



**QUANTIFICATION DES COMPOSANTES DU BILAN HYDRIQUE
DANS LE BASSIN DE SANON AU BURKINA FASO**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE
OPTION : Infrastructures et Réseaux Hydrauliques (IRH)**

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

HYBI LANGTAR Guilguet

Travaux dirigés par

Prof. Hamma YACOUBA, Professeur Titulaire CAMES

Dr. Mahamadou KOITA, Maître Assistant, CAMES

Dr. Dial NIANG, Maître Assistant, CAMES

Laboratoire Hydrologie et Ressources en Eau (LEAH)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Malicki ZOROM

Membres et correcteurs : Prof. Hamma YACOUBA
Dr. Tazen FOWE
Dr. Mahamadou KOITA
Dr. Dial NIANG

Promotion [2015/2016]

AVANT-PROPOS

Ce travail de mémoire de fin d'études a été réalisé dans le cadre du projet BRAVE dont le coordonnateur au niveau de 2iE est le Dr. Mahamadou KOITA. Il réunit une équipe interdisciplinaire de scientifiques, de renommée internationale dans le domaine des sciences naturelles et sociales. L'équipe comprend également des humanitaires, des organisations et réseaux de développement avec une large expérience de travail en Afrique et dans le monde. Elle est composée de météorologues, hydrologistes et scientifiques de l'environnement ayant une expertise en évaluation de la gouvernance, des partenaires des instituts d'Afrique et du Royaume Uni. Lancé en 2016 pour une durée de 3 ans, le projet BRAVE se fixe les objectifs suivants :

- **Intégrer de nouvelles connaissances scientifiques** dans des modèles de Système de la terre en vue de développer des outils appropriés pour la planification des ressources en eau à des échelles diverses ;
- **Tester les nouveaux outils de planification des eaux souterraines** dans huit communautés : avec une emphase sur l'irrigation à partir des eaux souterraines, couplée à un suivi actif ;
- **Evaluer les impacts des nouveaux outils** sur les moyens d'existence dans certaines communautés très pauvres du Burkina Faso et du Ghana sur la base d'un corpus d'indicateurs Co-élaborés ;
- **Echanger des connaissances** pour susciter des interactions transversales, soutenir et renforcer les institutions pour une planification efficace du développement ;
- **Produire des rapports** saisonniers sur la situation des eaux souterraines, connectées à Rainwatch-AfClix, un système d'alerte précoce aux sécheresses nouvellement opérationnel au Burkina Faso et au Ghana et sur la plateforme de la radio « Voix des Agriculteurs » ;
- **Principales caractéristiques** : partenariats multiniveaux, collaboration soutenue, véritablement interdisciplinaire.

DEDICACES

*A tous les étudiants en difficulté financière qui
aspirent aller bien loin dans la réussite et
s'efforcent de créer leurs destinées.*

"On peut beau retarder le destin d'un homme mais jamais le transformer"

REMERCIEMENTS

Le présent rapport ne saurait être une œuvre esseulée. Qu'il me soit permis d'exprimer ma gratitude à l'endroit de tous ceux et celles qui de loin et de près ont contribué à son élaboration.

Tout d'abord, mes remerciements vont à l'endroit du Professeur Hama YACOUBA, mon directeur de mémoire, qui a accepté d'assurer la direction de ce travail malgré ses multiples préoccupations. Je souhaiterais sincèrement remercier mes deux encadreurs Dr Dial NIANG et Dr Mahamadou KOITA pour leur grande disponibilité, leur dévouement et la qualité de leurs observations. Ils existent quantité de perles et de bijoux en or, mais les bijoux les plus précieux sont des lèvres qui dispensent la connaissance.

Je suis redevable également à l'ensemble du corps enseignant de 2iE pour le savoir et le savoir-faire qui m'a été transmis durant mes deux années de masters.

Je tiens à remercier M. Narcisse GAYI, coordonnateur du projet BRAVE au niveau de l'IRC.

Mes remerciements vont également à l'équipe qui m'a assisté sur le terrain pour les différents travaux : M. Maïga SALFO, M. Jean Pierre ZONGO, Boureima TIONO, NANA Aimé et BEDOUM DJERANE DAMBA Olivier.

Je ne saurais oublier mes parents et mes amis qui m'ont été d'une aide précieuse. Merci pour vos soutiens multiforme tout au long de mes études.

Que DIEU vous bénisse.

RESUME

Cette présente recherche est conduite sur le bassin versant de Sanon dans la province du Kourwéogo (région du Plateau Central). Il s'agit d'écosystème fragile et subissant d'énormes modifications dans son fonctionnement du fait des conditions climatiques et de l'action de l'Homme. Cette modification du milieu a entraîné l'apparition d'un certain nombre d'états de surface avec comme conséquence une redistribution des transferts d'eau au niveau de la zone d'étude.

Face à une telle situation, il s'avère nécessaire d'étudier l'ensemble des processus participant aux différents transferts de ce milieu. Les travaux entrepris pour cette recherche concernent dans son ensemble à la détermination des paramètres du bilan hydrique sur une zone cultivée de mil, sur une zone cultivée d'arachide, sur une zone latéritique et sur un transect.

Le site expérimental est constitué de trois parcelles de 80 m² chacune et des appareils de mesure des termes du bilan hydrique. La démarche méthodologique adoptée a consisté à la détermination des paramètres hydrauliques de surface (conductivité hydraulique non saturée), à quantifier le ruissellement et à suivre les variations spatiotemporelles de la teneur en eau, du drainage et de la hauteur de pluie.

Les résultats montrent des différences très importantes sur la relation infiltration-ruissellement au niveau des états de surfaces. En effet, la conductivité hydraulique non saturée est d'environ 0.85 cm/h sur la parcelle latéritique alors qu'elle est de l'ordre de 3.27cm/h sur la parcelle de mil. La parcelle latéritique a tendance à favoriser plus le ruissellement que l'infiltration contrairement à la parcelle de mil qui dispose d'une bonne capacité d'infiltration. Quant aux stocks d'eau disponibles sur la tranche surface du sol à la profondeur 190 cm, les valeurs sont très faibles sur l'ensemble des parcelles (moins de 70 mm) par rapport à l'apport pluviométrique (414,3 mm). L'étude du bilan montre une évapotranspiration réelle journalière variant de 3 à 5 mm, valeurs proches à celles rencontrées dans la littérature (4 à 5 mm) pour notre zone d'étude.

Mots clés :

-
- 1 - Stock**
 - 2 –Suivi hydrique**
 - 3 - sol**
 - 4 – Evapotranspiration réelle**

ABSTRACT

This present research work is driven on the Sanon hydrological network basin in the province of the Kourwéogo (region of the Central Plateau). It is about a fragile ecosystem which undergoes enormous modifications in its working because of the climatic conditions and the man's action. This modification of the middle entailed the apparition of a certain situation, as a result set of the processes participating in the different transfers of this medium.

In the face of such a situation, it turns out to be necessary to study all the process participating in the various transfers of this environment.

Works undertaken for this research concern in its whole to the determination of the parameters of the water balance on a zone cultivated of millet, on a zone cultivated of peanut, on a zone lateritic and on a transect.

The experimental site is constituted of three parcels of 80 m² each and of the devices for the water balance measurement. The adopted methodology consists of determining the surface hydraulic parameters (unsaturated hydraulic conductivity), to quantify the runoff and to follow the spatials and temporals variations of the content in water, the drainage and the height of rain.

The results show very important differences on the relation infiltration-run-off to the level of the states of surfaces. Indeed, the unsaturated hydraulic conductivity is of about 0.85 cm / h on the parcel lateritic whereas it is the order of 3.27cm /h on the parcel of thousand. The parcel lateritic tends to encourage the runoff more that the infiltration contrary to the parcel of thousand that has a good capacity of infiltration. As for the stocks of available water on the slice surface of soil to the depth 190 cm, the values are very weak on the set of the parcels (less than 70 mm) in relation to the pluviometric contribution (414,3 mm). The survey of the balance shows a variable daily real evapotranspiration of 3 to 5 mm, near values to those met in the literature (4 to 5 mm) for our zone of survey

Key words:

1 - Stock

2 – Followed hydric

3 - Ground

4 – Real evapotranspiration

LISTE DES ABREVIATIONS

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

AfClix : Africa Climate Exchange

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CTGREF : Centre Technique du Génie Rural des Eaux et des Forêts (France)

CV : Coefficient de Variation

ETP : Evapotranspiration Potentielle

ETR : Evapotranspiration Réelle

FIT : Front Intertropical

IRC : International Water and Sanitation Center

PVC : Poly Vinyl Chlorure

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Paramètres de Van Genuchten et les valeurs de A pour le mini infiltromètre	14
Tableau 2: Valeurs moyennes de la conductivité hydraulique sur les différentes parcelles	25
Tableau 3: classe de perméabilité en fonction de la conductivité hydraulique	26
Tableau 4: Valeurs de conductivité hydraulique suivant la nature du sol.....	26
Tableau 5: lame d'eau ruisselée sur différentes parcelles.....	33
Tableau 6: lame d'eau drainée	34
Tableau 7: Composantes du bilan hydrique du 17 juillet au 03 septembre.....	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1: carte de localisation du site expérimentale de Sanon	3
Figure 2: Précipitations mensuelles enregistrées à Sanon.....	5
Figure 3: Carte géologique simplifiée du Burkina Faso	5
Figure 4: Coupe lithologique d'un forage du site expérimental de Sanon (modifié d'après BRGM, 1991).....	6
Figure 5 : carte de localisation des équipements et des parcelles du site de Sanon	10
Figure 6: Dispositif de mesure sur les différentes parcelles expérimentales	10
Figure 7: schéma du mini infiltromètre à disque.....	13
Figure 8: Exemple de calcul de la conductivité hydraulique	15
Figure 9: Cycle hydrologique de l'eau.....	16
Figure 10: dispositifs de mesure du ruissellement	20
Figure 11: Schéma du lysimètre Drain Gauge G3	21
Figure 12: Appareils de mesure d'humidité du sol.....	22
Figure 13: Evolution temporelle de l'humidité volumique sur la parcelle N°1 à 10, 50 et 120 cm	27
Figure 14: Evolution temporelle de l'humidité volumique sur la parcelle N°2 à 10, 50 et 120 cm	28
Figure 15: Evolution temporelle de l'humidité volumique sur la parcelle N°3 à 10, 50 et 120 cm	28
Figure 16: Profil hydrique mesuré sur la parcelle N°1.....	29
Figure 17: Profil hydrique mesuré sur la parcelle N°2.....	29
Figure 18: Profil hydrique mesuré sur la parcelle N°3.....	30
Figure 19: Evolution temporelle du stock hydrique sur la parcelle N°1	31
Figure 20: Evolution temporelle du stock hydrique sur la parcelle N°2.....	31
Figure 21: Evolution temporelle du stock hydrique sur la parcelle N°3	32
Figure 22: pluviométrie de juillet à septembre à Sanon.....	33
Figure 23: Composantes du bilan hydrique du 17 juillet au 03 septembre	35

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	i
DEDICACES	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
I. INTRODUCTION	1
II. MATERIELS ET METHODES	3
2.1. Généralités sur la zone d'étude	3
2.1.1. Cadre géographique.....	3
2.1.2. Caractéristiques climatiques.....	4
2.1.3. Géologie	5
2.1.4. Végétation	7
2.1.5. Géomorphologie.....	7
2.1.6. Activités socio-économiques.....	8
2.2. Cadre expérimental	8
2.3. Méthode de d'estimation des paramètres hydrodynamiques	11
2.3.1. Description de du mini infiltromètre à disque.....	12
2.3.2. Mise en œuvre de l'essai	13
2.3.3. Méthodologie d'interprétation.....	14
2.4. Bilan hydrique et ses principaux termes	16
2.4.1. Principe du bilan hydrique	16
2.4.2. Mesure de précipitation	18
2.4.3. Mesures du ruissellement	19
2.4.4. Mesures de drainage.....	20
2.4.5. Mesures du stock d'eau	21

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS	24
3.1. Résultats	24
3.1.1. Caractérisation des propriétés hydrauliques de surface	24
3.1.2. Estimation des paramètres hydrodynamiques	25
3.1.3. Étude des paramètres d'état du sol	27
3.1.4. Détermination des composantes du bilan hydrique.....	32
3.2. Discussion	35
IV. CONCLUSION.....	38
V. RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES	39
BIBLIOGRAPHIE.....	40
ANNEXES.....	43

I. INTRODUCTION

Les pénuries alimentaires causées par la sécheresse et les inondations excessives ont affecté environ 31 millions de personnes de 2012 à 2013 (ROSS, 2014). Les victimes se dénombrent en grande partie dans la corne de l’Afrique et au Sahel ouest africain. Ces zones de l’Afrique sont fortement affectées par les effets du changement climatique.

La sécheresse et les inondations excessives résultent en partie de la mauvaise gestion des ressources en eau. La conférence internationale sur l’eau et l’environnement, réunie à Dublin (Irlande) en 1992 posait déjà un constat de la mauvaise gestion de l’eau à l’échelle mondiale. Le principe N°2 de la déclaration de Dublin énonce que : « la gestion et la mise en valeur des ressources en eaux doivent associer usagers, planificateurs et décideurs à tous les échelons ». Cet appel a conduit à la mise en place partout en Afrique, des systèmes de gestion plus efficaces, suivis et encouragés par les pays donateurs et certains organismes et instituts. Au Burkina Faso, la gestion de l’eau se heurte à plusieurs problèmes dont les plus évidents sont : des problèmes d’ordre naturel (climat, géologie, hydrographie, etc.), des problèmes socio-économiques (démographie, régime foncier, pauvreté, etc.) et des problèmes techniques (manque de techniciens, de données, de matériels de gestion, etc.) (SANOGO, 1997).

L’étude des problèmes de gestion de l’eau en agriculture (drainage ou irrigation) passe par la compréhension du bilan hydrique au niveau du sol (GUERIN et al, 2012). La compréhension du bilan hydrique du sol intéresse un éventail de disciplines scientifiques et techniques : science du sol, agronomie, gestion de l’eau, conseil à l’irrigation, télédétection et modélisation du climat du globe (CHOISNEL, 1992).

Pour une gestion efficace de la ressource en eau, il est impératif d’approfondir les études sur les termes du bilan hydrique. C’est ce qui justifie cette étude de quantification qui porte un regard particulier sur tous les éléments physiques du milieu : précipitation, ruissellement, infiltration et humidité du sol.

Le site expérimental de Sanon a ainsi été retenu pour l’ensemble des études. Il s’agit d’un bassin versant disposant de nombreux forages et piézomètres (COMPAORE, 1997).

Cette étude vise principalement à contribuer à une meilleure connaissance des différentes composantes du bilan hydrique du bassin versant de Sanon et leur évolution dans le temps.

D'une manière spécifique, il s'agira de :

- Caractériser les propriétés hydrauliques de surfaces ;
- Etudier l'évolution spatio-temporelle des variables d'état ;
- Quantifier les composantes du bilan hydrique.

Pour atteindre les objectifs suscités, le présent document s'articulera autour de quatre grandes parties :

La première partie présente une introduction qui ressort le contexte, la problématique et les objectifs de cette étude. La seconde partie concerne le matériel utilisé et traite de la démarche méthodologique utilisée pour l'atteinte des objectifs fixés. La troisième partie présente les résultats obtenus tout en portant une discussion sur ces derniers. Enfin, la conclusion fera la synthèse des principaux résultats de l'étude.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. Généralités sur la zone d'étude

2.1.1. Cadre géographique

Le site expérimental de Sanon (Figure 1) est situé dans la province du Kourwéogo à une distance d'environ 30 km au Nord-Ouest de la ville de Ouagadougou, capitale du Burkina-Faso. Il s'étend sur une superficie d'environ 14 km² et son exutoire est localisé par les coordonnées géographiques qui sont : 12°26'18'' de latitude Nord et le 01°48'81'' de longitude Ouest.

Le relief de Sanon est constitué d'une large vallée relativement plate, de pente orientée vers l'Ouest, délimitée par des collines latéritiques qui affleurent au nord et au sud dominant une cinquantaine de mètre. Cette vallée ainsi que les affluents avec lesquels elle converge drainent les eaux des marigots en saison de pluie vers le bassin de Nazinon (Volta Rouge).

La Direction du projet info route collectivité territoriale du Burkina Faso estime la population à 2302 habitants en 2016. Les groupes ethniques dominant sont les Mossis, ensuite viennent les Yarcès et les peulhs qui sont nettement minoritaires.

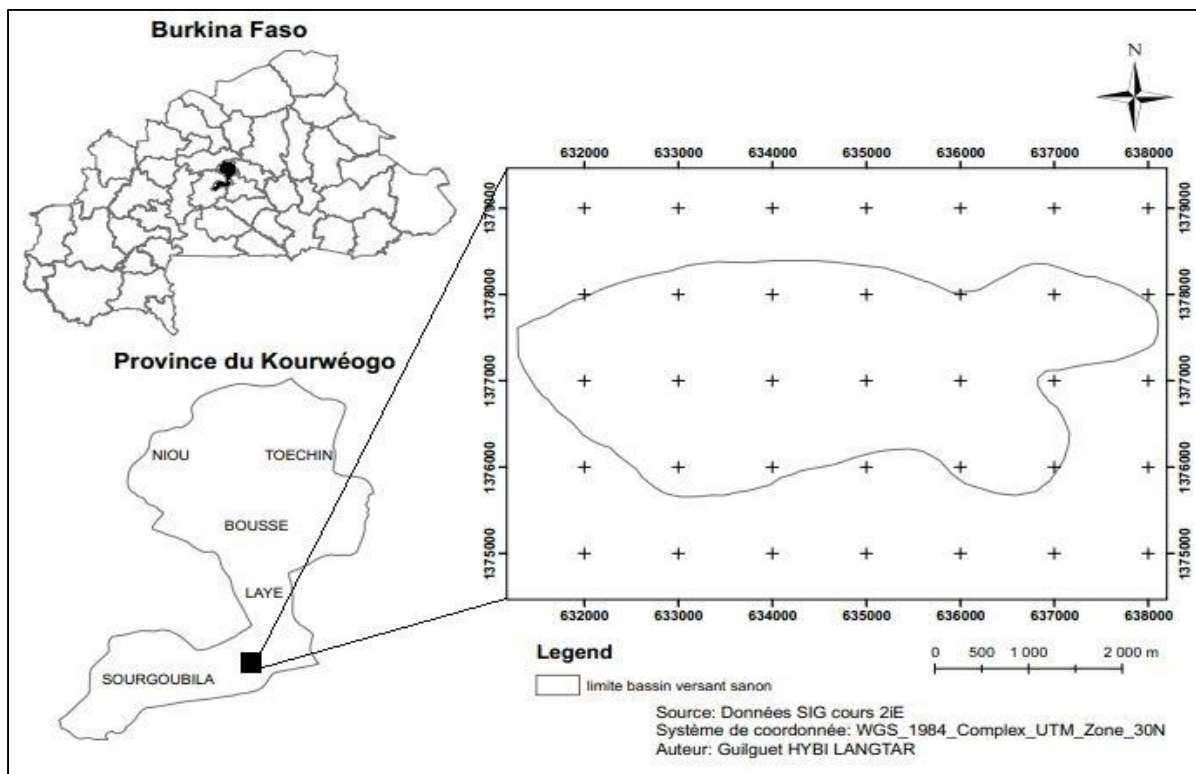


Figure 1: carte de localisation du site expérimentale de Sanon

2.1.2. Caractéristiques climatiques

Le site de Sanon est sous l'influence du climat de type soudano-sahélien avec deux saisons bien distinctes : une saison sèche allant d'octobre à juin et une saison de pluie de juin à septembre. Cette alternance des saisons sèches et humides caractéristiques du climat tropical sec ou soudanien est due à l'oscillation latitudinale (LEROUX, 1983). D'après WELLENS. (2007), ce rythme saisonnier est tributaire des vents sahariens et des moussons océaniques qui circulent des hautes pressions sahariennes à l'anticyclone de Sainte Helene. En saison sèche, l'alizé continental, vent chaud et sec appelé aussi harmattan, souffle sur tout le Burkina Faso d'octobre à mars et en prenant une direction Nord-Est/Sud-Ouest. De novembre à février, le harmattan est relayé par l'alizée boréal, le flux d'air humide ou alizé austral venant du Sud/sud-Ouest appelé la mousson se glisse sous le harmattan dont elle est séparée par un plan incliné du Sud vers le Nord (Front Intertropical). Le Front Intertropical (FIT) fait la navette entre la côte et le Sud du Sahara. Dans la zone sahélienne du Burkina Faso, le passage du flux d'air chaud et sec à un flux d'air humide ou vice versa se produit deux fois par an, l'un en avril et l'autre en octobre. L'alternance des saisons dans la zone sahélienne dépend alors de la progression du FIT.

Dans le cadre de notre étude, il a été relevé à Sanon pour les années 2011, 2012, 2013, 2014 et 2015 respectivement 674,6 ; 803,3 ; 622,7 ; 654,6 et 836,6 mm de pluie. La valeur moyenne pour ces quatre années est de 718,3 mm. Suite à la panne qu'a connue la station météorologique de Sanon, un pluviomètre a été installé sur le site et a permis de recueillir les pluies durant l'année 2016 de juillet à septembre. La hauteur moyenne des pluies collectées durant cette année est de 692,9 mm. La figure 2 montre les précipitations mensuelles pour les années 2013, 2014, 2015 et 2016.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne mensuelle estimée pour les années de 1988 à 1994 (136.3 mm en moyenne) est généralement supérieures aux précipitations toute l'année à l'exception des mois de juillet et d'août pendant lesquels la pluie est abondante (COMPAORE, 1997).

Les périodes les plus chaudes de l'année sur le site de Sanon se situent entre mars et mai. Les températures maximales moyennes peuvent atteindre 40°C. Le minimum des températures mensuelles (15°C à 20°C) est observé durant la période d'harmattan (Données météo station de Sanon).

La moyenne des vitesses du vent au cours de l'année est observée dans le mois d'avril avec une valeur de 6,1 m/s. Les vents s'adoucissent pendant la saison pluvieuse à partir de juillet jusqu'en Novembre avec une vitesse moyenne de 3,3 m/s. Elle augmente à partir du mois de décembre avec l'arrivée du harmattan jusqu'à atteindre 6 m/s.

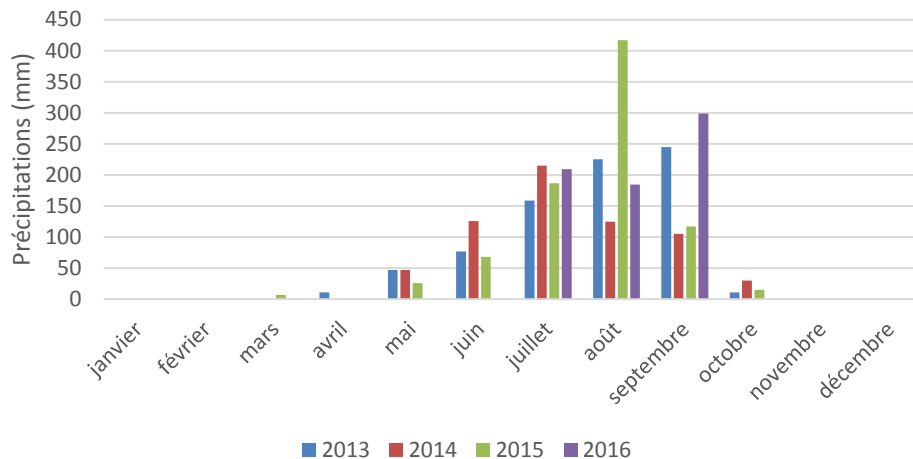


Figure 2: Précipitations mensuelles enregistrées à Sanon

2.1.3. Géologie

La géologie du Burkina est constituée à plus de 80% par des formations de socle contre 20% de formation sédimentaire. D'après la carte géologique simplifiée du Burkina Faso (Figure 3), le site de Sanon est situé dans la zone de socle qui représente la grande partie de la géologie du pays.

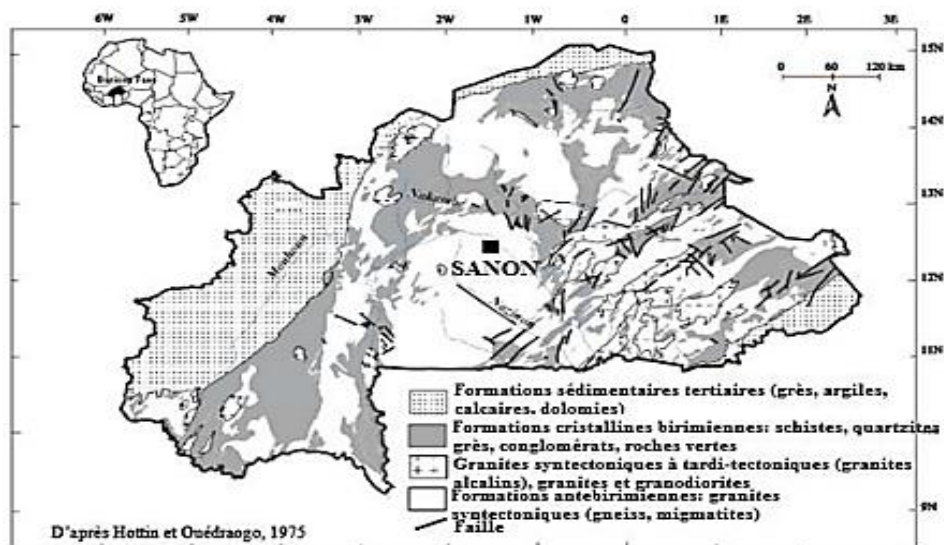


Figure 3: Carte géologique simplifiée du Burkina Faso

Les coupes lithologiques de forages réalisées lors de nombreuses campagnes de foration dans le cadre des programmes d'hydrauliques villageoises et des projets de recherche dans le village ont permis d'avoir plus d'informations sur la géologie du site (COMPAORE, 1997).

On remarque une prédominance de formation granito gneissique voire migmatique au sein des quelles s'intercalent des roches vertes (Figure 4). Le substratum est recouvert par un manteau d'altérité d'épaisseur qui varie de 30 à 50 m dans la vallée et d'environ 25 m dans la partie Ouest (COMPAORE, 1997).

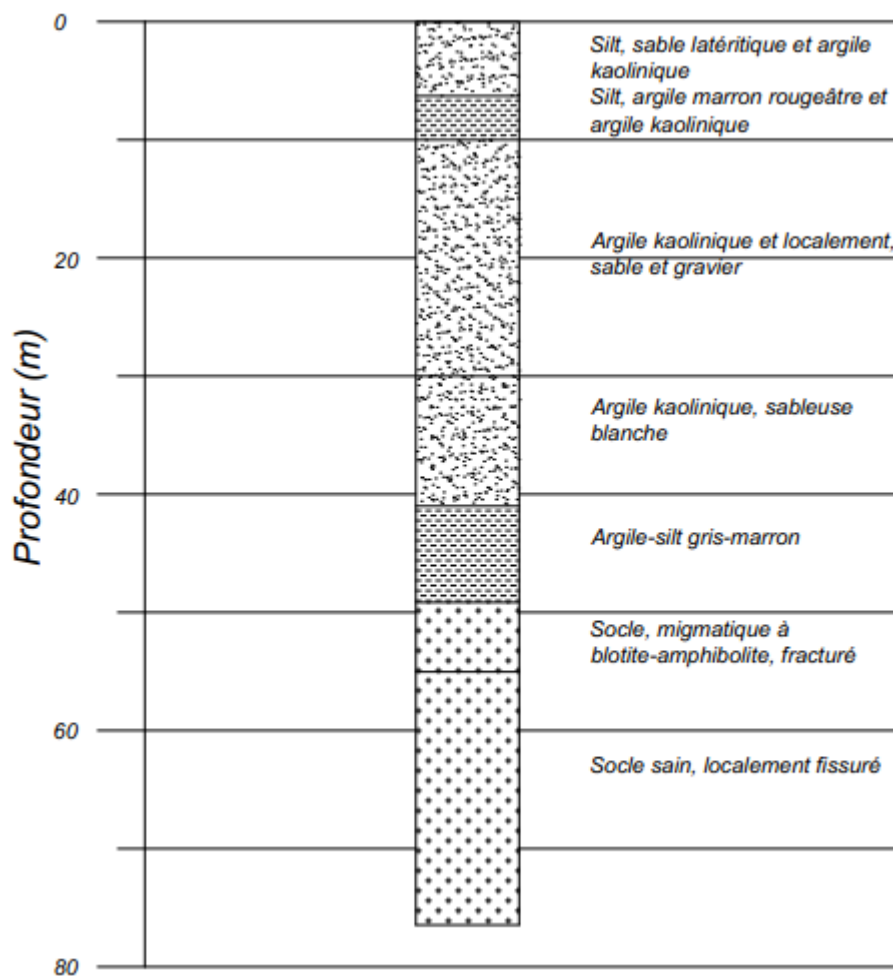


Figure 4: Coupe lithologique d'un forage du site expérimental de Sanon (modifié d'après BRGM, 1991)

2.1.4. Végétation

La végétation du site de Sanon est dominée par des formations de type savane et steppes arbustives. Les espèces telles que *khaya senegalensis*, *Lanea acida*, *Ziziphus mauritania*, *Anogeissus leocapus*, *Acacia Albida*, *Ficus gnaphalocarpa* sont plus répandues (RINGTOUMDA, 1991). Les arbustes du genre *Pilostigma* abondent dans les zones non cultivées situées dans la vallée (COMPAORE, 1997).

2.1.5. Géomorphologie

L'esquisse planimétrique ainsi que la délimitation des morpho paysages dans le secteur de Sanon vaste d'environ 300 km² ont permis de diviser ce secteur en deux parties, du point de : partie Ouest et partie Est (BRGM-AQUATER, 1991). Bien que situé à proximité de la limite apparente entre ces deux zones, le site de Sanon appartient sans ambiguïté à la partie Ouest.

La partie Ouest est drainée par des rivières coulant d'Est en Ouest et appartenant au bassin de Nazinon (ex Volta Rouge). Le paysage est caractérisé par des collines de faible hauteur à sommet tabulaire jacentes. Les auteurs suggèrent que compte tenu de la perméabilité de la latérite vacuolaire, l'infiltration des pluies est facile et immédiate sur les reliefs et que de ce fait s'opposent deux types morphologiques (BRGM-AQUATER, 1991) :

- Les reliefs convexes autour desquels l'eau tend à s'écouler à faible profondeur, gravitairement, vers la plaine selon des systèmes hydrogéologiques dissipatifs, donc peu porteurs de végétation et mal soulignés de ce fait ;
- Les types morphologiques concaves typiques de collines disposées en cirques qui constituent des systèmes concentrateurs des écoulements gravitaires. Ils se marquent par des concentrations de végétation qui traduisent une humidité plus abondante.

2.1.6. Activités socio-économiques

Les activités socio-économiques dans le village de Sanon reposent essentiellement sur l'agriculture, l'élevage et le commerce.

L'agriculture occupe une place relativement importante dans les activités économiques de la localité de Sanon en termes de source de revenus et d'occupation de la population active. Elle est limitée cependant depuis quelques années par les déficits pluviométriques. La pratique des cultures maraîchères est encore peu développée. Une gamme de cultures pluviales est par contre pratiquée. On y trouve : le petit mil, le sorgho rouge, le sorgho blanc, le riz, le maïs, l'arachide, le sésame, le haricot, le poids de terre, etc. (enquête Sanon, 2016). Cette agriculture n'est pas seulement pratiquée pour la consommation. Les produits sont également destinés à la vente.

L'élevage constitue la deuxième activité économique porteuse après l'agriculture. Le cheptel est composé de zébus et d'ânes, ces derniers étant utilisés pour les travaux agricoles et le transport. Les chèvres, les moutons, les porcs et les volailles sont également des espèces les plus répandues (enquête Sanon, 2016). Dans la localité l'élevage a également une fonction sociale. Il sert à célébrer des cérémonies telles que les funérailles, les dots, les mariages, etc. Ce qui lui confère en grande partie un caractère traditionnel.

L'activité commerciale dans le village se trouve encore à un stade embryonnaire. Elle est gérée par des petits détaillants et se résume le plus souvent à la vente des produits de première nécessité tels que le savon, le sucre, le sel, l'essence, l'huile, etc. Le marché principal se tient chaque trois jours et enregistre des flux d'échange relativement importants avec la participation des villages environnants (enquête Sanon, 2016).

2.2. Cadre expérimental

L'étude a été réalisée dans le domaine expérimental de Sanon. Ce site dispose de trois (3) parcelles expérimentales d'égales dimensions (4. x 20 m) : La parcelle N°1 est située sur la crête latéritique au Nord du bassin versant dans des conditions naturelles. Les deux autres parcelles sont implantées à l'intérieur des exploitations agricoles. La culture envisagée pour la parcelle N°2 est le mil. La parcelle N°3 quant à elle est exploitée pour la culture de l'arachide. Le choix de ces cultures se justifie par le fait que, le mil est une céréale qui constitue à Sanon et par extension en zone sahélienne un aliment de base. Il est utilisé pour la préparation du tô

(boule de pâte préparée à partir de la farine), de la bouillie, des beignets etc.(RUSAGARA, 2016). L'arachide quant à elle est une légumineuse qui sait résister à la sécheresse et à la chaleur et fait partie des aliments les plus consommés dans la zone. Ses fruits mûris sous terre sont directement consommés ou servent à la fabrication de la pâte d'arachide, de l'huile d'arachide, etc. Ces différentes parcelles ont été réalisées dans le but de constater l'influence de la couverture superficielle du sol sur le bilan afin de mieux étudier toutes les composantes du bilan hydrique.

La lecture des pluies sur le site est faite à l'aide d'un pluviomètre installé tout dernièrement suite à la panne qu'a connue la station météo de Sanon. Il est installé à une distance presque identique des trois parcelles.

Vingt-huit (28) tubes d'accès d'humidité en PVC sont installés dans l'aire d'étude à 2 m de profondeur. Les parcelles N°2 et N°3 bénéficient chacune de trois tubes, tandis que la parcelle N°1 ne dispose que d'un seul tube. Ils permettent de mesurer l'humidité du sol ; ce qui servira au calcul de la variation de stock dans le sol.

Chaque parcelle est dotée d'un lysimètre installé à 2 m de profondeur destiné à recueillir l'eau qui traverse cette tranche de sol. Au-delà de 2 m l'eau perdu par percolation est supposée recharger la nappe phréatique.

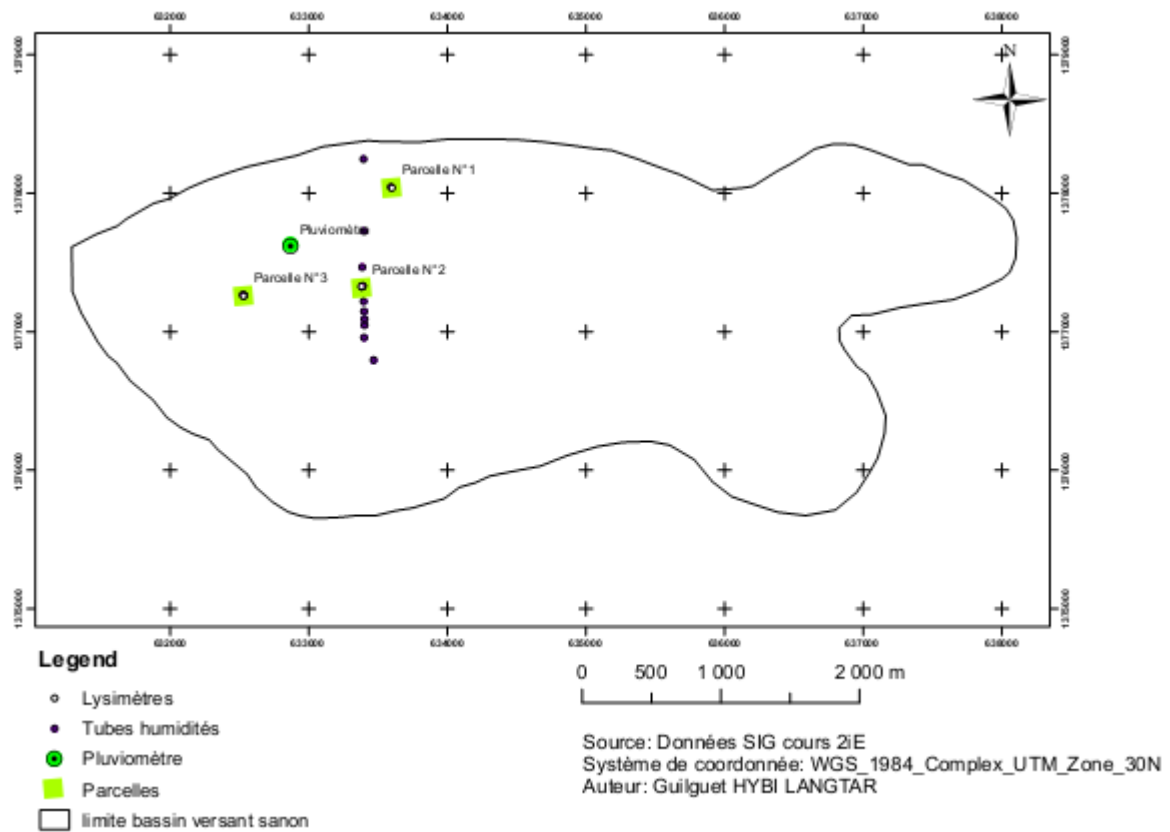


Figure 5 : carte de localisation des équipements et des parcelles du site de Sanon

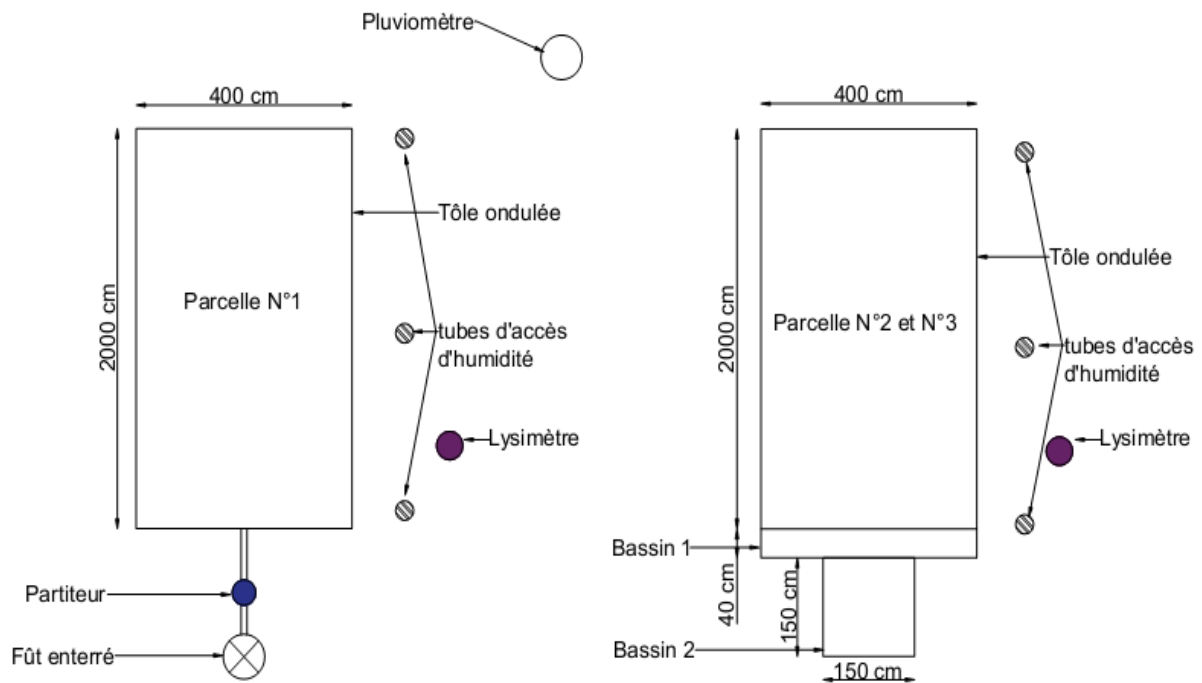


Figure 6: Dispositif de mesure sur les différentes parcelles expérimentales

2.3. Méthode de d'estimation des paramètres hydrodynamiques

Trois approches bien distinctes permettent d'estimer les paramètres hydrodynamiques (SCHNEIDER, 2009) :

- La première, est l'utilisation de fonctions de pédotransfert. Il s'agit de fonctions mathématiques permettant d'estimer les courbes de rétention en eau et de conductivité hydraulique à partir de mesures de granulométrie, de porosimétrie, de teneur en matière organique ou encore de masse volumique apparente. Les travaux effectués montrent que les résultats obtenus en utilisant les fonctions de pédotransfert sont meilleurs lorsqu'ils sont basés sur un ensemble important de données (GUERIN et al., 2012).
- La seconde approche consiste à faire des essais sur des échantillons de sols intègres ou des échantillons remaniés et reconstitués au laboratoire. On utilise par exemple la méthode de la chambre à pression pour la détermination de la courbe de rétention, et l'essai à charge faible (méthode de Darcy) pour mesurer la conductivité hydraulique. Cependant ces mesures peuvent être non représentatives des conditions de terrain.
- La dernière enfin est celle des méthodes dites inverses. Le principe général de ces méthodes est de dériver les propriétés hydrodynamiques d'un sol à partir de mesures réalisées lors d'une expérience qui implique un flux d'eau. Il peut s'agir par exemple, d'une infiltration d'eau ou d'une évaporation. Les mesures peuvent être la teneur en eau volumique du sol, la quantité d'eau infiltrée ou évaporée, ou encore le potentiel matriciel. L'avantage de ces méthodes est que les expériences sont plus courtes (car il n'est pas nécessaire d'atteindre un régime permanent) et l'information contenue est aussi plus large car le régime transitoire explore un domaine de valeurs des variables plus grand que le régime permanent (par exemple la sorptivité dans le cas d'un infiltromètre à disque).

Deux paramètres suffisent pour caractériser l'écoulement de l'eau dans le sol (VACHAUD et al., 1991) : la pression capillaire qui traduit la capacité d'un sol à retenir l'eau sous l'effet de la capillarité et la conductivité hydraulique qui traduit le pouvoir d'un sol à conduire l'eau sous l'effet d'un gradient de charge hydraulique.

Dans le cadre de cette étude, les caractéristiques hydrodynamiques ont été mesurées sur la base des méthodes inverses. Il a été question de déterminer la quantité d'eau infiltrée à l'aide d'un mini infiltromètre à disque dans le but de calculer la conductivité hydraulique pour les

différentes parcelles. La pression capillaire par contre n'a pas été mesurée. Ceci se justifie par le manque sur le terrain des tensiomètres.

Pour donner une idée de l'intérêt du mini infiltromètre à disque et de justifier du choix de son utilisation pour la méthode proposée, il convient de décrire l'appareil et son fonctionnement avant d'indiquer l'usage qui lui est réservé.

2.3.1. Description de du mini infiltromètre à disque

Le mini infiltromètre à disque est un appareil très maniable et manuellement utilisé pour 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) graduée 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 succion 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 contenu dans la cellule 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

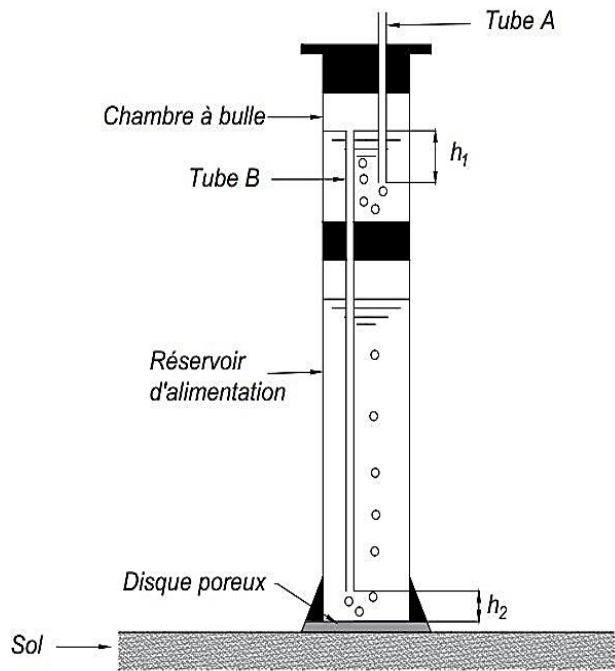


Figure 7: schéma du mini infiltromètre à disque

2.3.2. 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. Quatre campagnes de mesure ont été effectuées dans les différentes parcelles. A chaque campagne, trois essais d'infiltration ont été réalisés de façon aléatoire dans chacune des parcelles.

Avant chaque mesure, l'infiltromètre est préparé avec un taux de succion égal à -2 cm. Pour la plupart des sols, un taux de succion de 2 cm est convenable. En particulier pour les sols sableux, quand l'infiltration est très rapide, il est préférable de régler la succion à -6 cm. Par contre pour les sols plus compact ou l'infiltration est assez lent, une succion de -0,5 cm est recommandé.

L'infiltromètre est ensuite placé sur une surface lisse de manière à assurer un bon contact entre le sol et l'infiltromètre. Le volume de l'eau qui s'infiltré est alors enregistré à un intervalle de temps régulier de 30 secondes. Pour que le calcul de la conductivité soit précis, 15 à 20 ml d'eau doit être infiltrée dans le sol au cours de chaque mesure.

2.3.3.Méthodologie d'interprétation

Pour déterminer la conductivité hydraulique instaurée de la tension appliquée, on peut appliquer une méthode proposée par ZHANG. (1997) qui est une méthode assez simple et fonctionne bien pour les mesures d'infiltration dans le sol sec. Elle consiste à mesurer l'infiltration cumulative par rapport au temps puis on lui ajoute la fonction suivante :

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

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 particulier h est alors calculée comme suit :

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

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 :

$$A = \frac{11,65(n^{0,1}-1)\exp[2,92(n-1,9)\alpha h_0]}{(\alpha r_0)^{0,91}} \quad n \geq 1,9 \quad (4)$$

$$A = \frac{11,65(n^{0,1}-1)\exp[7,5(n-1,9)\alpha h_0]}{(\alpha r_0)^{0,91}} \quad n < 1,9 \quad (5)$$

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 dans le tableau 2 :

Tableau 1: Paramètres de Van Genuchten et les valeurs de A pour le mini infiltromètre

QUANTIFICATION DES COMPOSANTES DU BILAN HYDRIQUE DANS LE BASSIN DE SANON AU BURKINA FASO

Texture	α	$n(h)$	A							
			-0.5	-1	-2	-3	-4	-5	-6	
Sand	0.145	2.68	2.9	2.5	1.8	3	0.9	0.7	0.5	
Loamy sand	0.124	2.28	3.0	2.8	2.5	2.2	1.9	1.6	1.4	
Sandy loam	0.075	1.89	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.1	4.1	
Loam	0.036	1.56	5.6	5.8	6.4	7.0	7.7	8.4	9.2	
Silt	0.016	1.37	8.1	8.3	8.9	9.5	10.1	10.8	11.5	
Silt loam	0.020	1.41	7.2	7.5	8.1	8.7	9.4	10.1	10.9	
Sandy clay loam	0.059	1.48	3.3	3.6	4.3	5.2	6.3	7.6	9.1	
Clay loam	0.019	1.31	6.0	6.2	6.8	7.4	8.0	8.7	9.5	
Silty clay loam	0.010	1.23	8.1	8.3	8.7	9.1	9.6	10.1	10.6	
Sandy clay	0.027	1.23	3.4	3.6	4.2	4.8	5.5	6.3	7.2	
Silty clay	0.005	1.09	6.2	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1	7.3	
Clay	0.008	1.09	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	5.1	5.3	

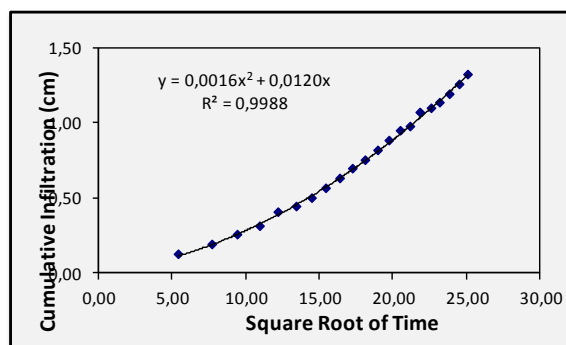
Source : DECAGON. (2006)

Le paramètre C1 est déterminé de la manière suivante : Dans la feuille de calcul Excel, tracer le graphique de l'infiltration cumulée I en cm (recalculé à partir du volume infiltré en utilisant la zone d'infiltration) et la racine carré du temps t ; les points sont montés par une fonction polynomiale du second degré $y=ax^2+bx$, où a est le paramètre C1. La conductivité hydraulique est ensuite calculée sur la base de l'équation (3).

Infiltration area 15,90 cm²

Tension -2 cm

Time (s)	sqrt (t)	Volume (mL)	Infiltr (cm)
0	0,00	94	0,00
30	5,48	92	0,13
60	7,75	91	0,19
90	9,49	90	0,25
120	10,95	89	0,31
150	12,25	87,5	0,41
180	13,42	87	0,44
210	14,49	86	0,50
240	15,49	85	0,57
270	16,43	84	0,63
300	17,32	83	0,69
330	18,17	82	0,75
360	18,97	81	0,82
390	19,75	80	0,88
420	20,49	79	0,94
450	21,21	78,5	0,97
480	21,91	77	1,07
510	22,58	76,5	1,10
540	23,24	76	1,13



A	4,09
C1	0,00162 cm/s
K	3,95E-04 cm/s

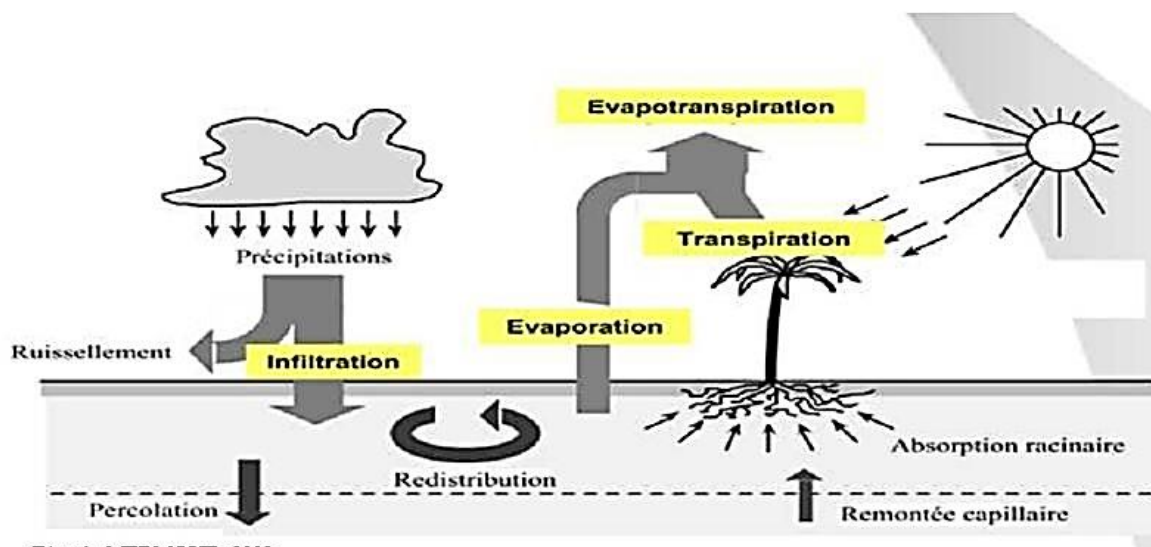
Figure 8: Exemple de calcul de la conductivité hydraulique

2.4. Bilan hydrique et ses principaux termes

2.4.1. Principe du bilan hydrique

La compréhension du bilan hydrique du sol présente un grand intérêt. Elle permet d'appréhender plus finement la répartition de la ressource en eau entre le système sol-plante-atmosphère (GUERIN et al., 2012).

Sous l'influence du rayonnement solaire, l'eau des océans et des surfaces terrestres passe en phase gazeuse et s'élève dans l'atmosphère où elle se condense. Elle retombe sur les océans et les continents sous forme de précipitations liquides ou neigeuses. Une partie des précipitations peut être interceptée par le couvert végétal. L'autre partie des précipitations s'infiltré dans le sol pour rejoindre les nappes d'eau souterraines ou ruisselle sur le sol pour former les cours d'eau et réserves d'eau de surface. L'évaporation des eaux de surface et la transpiration des végétaux sont regroupées sous le terme évapotranspiration (RENAUD, 2011;).



D'après MERMOUD, 2002

Figure 9: Cycle hydrologique de l'eau

Le principe du bilan hydrique est fondé sur une équation de continuité qui consiste à comparer la quantité d'eau totale précipitée avec la quantité d'eau totale sortant et s'inscrit dans sa forme la plus générale : $\sum \text{entrée} - \sum \text{sorties} = \Delta S$ (WELLENS et al., 2008). Avec ΔS la variation des ressources en eau qui cumule les variations de stockage de l'eau dans le sol et la variation des stockages superficiels (dépressions, retenues d'eau, etc.).

➤ **Les équations générales du transfert (LADOUCHE et al., 2006)**

Le principe de conservation de la masse d'eau dans un sol cultivé non saturé en eau conduit à la relation suivante :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} - S \quad (6)$$

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

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

S est le taux d'extraction d'eau par les racines situées à la profondeur z au temps t (s^{-1}).

S est tel que : $S = S(z, t)$ pour $z = z_r(t)$ avec z_r : profondeur maximale d'enracinement.

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

Sous les hypothèses ci-dessus, le flux q s'exprime par la loi de Darcy :

$$q = -K(\theta) \frac{dH}{dz} \quad (7)$$

Où : $K(\theta)$ est la conductivité hydraulique du sol (m/s) qui est une fonction non fortement linéaire de l'humidité ;

H est la charge hydraulique (m) définie par :

$$H = h - z \quad (8)$$

Dans cette équation, h (m) est la pression effective de l'eau (un potentiel hydrique) qui dépend également 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. L'équation de conservation de la masse d'eau conduit alors à l'équation de Richards étendue au cas d'un milieu poreux colonisé par les racines :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K(\theta) \left(\frac{\partial h(\theta)}{\partial z} \right) - 1 \right\} - S(z, t) \quad (9)$$

Elle montre que l'écoulement de l'eau est conditionné par les propriétés de rétention $h(\theta)$ et de conduction hydraulique $K(\theta)$ du sol d'une part par la présence du système racinaire de la végétation assimilé à un terme puits, $S(z, t)$, d'autre part.

➤ **Equations du bilan hydrique d'une tranche de sol**

Après intégration de l'équation (9), on aboutit ainsi à une équation du bilan hydrique suivante pour une surface +:

$$(P + G) - (R + D + ETR) = \Delta S \quad (10)$$

Avec : P : précipitation [mm]

G : remontée capillaire (mm)

R : écoulement de surface (ruissellement) [mm]

D : flux vertical d'eau à la profondeur z, exprimé positivement pour un drainage et négativement en cas de remontée d'eau [mm]

ETR : évapotranspiration réelle pour le même intervalle de temps [mm]

ΔS : variation de stock d'eau dans le sol pour un intervalle de temps donné et pour une tranche de sol comprise entre la surface et la une profondeur z de référence [mm]

Dans ce cas d'étude, les remontées capillaires sont négligées, ce qui donne finalement :

$$P - (R + D + ETR) = \Delta S \quad (11)$$

Tous les termes du bilan ont été mesurés (précipitation P, ruissellement R, drainage D, variation de stock ΔS) à l'exception de l'évapotranspiration réelle ETR estimée à partir l'équation du bilan hydrique.

Pour permettre une bonne connaissance de ces termes, nous allons détailler dans un premier temps l'instrumentation mise en œuvre pour les différentes mesures et ensuite expliciter les méthodes d'interprétation utilisées.

2.4.2. Mesure de précipitation

La pluviométrie est l'élément le plus variable du bilan, aussi bien dans le temps que dans l'espace ; il est donc indispensable de la mesurer sur place. La précision des mesures de

précipitations dépend du vent, de la hauteur à laquelle est installé le pluviomètre (hauteur normalisée 1,5 m), de son exposition et d'une manière générale du site dans lequel il se trouve : on évitera l'installation à proximité des bâtiments ou d'arbres, sur des sommets des collines ou les zones trop encaissées (C.T.G.R.E.F, 1979). Les mauvaises conditions d'implantation peuvent entraîner des erreurs de mesure.

Sur le site de Sanon, les précipitations ont été mesurées à l'aide d'un pluviomètre. Le relevé se fait régulièrement après chaque évènement pluvieux. La lecture s'effectue en mm à l'aide d'une éprouvette graduée.

2.4.3. Mesures du ruissellement

L'un des termes essentiels du bilan hydrique lors d'évènements pluvieux est la lame d'eau ruisselée. Pour mesurer celle-ci, les parcelles ont été équipées de dispositifs de mesures de ruissellement. Pour la parcelle N°1 ce dispositif est un partiteur (diamètre=100 cm et hauteur=30 cm) qui dissémine l'eau à travers 40 trous. L'un des trous est connecté à un réservoir enterré et calibré (6 cm de hauteur d'eau équivaut à 16 litres d'eau). Les deux autres parcelles sont dotées quant à elles de deux bassins prismatiques. Le bassin principal installé suivant la largeur de la parcelle à une longueur de 400 cm et une largeur de 40 cm. Le deuxième bassin connecté au premier à une section carrée de 150 x 150 cm. Des échelles limnimétriques de 100 cm de hauteur sont posées dans les différents bassins pour permettre la lecture de la hauteur d'eau après ruissellement. Le second bassin est destiné à collecter le trop-plein du bassin principal. Les différentes parcelles ont été délimitées par des cadres en tôles enfoncés à quelques centimètres dans le sol afin d'éviter que l'eau qui ruisselle à l'extérieure ne puisse atteindre la parcelle.



Figure 10: dispositifs de mesure du ruissellement

➤ Calcul de la lame d'eau ruisselée

Pour quantifier la lame d'eau ruisselée sur la parcelle N°1, la hauteur d'eau dans le partiteur et le réservoir enterré a été mesurée après chaque évènement pluvieux. Connaissant le diamètre du partiteur, le volume d'eau dans ce dernier a été calculé. Le volume d'eau dans le réservoir enterré a été déduit à l'aide de relation établit après calibration (6 cm de hauteur d'eau équivaut à 16 litres d'eau). Ce volume a été ensuite multiplié par 40, ce qui équivaut au nombre de trous du partiteur. La lame d'eau ruisselée (en mm) est ainsi obtenue en rapportant le volume d'eau calculé à la section de la parcelle.

Au niveau des parcelles N°2 et N°3, la hauteur d'eau dans les bassins est directement lu après chaque pluie sur les échelles limnimétriques. Les sections des deux bassins étant connues, le volume d'eau ruisselée a été déterminé. La lame d'eau ruisselée est calculée en rapportant ce volume à la section de la parcelle.

2.4.4. Mesures de drainage

Le volume de drainage profond sur les différentes parcelles a été mesuré en utilisant un lysimètre « DRAIN Gauge G3 ». Cet appareil est équipé d'un réservoir installé à 2 m de profondeur qui intercepte tout drainage dans la zone de mesure. Il est muni d'un capteur Em 50 CE qui enregistre chaque 60 minute la température, la conductivité électrique et le drainage cumulatif. Lors de la mesure du drainage profond, il y'a des moments où il peut y avoir des volumes plus élevés de drainage. Parce que le Drain Gauge G3 capte tout drainage dans la zone

de mesure. Ce qui entraîne souvent le remplissage du réservoir. Si cela se produit, l'eau peut être retirée du réservoir à l'aide d'une pompe manuelle.

Les données enregistrées sont alors transférées sur l'ordinateur sous format CSV à l'aide du logiciel ECH2O Utility.

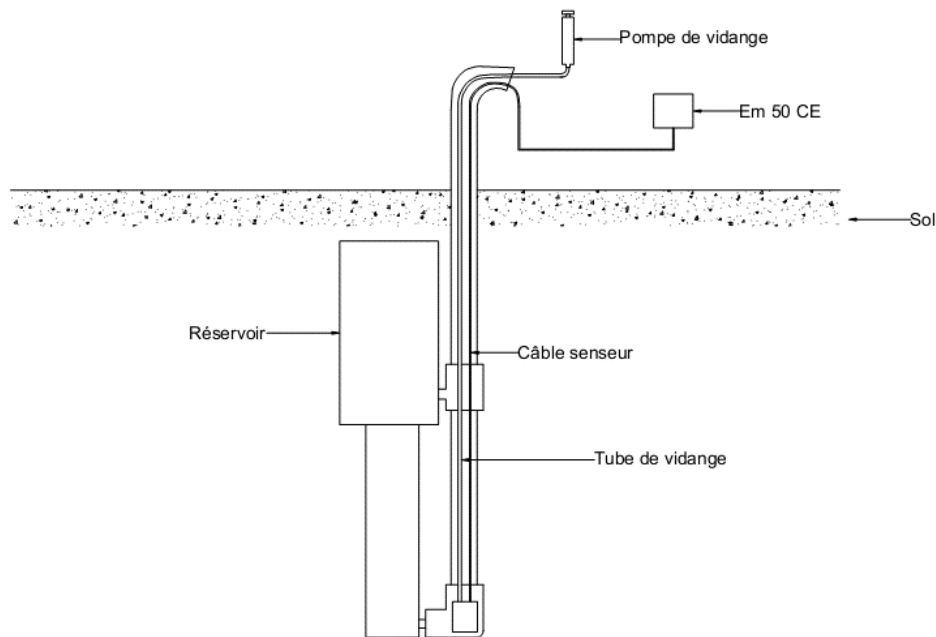


Figure 11: Schéma du lysimètre Drain Gauge G3

2.4.5. Mesures du stock d'eau

Le stock d'eau dans le sol est requis pour compléter un bilan hydrique. Elle est obtenue à partir des mesures humidités. Ces mesures ont été effectuées au moyen de deux appareils différents : le Sentek Solo et le Diviner 2000.

Le Sentek Solo est un appareil de surveillance continue de l'humidité. Le système se compose d'une sonde d'enregistrement connectée à une unité centrale qui permet le téléchargement des données via un ordinateur portable (SENTEK, 2012). Etant installé sur chacune des trois parcelles, il assure automatiquement le suivi de l'humidité dans le sol. L'enregistrement se fait au pas de temps horaire à des profondeurs de 10, 30, 50, 80, 120 et 160 cm. Les données sur la parcelle N°3 n'ont pas pu être relevées avec le Sentek Solo suite à la panne qu'a connue l'appareil.

Le Diviner 2000 est un système portable de surveillance de l'humidité du sol. Il comprend une

unité d'affichage des données et une sonde portable. La sondes portable mesure l'humidité du sol à intervalle réguliers de 10 cm vers le bas à travers le profil du sol jusqu'à une profondeur de 160 cm (SENTEK, 2009). Les mesures sont faites aux niveaux des 25 autres tubes d'accès d'humidité installé sur le site expérimentale une fois toutes les semaines. Le premier niveau de profondeur est situé à 10 cm (si la plaque de référence du capuchon supérieur se trouve au niveau du sol) mesurant l'humidité de la tranche de sol de 5-15 cm de profondeur. Le niveau de profondeur suivant est situé à 20cm de mesurant une tranche de sol de 15-25 cm de profondeur. Avec un autre niveau de profondeur à des intervalles de 10 cm sur la tige de sonde. La profondeur de mesure est de 25-35 cm, 35-45 cm, etc.

Après Chaque un mois de mesure, les données enregistrées sont téléchargées sur l'ordinateur sous format CSV avec le logiciel Diviner 2000 Utilities pour le Diviner 2000 et le logiciel IrriMAX Live pour le Sentek Solo.

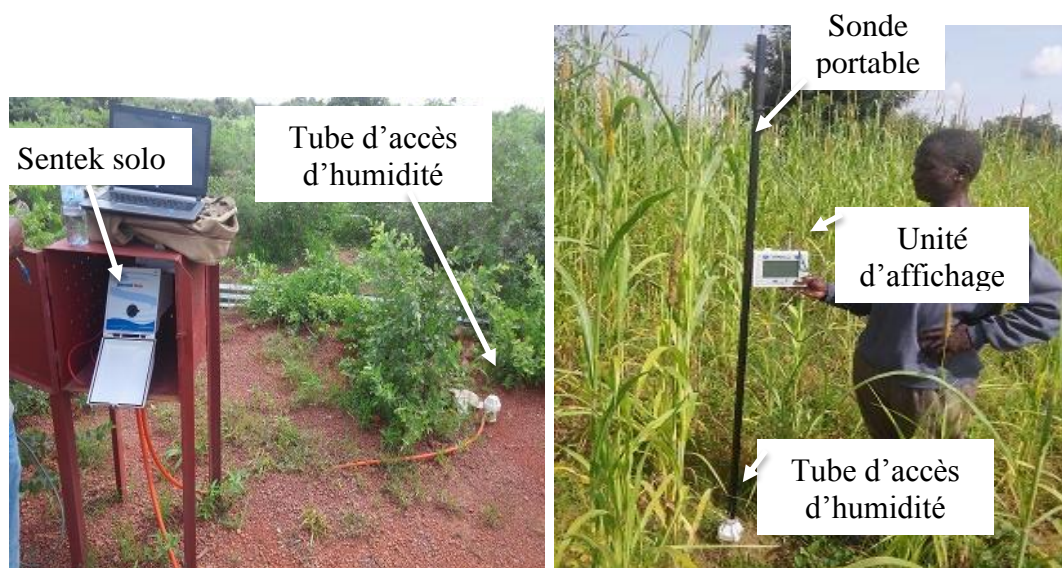


Figure 12: Appareils de mesure d'humidité du sol

➤ **Calcul du stock d'eau dans le sol**

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 :

$$S = \int_{z_1}^{z_2} \theta(z) dz \quad (12)$$

Le stock d'eau suivant la profondeur z est calculé sur la base de l'équation :

$$S_{0-z} = (\theta_{10} \times 100) + (\theta_{20} \times 100) + \dots + (\theta_z \times 100) \quad (13)$$

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Résultats

Dans cette partie, il sera présenté les différents résultats issus des traitements des données de terrain. Les résultats concernent : la caractérisation des propriétés hydrauliques de surface ; l'estimation des paramètres hydrodynamiques ; l'étude des paramètres d'état du sol et la détermination des composantes du bilan hydrique.

3.1.1. Caractérisation des propriétés hydrauliques de surface

Les propriétés hydrauliques des sols dépendent des paramètres globaux tels que la densité, la porosité, mais aussi de paramètres qui prennent en compte l'organisation des constituants de sol (STRUDLEY et al., 2008). Les propriétés hydrauliques sont décrites en condition statique par les courbes de rétention d'eau et en condition dynamique, par la conductivité hydraulique à saturation ou à différents degrés de saturation (MESSAOUDI, 2009). Avant l'estimation des paramètres hydrodynamiques, il s'avère nécessaire de caractériser les propriétés hydrauliques de surfaces. Cette caractérisation sur le site d'étude se limite cependant à l'étude des sols.

La pédologie du site expérimentale de Sanon a été étudiée dans le cadre du projet "milieux fissurés 2" pour l'implantation de deux périmètre irrigués villageois. Les deux périmètres sont localisés dans un bas fond orienté Est-Ouest de 6 km de long et de 1 à 1,5 km de large.

Le site de Sanon est caractérisé par une grande homogénéité pédologique, conséquence de l'environnement géologique et morphologique très uniforme. Les sols, homogènes dans tout le bas-fond, se caractérisent par un horizon superficiel à texture sableuse dominant des horizons dont la teneur en argile augmente avec la profondeur. Les sols sont peu fertiles. Ceci se traduit par leur pauvreté en matière organique, en phosphore et en azote. Du point de vue des caractéristiques physiques, le sol présente des problèmes d'emménagement. IL est en plus très dur donc difficile à travailler en saison sèche (BRGM-AQUATER, 1991).

L'observation de 9 profils exécutés dans la plaine cultivable a permis d'établir la succession d'horizons suivante (BRGM-AQUATER, 1991) :

- 0 à 15-35 cm : Horizon de surface gris brunâtre, appauvri en argile en fer, très dur, non structuré, à porosité biologique très faible et nombreux vides vésiculaires. pH acide et capacité d'échange cationique inférieure à 16 meq/100g de sol.
- 15-35 à 50-80 cm : Horizon en richi en argile. Matrice, structure et porosité biologique, pH et capacité d'échange peu différents de l'horizon supérieur. Présence de concrétions noires de fer de manganèse localement très nombreuses.
- 50-80 à 200 cm : Horizon riche en argile avec redistribution très marquée de fer. Les autres caractéristiques sont semblables aux niveaux supérieurs.

Des prélèvements de sols ont été effectués dernièrement sur le site de Sanon dans le cadre du projet BRAVE. Cependant leur analyse n'a pas encore été faite. Les caractéristiques pédologiques considérées dans cette étude sont donc celles relatives aux études menées par le BRGM-AQUATER. (1991)

3.1.2. Estimation des paramètres hydrodynamiques

La conductivité hydraulique du sol est estimée à partir des essais d'infiltration effectués sur les différentes parcelles. Au total, 12 essais d'infiltrations ont été effectués sur chacune des parcelles. Les valeurs moyennes de la conductivité hydraulique sont présentées dans le tableau 2. La variabilité spatio-temporelle de la conductivité hydraulique a été exprimée par le coefficient de variation (CV en %).

Tableau 2: Valeurs moyennes de la conductivité hydraulique sur les différentes parcelles

Parcelles	Parcelle N°1	Parcelle N°2	Parcelle N°3
Kh (cm/h)	0,85	3,87	2,47
Ecart type	0,39	1,12	0,83
CV (%)	45	29	34

L'analyse de ce tableau montre que les valeurs de conductivités hydrauliques varient en moyenne de 0,85 à 3,87 cm/h. La conductivité hydraulique mesurée sur la parcelle N°1 est la plus faible avec un coefficient de variation de 45 %. La plus élevée est celle mesurée sur la parcelle N°2 pour un coefficient de variation égal à 29 %.

La zone cultivée est un milieu constitué de dépôt sableux provenant des érosions éolienne et hydrique, des apports organiques qui modifie la porosité et des fissures créées par les racines

des plantes. Cet ensemble favorise l'infiltration que le ruissellement. Ce qui justifie l'obtention des conductivités hydrauliques plus élevées sur les parcelles cultivées.

Les faibles valeurs des conductivités hydrauliques sur la parcelle située au niveau de la crête s'expliquent par la présence d'une couche latéritique favorisant plus le ruissellement. Cette augmentation du ruissellement s'accompagne d'une réduction de la macroporosité qui entraîne une faible infiltration.

On peut définir en fonction de la valeur de la conductivité hydraulique, différentes classes de perméabilité. Et suivant la nature du sol, un ordre de grandeur de la valeur de la conductivité hydraulique peut être déterminé.

Tableau 3: classe de perméabilité en fonction de la conductivité hydraulique

Classes de perméabilité	Kh (cm/h)
Sols imperméables	0,036
sols peu perméables	0,36
sols moyennement perméables	3,6
sols perméables	36

Source : JABIOL. (2001)

Tableau 4: Valeurs de conductivité hydraulique suivant la nature du sol

Nature du sol	Kh (cm/h)
Très argileux	< 0,12
Argileux	0,12 à 0,15
Limoneux	0,5 à 2
limono-sableux	6 à 12
Sableux	12 à 25
sables grossiers	25 à 100

Source : JABIOL. (2001)

En nous référant aux tableaux 3 et 4, nous constatons que les deux parcelles cultivées (parcelles N°2 et N°3) sont classés parmi de sols moyennement perméables avec une texture composée de sables et de limons. La parcelle N°1 quant à elle peut être définie comme un sol peu perméable avec une texture composée de latérite et par endroit de sable.

Les différentes valeurs du coefficient de variation nous permettent d'affirmer que ces trois parcelles sont caractérisées par une variabilité spatiale et temporelle (annexe 1) significative. Ce qui explique que nous sommes en présence de sols hétérogènes sur les différentes parcelles. Cette hétérogénéité peut avoir une origine naturelle liée au climat (érosion éolienne et

hydrique) ; mais également une origine liée aux actions anthropiques (pratiques culturelles).

3.1.3. Étude des paramètres d'état du sol

Pour permettre une meilleure étude du bilan hydrique du sol au niveau parcellaire, il est indispensable de réaliser une expérimentation préalable, afin de mettre en évidence la variabilité spatio-temporelle du stock hydrique du sol. La distribution spatiale du stock hydrique n'a pas été déterminée dans le cadre de ce projet suite au nombre insuffisant de mesures effectuées suivant le transept.

➤ Évolution temporelle de la teneur en eau

La quantité d'eau emmagasinée dans le sol, représentée graphiquement (Figure 13, 14 et 15), varie de manière différente selon les profondeurs et selon les parcelles.

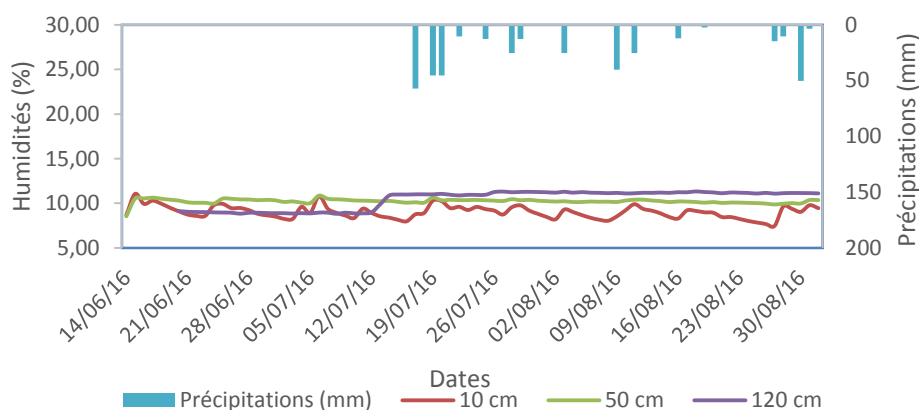


Figure 13: Evolution temporelle de l'humidité volumique sur la parcelle N°1 à 10, 50 et 120 cm

Au niveau de la parcelle N°1, on note une importante variation de l'humidité à 10 cm de profondeur. Cette tranche de sol est plus proche de la surface. Elle est facilement rechargée par les eaux qui s'infiltrent après un évènement pluvieux. Ce qui peut expliquer un accroissement de l'humidité. Une partie de ces eaux sera drainée en profondeur et une autre partie perdue par évaporation. A 50 cm de profondeur, cette variation devient faible avec un léger accroissement de l'humidité. En profondeur, à 120 cm, l'humidité est relativement constante pendant le premier mois et augmente légèrement à partir du mois de juillet. Cette variation pourrait être justifiée par l'arrivée des fortes pluies à partir de ce mois.

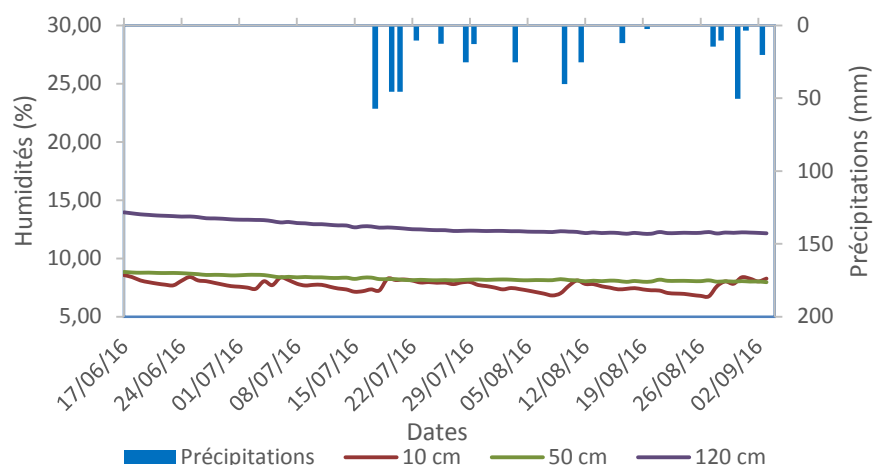


Figure 14: Evolution temporelle de l'humidité volumique sur la parcelle N°2 à 10, 50 et 120 cm

L'humidité du sol sur la parcelle N°2 varie fortement à 10 cm de profondeur. Ce niveau du sol subit des phénomènes semblables à ceux sur la parcelle N° 1. A partir de 50 cm, l'humidité est presque constante sur toute la période de mesure. Ceci laisse penser que les précipitations n'ont quasiment pas d'effets au-delà de cette profondeur et que le drainage en dessous de 50 cm est négligeable. A 120 cm de profondeur, le taux d'humidité est très élevé comparé au deux autres profondeurs. Cette parcelle située dans la plaine est décrite comme ayant une teneur en argile qui augmente en profondeur. Cette texture en profondeur nous permet d'énoncer que cette tranche a la capacité de stocker un volume important d'eau.

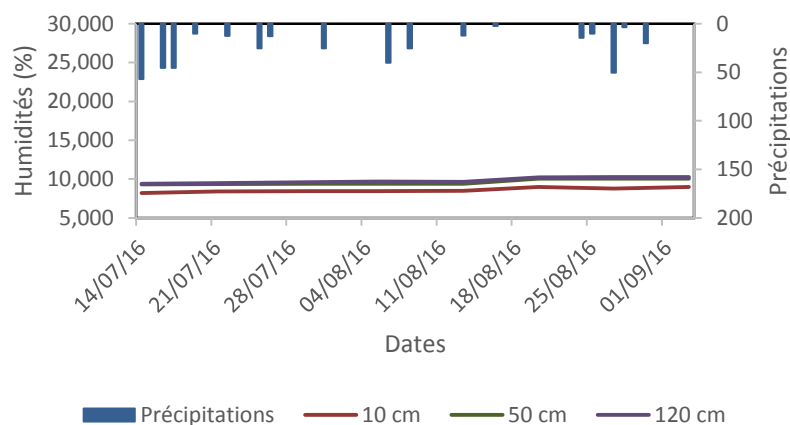


Figure 15: Evolution temporelle de l'humidité volumique sur la parcelle N°3 à 10, 50 et 120 cm

Sur la parcelle N°3, les mesures ont été effectuées à l'aide de la sonde portable. Le pourcentage d'humidité augmente à partir de 50 cm et reste approximativement constante jusqu'à 120 cm de profondeur. On constate une faible variation de l'humidité aux différentes profondeurs

(Figure 15). Elle croît légèrement en mi-août après l'avènement des précipitations. Située dans la plaine, cette parcelle à un sol relativement identique que celle de la parcelle N°2. On peut expliquer cette faible variation par la présence d'argile dans le sol.

Pour constater l'évolution de la teneur en eau du sol, quelques profils hydriques ont été représentés (figure 16 et 17) pour chaque parcelle. Pour représenter la période sèche, les dates choisies sont le 16/07/2016 et le 08/08/2016. Les dates du 19/07/16 et 31/08/2016 sont retenues pour reproduire la période humide (à la suite d'une pluie de 57,2 mm et de 50,4 mm).

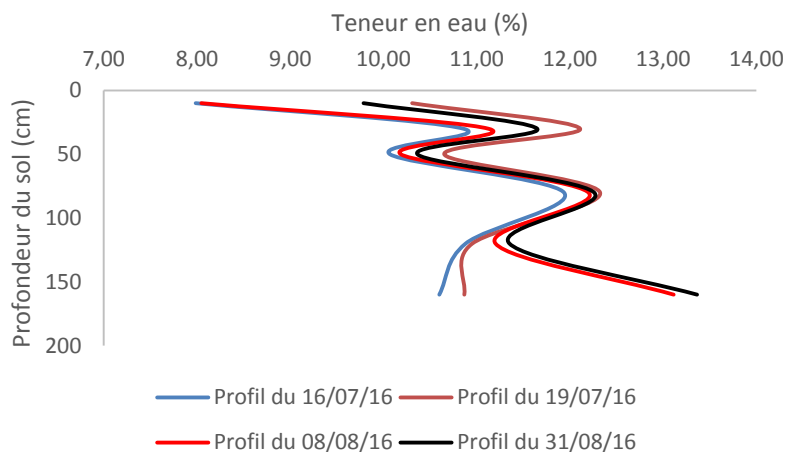


Figure 16: Profil hydrique mesuré sur la parcelle N°1

L'examen de la figure 16 montre une importante variation de l'humidité volumique dans les horizons de surface. Cette variation devient faible en profondeur pour les profils du mois de juillet. On constate cependant un accroissement de l'humidité pour les profils du mois d'août. L'humidité volumique sur cette parcelle est comprise entre 7 et 14 %.

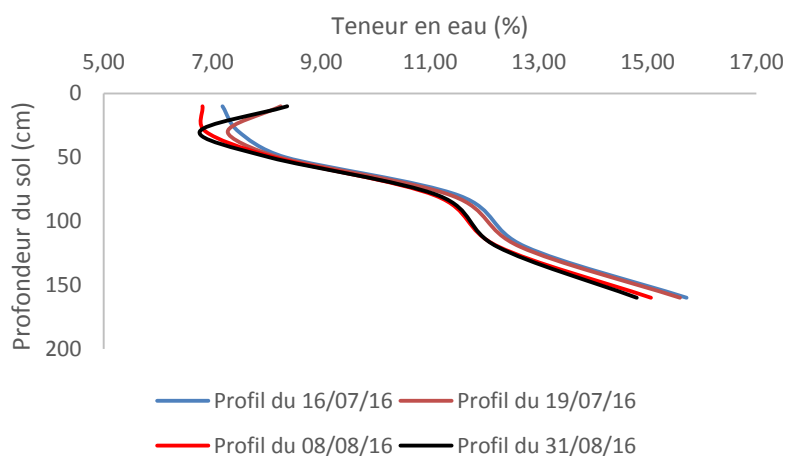


Figure 17: Profil hydrique mesuré sur la parcelle N°2

La figure 17 quant à elle présente une humidité volumique qui augmente considérablement de la surface vers la profondeur quel que soit la période. On constate cependant une variation de l'humidité dans les horizons de surface pendant la période humide. La valeur maximale de l'humidité sur cette parcelle est de l'ordre de 15 %. La valeur minimale à 10 cm de profondeur tourne autour de 7 %.

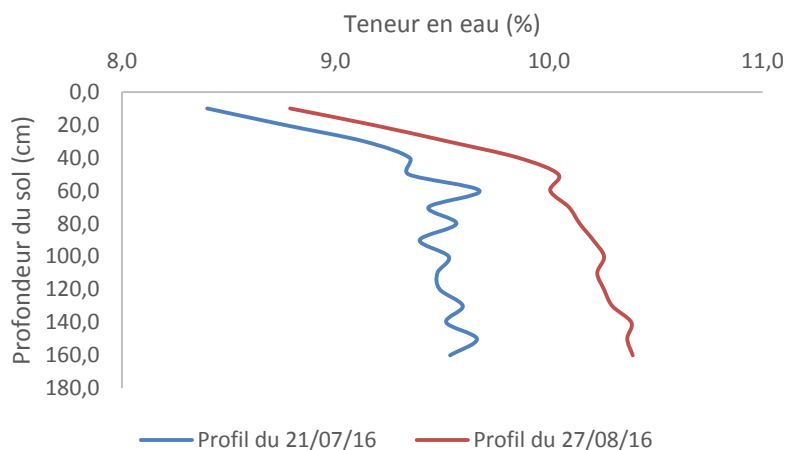


Figure 18: Profil hydrique mesuré sur la parcelle N°3

Sur la parcelle N°3, les mesures sont effectuées une fois toutes les semaines. Pour constater la teneur en eau pendant la période sèche, la date du 21/07/2016 a été retenue. La date du 27/08/2016 a été retenue pour constater la teneur en eau de la période humide. La période sèche se caractérise par une humidité qui est croissant jusqu'à 40 cm. Au-delà de 40 cm, elle varie jusqu'à 160 cm. Pendant la période humide, la valeur de la teneur augmente mais se comporte presque à peu près de la même manière que pendant la saison sèche. Sa variation en profondeur est cette fois ci plus faible.

➤ Évolution temporelle du stock d'eau du sol

Les figures 19, 20 et 21 présentent l'évolution du stock d'eau du sol au niveau des différentes parcelles.

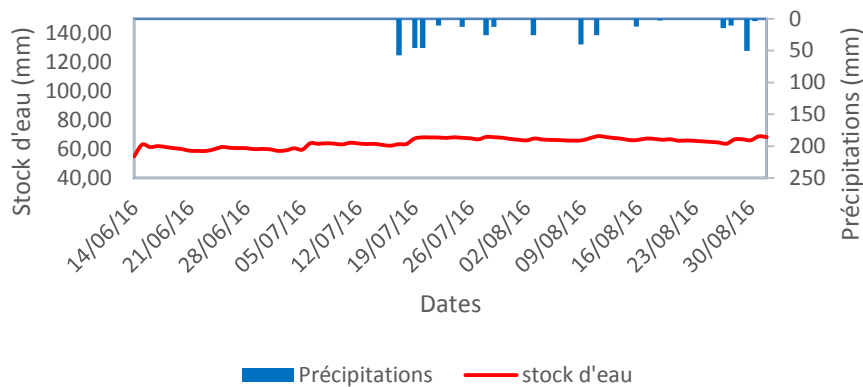


Figure 19: Evolution temporelle du stock hydrique sur la parcelle N°1

Sur la parcelle N°1, on remarque un accroissement du stock d'eau du sol avec l'arrivée des pluies. Il demeure quasiment constant durant toute la période pluvieuse avec un pourcentage qui tourne autour de 65 %.

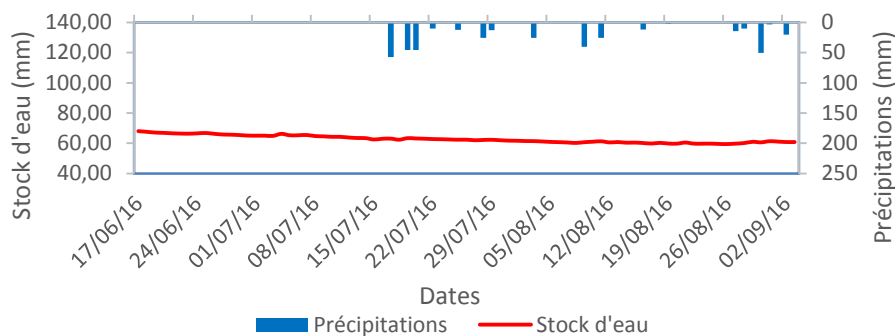


Figure 20: Evolution temporelle du stock hydrique sur la parcelle N°2

Ce stock est important sur la parcelle N°2 où le sol à une texture argileuse en profondeur. Mais son évolution dans le temps n'est pas influencée par la venue des pluies. Car elle est de l'ordre de 70 mm au début des mesures et diminue progressivement jusqu'à atteindre environ 60 mm en mois de septembre.

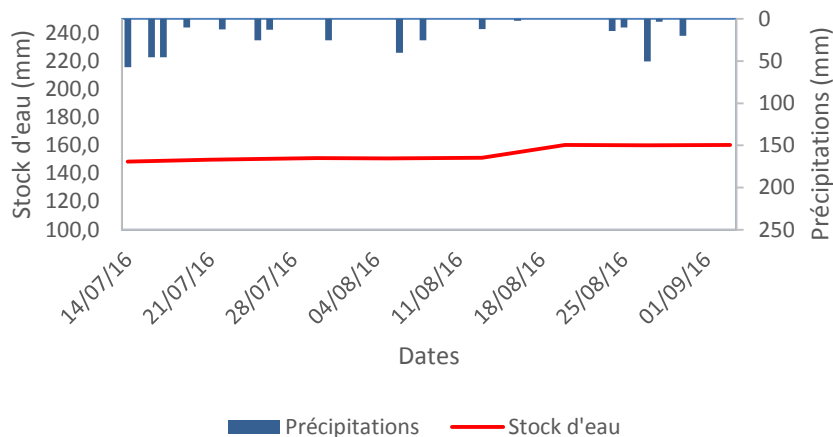


Figure 21: Evolution temporelle du stock hydrique sur la parcelle N°3

La figure 21 montre un stock d'eau qui varie très légèrement durant les premières semaines de mesures. Elle augmente à partir de la cinquième semaine et redevient presque constant à la sixième semaine avec une valeur d'environ 160. Des fortes pluies n'ont pourtant pas été enregistrées durant cette période. Ce phénomène pourrait être dû à une lente infiltration au niveau de cette parcelle.

3.1.4. Détermination des composantes du bilan hydrique

L'élaboration du bilan hydrique exige une synthèse parfaite de tous les éléments physiques du milieu : les précipitations, l'évaporation, le ruissellement, l'humidité du sol et le drainage.

➤ Précipitations

La précipitation est sans conteste le paramètre le plus important du bilan puisqu'elle constitue l'élément moteur générant les volumes de ruissellement et d'infiltration. Le site de Sanon compte un poste pluviométrique. Pour permettre la détermination de la quantité d'eau tombée sur le site, le suivi de ce poste a été effectué de juillet à septembre pour l'année 2016. La figure 22 présente les hauteurs de pluies mesurées en mm en fonctions du temps.

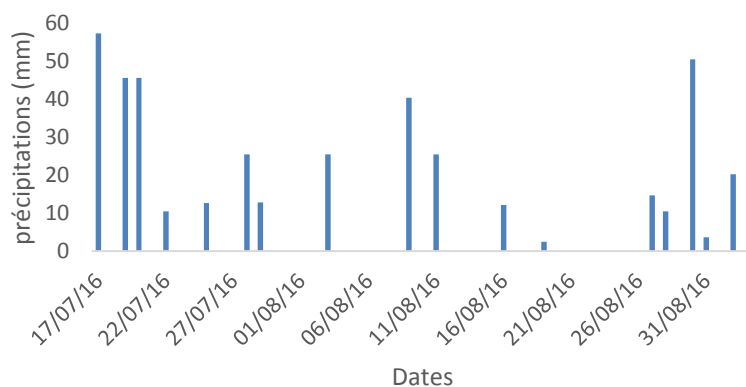


Figure 22: pluviométrie de juillet à septembre à Sanon

La période allant de juillet à septembre est connue comme la période pendant laquelle les événements pluvieux sont extrêmes. La quantité d'eau totale précipitée pendant cette période est de 414,3 mm.

➤ **Ruissellement**

Le ruissellement est fonction de l'état de la surface du sol, de la pente du terrain et de l'intensité des apports en eau. Il a été quantifié sur chacune des parcelles à l'aide d'un dispositif de mesure de ruissellement. La hauteur d'eau totale écoulee durant de juillet à septembre est donnée par le tableau 5 :

Tableau 5: lame d'eau ruisselée sur différentes parcelles

Parcelles	Parcelle N°1	Parcelle N°2	Parcelle N°3
Lame d'eau ruisselée (mm)	25,52	122,62	40,87

Pour permettre une bonne compréhension de ces résultats, on procèdera à l'analyse de ces valeurs au niveau de chaque parcelle.

La lame d'eau ruisselée sur la parcelle N°1 est la plus faible. Cette zone constituée en majeure partie de latérite est par définition plus favorable au ruissellement qu'à l'infiltration. Les valeurs de conductivités hydrauliques assez faibles obtenues sur cette parcelle viennent confirmer cette théorie. Cependant, les hauteurs d'eau mesurées sur cette dernière sont très minimes.

Le ruissellement sur la parcelle N°2 est la plus élevée. Cette parcelle est caractérisée par une conductivité hydraulique élevée, ce qui sous-entend une grande infiltrabilité.

Au niveau de parcelle N°3, il a été remarqué que la pente au fond de la parcelle est plus accentuée. Ce qui provoque la stagnation d'un certain volume d'eau au fond de la parcelle. En plus de cela, la végétation présente favorise l'infiltration de l'eau dans le sol.

➤ **Drainage**

La quantité d'eau drainée cumulée à partir de 200 cm de profondeur sur chaque parcelle pour la période allant du 17/07/2016 au 03/09/2016 est obtenue grâce aux lysimètres. Le tableau 6 nous donne les différentes valeurs de drainage.

Tableau 6: lame d'eau drainée

Parcelles	Parcelle N°1	Parcelle N°2	Parcelle N°3
Drainage (mm)	0	5	151

Le drainage sur la parcelle N°1 est nul. La faible valeur obtenue au niveau de la parcelle N°2 vient confirmer la théorie selon laquelle les précipitations ont une faible influence sur l'humidité du sol au-delà de 120 cm de profondeur (Figure 14). La forte valeur de drainage obtenue sur la parcelle N°3 serait due à l'arrivée de fortes pluies.

➤ **Calcul du bilan hydrique**

L'objectif final de notre étude consiste à évaluer la quantité d'eau perdue par évapotranspiration. Pour ce faire, nous avons besoin de connaître l'ensemble des termes du bilan hydrique. Après la mesure de ces différents termes, le calcul de l'évapotranspiration a été effectué. Le tableau 7 présente les composantes du bilan hydrique pour la période allant du 17 juillet au 03 septembre sur les trois parcelles.

Tableau 7: Composantes du bilan hydrique du 17 juillet au 03 septembre

Parcelles	Parcelle N°1	Parcelle N°2	Parcelle N°3
Précipitation (mm)	414,3	414,3	414,3
Ruissellement (mm)	25,52	122,62	40,87
Drainage (mm)	0	5	151
ΔS (mm)	13,41	-7,41	11,8
ETR (mm)	375,37	279,27	210,63

ΔS : Variation de stock ; ETR : Evapotranspiration réelle

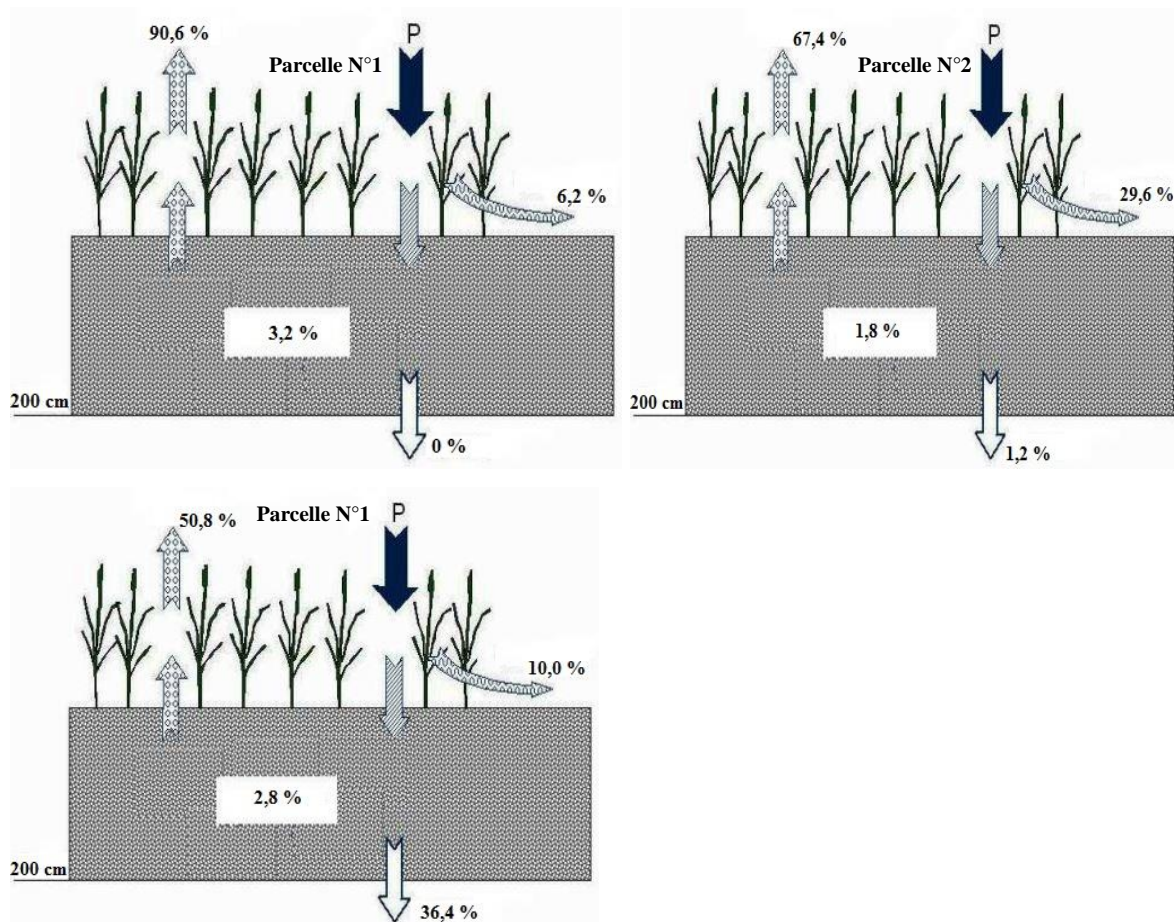


Figure 23: Composantes du bilan hydrique du 17 juillet au 03 septembre

L'examen du tableau 7 et de la figure 23 montre que l'évapotranspiration est importante par rapport aux précipitations durant la période de mesure sur les parcelles. Les différents problèmes liés aux dispositifs de mesures ont contribué d'une part à accroître la valeur de l'évapotranspiration. D'autre part, le changement climatique qui se traduit par l'augmentation de la température également à un impact considérable sur l'évapotranspiration.

3.2. Discussion

Le comportement de l'eau dans le bassin de Sanon est conditionné par les paramètres hydrodynamiques. Les essais d'infiltrations effectués au cours de cette étude ont permis d'obtenir des valeurs de conductivités hydrauliques sur les parcelles cultivées ainsi que sur la parcelle latéritique. La valeur moyenne obtenue au niveau de la latérite avoisine la valeur moyenne considérée en cet endroit lors de la modélisation hydrologique du site de Sanon avec MODFLOW (logiciel GSM) qui est de $7,5 \cdot 10^{-6}$ m/s (OUTOUMBE et al., 2013). Quoique peu différent, la moyenne obtenue pour cette étude ($2,4 \cdot 10^{-6}$ m/s) sur la parcelle N°1 se rapproche

de celle obtenue précédemment. Les valeurs obtenues au niveau des parcelles cultivées sont dues aux modifications de la texture et de la structure du sol à l'issue des activités agricoles. En effet, la capacité d'infiltration des sols dépend en grande partie de leur composition et de leur organisation superficielle (SAWADOGO, 2012). La compréhension du comportement hydrodynamique des sols, nous ont permis d'affirmer dans un premier que le ruissellement serait très important sur la parcelle N°1 et faible sur les parcelles cultivées. Cette affirmation se confirme au niveau de la parcelle N°3 après une quantification des différents termes du bilan hydrique. Cependant, sur la parcelle N°2, le coefficient de ruissellement est de l'ordre de 30 %. Le ruissellement pourrait être dû à la pente, à l'orientation de la parcelle et à la structure du sol. Cette parcelle est orientée du Nord-Est vers le Sud-Ouest (sens du vent agissant sur les précipitations) avec une pente assez forte. Les études pédologiques ont révélées que le pourcentage d'argile sur la parcelle augmente en profondeur. L'argile connue comme une terre imperméable provoquera le ruissellement après saturation de la couche superficielle. Vu les données d'humidités, les précipitations ont une faible influence sur cette parcelle au-delà de 50 cm. On arrive donc à la conclusion que l'infiltration est importante seulement à quelques cm de profondeur. Une fois cet horizon saturé le ruissellement démarre. Il a été constaté à la suite des mesures effectuées sur le terrain, que pour une pluie d'une hauteur de 15 mm qui dure 40 minutes, le ruissellement démarre après 10 minutes. Sur la parcelle N°1, le ruissellement mesuré est faible contrairement aux attentes. Sur cette parcelle, pour une hauteur de pluie de 15 mm d'une durée de 40 minutes, le ruissellement démarre après 6 minutes. Toutes les parcelles sont d'égales dimensions et en observant le temps pendant lequel le ruissellement débute, la hauteur d'eau ruisselée devrait être plus important sur cette parcelle, comparée à la parcelle N°2. Le drainage enregistré sur cette parcelle est nulle, ce qui laisse croire que la quantité d'eau infiltrée est faible. Nous pouvons donc affirmer que la valeur obtenue est entachée d'erreur. Cette situation a pour cause principale le mauvais fonctionnement du dispositif de mesure de ruissellement. Il a été constaté lors des mesures sur le terrain que l'eau transite dans le fût seulement pendant des fortes pluies. L'inclinaison du partiteur est à l'origine de l'inégale répartition de lame d'eau ruisselée à travers les 40 trous. Avant que l'eau n'arrive dans le fût, elle s'échappe à travers 14 autres trous. Nous notons également la présence de végétation sur la parcelle qui ralentit le ruissellement. Ce qui explique l'obtention d'une faible hauteur d'eau ruisselée sur cette parcelle.

En plus des caractères physiques (structure, porosité) et de la capacité de rétention qui conditionnent les mouvements de l'eau dans le sol, elle dépend de la variation temporelles des

pluies. En effet, la zone soudano-sahélienne dans laquelle est située notre zone d'étude présente une forte irrégularité pluviométrique avec des saisons pluvieuses présentant une alternance d'évènements pluvieux et d'épisodes secs de durée variable. Lorsque deux événements pluvieux successifs sont espacés d'une dizaine de jours, le stock d'eau accumulé lors des averses antérieures s'épuise rapidement à cause des températures élevées qui entraîne une forte évaporation. En effet, la température au Burkina Faso a évolué plus rapidement que la tendance mondiale variant de 0,2°C à 0,8°C durant ces dernières années (FIELD et al., 2014). Plus particulièrement, la zone soudano sahélienne où se trouve le site de Sanon a connu une grande hausse (+1°C) que la zone soudanienne (+0,2°C) (GARANE, 2010).

IV. CONCLUSION

Les différentes mesures effectuées sur l'ensemble des parcelles ont permis d'estimer les paramètres hydrodynamiques (conductivité hydraulique) et de quantifier les termes du bilan hydrique dans le bassin de Sanon. Les valeurs moyennes de conductivités hydrauliques maximales sont observées au niveau des parcelles cultivées. Elles s'expliquent par la présence de sable provenant des érosions éolienne et hydrique, des apports organiques qui modifie la porosité et des fissures créées par les racines des plantes. Les valeurs minimales sont observées sur la parcelle témoin. Cette parcelle est située dans une zone dégradée qui se laisse difficilement pénétrer par l'eau. Cet état de fait montre que la capacité d'infiltration des sols est influencée dans la plus part des cas par sa texture et sa structure.

De l'interprétation des termes du bilan, il en ressort que malgré les valeurs maximales de conductivités hydrauliques sur la parcelle N°2, l'eau arrive difficilement dans le sous-sol. L'eau qui s'infiltré au niveau de cette parcelle ne représente que 1,2 % des précipitations. Ce pourcentage est nul sur la parcelle latérite. Ces valeurs prouvent que la recharge de la nappe dans la zone de Sanon est faible. Sur la parcelle N°3 le pourcentage est d'eau drainée est de 36,4 %. Ce résultat prouve que cette parcelle est située dans une zone préférentielle de recharge. L'évapotranspiration quant à elle est élevée sur l'ensemble des parcelles. Ce qui confirme que l'effet du changement climatiques dû aux fortes températures a un effet non négligeable dans la zone soudano-sahélienne ces dernières années.

Cette étude a permis donc de savoir en considérant la période allant de juillet à septembre que la zone situé autour de la parcelle mil à un sol humide à quelque cm de profondeur. Elle convient aux plantes qui ont une profondeur racinaire élevée (mil, maïs, sorgho, etc.). Tandis que la parcelle arachide draine une quantité plus importante d'eau. Elle est donc propre aux cultures qui savent résister au stress hydrique.

V. RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES

L'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de ce travail a apporté un grand nombre d'informations sur les différents termes du bilan hydrique du site expérimental de Sanon. Cependant, il est souhaitable de réhabiliter les dispositifs de mesure pour minimiser les erreurs qu'ils engendrent. De plus, il serait nécessaire d'augmenter le nombre de pluviomètre afin de tenir compte de la répartition spatiale de la pluie qui est le paramètre de base dans l'établissement du bilan hydrique. Dans l'objectif d'approfondir l'analyse du comportement de l'eau dans le sol, il est indispensable pour les prochaines études d'effectuer des mesures tensiométriques.

BIBLIOGRAPHIE

- BRGM-AQUATER, 1991.** Exploitation des eaux souterraines en socle cristallin et valorisation agricole: pilote expérimentale en milieu rural pour les zones soudano-sahéliennes et sahéliennes (Rapport de synthèse (phase 2) No. 33 576), BRGM. Orléans, 141p.
- C.T.G.R.E.F, 1979.** Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations (Collection techniques rurales en Afrique No. 272.2). France, 200p.
- CHOISNEL, E., 1992.** Le calcul du bilan hydrique du sol: options de modélisation et niveaux de complexité, in: Science Du Sol. France, pp. 15–31.
- 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, Burkina Faso, 259p.
- DECAGON, D., 2006.** Mini Disk Infiltrimeter (User's manual), 22p.
- FIELD, C., BARROS, V., DOKKEN, D., WHITE, L., 2014.** Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability, 69p.
- GARANE, A., 2010.** Les conséquences physiques des changements climatiques au Burkina Faso, 73p.
- GUERIN, V., CHEVRIER, B., DECUNG, F., 2012.** Guide technique "Caractérisation hydrique de la zone non saturée", 162p.
- JABIOL, B., 2001.** L'eau dans le sol, 46p.
- LADOUCHE, B., FRISSANT, N., MOUVET, C., FEDER, F., PETIT, V., 2006.** Etude de la zone non saturée sur le site de la Mare, commune de Sainte-Marie (La Réunion). Phase 2, 83p.
- LEROUX, M., 1983.** Le climat de l'Afrique Tropicale. Ed. Champion vol, 633p.
- MESSAOUDI, F., 2009.** Influence des propriétés de surface sur les propriétés mécaniques et hydrauliques des sols (Mémoire de fin d'études). Université Pierre et Marie Curie, Ecole des Mines de Paris et Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, France, 40p.

- OUTOUMBE, E., OUATTARA, K.M., OUEDRAOGO, K., 2013.** Projet de modélisation numérique des écoulements souterrains du site expérimental de Sanon et Utilisation des eaux pour l'alimentation durables des populations de la localité (Mémoire explicatif projet intégrateur). Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'environnement, Burkina Faso, 76p.
- RENAUD, S., 2011.** La ressource en eau du bassin versant de l'Arroux (Rapport de stage). Ecole des Ponts (ParisTech), France, 56p.
- RINGTOUMDA, E., 1991.** Contribution hydrogéologique de la vallée de Sanon (Burkina Faso) (Mémoire de fin d'études). Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 53p.
- ROSS, M., 2014.** Rainwatch-AfClix monitoring of 2014 Sahel rainy season, 15p.
- RUSAGARA, R., 2016.** Cartographie du degré de vulnérabilité au stress hydrique des principales céréales cultivées dans le sahel Burkinabè (Mémoire pour l'obtention du master en d'ingénierie de l'eau et de l'environnement). Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'environnement, Burkina Faso, 75p.
- SANOOGO, I., 1997.** Etude hydro-météorologiques du bassin de la Comoé et bilan hydrologique des retenues de Toussiana, Lobi et Moussodougou (Mémoire de stage). Ecole Inter-Etat d'Ingénieur de l'Equipement Rural de Ouagadougou, Burkina Faso, 88p.
- SAWADOGO, W.H.Y., 2012.** Fonctionnement hydrique des sols du bassin versant de Tougou (Nord du Burkina Faso) (Mémoire pour l'obtention du master en d'ingénierie de l'eau et de l'environnement). Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'environnement, Burkina Faso, 61p.
- SCHNEIDER, S., 2009.** Estimation des paramètres hydrodynamiques des sols à partir d'une inversion jointe de données d'infiltrations et de résistivité électrique (Thèse de doctorat). Université Paris-sud 11, France, 52p.
- SENTEK, 2009.** Diviner 2000 user guide version 1.5, 88p.
- SENTEK, 2012.** Sentek Solo hardware Manual, 28p.
- STRUDLEY, M., GREEN, T., ASCOUGH, J., 2008.** Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. (No. 99), Soil and Tillage Research,

48p.

VACHAUD, G., VAUCLIN, M., LATY, R., 1991. Caractérisation hydrodynamique in situ de quelques sols soudano-sahéliens à l'aide d'un programme de calcul assisté par micro-ordinateur. Presented at the Soil Water BALance in the Soudano-Sahelian Zone, Niamey, 12p.

WELLENS, J., 2007. Renforcement structurel de la capacité de gestion des ressources en eau pour l'agriculture dans le bassin de Kou (Rapport technique No. 1). Burkina Faso, pp.15-22.

WELLENS, J., TRAORE, F., NIAMIAN, M.-J., KARAMBIRI, H., DIALLO, M., COMPAORE, N., DAKOURE, D., DEROUANE, J., TYCHON, B., 2008. Elaboration du bilan d'eau du bassin versant de Kou et analyse critique des principaux composants, Burkina Faso, 9p.

ZHANG, R., 1997. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. Soil Science Society of America Journal (SSSAJ), pp. 1024–1030.

ANNEXES

Annexe I : Calcul des moyennes de conductivité hydrauliques pour différentes dates

Parcelle N°1 :

25/08/2016	
Essais	k (cm/h)
Essai 1	0,50
Essai 2	0,50
Essai 3	0,90
Moyenne	0,63
Ecart-type	0,18
CV	27,67

29/09/2016	
Essais	k (cm/h)
Essai 1	0,82
Essai 2	1,79
Essai 3	0,75
Moyenne	1,12
Ecart-type	0,45
CV	40,11

29/08/2016	
Essais	k (cm/h)
Essai 1	1,82
Essai 2	0,86
Essai 3	0,29
Moyenne	0,99
Ecart-type	0,55
CV	55,85

01/09/2016	
Essais	k (cm/h)
Essai 1	1,23
Essai 2	0,48
Essai 3	0,90
Moyenne	0,87
Ecart-type	0,26
CV	29,67

Parcelle N°2 :

25/08/2016	
Essais	k (cm/h)
Essai 1	5,96
Essai 2	3,35
Essai 3	5,72
Moyenne	5,01
Ecart-type	1,11
CV	22,14

29/09/2016	
Essais	k (cm/h)
Essai 1	4,44
Essai 2	1,11
Essai 3	5,48
Moyenne	3,68
Ecart-type	1,71
CV	46,48

29/08/2016	
Essais	k (cm/h)
Essai 1	4,12
Essai 2	2,85
Essai 3	4,18
Moyenne	3,72
Ecart-type	0,58
CV	15,61

01/09/2016	
Essais	k (cm/h)
Essai 1	2,82
Essai 2	2,53
Essai 3	3,83
Moyenne	3,06
Ecart-type	0,51
CV	16,78

Parcelle N°3 :

25/08/2016	
Essais	k (cm/h)
Essai 1	2,12
Essai 2	3,13
Essai 3	2,15
Moyenne	2,46
Ecart-type	0,44
CV	17,87

29/08/2016	
Essais	k (cm/h)
Essai 1	2,08
Essai 2	1,46
Essai 3	1,96
Moyenne	1,83
Ecart-type	0,25
CV	13,52

01/09/2016	
Essais	k (cm/h)
Essai 1	2,13
Essai 2	5,71
Essai 3	3,56
Moyenne	3,80
Ecart-type	1,27
CV	33,53

29/09/2016	
Essais	k (cm/h)
Essai 1	2,20
Essai 2	1,42
Essai 3	1,77
Moyenne	1,80
Ecart-type	0,27
CV	15,10

Annexe II : Photos de terrain



Photo 1 : Essai d'infiltration



Photo 2 : Vidange du lysimètre



Photo 3 : Parcelle N°1



Photo 4 : Parcelle N°2



Photo 5 : Parcelle N°3



Photo 6 : Mesure d'humidité