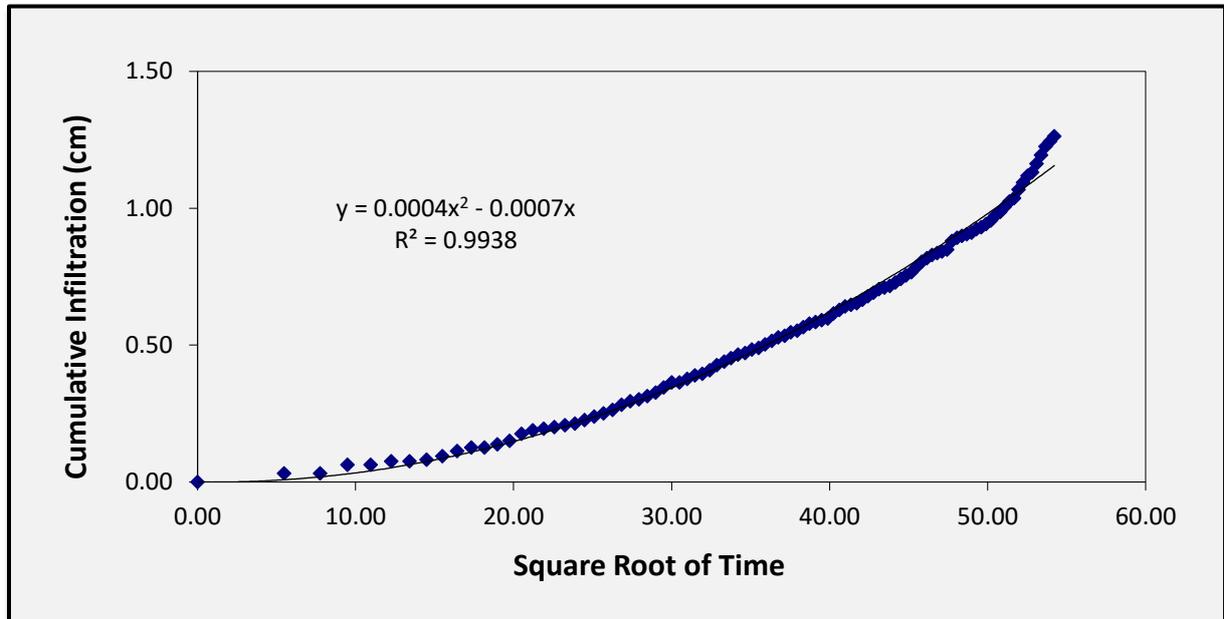


A	4.089288008
C1	0.00154084 cm/s
K	0.0003768 cm/s

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

Parcelle dégradée

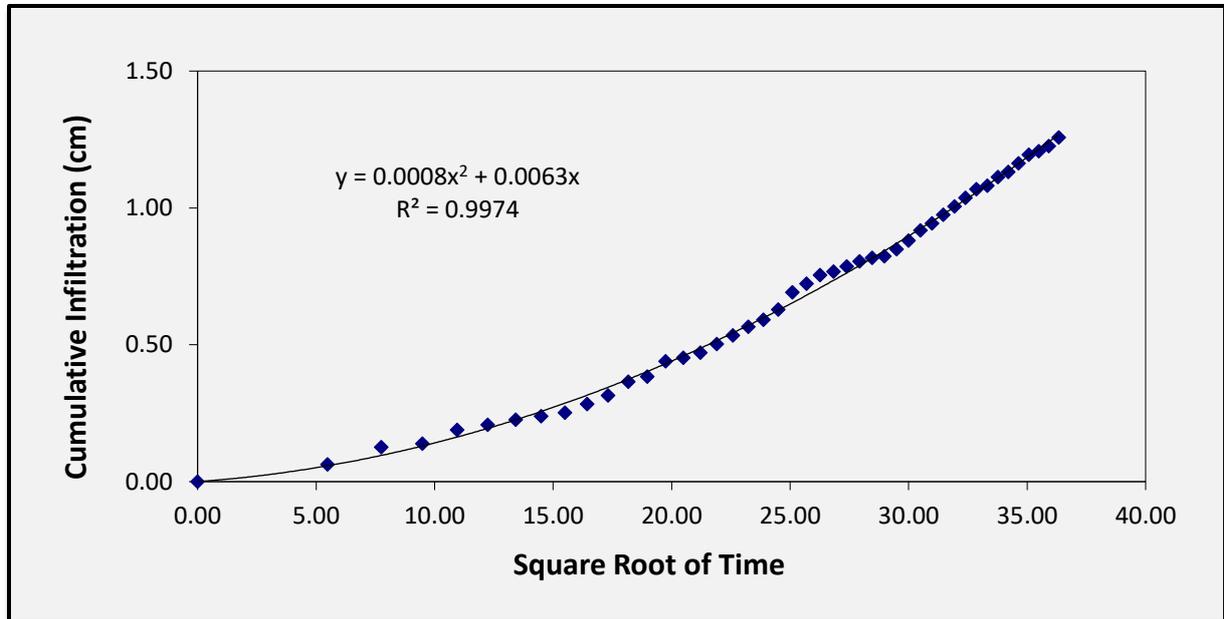
- Essai 1



A	11.23882544
C1	0.000369398 cm/s
K	3.2868E-05 cm/s

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

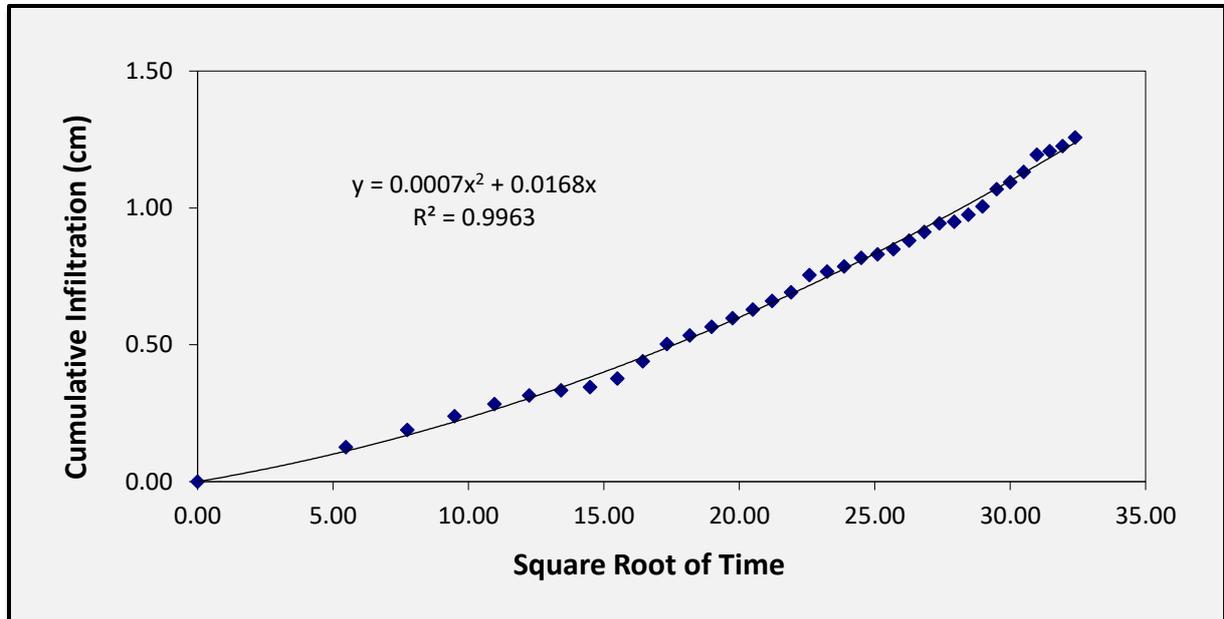
- Essai 30



A	8.714378312
C1	0.000788364 cm/s
K	9.0467E-05 cm/s

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

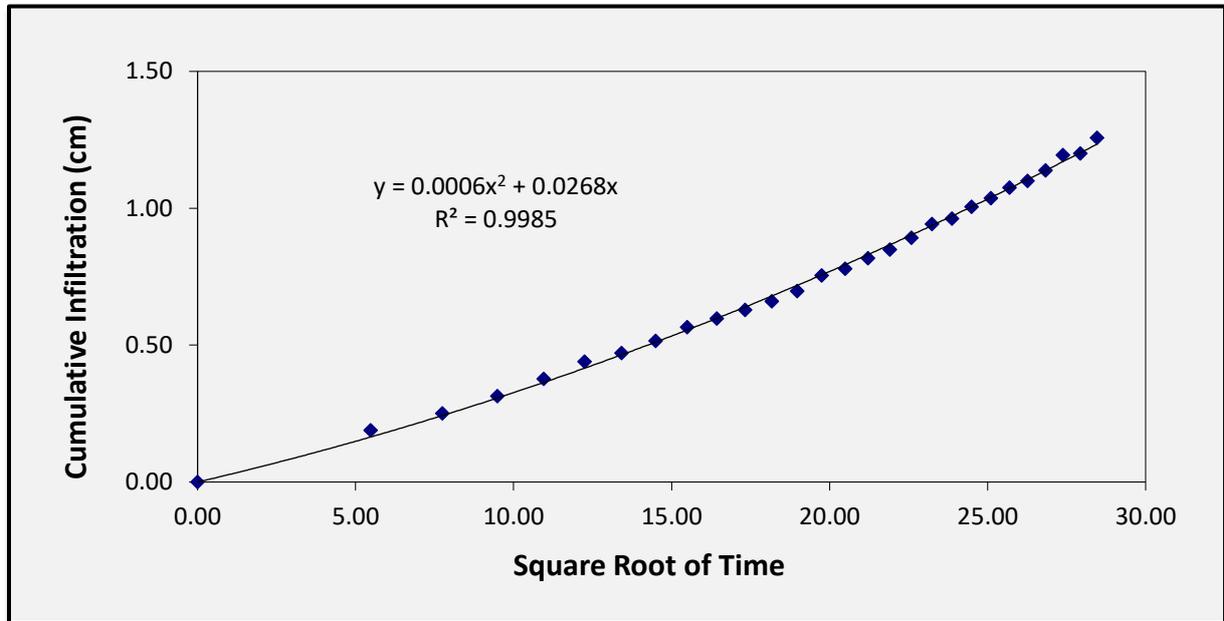
- Essai 60



A	8.714378312
C1	0.00066231 cm/s
K	7.6002E-05 cm/s

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).

- Essai 80



A	8.714378312
C1	0.000580071 cm/s
K	6.6565E-05 cm/s

❖ **Classification de Calvet en fonction de la conductivité hydraulique (Annexe 4)**

Ks (m/s)	1.00E-02	1.00E-03	1.00E-04	1.00E-05	1.00E-06	1.00E-07	1.00E-08	1.00E-09	1.00E-10	1.00E-11
Qualification	perméable			semi-perméable			imperméable			
Composition granulométrique approximative	Graviers		Sables grossiers à sables fins		Sables très fins à limons grossiers		Limons fins à argiles			
Sols	Sols à texture grossière			Sols à texture variée et sols argileux			Sols à texture fine et possédant une mauvaise			
Conséquences	Sols à faible réserve en eau, irrigation difficile, risques de pollution des eaux souterraines			Drainage moyen à bon : pas de contraintes pour les cultures; irrigation possible			Drainage très mauvais; cultures limitées à des plantes à enracinement peu profond; risques de pollution des eaux de surface par ruissellement			

❖ **Quelques illustrations du terrain (Annexe 5)**



Photo 7 : Mesure de l'humidité du sol avec le Diviner 2000

Photo 8 : Profil de sol

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).



Photo 9 : Pluviomètre automatique de la station Météo de Sanon

Photo 10 : Station Météo de Sanon

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).



Photo 11 : Parcelle Dégradée

Photo 12 : Parcelle Mil

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).



Photo 13 : Parcelle Arachide



Photo 14 : Exemple de tamisage des échantillons au laboratoire



Photo 15 : Lecture et évacuation des bacs de ruissellement après un évènement pluvieux



Photo 16 : Décharge des données automatiques du lysimètre et de l'humidité du sol

Cartographie et fonctionnement des sols du dispositif expérimental de Sanon en fonction de plusieurs états de surface (Burkina Faso).



Photo 17 : Mesures de débit à l'exutoire du bassin versant

Photo 18 : Mesure d'infiltrométrie



Photo 19 : Lysimètre automatique