



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Direction du développement  
et de la coopération DDC

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le  
Sahel: Cas du bassin versant de Tougou

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN INGENIERIE  
DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT**

**OPTION : Infrastructure des réseaux hydraulique**

Présenté et soutenue publiquement le 02 Novembre 2016 Par :

**Aïcha Valérie Carole BADINI**

Sous la direction de :

**Dr Dial NIANG** : Enseignant-chercheur Laboratoire Hydrologie et  
Ressources en Eau (2iE)

**Cheick Oumar ZOURE** : Doctorant 2iE

*Jury d'évaluation du stage :*

Président : Dr. Amadou KEÏTA

Membres et correcteurs : Dr. Dial NIANG

:Dr. Tazen FOWE

: Mr. Roland YONABA

: Mr. Cheick ZOURE

**Promotion 2015/2016**

**DEDICACE**

A mon défunt père

A ma mère

A mes frères et sœurs

## REMERCIEMENTS

Avant de présenter ce mémoire je tiens à remercier :

**Docteur NIANG Dial**, enseignant chercheur à l'Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, et mon cadreur principal, qui a bien voulu accepter de me guider tout au long de ce travail. Je lui exprime ici ma vive gratitude.

**Monsieur ZOURE Cheick Oumar**, dont les conseils et les critiques m'ont beaucoup aidé à l'établissement de ce document.

L'ensemble du corps professoral de 2iE, et tous ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

## RESUME

Cette présente recherche est menée dans le bassin de Tougou localisé au Sahel burkinabè. Il s'agit d'un écosystème confronté depuis plusieurs décennies à une dégradation continue de ses ressources naturelles dûes à l'effet conjugué des aléas climatiques et des actions anthropiques. Cette dégradation a entraîné une modification des composantes du bilan hydrique et de ce fait les versants deviennent des zones de transit pour les flux hydriques superficiels alors que les zones basses se transforment en bas-fonds. Il apparaît ainsi un déséquilibre dans la distribution spatiale de l'eau à l'échelle du paysage accentuant le caractère contraignant de ce paramètre.

Dans un tel contexte, il s'avère nécessaire de mieux comprendre les transferts hydriques en vue de proposer des solutions pour arrêter ou ralentir cette dégradation des sols, facteur limitant pour une agriculture rentable.

Tel est l'objectif de cette étude qui se propose d'évaluer les performances hydriques de nouvelles pratiques culturales. L'approche méthodologique a consisté à étudier les composantes du bilan hydrique pour chaque pratique culturale. Le dispositif expérimental est un bloc aléatoire complet à deux répétitions et chaque bloc est composé de 4 parcelles (1 parcelle de zaï, 1 parcelle de demi-lune, 1 parcelle de cordons pierreux et 1 parcelle témoin). La culture choisie est le petit mil (IKMP5 Kiipala).

Les premiers résultats montrent l'absence de différences significatives de l'infiltrabilité entre les différents traitements (qui varient entre 3 et 4 sur l'ensemble des parcelles). Ceci est dû certainement au fait que nous sommes en début d'expérience et que les pratiques culturales choisies n'ont pas encore d'effets sur le sol. Ces différentes pratiques culturales, à l'exception du cordon pierreux qui présente les même valeurs que le témoin, ont permis de réduire le coefficient de ruissellement ; il est de 27% pour le zaï et de 7% pour la demi-lune. Au niveau du stockage de l'eau du sol, la demi-lune montre la plus importante valeur (267 mm) et la plus faible est observée sur la parcelle témoin (128 mm) sur la période d'observation (14 Septembre 2015 au 13 Octobre 2015). Quant à l'évapotranspiration réelle les moyennes journalières tournent autour de 2.25 mm pour le cordon pierreux à 3.92 mm pour la demi-lune.

Mots-clés : bilan hydrique, Changement climatique, Pratique culturale, Sahel, Hydrodynamique

## ABSTRACT

The present research is conducted in the Tougou basin located in the Sahel Burkinabe. It is an ecosystem faces decades in continued degradation of natural resources due to the combined effect of climatic changes and human activities. This degradation has caused a change in water balance components and therefore the slopes become staging areas for surface water flow while low areas turn into slums. It is thus an imbalance in the spatial distribution of water across the landscape highlighting the binding nature of this parameter.

In this context, it is necessary to better understand the water transfers to propose solutions to stop or slow down this degradation, limiting factor for profitable agriculture.

This is the objective of this study was to evaluate the water performance of new cultural practices. The methodological approach was to study the components of the water balance for each cultural practice. The experimental design was a randomized complete block with two replications and each block consists of 4 parcels (one zai parcel, one halfpipe parcel, one stone barriers parcel and one control parcel). The selected crop is millet (IKMP5 Kiipala).

The first results show no significant differences in the infiltrability between the different treatments (which vary between 3 and 4 cm/h in other parcels). This is certainly due to the fact that we are beginning to experience and that the chosen cultural practices have not effect on the ground. These different cultural practices have reduced the runoff coefficient except for the cord-stony which equal the control parcel; it is 27% for zai and 7% for the half-moon. In storage of soil water is at the half-moon that we have the highest value (267 mm) and the lowest value at the control plot (128 mm) over the observation period (14 September at 13 October). As for the actual evapotranspiration daily average are around 2.25 mm for the stone bunds to 3.92 mm for the half-moon.

Keywords: Water balance, Climate change, Cultural practice, Sahel, Hydrodynamic

Table des matières

DEDICACE.....	I
REMERCIEMENTS .....	II
RESUME.....	III
ABSTRACT .....	IV
LISTE DES TABLEAUX .....	VII
LISTE DES FIGURES .....	VIII
LISTES DES PHOTOS.....	IX
LISTES DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES.....	X
INTRODUCTION.....	1
I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE .....	3
I.1 Le climat.....	3
I.2 Dégradation des ressources naturelles.....	5
I.3 Conservation des Eaux et des Sols .....	7
I.3.1 Notion générales.....	7
I.3.2 Définition de certaines techniques.....	9
II. Caractérisation de la zone d'étude.....	14
II.1 Situation géographique.....	14
II.2 Climat .....	15
II.3 Sol, relief, état de surface et végétation.....	15
II.4 Cadre socio-économique .....	17
II.4.1 Démographie .....	17
II.4.2 Activités économiques.....	17
III. MATERIELS ET METHODES .....	19
III.1 Démarche de l'étude.....	19
III.2 Localisation et dispositif expérimental.....	19
III.3 Matériels.....	20
III.3.1 Pluviométrie .....	20
III.3.2 Conductivité hydraulique à saturation.....	21
III.3.3 Conductivité hydraulique non saturé.....	22
III.3.4 Humidité.....	23
III.3.5 Charge de pression .....	23
III.3.6 Ruissellement .....	24

III.4	Méthode.....	25
III.4.1	Détermination des propriétés physiques du sol .....	25
III.4.2	Mesure des propriétés hydraulique de surface du sol.....	25
III.4.3	Mesure des variables d'état .....	27
III.4.4	Bilan hydrique .....	27
IV.	RESULTATS ET DISCUSSION .....	30
IV.1	. Caractérisation des propriétés physiques du sol.....	30
IV.2	Caractérisation des propriétés hydrauliques de surface du sol .....	31
IV.2.1	Conductivité hydraulique à saturation.....	31
IV.2.2	Conductivité hydraulique non saturée .....	32
IV.3	Evolution spatio-temporelle des variables d'états .....	34
IV.3.1	Teneur en eau .....	34
IV.3.2	Charge de pression .....	40
IV.4	Bilan hydrique .....	42
V.	Conclusion et perspectives .....	43
	BIBLIOGRAPHIE .....	44
	ANNEXES .....	49
	Annexe 1: Profils pédologiques.....	50
	Annexe 2: Principe de mesure du TRIMS.....	51
	Annexe 3: Méthodes d'analyse du TRIMS ainsi que leurs avantages et inconvénients. ....	52
	Annexe 4: Relevé des mesures d'humidité .....	54
	Annexe 5: Relevé des mesures tensiométriques.....	63
	Annexe 6 : Méthodologie de Gardner .....	68

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: Typologie des pratiques culturales selon leur applicabilité.....	8
Tableau 2: Conductivité hydraulique à saturation au niveau des différents traitements .....	31
Tableau 3: Conductivités hydrauliques non saturées au niveau des différents traitements .....	32
Tableau 4 : Valeurs de Sorptivité au niveau des différents traitements .....	33
Tableau 5: Les différentes composantes du bilan hydrique sur la période du 14 septembre au.....	42

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Situation du sahel hydrologique burkinabé (Koussoubé 2006) .....	4
Figure 2: Evolution de la pluviométrie entre 1930 et 2005 .....	5
Figure 3: Evolution des états de surfaces du bassin de Tougou de 1972 à 2002 (Koussoubé 2006) .....	6
Figure 4: Evolution dans le temps de l'encroûtement superficiel du sol (Guillobez et Zougmore 1991)6	
Figure 5: Vue en plan et disposition des zaï (Moustapha, 2010).....	10
Figure 6: Vue en plan et disposition des demi-lunes (Moustapha, 2010) .....	11
Figure 7: Localisation du bassin versant de Tougou (Koussoubé 2006).....	14
Figure 8: Transect du bassin versant de Tougou (Yakouba 2004) .....	16
Figure 9 : Dispositif expérimental de Tougou.....	20
Figure 10: Répartition granulométrique au niveau du site expérimental .....	30
Figure 11: Evolution temporelle de la teneur en eau dans le sol .....	35
Figure 12: Profils hydriques sur l'ensemble des parcelles en périodes sèche et humide .....	37
Figure 13: Stock hydrique entre la surface et 100 cm de profondeur sur l'ensemble des parcelles .....	39
Figure 14: Evolution de la charge hydraulique en périodes sèche et humide .....	41

## LISTES DES PHOTOS

Photo 1: Le zaï en construction	Photo 2: Des plants dans le zaï .....	10
Photo 3: Demi-lune inondée	Photo 4: Des plants dans la demi-lune .....	12
Photo 5: Mise en place d'un cordon pierreux	Photo 6: Cordon pierreux inondé.....	13
Photo 7: Croûte d'érosion .....		19
Photo 8: Pluviomètre .....		21
Photo 9: Double anneau de MUNTZ.....		22
Photo 10: TRIMS .....		23
Photo 11: Sonde, boîtier TRIME, tube d'accès et cannes tensiométriques.....		24
Photo 12: Partiteur et fût .....		25

## **LISTES DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES**

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

SP CONEDD : Secrétariat Permanent du Conseil National pour l'Environnement et du Développement Durable

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PAF : Projet Agro-Forestier

CES : Conservation des Eaux et des Sols

PATECORE : Projet d'Aménagement des Terroirs et de Conservation des Ressources dans le Plateau Central

CES : Conservation des Eaux et des Sols

AGF : AgroForesterie

PIB : Produit Intérieur Brut

BUNASOL : Bureau National des Sols

FAO: Food and Agriculture Organization

AIEA : Agence International de l'Energie Atomique

INERA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

ONG<sub>s</sub>

CE : Conservation des Eaux

CS : Conservation des Sols

CR : Conservation des eaux de Ruissellement

## INTRODUCTION

### Contexte et problématique

Le Burkina Faso est un pays sahélien enclavé situé en Afrique Occidentale dans la boucle du Niger avec une superficie de 274.000 km<sup>2</sup> et une population d'environ 19 millions d'habitants (INSD, 2015). L'économie du Burkina Faso dépend très fortement des ressources naturelles notamment agro-sylvo-pastorales, halieutiques et fauniques. Le secteur agricole à lui seule occupe 80,4% de la population active et contribue pour 40% du Produit Intérieur Brut (MAHRH, 2011). La population agricole est tournée vers les cultures vivrières qui occupent la grande majorité des superficies cultivable. Cette production est presque entièrement destinée à l'autoconsommation et elle est caractérisée par une dominance céréalière (sorgho, mil, maïs, riz, fonio) ; sur une superficie totale cultivée de 3 431 000 ha, 88% sont destinés aux céréales (FAO, 1996). Quoique les oléagineux (arachide, sésame, karité) occupent une place importante mais variable selon les années. Ainsi le sol représente une ressource naturelle, indispensable et précieuse ; avec de multiples fonctionnalités à la fois économiques, sociales et environnementales.

Malheureusement, à partir des graves sécheresses des années 70, cette agriculture est confrontée à d'énormes problèmes dûs aux effets des changements climatiques. En effet, cette région s'est retrouvée face à une dégradation de ses ressources naturelles, plus particulièrement les sols (Karambiri, 2003). Des études menées par SP/CONEDD (2006) ont permis d'estimer l'ampleur de la dégradation des sols entre 1992 et 2002 (11% des terres burkinabé sont considérés comme très dégradés et que 34% des terres sont considérés comme moyennement dégradés). Cette dégradation des terres ne cesse d'augmenter et elle est estimée environ entre 105 000 à 360 000 ha par an (SP/CONEDD, 2006).

Cette dégradation des sols a entraîné une disparition progressive de la végétation et a provoqué une importante dégradation chimique, biologique et physique des terres (Pieri, 1989). Les principales conséquences sont une destruction de la structure du sol (formation de croûte en surface, une réduction de sa perméabilité, une augmentation de sa compacité, le manque d'aération, la limitation de l'enracinement, etc.). On assiste alors à un dérèglement du régime hydrique du sol et l'apparition d'un pédoclimat présentant une aridité prononcée (Stroosnijder, 1996 ; Ambouta et al., 1996). Il en est de même de l'accentuation du phénomène d'érosion qui a abouti à la longue, à l'apparition des sols dénudés appelés, *zipellé* (qui signifie zone claire en mooré) au Burkina Faso.

Pour renverser cette tendance, de nombreuses actions de lutte ont été initiées par les populations avec le soutien des Organisations Non Gouvernementales (ONG), des projets de développement et des organismes publics. D'importants investissements à la fois financiers et humains ont été déployés pour la mise au point et la diffusion de techniques de conservation des eaux et des sols. En effet, avec cette dégradation des sols, la faible quantité d'eau qui tombe sur ces sols est rapidement perdue soit par évaporation, soit par ruissellement.

Il est donc plus que nécessaire de mettre l'accent sur les actions à mener pour ralentir ou freiner ce processus.

Certaines pratiques culturales (zaï, demi-lune, cordon pierreux, bande enherbée ...) présentent plusieurs avantages pour conduire au mieux les activités agricoles (Vlaar, 1992, Zombré, 2003). Ces différentes études se sont beaucoup plus orientées sur l'amélioration des rendements et le bouclage du cycle cultural à terme mais aucune ne s'est intéressée sur les transferts d'eau dans le sol. C'est pour mieux comprendre cette dynamique de l'eau dans le sol que notre thématique dont le titre est «**Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales dans le Sahel burkinabé : Cas du bassin versant de Tougou** » a été initiée.

### **Objectifs**

L'objectif global de cette étude est d'évaluer l'impact des pratiques culturales sur les différents paramètres hydriques du sol sahélien (cas du bassin versant de Tougou).

Des objectifs spécifiques émanent de cet objectif global et sont à la base des approches méthodologiques utilisées : Ils s'énoncent comme suit :

- ✓ de caractériser les propriétés hydrauliques de surface du sol
- ✓ de quantifier l'évolution spatio-temporelle des variables d'état
- ✓ de quantifier les différentes composantes du bilan hydrique

### **Démarche méthodologique**

La suite du texte sera structurée de la manière suivante : (i) dans un premier temps, nous résumerons l'état de nos connaissances sur la dégradation des sols, les pratiques culturales et le fonctionnement hydrique des sols ; (ii) dans un second temps, nous présenterons les matériels et la méthodologie mis en œuvre pour réaliser le travail ; (iii) la troisième partie sera consacrée aux résultats et à leurs discussions. Interviendrons ensuite la conclusion et les perspectives.

## I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

### I.1 Le climat

Selon le dictionnaire PETIT ROBERT, le climat est l'ensemble des circonstances atmosphériques et météorologiques propres à une région du globe. Lacoste et Salanon (1969) le définissent comme étant la composante déterminante de la distribution des organismes vivants et le facteur primordial influant l'activité des biocénoses. Wane (2009) a restreint le climat à une donnée fondamentale des ressources naturelles. De nombreux phénomènes contribuent à la caractérisation du climat d'une région. Selon Labrousse (2006), le climat résulte d'une combinaison de trois phénomènes : la répartition sur le globe de l'énergie reçue du soleil, la manière dont l'atmosphère et l'océan redistribuent l'énergie reçue, l'intensité de l'absorption par l'atmosphère du rayonnement infrarouge émis vers le ciel par la surface de la terre (effet de serre).

Cependant depuis la fin des années 1960, plusieurs études ont révélés que le sahel connaît des séries de sécheresses dus à ces paramètres climatiques qui sont : la température, les précipitations, l'ensoleillement, l'humidité, la vitesse du vent.

Le Burkina Faso a un climat de type tropical sec. Au Burkina Faso, le Sahel est situé dans la partie nord du pays entre les latitudes 13°Nord et 15° Nord et les longitudes 3°Ouest et 2°Est (figure1). Il occupe une superficie d'environ 61 100 km<sup>2</sup> (Karambiri, 2003). Cette région, espace fragile, avec des besoins de plus en plus croissants subit les effets de la variabilité climatique. En raison de leurs répercussions immédiates et durables sur le milieu naturel et sur l'homme, les questions de changements et de variabilité climatiques sont placées depuis quelques temps au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde.



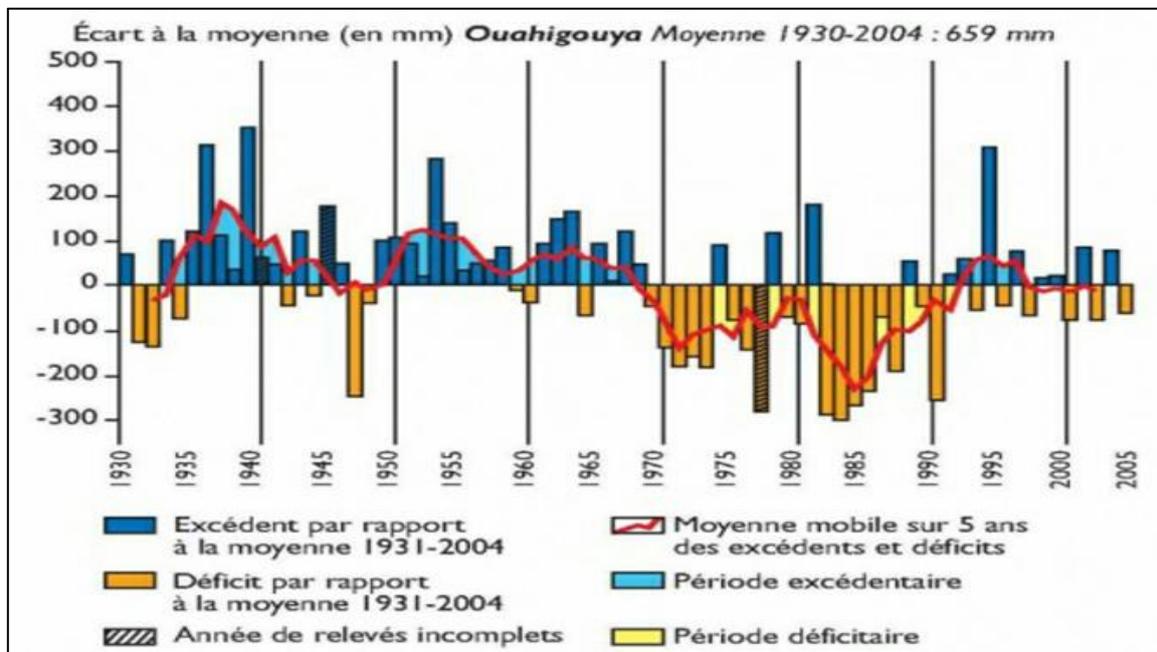
**Figure 1 :** Situation du sahel hydrologique burkinabé (Koussoubé 2006)

Plusieurs études ont montré le caractère fragile de cet écosystème par rapport au reste du pays :

- ❖ Une étude menée par Kambou et al en 1994 montre que le centre-sud, le plateau central et le Nord sont les zones les plus dégradées au Burkina Faso
- ❖ Une étude menée par Ouédraogo (2001) montre que la pluviométrie annuelle est en baisse de 10% à 40% depuis les années 1970 dans cette région
- ❖ L'étude de Mahé & Patrel (2009) fait ressortir l'extrême variabilité interannuelle des hauteurs d'eau tombées (figure 2) découpée en 4 phases :
  - jusqu'aux années 40, la variabilité interannuelle des pluies est élevée avec des périodes de sécheresse (1931-1934, 1941-1942, 1947-1949) n'excédant pas 2 ou 5 ans;
  - de 1942 à 1968 la région connaît une période de pluviosité excédentaire ;
  - de 1969 à 1995 les pluies sont inférieures aux moyennes interannuelles avec l'apparition de deux sécheresses très sévères en 1972-1974 et 1983-1985. Cette aridification du climat s'est traduite par un décalage vers le sud des isohyètes, nettement plus marqué au

nord qu'au sud (près de 500 km pour l'isohyète 100 mm et 100 km pour l'isohyète 1 000 mm (Le Borgne, 1990).

- de 1995 à 2004, la pluviosité a ré-augmenté au Sahel, mais la moyenne pluviométrique reste inférieure à la moyenne interannuelle.



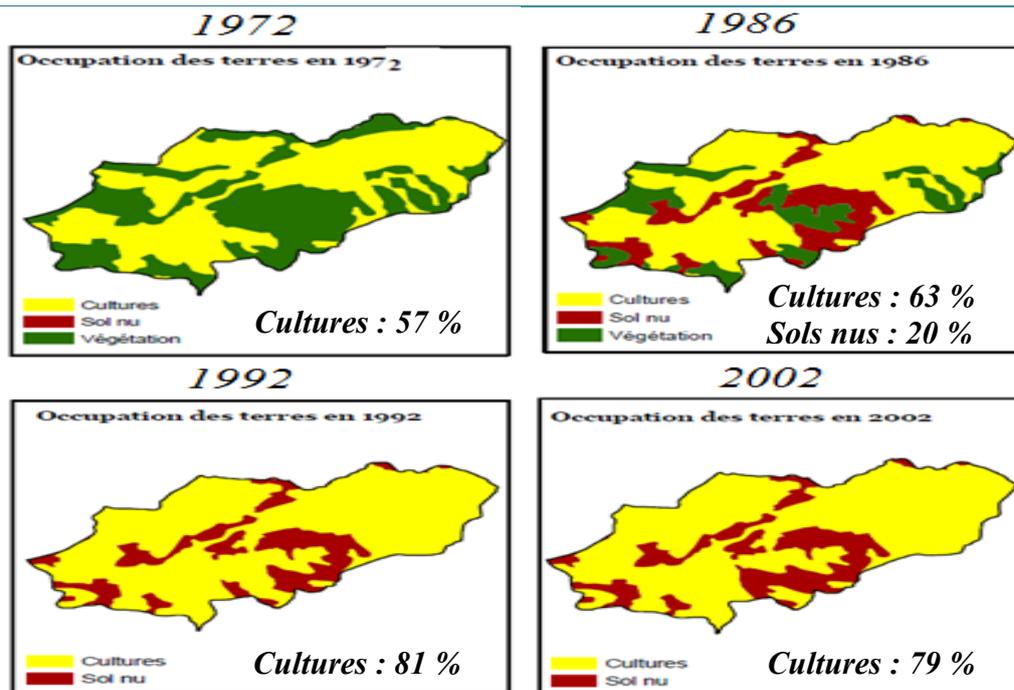
**Figure 2:** Evolution de la pluviométrie entre 1930 et 2005 dans la région de Ouahigouya

Source : Atlas Jeune Afrique du Burkina Faso, 2005, 1<sup>ère</sup> édition

## I.2 Dégradation des ressources naturelles

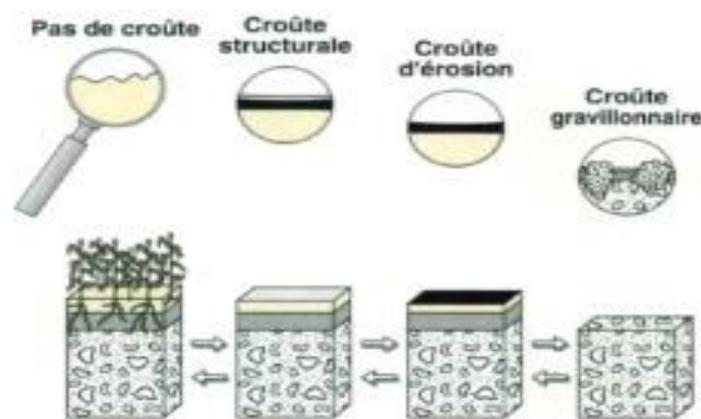
Cette partie résume l'essentiel des études sur la dégradation des ressources naturelles et leurs impacts sur l'environnement effectuées dans notre zone d'étude :

- ❖ Selon Dugue (2006) l'augmentation de la population dans cette région (16 habitants/km<sup>2</sup> en 1910 à 70 habitants/km<sup>2</sup> en 2006) a entraîné plus de zones de culture avec comme corollaire une déforestation plus aiguë ; Collinet (1988), Casenave et Valentin (1989) ont révélé qu'au Sahel les phénomènes de ruissellement et d'infiltration sont sous la dépendance quasi exclusive des états de surface. Plus le sol se dégrade, plus le ruissellement est important.
- ❖ Koussoubé (2006) montre le lien entre la dégradation des sols et les actions anthropiques (coupe abusive du bois, feux de brousse, augmentation des zones de culture ...). Les terres sont exploitées jusqu'à épuisement avant d'être abandonnées d'où la disparition de zone de végétation et l'apparition de zone nues de plus en plus fréquentes (figure 3).



**Figure 3:** Evolution des états de surfaces du bassin de Tougou de 1972 à 2002 (Koussoubé 2006)

❖ Selon Guillobez et Zougmoré (1991) l'agressivité des pluies sahéniennes détruit facilement la structure par effet splash favorisant l'apparition de croûtes d'érosion (figure 4) beaucoup plus favorables au ruissellement qu'à l'infiltration.



**Figure 4:** Evolution dans le temps de l'encroûtement superficiel du sol (Guillobez et Zougmoré 1991)

❖ Niang (2006), Casenave et al (1989) ont montré que l'action conjuguée de la hausse de température et du vent, engendrent une augmentation de l'évapotranspiration donc de la diminution du stock d'eau dans le sol (important pour le maintien de la structure du sol).

### **I.3 Conservation des Eaux et des Sols**

#### **I.3.1 Notion générales**

Suite aux différentes catastrophes naturelles (sécheresse, famine, etc.) que le pays a subi depuis les années 1970, les acteurs du développement ont focalisé leur énergie sur la recherche et la mise en œuvre de solutions pratiques pour les populations. Ainsi, par des textes réglementaires sur le plan international en passant par les mots d'ordre des projets, la lutte pour une productivité adaptée aux conditions climatiques s'est organisée autour des producteurs. La majorité des actions menées par les populations dans le domaine de l'adaptation aux changements et aux variabilités climatiques, découle d'initiatives de la recherche. De ces actions naissent le terme de pratiques culturelles. Ces dernières peuvent se définir comme l'ensemble des techniques utilisées par les cultivateurs lors de l'exploitation d'une parcelle, pour l'amélioration de leur rendement agricole. Ainsi, plusieurs pratiques culturelles sont recensées :

❖ dans la zone du Centre, du Nord et du Nord-Ouest (les fossés anti-érosifs du GERES, le zaï, les demi-lunes, les diguettes anti-érosives, les diguettes filtrantes, les sous-solages, le scarifiage, le labour, le buttage et le billonnage, la mise en défens, le paillage, le reboisement, le tapis herbacé, les bandes enherbées) ;

❖ dans la zone d'Ouest et du Sud-Ouest les pratiques utilisées sont généralement de solutions ancestrales améliorées au fil des générations pour assurer une gestion de l'eau, des sols et des ressources végétales. C'est le cas de la technique du billonnage et des autres technologies apparentes ;

❖ enfin dans la zone d'Est on y observe un système d'association de culture mil et de sorgho, qui est une pratique agricole traditionnelle généralisée au Burkina Faso.

En 2002, Vlaar a proposé un tableau qui synthétise la compatibilité de certaines pratiques culturelles dans certains milieux (tableau 1). Plusieurs études ont été menées dans le Nord du pays sur ces pratiques culturelles :

**Tableau 1:** Typologie des pratiques culturales selon leur applicabilité

Dispositif	Fonction	Adaptation agro-climatique			Adaptabilité au type de sol				Adaptabilité à la topographie	
		Zone Sahélienne	Zone Soudanienne	Zone Soudano-sahélienne	Sol Argilo limoneux guinéen	Sol sablo-limoneux	Sol sableux	Sol encroutés/colmatés	Pentes forte	Pentes faibles en surface
Sous-solage	CE	-	++	+	++(4)	+(4)	-	++(4)	+	+
Zaï	CE/CS/CR	+/-	++	-	+	++	-	++	+	+
Demi-lune	CS/CR	++	+	-	+	++	-	+	+	++
Diguette en terre	CS/CE	+	++	-	+	++	-	+(5)	+	++
Fossé à dos	CS/CE/CR	+	++	+(3)	+	++	-	+(5)	+(3)	++
Cordons pierreux	CS/CE	+	++	+	++	++	+	+	+	++
Digue filtrante	CS/CR (2)	+	++	+	++	++	+	+	-(6)	++(6)
Traitement de ravine/seuil	CS	-	++	++	+	++	++	+	+	+
Bande végétative	CS	-	-	++	+	+	+	+(5)	+	+

Légende : ++ Très adapté

+ Applicable

- Pas adapté

CS = conservation du sol contre l'érosion hydrique

CE = conservation de l'eau

CR = collecte des eaux de ruissellement

(2) la digue filtrante a également comme objectif la collecte des transports solides (sédimentation)

(3) à condition que le fossé ait une pente permettant à l'eau excédentaire d'être évacuée (drainage)

(4) le sous-solage ne donne qu'un effet temporaire et doit être entretenu par la suite par un labour annuel assez profond

(5) seulement après sous-solage

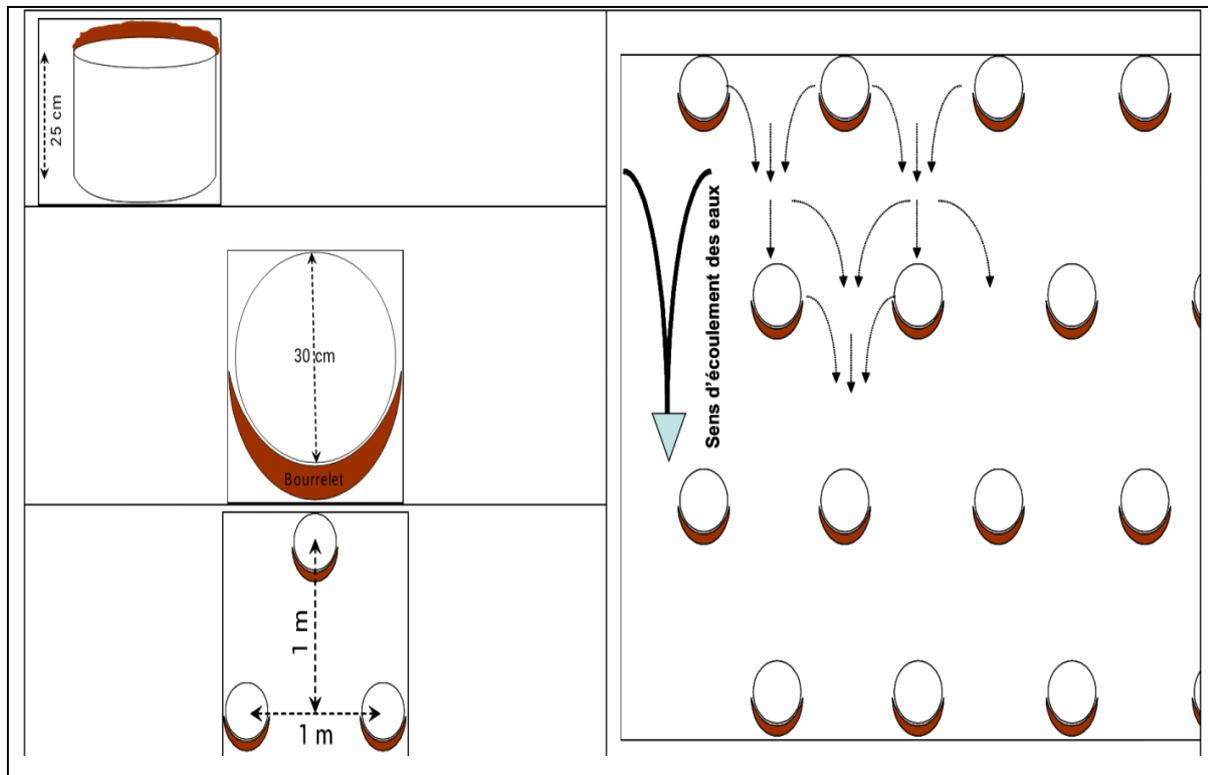
(6) la pente longitudinale du thalweg/bas fond ne doit pas être forte

### I.3.2 Définition de certaines techniques

#### a. *La technique de zaï*

La méthode des poches d'eau, encore appelée zaï, est une technique traditionnelle réhabilitée au Yatenga (nord du Burkina Faso) entre 1982 et 1984, à la suite d'années de sécheresse. Le zaï signifie en moré «se lever tôt et se hâter pour préparer sa terre» ou encore «casser et émietter la croûte du sol avant les semis» (Kaboré, 1994). La mise en place du zaï est faite en saison sèche c'est-à-dire de Novembre à Mai pour attendre la saison pluvieuse et commencer à cultiver. C'est une technique qui consiste à creuser des cuvettes d'un diamètre tournant autour de 30cm et d'une profondeur tournant autour de 25cm (la taille des cuvettes et leur espacement dépend du type de sol et de la région concernée), puis à les remplir de nouveau en mélangeant de la matière organique sous forme de fumier ou de compost à la terre. Les trous ne sont toutefois pas complètement remplis, mais seulement jusqu'à une certaine profondeur, et l'excédent de terre est accumulé du côté le plus bas, pour contribuer à la capture des eaux de ruissellement et de les laisser s'infiltrer (Reij et al, 1996). Il s'agit d'une forme simple de récolter de l'eau, qui permet efficacement de concentrer l'eau aux endroits cultivés, et d'éviter la perte du fumier par ruissellement et protège les plantes contre le vent à l'état plantule. On distingue deux variantes de la technique (zaï agricole et zaï forestier). Au Sahel le zaï agricole

(figures 5, et photo 1 et 2) pratiqué est dit «zaï traditionnel» car les poquets sont creusés pêle-mêle.



**Figure 5:** Vue en plan et disposition des zaï (Moustapha, 2010)



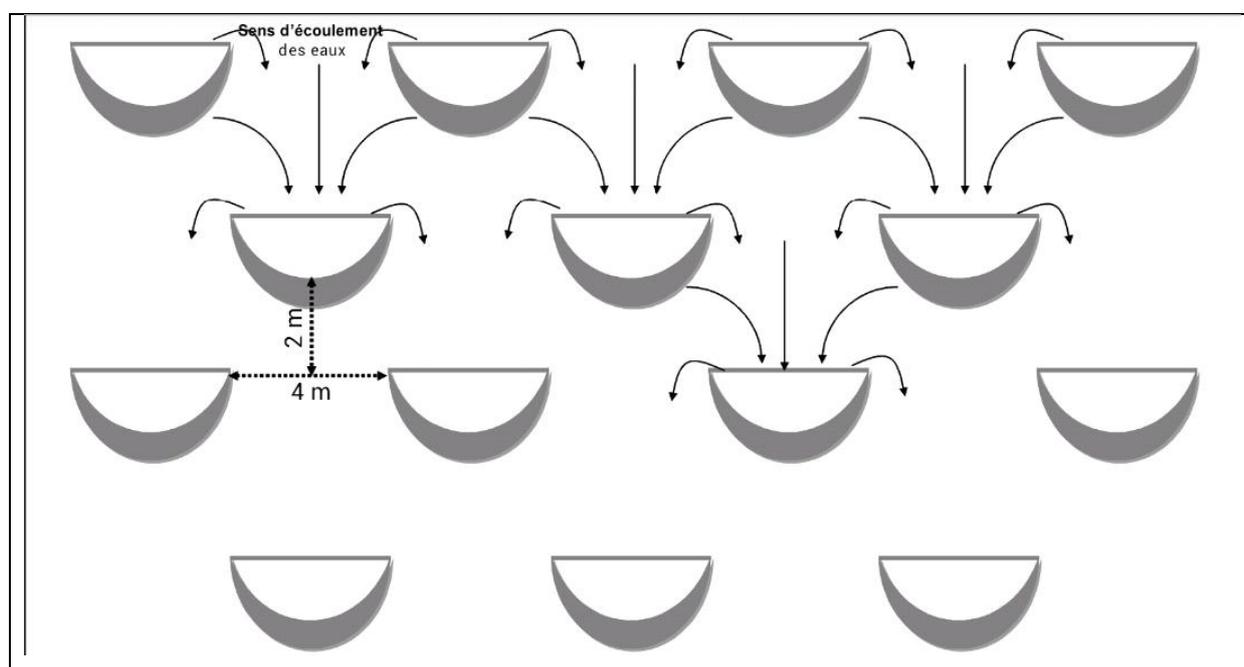
**Photo 1:** Le zaï en construction



**Photo 2:** Des plants dans le zaï

**b. La technique de la demi-lune**

La technique de la demi-lune est une variante de la méthode des zaï. C'est une cuvette en forme de demi-cercle ouverte à l'aide de pic, pioche et pelle (figures 6, et photo 3 et 4). La terre de déblais est déposée sur le demi-cercle en un bourrelet semi-circulaire au sommet aplatis. Son implantation se fait à l'aide d'un compas de rayon 2 m. Les dimensions couramment utilisés pour la construction de demi-lune sont de 4 m pour le diamètre et une profondeur comprise entre 0,15 et 0,25 m. Les demi-lunes doivent être disposées en quinconce, avec un espacement de 4m entre deux demi-lunes sur une même ligne et entre deux lignes successives. On mélange du fumier au sol à l'intérieur de la demi-lune, pour assurer une meilleure productivité des sols. La technique de demi-lune est pratique surtout dans les zones sahéliennes, les zones à pluviométrie inférieure à 600 mm, dans certaines zones à risques d'inondations.



**Figure 6:** Vue en plan et disposition des demi-lunes (Moustapha, 2010)



**Photo 3:** Demi-lune inondée



**Photo 4:** Des plants dans la demi-lune

*c. La technique du cordon pierreux*

La technique des cordons de pierres (photo 5 et 6) consiste à enfoncer environ un tiers des pierres ferreux le long des courbes de niveaux. La réalisation des diguettes de cordon de pierres commence par la détermination d'une courbe de niveau à l'aide du niveau à eau, du triangle à sol ou par un levé topographique, en procéder au traçage à l'aide de daba, pic, pioche, bovine, tracteur, etc. les écartements entre les cordons varient en fonction de la pente. Ouvrir un sillon d'encrage de 10 à 15 cm de profondeur et de 15 à 20 cm de largeur sur la ligne tracée et y déposer les pierres. Les cordons de pierres sont utilisés depuis le climat sahélien jusqu'au climat sud soudanien avec des isohyètes allant de 400 à 1100 mm. Ils sont généralement utilisés sur les sols situés sur des pentes marquées qui favorisent le ruissellement.



**Photo 5:** Mise en place d'un cordon pierreux

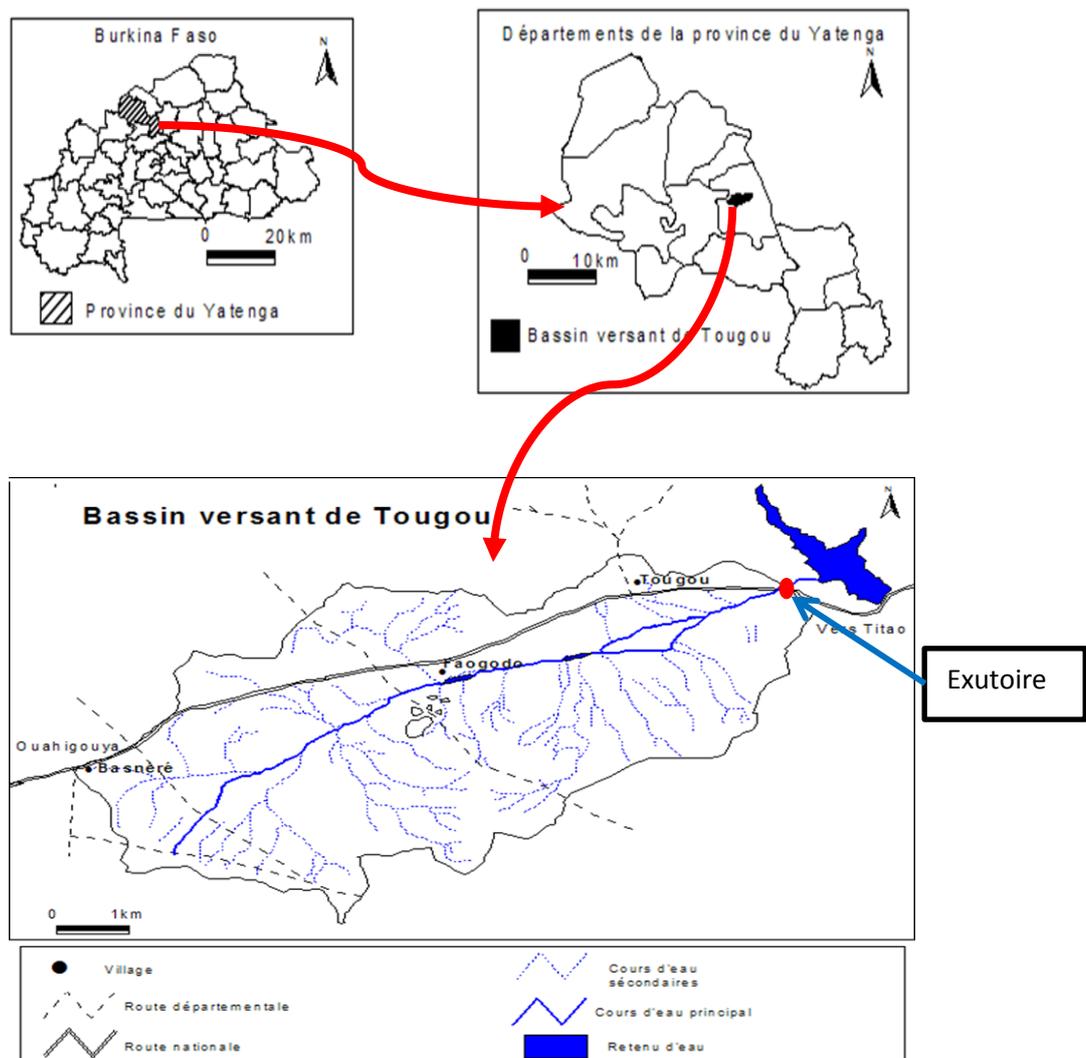


**Photo 6:** Cordon pierreux inondé

## II. Caractérisation de la zone d'étude

### II.1 Situation géographique

Le bassin versant de tougou (Figure 7), est située au nord du Burkina Faso dans la partie Est de la province du Yatenga. Les coordonnées géographiques de l'exutoire du bassin versant de Tougou sont de 13°40'5'' latitude Nord et 2°13'39'' longitude Est.



**Figure 7:** Localisation du bassin versant de Tougou (Koussoubé 2006)

## II.2 Climat

La province du Yatenga se trouve à cheval entre la zone sahélienne dans sa partie Nord et la zone soudano-sahélienne dans sa partie sud selon le découpage climatique du Burkina Faso. Le climat est de type soudano-sahélien avec deux principales saisons.

✓ Une longue saison sèche qui va de Novembre à Mai : Cette saison se subdivise en deux, à savoir une période sèche et froide (Novembre à Janvier) et une période sèche et chaude de février à Mai.

✓ Et une courte saison pluvieuse qui va de juin à octobre.

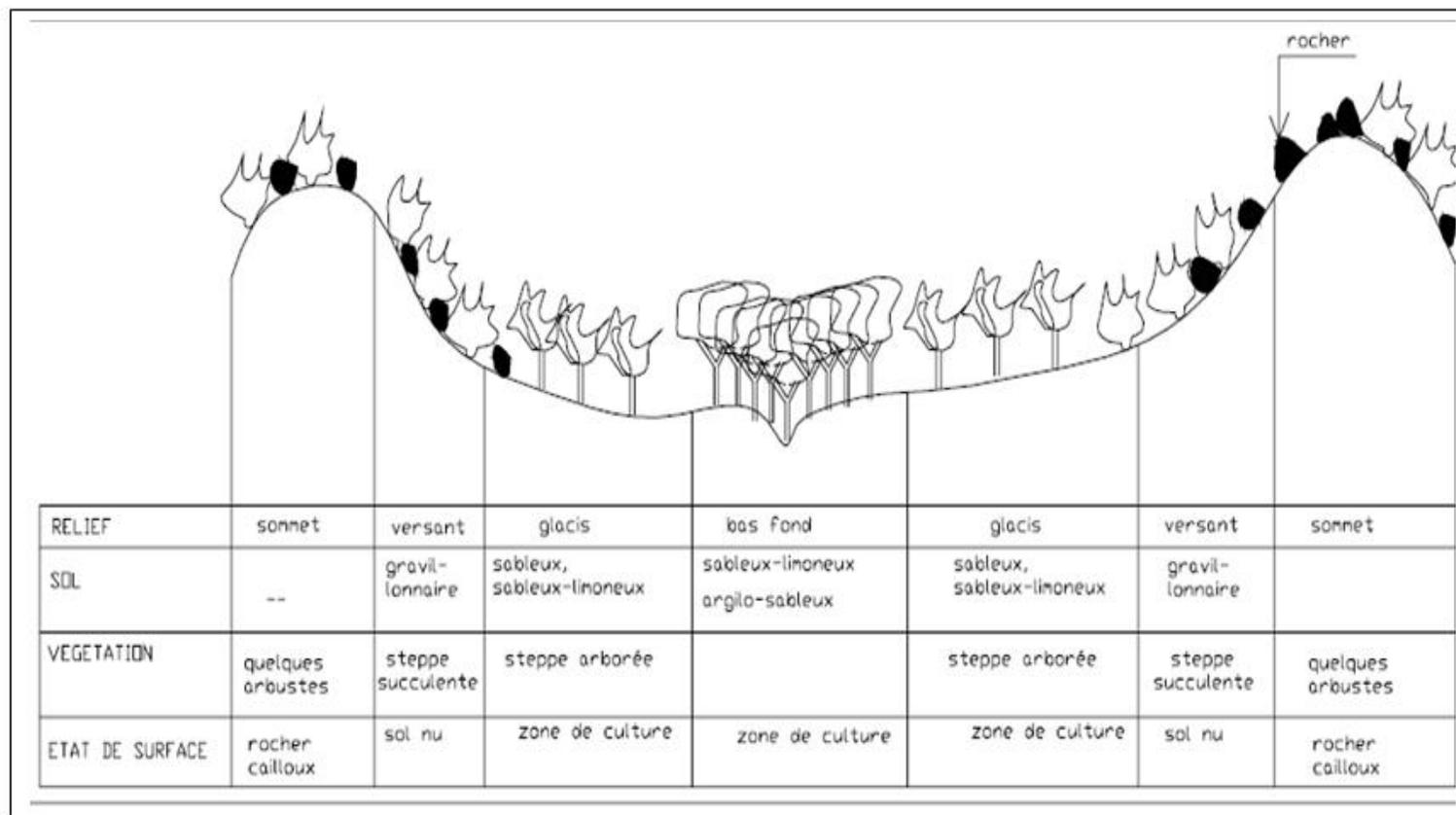
Les précipitations y sont insuffisantes et irrégulières dans le temps et dans l'espace avec une pluviométrie moyenne interannuelle de 615,61 mm (2004 à 2012) d'après les données du Laboratoire Hydrologie et Ressource en Eau (2iE).

Le mois d'avril est le mois le plus chaud avec une température moyenne mensuelle de 42°C contre une température moyenne mensuelle de 18°C pour le mois de Janvier considéré comme le mois le plus frais. L'évapotranspiration de référence moyenne interannuelle est de 2090 mm (1961-2010) soit une moyenne journalière d'environ 6 mm/j. Deux types de vent dominant dans la zone de Tougou avec des variations au cours de la saison (Koussoube 2006) Pendant la saison sèche, les vents frais et secs de direction Nord-Est et Sud-Ouest soufflent de novembre à avril ; ce sont les alizés continentaux chauds ou l'Harmattan. Ces vents peuvent atteindre une vitesse de 10,5km/h (Avril).

✓ Pendant l'hivernage, ce sont les pseudo-moussons, vents frais et humides qui dominant notamment entre les mois de mai et d'octobre. La vitesse observée dans la zone peut atteindre les 15 km/h surtout quand il est précédé d'un orage en début de saison (Koussoube, 2006).

## II.3 Sol, relief, état de surface et végétation

Le rapport d'activités de Yacouba et al en 2004 a permis de répertorier un certain nombre d'informations concernant le relief, la végétation, l'état de surface et la pédologie de la région de Tougou. Ces informations sont regroupées à la figure 8.



**Figure 8:** Transect du bassin versant de Tougou (Yakouba 2004)

## II.4 Cadre socio-économique

### II.4.1 Démographie

Le bassin versant de Tougou abrite trois principaux villages que sont Basnéré, Faogodo, Tougou situés respectivement à 18, 20 et 23 km de Ouahigouya. Il est essentiellement peuplé de Mossi et les Peuhls avec une prédominance des Mossi (les Fulsés, premiers occupants et les Yarsés). L'habitat de type groupé concentre les descendants d'une même famille dans une même cour. Selon les résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) en 1996, le bassin versant de Tougou regroupait 4719 habitants. La population qui occupe le bassin versant est à majorité jeune (45% de la population). Avec 2569 femmes et 2150 hommes, le ratio homme/femme du bassin versant est de 0,86. Par contre à Faodogo où il y a 790 habitants, il y'a autant de femmes que d'hommes (390 de part et d'autre). Basnéré à lui compte 286 habitants. Tougou à lui seul regroupe 65% de la totalité des occupants du bassin versant. La densité de la population du bassin versant est estimée à 127,5 habitants au km<sup>2</sup> (RGPH, 1996)

### II.4.2 Activités économiques

#### a. *Agriculture*

L'agriculture est la principale activité des habitants de la population de Tougou. Le mil et le sorgho constituent les cultures principales et l'alimentation de base de la population. Elles occupent près de 95% des exploitations et 9/10<sup>e</sup> des superficies cultivées (Ripama & Sawadogo, 2009). Les variétés les plus utilisées sont les variétés sahéliennes qui arrivent à maturité en 3 ou 4 mois. Les paysans préfèrent affecter leurs ressources là où ça peut leur rapporter plus. La majorité des terres cultivables du pays est couverte par des champs de mil et de sorgho. Ces cultures sont peu sensibles aux maladies et à la pauvreté des sols. Le plat national du Burkina Faso est le tô très souvent préparé à base de mil. Le dolo (bière de sorgho), y est la boisson la plus consommée. Les tourteaux de sorgho et de mil et les déchets des doloteries constituent la base de l'alimentation des élevages de porcs domestiques.

Les autres cultures céréalières mobilisent une bonne partie de la population pendant et après la saison des pluies à travers deux types d'agriculture :

- L'agriculture pluviale : Elle est la plus pratiquée et concerne toutes les couches sociales. Cette agriculture est caractérisée par l'utilisation de moyens simples d'exploitation et est soumise à une pluviométrie peu propice. Elle est essentiellement orientée vers

l'autoconsommation. Cependant, certaines cultures comme le fonio sont souvent commercialisées.

L'agriculture irriguée : Rendue possible à la faveur du barrage situé à l'exutoire du bassin, elle est pratiquée en saison sèche quelque temps après les récoltes des cultures pluviales.

***b. Elevage***

L'élevage de type extensif (à l'exception de la population Peuhl qui en fait sa principale activité) est considéré comme seconde activité des populations. L'abreuvement du troupeau est facilité en saison sèche par la retenue d'eau de Tougou. L'élevage concerne essentiellement les bovins, les ovins, les caprins et la volaille.

### III. MATERIELS ET METHODES

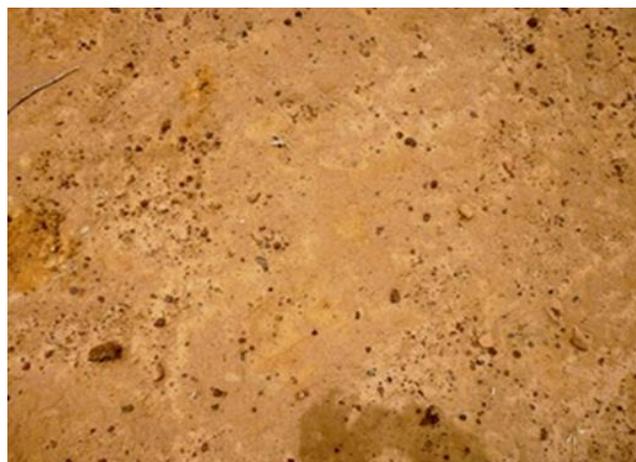
#### III.1 Démarche de l'étude

Le présent mémoire est une étude organisée en trois grandes parties :

- Phase préparatoire : elle concerne toutes les activités menées avant la collecte des données. Il s'agit essentiellement de la revue documentaire, la rédaction du protocole de recherche et l'élaboration du guide d'entretien.
- La phase de la collecte des données : Elle est précédée d'une visite exploratoire qui consiste en la découverte du milieu d'étude.
- La troisième phase concernera le traitement, l'analyse et la rédaction du mémoire.

#### III.2 Localisation et dispositif expérimental

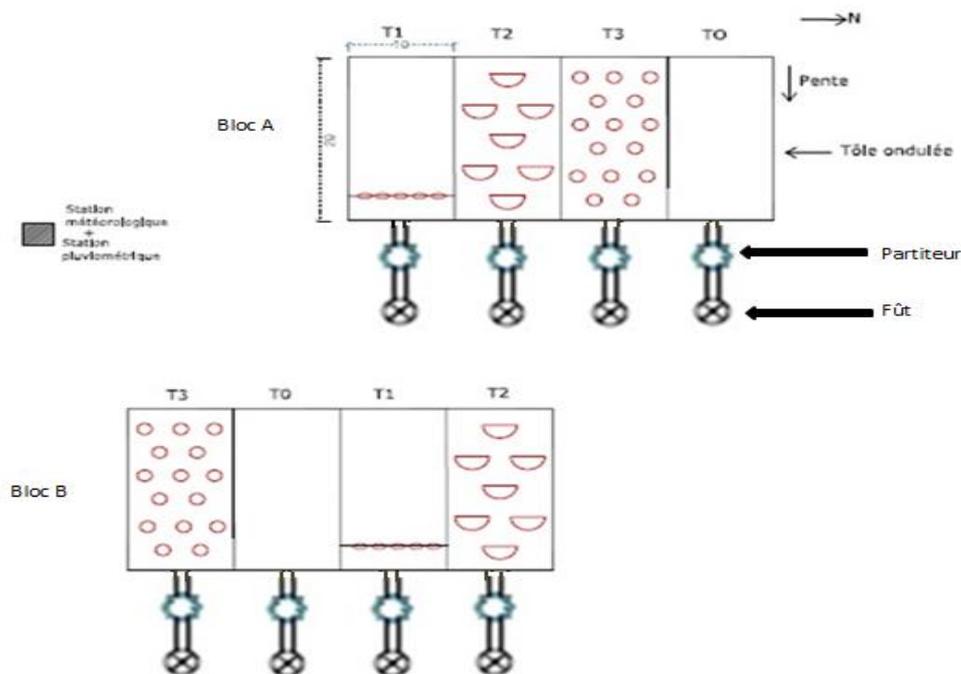
Le bassin de Tougou est situé dans la partie sahélienne au Nord du Burkina Faso. Situé dans la partie amont du fleuve Nakambé, il a une superficie de 37km et présente plusieurs états de surface avec un découpage de zone cultivée et de zone nue. Le site retenu pour l'implantation du dispositif expérimental est situé sur la rive gauche du cours d'eau en zone dégradée non exploitée appelée zipellé avec des sols encroutés (photo 7) de type ferrugineux lessivés.



**Photo 7:** Croûte d'érosion

Le dispositif expérimental est composé de 2 blocs aléatoires complets de Fisher (figure 9) et chaque bloc possède une parcelle témoin (semis direct traditionnel à la daba T0) et 3 parcelles traitées respectivement par le cordon pierreux (T1), la demi-lune (T2) et le zaï (T3). Chaque

parcelle est délimitée par des tôles et dispose à son exutoire d'un partiteur qui permet de collecter les eaux de ruissellement après chaque événement pluvieux.



**Figure 9** : Dispositif expérimental de Tougou

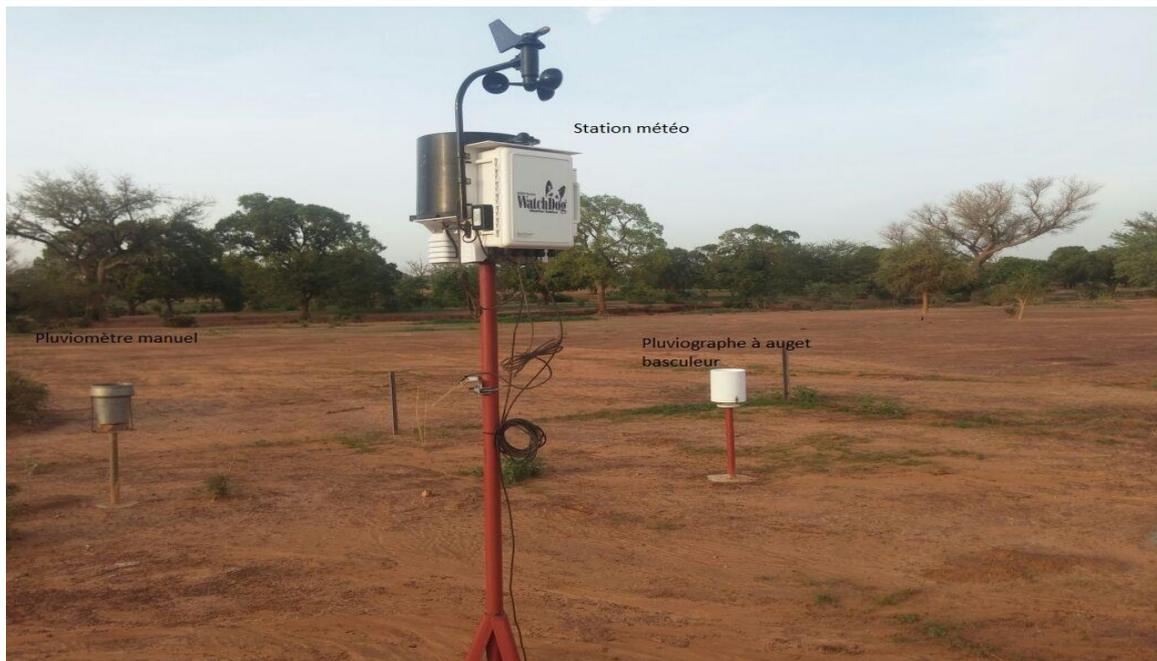
### III.3 Matériels

La culture choisie est une semence améliorée du mil (variété IKMP5 Kiipala) qui a été introduite par l'INERA avec un cycle de vie de 70 jours. Il s'agit d'une semence très résistante à la sécheresse et peu consommatrice d'eau pour son développement.

#### III.3.1 Pluviométrie

Trois différents appareils permettent de mesurer la pluviométrie :

- ❖ Une station météo placée à 2m du sol, qui en plus de nous donner la pluviométrie permet également d'avoir la vitesse et la direction du vent, l'insolation, l'humidité et la température.
- ❖ Un pluviomètre automatique à auget basculeur qui donne la hauteur et l'intensité de la pluie. Il est placé à 1m du sol.
- ❖ Un pluviomètre manuel également placé à 1m du sol donne également la hauteur de pluie.



**Photo 8:** Pluviomètre

### III.3.2 Conductivité hydraulique à saturation

La mesure de l'infiltration de l'eau dans le sol est une indication importante, qui concerne l'efficacité du drainage, l'optimisation de la disponibilité de l'eau pour les plantes, de l'amélioration du rendement de la culture ainsi que de la limitation de l'érosion. L'infiltromètre de Müntz ou à double anneau est un instrument simple utilisé pour déterminer la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol. La capacité d'infiltration est définie comme la quantité d'eau, par surface et unité de temps, qui pénètre dans le sol. Cet appareil est constitué de deux anneaux en acier inox de différents diamètres. Plusieurs mesures peuvent être effectuées simultanément, garantissant ainsi un résultat moyenné fiable et précis. Comme de l'eau infiltrée verticalement se répand normalement en bulbe, et donc vers les côtés, l'anneau de garde externe de l'infiltromètre sert de séparation. Les mesures s'effectuent exclusivement dans l'anneau interne, sous lequel l'eau s'écoule verticalement ; en effet les deux anneaux internes et externes sont remplis d'eau, l'écoulement dans le sol à partir de l'anneau intérieur est pratiquement vertical dans ce cas.



**Photo 9:** Double anneau de MUNTZ

### III.3.3 Conductivité hydraulique non saturé

Le TRIMS est l'appareil utilisé pour mesurer les propriétés hydrauliques de sols non saturés. L'eau maintenue sous tension (dépression) s'infiltré dans le sol sec à travers une membrane hautement perméable. Les vitesses d'infiltration sont calculées à partir des mesures manuelles du niveau d'eau dans le réservoir de l'appareil en fonction du temps. Le taux d'infiltration lié au temps est utilisé pour calculer les conductivités hydrauliques à différents niveaux de saturation du sol, ainsi que les propriétés hydrauliques qui y sont liées (sorptivité). Le disque d'infiltration a été séparé du corps de l'appareil afin d'augmenter la stabilité de l'ensemble et d'éviter les perturbations extérieures sur le contact intime du disque d'infiltration avec le sol, essentiel pour la précision et la faisabilité des mesures.



**Photo 10:** TRIMS

### III.3.4 Humidité

La détermination de la teneur en eau volumique permet d'obtenir la hauteur d'eau équivalente stockée sur une hauteur de sol. Le TRIME-PICO IPH est un humidimètre de sol portable de technologie TDR, dont la géométrie de sonde est spécialement conçue pour réaliser des mesures dans le sol à travers un tube d'accès. Préalablement installés dans le sol, ces tubes d'accès permettent de descendre la sonde et de réaliser des mesures à plusieurs profondeurs. Il permet ainsi de suivre efficacement l'évolution des profils hydriques, des transferts et des réserves dans les sols. Très léger il a été développé pour une utilisation mobile sur le terrain. Il s'utilise avec les boîtiers de lecture Trime HD (photo 6).

### III.3.5 Charge de pression

La juste quantité d'eau dans un sol est un facteur primordial pour une croissance et un rendement de culture optimaux. L'appareil utilisé pour déterminer les charges de pression est le Tensimètre électronique portable pour cannes tensiométriques SMS – SMS2500S (figure 20). C'est un capteur de pression mobile à lecture directe. Il est composé d'un capteur de

pression électronique équipé d'un tube de piquage, fixé au dos d'un boîtier afficheur. Le principe de cet appareil consiste à le déplacer de canne en canne et effectuer la mesure en appliquant la sonde sur la canne tensiométrique, piquant ainsi une aiguille sur le bouchon de la canne. L'aiguille, ayant traversé le bouchon qui est autocicatrisant, va alors permettre au capteur de l'appareil de mesurer la dépression régnant à l'intérieur de la canne. La valeur de succion est alors affichée sur l'appareil.



**Photo 11:** Sonde, boîtier TRIME, tube d'accès et cannes tensiométriques

### III.3.6 Ruissellement

Le ruissellement désigne le processus d'écoulement des eaux à la surface du sol. Le ruissellement hortonien rencontré dans la zone d'étude (Mounirou, 2012) apparaît quand l'intensité de la pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol. Dans ce cas l'excédent stagne et s'écoule sur la surface du sol, sous l'effet de la pente. Dans notre étude, la quantification du ruissellement à l'échelle de la parcelle de 200 m<sup>2</sup> délimitée sur les différents cotés par des tôles ondulées enfoncées dans le sol. En aval de chaque parcelle, l'eau de ruissellement est drainée à travers une cuve, dans un partiteur, dont le trop plein est ensuite drainé dans un fut de 200l.



**Photo 12:** Partiteur et fût

### III.4 Méthode

#### III.4.1 Détermination des propriétés physiques du sol

Cette caractérisation concernera la description du profil pédologique, et de l'état de surface du sol. Sur les deux blocs, la description du profil pédologique (sur une profondeur de 1,2 m) et une caractérisation de l'état de surface, ont été effectués par le BUNASOL (Bureau National des Sols). Des études granulométriques et de porosité du sol seront faites à chaque 20 cm de profondeur par le Laboratoire Génie Civile de la Fondation 2iE. La démarche adoptée à consister à faire des trous à la tarière dans chaque bloc. Ces échantillons ainsi prélevé ont été décrit visuellement avant d'être analysé dans les laboratoires du BUNASOL, au moyen de la méthode de la pipette de Robinson.

#### III.4.2 Mesure des propriétés hydraulique de surface du sol

Cette caractérisation concernera la description de la capacité d'infiltration, la conductivité hydraulique non saturée et saturée.

##### *c. Mesure de la conductivité hydraulique à saturation*

Avant chaque mesure d'infiltration les cylindres sont introduits dans le sol sur quelques centimètres de profondeur grâce à une plaque guide et marteau anti-rebond. Dans notre cas les

essais ont été réalisés en imposant une charge constante (3 cm) dans le cylindre central. Le processus d'infiltration débute généralement par une décroissance rapide puis diminue plus lentement pour aboutir à un régime constant, qui caractérise la conductivité hydraulique à saturation. Il exige beaucoup d'eau et de temps. Le résultat de l'essai d'infiltration est l'obtention d'une série de couples (lame infiltrée, temps). La conductivité hydraulique à saturation est obtenue en traçant l'asymptote à la courbe d'évolution temporelle de la capacité d'infiltration. Trois répétitions ont été effectuées dans chaque parcelle.

#### *d. Mesure de la conductivité hydraulique non saturé*

Lors des mesures avec le TRIMS, le potentiel de l'eau à l'interface disque/sol est maintenu constant au cours du temps. Trois répétitions ont été effectuées sur chaque parcelle à des pressions de - 40 cm. Le principe de mesure du TRIMS est détaillé en annexe 4. Il existe plusieurs méthodes d'analyse pour les paramètres hydrodynamiques du sol à travers l'infiltromètre à disque. Il s'agit entre autre de la *méthode en régime permanent basées sur la solution de Wooding (1968)*, la *méthode monopotentiel de white et sully (1987)*, la *méthode multipotentiel de Ankeny et al (1991)* et la *méthode en régime transitoire basée sur la solution d'Haverkamp et al (1994)*. Ces différentes méthodes ont été bien détaillé dans une étude mené par Coquet et al. (2000). Dans notre cas la méthode utilisée est la méthode en régime transitoire basée sur la solution d'Haverkamp et al (1994) car bien qu'elle ne soit fiable qu'à 70% (à cause du paramètre  $\beta$ ), elle est moins longue à mettre en œuvre du fait qu'elle ne nécessite pas l'atteinte du régime permanent. Une présentation des avantages et des inconvénients des différentes méthodes d'analyse de la conductivité hydraulique non saturé est illustré en annexe 5.

$$I(t) = S\sqrt{t} + At$$

$$\text{Avec } A = \frac{\gamma S^2}{r(\theta_0 - \theta_i)} + \frac{2-\beta}{3} K$$

En négligeant les effets latéraux représentés par le premier terme de cette équation, l'équation devient alors :  $K = \frac{3}{2-\beta} A$

Haverkamp propose d'utiliser la valeur médiane de  $\beta=0,6$  ( $\beta$  est compris entre 0 et 1) qui sera affecté d'un facteur d'incertitude 1,4. Il propose également d'estimer la S et A d'après la relation :

$$\frac{dI}{d\sqrt{t}} = S + 2A\sqrt{t}$$

Ainsi une régression linéaire sur les valeurs  $\frac{dI}{d\sqrt{t}}$  en fonction de  $\sqrt{t}$  permet de déterminer S et A.

### III.4.3 Mesure des variables d'état

Les variables d'états sont constituées de l'humidité du sol et de la charge de pression. Leurs mesures ont été faites quotidiennement à 6h00.

#### a. *Teneur en eau*

Les mesures d'humidité se feront tous les 10 cm jusqu'à 100 cm avec le TDR-TIME. Avant de commencer les mesures, des tubes d'accès de 110 cm seront placés dans chaque parcelle. Les tubes d'accès seront installés de la façon suivante :

- Parcelle à cordon pierreux : Tube installé à 3 m en amont du cordon pierreux
- Parcelle à demi-lune : Tube installé au milieu de quatre demi-lunes
- Parcelle à Zaï : Tube installé au milieu de quatre zaï
- Parcelle témoin : Tube installé au milieu de la parcelle

Le système TDR calcule la teneur en eau du sol par la constante diélectrique du sol.

#### b. *Charge de pression*

Les mesures tensiométriques seront effectuées aux profondeurs d'implantation des tensiomètres (20; 40; 60, 80 et 120 cm). Les cannes tensiométriques seront installées tout près du tube d'accès de la sonde TDR. Ce dispositif va nous permettre de suivre l'évolution de la tension de l'eau dans le sol et dans le même temps évaluer le flux d'eau au-delà de la zone racinaire par la formule de Darcy. Les données tensiométriques (annexe 7) seront utilisées pour étudier le profil hydrique de la charge hydraulique (H) dans le sol.

### III.4.4 Bilan hydrique

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. Les mesures concerneront les précipitations (P), le stockage de l'eau dans le sol ( $\Delta S$ ), le ruissellement (R), le drainage profond (D) et l'évapotranspiration (ETR).

$$P = ETR + D + R + \Delta S$$

**a. Pluie**

La pluviométrie est obtenue par un déchargement automatique des données sur un ordinateur (pluviomètre automatique à auget basculeur), par une simple lecture sur un boîtier (station météo) et par une simple mesure, systématiquement après la pluie (pluviomètre manuel).

**b. Variation de stock**

Le stock d'eau (S) est calculé à partir d'une intégration de la teneur en eau volumique sur une tranche de sol (chaque 10cm). L'équation suivante permet d'obtenir ce paramètre:

$$S_{z_2-z_1}(t) = \int_{z_1}^{z_2} \theta(Z, t) dz$$

$\theta$  = humidité volumique

Z = coordonnée de position verticale avec une orientation positive vers le bas

Dans le présent travail, le stock d'eau a été estimé en considérant que les mesures de teneur en eau aux profondeurs  $z_i$  (tous les 10 cm) sont représentatives d'une couche de 10 cm d'épaisseur.

Le stock d'eau S (mm) sur la profondeur z est calculé sur la base de l'équation:

$$S_{0-z} = (\theta_{10} \times 100) + (\theta_{20} \times 100) + (\theta_{30} \times 100) + \dots + (\theta_{100} \times 100)$$

La variation de stock  $\Delta S$  dans la tranche de sol  $z_1-z_2$  entre deux dates de mesures  $t_1$  et  $t_2$  est définie par la différence :

$$\Delta S = S_{z_1-z_2}(t_2) - S_{z_1-z_2}(t_1)$$

**c. Ruissellement**

La mesure du ruissellement a été faite à l'échelle de la parcelle. Les partiteurs placés à l'exutoire de chaque parcelle permet de collecter les eaux ruisselées et de transféré le trop plein des partiteurs dans des fûts de 200l par l'un des 40 orifices à travers un tube en pvc. Les orifices ont un diamètre de 32m. Les mesures de ruissellement se font après chaque pluie. Le volume d'eau ruisselé est obtenu en mesurant le volume d'eau contenue dans le fût multiplié par le nombre d'orifices ; à cela s'ajoute le volume d'eau restant dans le partiteur. Ainsi, on obtient la lame d'eau ruisselé (R) en divisant ce volume (V) par la superficie de la parcelle (S).

$$R = \frac{V}{S}$$

**d. Drainage**

La détermination du flux d'eau dans le sol non saturé a été faite au moyen de la loi de Darcy à savoir :

$$q = -K(h) \times \frac{dH}{dz}$$

q le flux hydrique (cm) ; K(h) en m/s est la conductivité hydraulique non saturé à 1m de profondeur (elle est déterminée par la formule de Gardner dont la méthodologie sera bien détaillée en (annexe 9) ; H est la charge hydraulique, elle est égale à la somme du potentiel gravitaire z (80 et 120 cm) et de la charge de pression h (valeurs tensiométriques à 80 et 120 cm) et est définie par :  $H = h - z$  ; et Z est la profondeur de la couche de sol considérée (40 cm).

L'application de cette loi suppose que l'on est déterminé au préalable la fonction de conductivité hydraulique k(h). Dans la présente étude, cette fonction a été déterminée à l'aide de mesures faites par le TRIMS à 1m de profondeur à différentes pressions à savoir -20 cm et -40 cm.

Le flux ainsi estimé est une valeur instantanée correspondant au moment des mesures de la charge de pression h. Les mesures étant espacées dans le temps, la lame d'eau drainée a été estimée par la relation :

$$D = q \cdot \Delta t$$

Avec  $\Delta t$  est l'intervalle de temps considéré

**e. Évapotranspiration**

L'évapotranspiration, est une émission d'eau sous forme de vapeur par un milieu humide. Elle résulte des processus combinés des évaporations directes du sol par la transpiration des plantes. L'évapotranspiration réelle dans notre cas est déterminée par un simple calcul en connaissant déjà la pluviométrie, le ruissellement, la variation de stock et le drainage :

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

## IV. RESULTATS ET DISCUSSION

### IV.1 . Caractérisation des propriétés physiques du sol

#### *Profils pédologique*

Trente échantillons au total ont été collectés pour la détermination des profils pédologiques. Il ressort de l'analyse de ces échantillons, l'existence de 4 horizons (figure 10). Les profils pédologiques indiquent un sol caractérisé par une texture sablo-argileux en surface et argilo-sableux en profondeur:

- 0-22 cm : le sol de cet horizon présente une texture sablo-argileuse avec de nombreux pores très fins. Dans cette partie du sol, nous remarquons une activité biologique assez bien développée due aux termites;
- 22-56 cm : le sol de cet horizon présente une texture sablo-argileuse avec de nombreuses racines. L'activité biologique est peu développée dans cette partie du sol;
- 56-83 cm : ce troisième horizon a une texture argilo-sableuse avec de nombreux pores très fins;
- 83-120 cm : le sol du dernier horizon présente une structure argilo-sableuse avec de nombreux pores de diamètres différents.

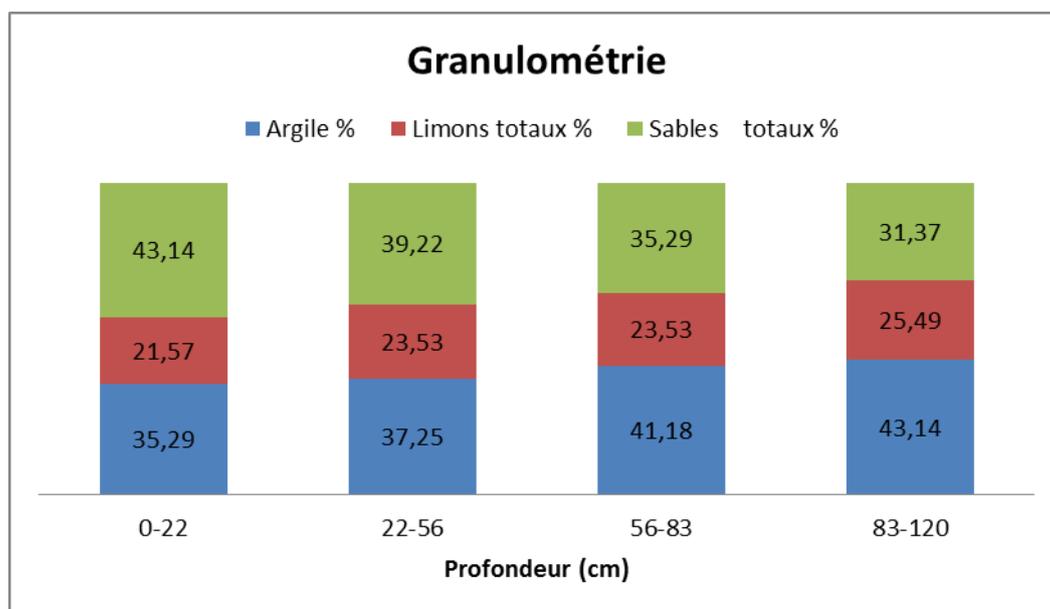


Figure 10: Répartition granulométrique au niveau du site expérimental

## IV.2 Caractérisation des propriétés hydrauliques de surface du sol

### IV.2.1 Conductivité hydraulique à saturation

Durant la campagne de mesures, 24 essais de Muntz ont été réalisés pour la détermination de la conductivité hydraulique à saturation à raison de 3 mesures par parcelle. Les valeurs obtenues sont reportées au tableau 2.

**Tableau 2:** Conductivité hydraulique à saturation au niveau des différents traitements

	<b>T0A</b>		<b>TOB</b>		<b>T1A</b>		<b>T1B</b>	
Ks (cm/h)	3,99	4,50	3,18	3,26	4,07	7,37	3,26	3,54
<b>Moyenne</b>	<b>4,25 ± 0,51<sup>a</sup></b>		<b>3,22 ± 0,08</b>		<b>5,72 ± 3,30</b>		<b>3,40 ± 0,29</b>	

	<b>T2A</b>		<b>T2B</b>		<b>T3A</b>		<b>T3B</b>	
Ks (cm/h)	3,87	3,52	3,38	4,36	4,18	7,33	4,07	4,28
<b>Moyenne</b>	<b>3,70 ± 0,35</b>		<b>3,87 ± 0,98</b>		<b>5,76 ± 3,16</b>		<b>4,18 ± 0,20</b>	

<sup>a</sup> :écart type

L'examen du tableau 2 montre une très faible variation de la conductivité hydraulique à saturation au niveau des différents traitements. En effet, les valeurs obtenues tournent autour de 3 à 4 cm/h avec néanmoins de petites différences dues certainement à la réorganisation des états de surface du sol par rapport aux pratiques culturales. L'absence de différence significative des valeurs de conductivité hydraulique saturée pour le moment est dû au fait que nous sommes en début d'expérimentation et le sol des parcelles n'est encore sous l'influence de ces pratiques culturales. Cependant, nous constatons deux valeurs très importantes au niveau des parcelles T1A et T3A avec des écarts types très élevés ce qui conduit à remettre en cause ces deux valeurs.

#### IV.2.2 Conductivité hydraulique non saturée

24 essais ont été réalisés pour la détermination de la conductivité hydraulique non saturée. Les valeurs obtenues sont reportées au tableau 3.

**Tableau 3:** Conductivités hydrauliques non saturées au niveau des différents traitements

	TOA		TOB		T1A		T1B	
K (cm/h)	2,52	2,31	2,67	2,06	2,21	1,38	2,21	3,29
<b>Moyenne</b>	<b>2,42 ± 0,21<sup>a</sup></b>		<b>2,37 ± 0,60</b>		<b>1,81 ± 0,85</b>		<b>2,75 ± 1,08</b>	

	T2A		T2B		T3A		T3B	
K (cm/h)	2,18	2,19	3,24	2,56	2,73	2,19	0,16	1,16
<b>Moyenne</b>	<b>2,18 ± 0,01</b>		<b>2,90 ± 0,67</b>		<b>2,46 ± 0,54</b>		<b>0,66 ± 1,00</b>	

<sup>a</sup> :écart type

L'examen du tableau 3 montre des valeurs de conductivité hydraulique non saturée variant de 0.66 à 2.90 cm/h ce qui traduit de façon générale un milieu peu filtrant pour l'ensemble des parcelles. L'absence de différences significatives est due certainement au fait que nous sommes en début d'expérience et que les différentes pratiques culturales n'ont pas encore d'effet sur le sol.

#### 4.2.3. Sorptivité

Le tableau 4 présente les valeurs de sorptivité obtenues à partir des essais d'infiltration à la charge de pression  $h_0 = - 40$  mm. Nous remarquons que les valeurs varient de 0.03 à 0.07  $\text{cm/s}^{1/2}$  sur l'ensemble des parcelles. Les valeurs les plus importantes se situent sur le cordon pierreux alors que les valeurs les plus faibles se retrouvent au niveau de la demi-lune. Ces valeurs de sorptivité sont comparables à celles observées dans la littérature (Ouédrogo 2010). En effet, plus la sorptivité est importante plus l'infiltration sera favorisée. Ces deux pratiques culturales (cordons pierreux et demi-lune) ont tendance à stocker des quantités d'eau de ruissellement importantes et à forcer une grande partie à s'infiltrer. Cette situation va provoquer une modification des processus de transfert d'eau du sol. Ceci est le facteur explicatif principal de la variation de sorptivité entre les différentes parcelles.

**Tableau 4** : Valeurs de Sorptivité au niveau des différents traitements

	<b>TOA</b>		<b>TOB</b>		<b>T1A</b>		<b>T1B</b>	
S (cm/s <sup>1/2</sup> )	0,05	0,04	0,01	0,08	0,06	0,08	0,02	0,07
<b>Moyenne</b>	<b>0,05 ± 0,01<sup>a</sup></b>		<b>0,05 ± 0,07</b>		<b>0,07 ± 0,02</b>		<b>0,05 ± 0,05</b>	

	<b>T2A</b>		<b>T2B</b>		<b>T3A</b>		<b>T3B</b>	
S (cm/s <sup>1/2</sup> )	0,06	0,06	0,02	0,03	0,04	0,04	0,06	0,03
<b>Moyenne</b>	<b>0,06 ± 0,01</b>		<b>0,03 ± 0,01</b>		<b>0,04 ± 0,01</b>		<b>0,05 ± 0,03</b>	

<sup>a</sup> :écart type

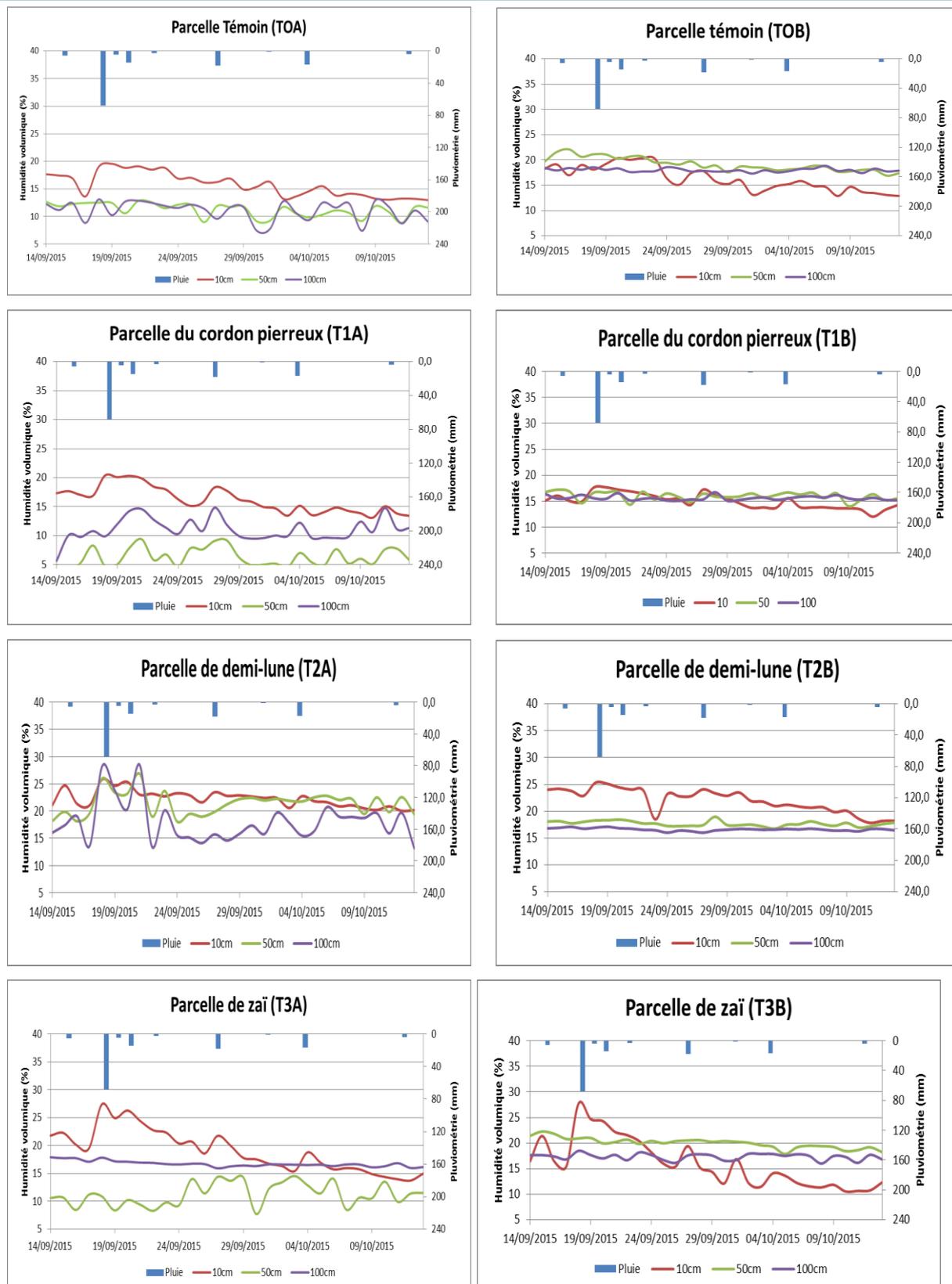
### IV.3 Evolution spatio-temporelle des variables d'états

#### IV.3.1 Teneur en eau

##### *a. Evolution temporelle de l'humidité volumique*

En mettant en relation les humidités avec les précipitations relevées par les pluviomètres, nous obtenons les huit graphiques de la figure 11. Elle montre l'évolution temporelle de l'humidité volumique à 10, 50, et 100cm de profondeur des différentes parcelles. Sur toutes les parcelles concernées par l'étude. Un regard sur ces huit parcelles nous donne une humidité minimale de 6% et une humidité maximale de 33%. Une différence d'évolution de cette humidité est constatée à chaque profondeur sur ces différentes parcelles, cependant à la profondeur 100cm, l'humidité volumique semble être constante sur toute la période d'analyse. Nous remarquons également que chaque parcelle montre une gamme de variations différentes, que nous allons résumer sous deux grands points : D'abord une gamme de variation très élevée qui regroupe les parcelles T1A, T2A, T3A et T3B, et une gamme de variation moins élevée qui regroupe les parcelles T0A, T0B, T1B certainement dûe à la réorganisation des états de surface. Nous remarquons que sur l'ensemble des parcelles l'humidité volumique est généralement plus importante en surface qu'en profondeur. Ceci peut être dû aux profils pédologiques du milieu qui est sablo-argileuse en surface et argilo-sableuse en profondeur.

# Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel: Cas du bassin versant de Tougou



**Figure 11:** Evolution temporelle de la teneur en eau dans le sol

**b. Profils hydriques**

La figure 12 traduit l'évolution des profils hydriques des différentes parcelles sur deux dates sèches (14 septembre et 11 octobre 2015) et deux dates humides (19 septembre et 24 septembre). La suivie de l'humidité nous montre une tendance à l'assèchement en surface sur toutes les parcelles. Par ailleurs, à la profondeur 90cm, on observe une relative stabilité. Il est de plus important de noter que la forme des profils reste comparable au fil du temps. Les variations d'humidités sont très différentes sur les différentes parcelles que nous avons étudiées. En effet au niveau des parcelles T0A, T0B, T1A, T2A, les variations d'humidités sont plus importantes entre 40 et 80cm ; Le changement du profil d'humidité qui survient à 40cm pourrait faire penser à l'influence des racines des plantes, qui vont attirer l'eau jusqu'à leur niveau. Par contre au niveau des parcelles T2B et T1B, nous remarquons des variations d'humidité plus importante en surface, et en dessous de cette profondeur (environs 20cm), l'humidité reste pratiquement constante ; ce qui nous amène à penser que les précipitations sont un peu limité au-delà de cette profondeur et donc on peut négliger le drainage en dessous de cette profondeur. Les parcelles T3A et T3B, présentent des variations d'humidité jusqu'à 80cm de profondeur ; ce qui laisse penser d'éventuel processus de drainage en dessous de 80cm.

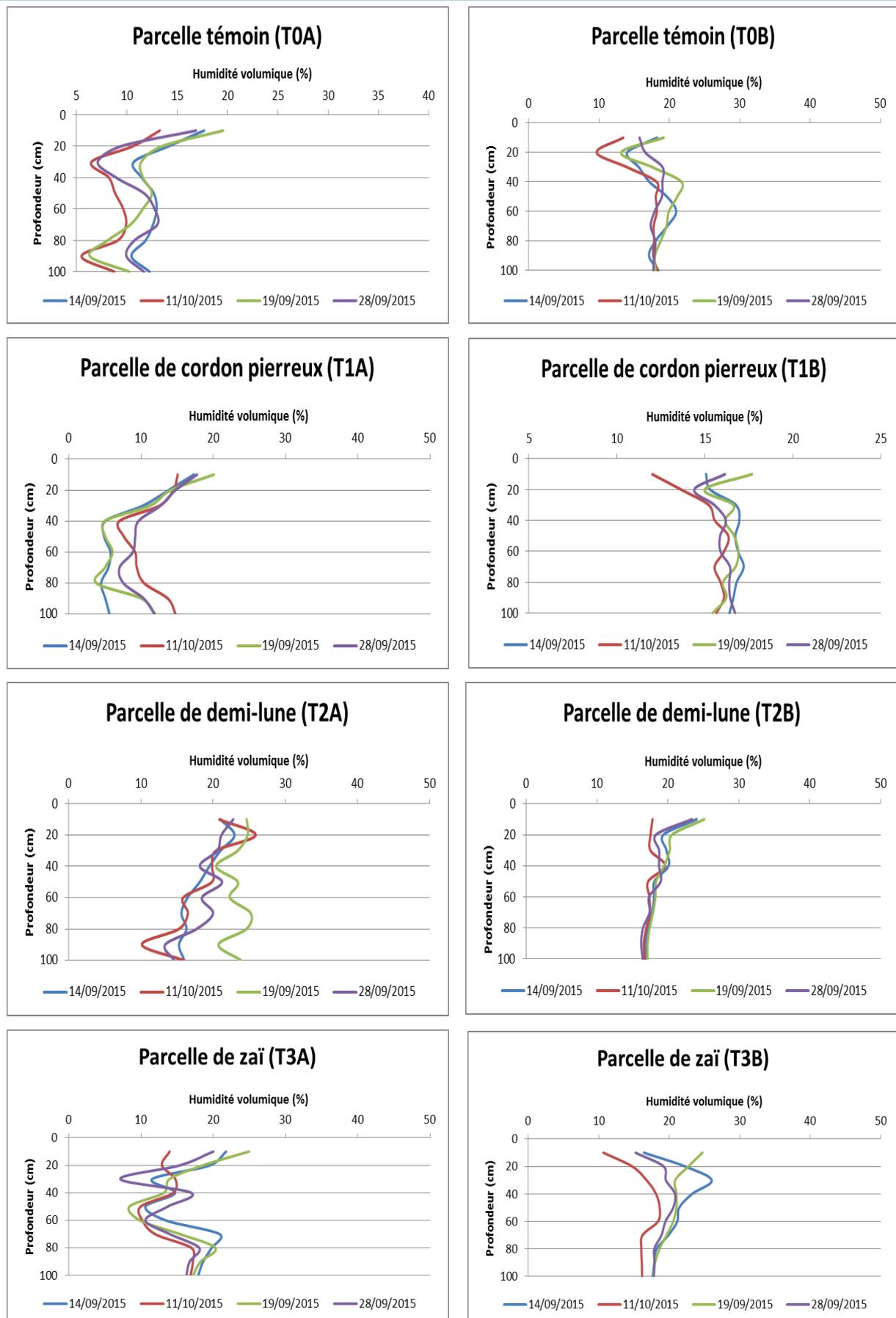


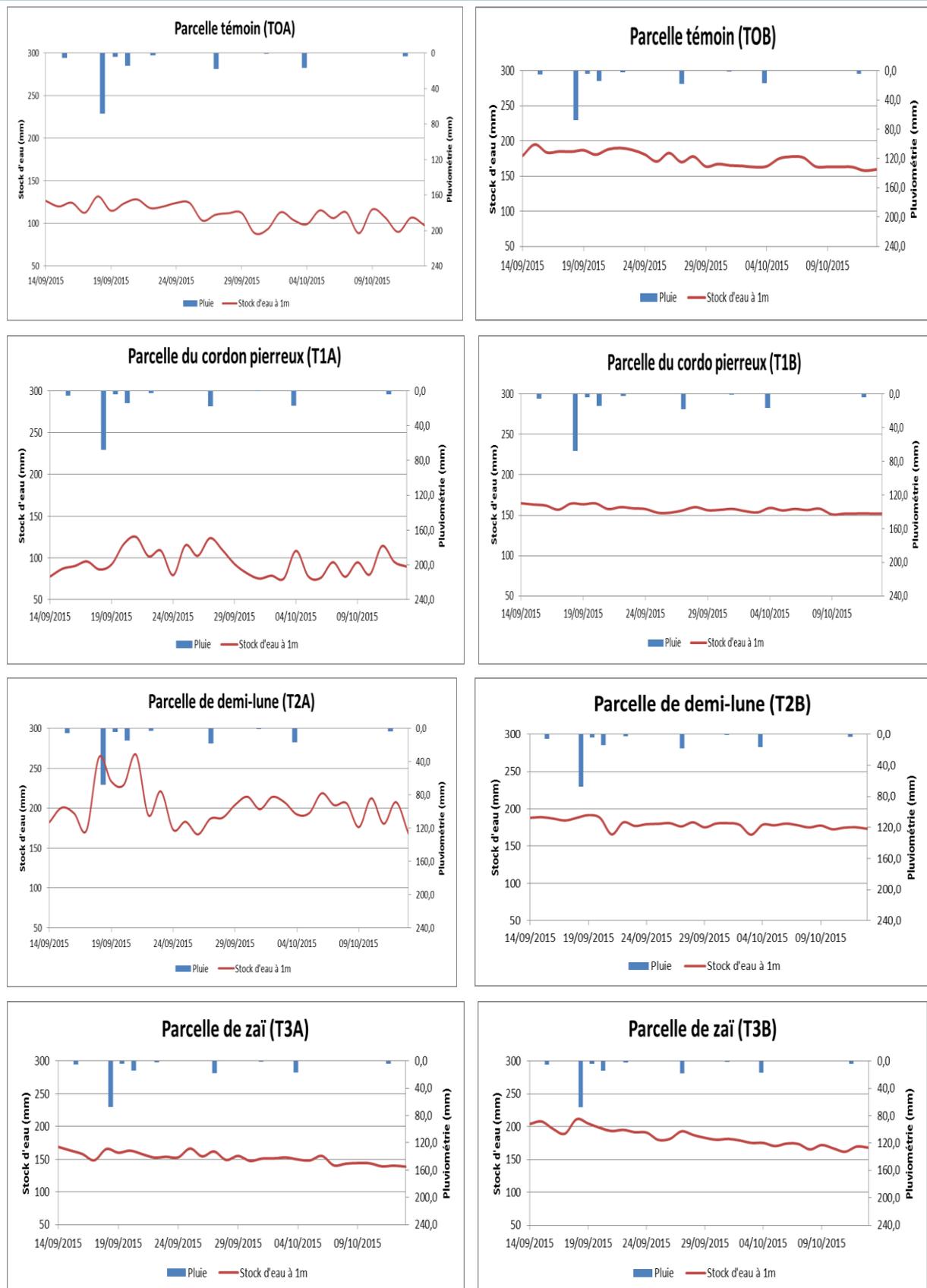
Figure 12: Profils hydriques sur l'ensemble des parcelles en périodes sèche et humide

*c. Evaluation du stock hydrique entre la surface et 1m de profondeur*

L'évolution temporelle du stock hydrique entre la surface du sol et 100 cm de profondeur durant la période du 14 Septembre au 13 octobre 2015 est représentée par la figure 13.

La figure 19 décrit l'évolution du stock d'eau qui a été déterminé sur la profondeur de 100cm sur les différentes parcelles étudiées. Le stock d'eau sur l'ensemble des parcelles fluctue entre 107 et 330mm. La variation temporelle du stock d'eau sous les différentes parcelles reste pratiquement semblable (aux alentours de 200mm). Cependant des différences mineures ont été observées. En effet au niveau de la parcelle T2A, la variation de stock est assez élevée, elle va de 267 mm (lors de la plus grosse pluie survenue durant cette période d'étude) à 128mm au niveau de la parcelle témoin. Aussi nous remarquons que le stock d'eau est supérieur à la pluviométrie tombée qui est de 134,5mm. Cela est dû au fait que nous n'avons pris en compte que la quantité de pluie tombée durant la période de mesure qui est de un mois ; alors que le stock d'eau contenue dans le sol prend en compte toute la saison pluvieuse.

## Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel: Cas du bassin versant de Tougou



**Figure 13:** Stock hydrique entre la surface et 100 cm de profondeur sur l'ensemble des parcelles.

Plusieurs facteurs expliquent la faiblesse du stock d'eau retenu par les sols de Tougou durant les saisons pluvieuses. Il s'agit essentiellement de facteurs climatiques et anthropiques. Les facteurs climatiques (pluviométrie, vitesse du vent, etc.) sont caractérisés par une forte variabilité temporelle et spatiale qui se traduit par une importante hétérogénéité des effets sur les sols. La faible recharge hydrique disparaît très rapidement, ce qui rend l'eau peu disponible et donc d'une faible utilité pour les espèces végétales. Cette situation est accentuée par l'existence d'une couche indurée en surface qui limite l'infiltration de l'eau. L'avantage de mettre en place ces différentes pratiques culturales c'est parvenir à inverser la relation infiltration-ruissellement. En effet, les trois traitements retenus ont tendance à favoriser l'infiltration par rapport au ruissellement et ceci va certainement améliorer dans les trois années qui suivent la mise en place de ce dispositif expérimental les processus de transferts hydriques dans le sol. Ces gains ne sont pas encore visibles aussi bien au niveau des propriétés hydrodynamiques du sol que du stockage d'eau dans le sol sur la profondeur racinaire car nous ne sommes qu'en début d'expérience.

#### **IV.3.2 Charge de pression**

La figure 14 montre l'évolution des charges hydrauliques en périodes sèche (14 septembre et 11 octobre 2015) et humides (19 septembre et 24 septembre). Ce paramètre a été utilisé pour déterminer les sens de l'écoulement de l'eau. Il comprend la charge de pression mais aussi la charge de positions (20, 40, 60, 80 et 120). Ainsi lorsqu'il y'a mouvement d'eau dans les profondeurs du sol, nous obtenons un mouvement descendant des profils de charge hydraulique des périodes humide et un mouvement ascendant des profils de charge hydraulique des périodes sèches. Ce qui n'est pas le cas de nos profils. Cependant, vu le caractère très sec du milieu, après cinq jours sans évènement pluvieux, nous assistons à un décrochage de nos cannes tensiométriques donnant ainsi des valeurs nul de charge de pression ; ce qui change l'allure de nos profils.

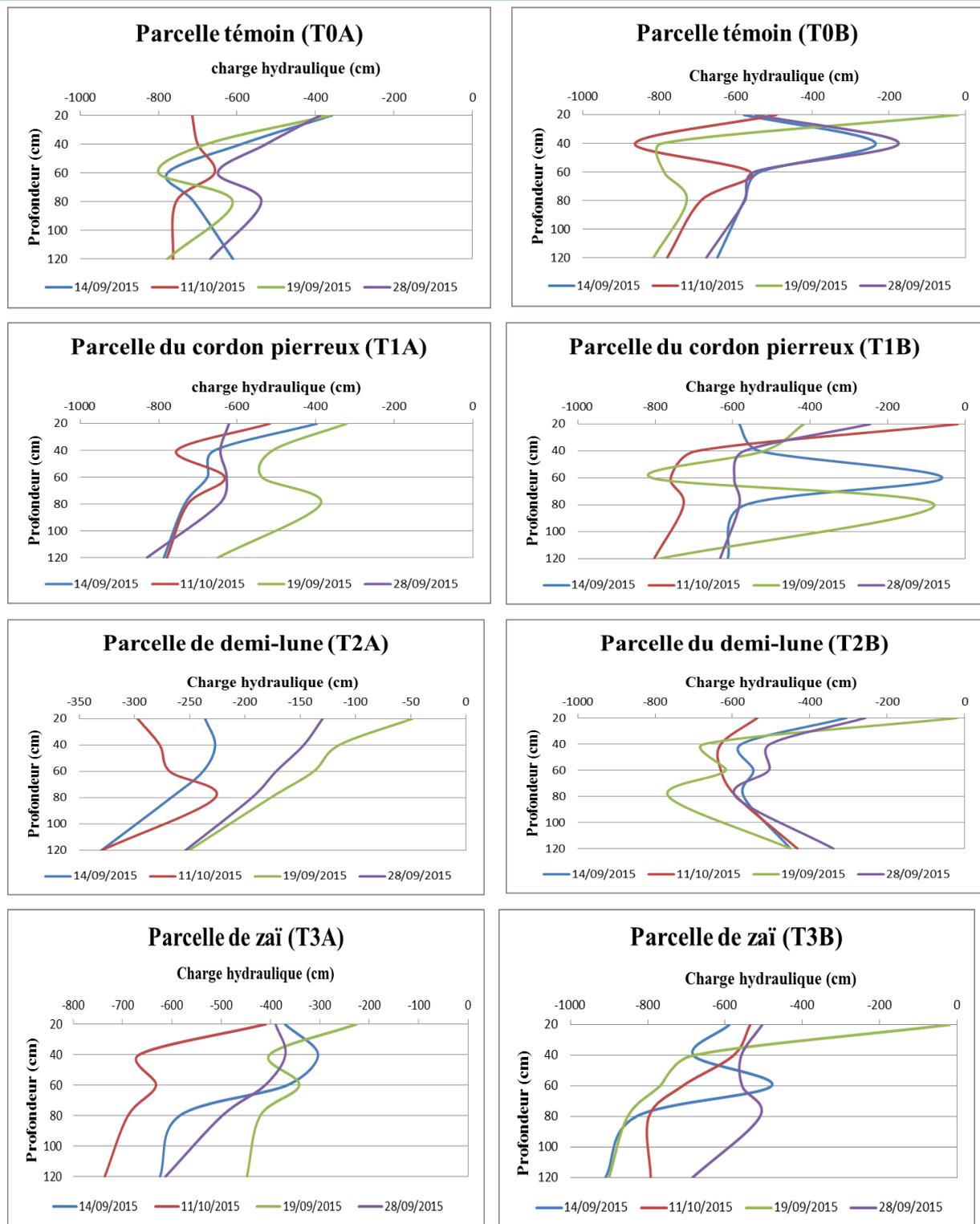


Figure 14: Evolution de la charge hydraulique en périodes sèche et humide

#### IV.4 Bilan hydrique

L'étude du bilan hydrique se limite à la période du 14 septembre au 13 octobre 2015, période durant laquelle le dispositif expérimental a été installé. Tous les termes du bilan ont été mesurés (variation de stock  $\Delta S$ , pluie P, ruissellement R et drainage D), à l'exception de l'évapotranspiration réelle ETR estimée à partir de l'équation du bilan. Les valeurs des différents termes du bilan hydrique pour la période d'observation sont reportées au Tableau 5.

**Tableau 5:** Les différentes composantes du bilan hydrique sur la période du 14 septembre au 13 octobre 2015

	T0A	T0B	T1A	T1B	T2A	T2B	T3A	T3B
P (mm)	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5
R (mm)	46,84	47,78	49,47	47,66	9,28	6,31	35,06	36,32
$\Delta S$ (mm)	-28,56	-19,26	11,86	-12,80	-14,27	-14,74	-30,14	-36,06
D (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	26,5	27,1	13,3	11,0
ETR (mm)	110,45	100,24	67,36	93,86	109,58	110,10	110,55	117,52
ETR (mm/j)	3,68	3,34	2,25	3,23	3,65	3,67	3,69	3,92

P: pluie;  $\Delta S$ : variation de stock R: ruissellement; D: drainage; ETR: évapotranspiration réelle

L'évapotranspiration réelle journalière varie entre 2 à 4 mm selon les pratiques culturales. Ces valeurs se rapprochent de celles obtenues par Niang (2006) qui a mesuré un flux évaporatoire d'environ 3 mm/j dans la zone de Dori (zone sahélienne). Néanmoins, nos valeurs nous semblent faibles comparées à celles mentionnées généralement dans la littérature (6 mm/j) (Koussoubé 2006). La différence est sans doute imputable à la quantité de pluie prise en compte pour le bilan. En effet, les mesures ont commencé presque vers la fin de la saison pluvieuse et la quantité de pluie prise en compte pour le calcul du bilan reste très faible (134,5 mm).

## V. Conclusion et perspectives

Sur le bassin versant de Tougou, les paramètres hydrodynamiques du sol conditionnent en grande partie le comportement de l'eau. En effet, les sols de cette région sont très fragiles, à la fois vis-à-vis de l'agressivité des pluies, de l'énergie du ruissellement et de certaines techniques culturales. La compréhension du comportement hydrodynamique des sols, en particulier la naissance du ruissellement, la capacité d'infiltration des horizons superficiels soumis à différents systèmes de culture et la perméabilité des horizons sous-jacents, ont permis de comparer l'efficacité de trois pratiques culturales (cordon pierreux, zaï et demi-lune) par rapport à une parcelle témoin.

Pour cette courte période de mesure, nous n'avons pas noté de différence significative au niveau des propriétés hydrodynamiques qui restent faibles sur l'ensemble des parcelles.

Sur les transferts hydriques, nous notons de grandes différences selon la pratique culturale et nous pouvons classer ces différents traitements en deux classes. Les plus fortes valeurs de stockage d'eau du sol de la surface à 100 cm de profondeur se rencontrent sur la demi-lune et le zaï alors que les plus faibles valeurs se trouvent sur la parcelle témoin et le cordon pierreux. Ces différences sont sans doute imputables aux réorganisations de la partie superficielle du sol avec la mise en place de la pratique culturale car une modification de l'organisation du système poral des horizons superficiels entraîne une diminution de la conductivité hydraulique à saturation. En effet, la demi-lune et le zaï sont deux pratiques culturales qui favorisent le stockage de l'eau et leur infiltration. Quant au cordon pierreux, il a tendance à épandre les eaux en diminuant fortement son énergie mais n'a pas vocation de les stocker dans le sol.

Cette étude pourra être prolongée sur plusieurs années pour évaluer l'impact de ces pratiques culturales sur les propriétés hydrodynamiques des sols du bassin versant de Tougou.

Il serait intéressant d'étudier l'impact des pratiques culturales sur les apports en microbiologie qui interviennent également dans la capacité d'un sol à retenir de l'eau ;

Il serait également intéressant de changer l'emplacement des poquets après chaque campagne afin de permettre une meilleure redynamisation de la surface.

## BIBLIOGRAPHIE

- Moustapha A.M., 2010. Rapport sur les techniques de captage de l'eau des pluies au Niger. Stockholm Environment Institute, 29p.
- Ambouta J.M.K., Valentin C., Laverdier M.R et al., 1996. Jachères et croûtes d'érosion au Sahel. *Sécheresse* 7, 269-275.
- Ankeny M.D., Ahmed M., Kaspar T.C & Horton R., 1991, Simplified method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 55, 467-470.
- Aronson J., Floret C., Le Floc H.E., Ovalle C., Pontanier R., 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid regions. I. A view from the south. *Restoration Ecology*, 1: 8-17.
- Bruno B., Yacouba H., Karambiri H., Zoromé M et Somé B., 2009. Human Vulnerability to Climate Variability in the Sahel : Farmers' Adaptation Strategies in Northern Burkina Faso. *Environmental Management*, 43 :790-803.
- Casenave A., Valentin C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne, Influence sur l'infiltration. Coll. Didactiques ORSTOM, Paris, 227 pp.
- Collinet J., 1988. Comportements hydrodynamique et érosifs de sols de l'Afrique de l'Ouest. Thèse. Université de Strasbourg, 521p.
- Darcy, H., 1856. Les fontaines publiques de la ville de Dijon - Exposition et application des principes à suivre et des formules à employer dans les questions de distribution d'eau. Ouvrage terminé par un appendice relatif aux fournitures d'eau de plusieurs villes, au filtrage des eaux et à la fabrication des tuyaux de fonte, de plomb, de tôle et de bitume. Par Henry Darcy, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées. Victor Dalmont, Éd., Paris.
- Niang, D., 2006. Fonctionnement hydrique de différents types de placages sableux dans le sahel Burkinabè. Thèse de doctorat EPFL N°3667, 136pp.

- Dugué P., 1989. Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone soudano- sahélienne : le cas du Yatenga (Burkina Faso). Thèse de doctorat : École Nationale Supérieure Agronomique (ENSA), Montpellier (France).
- Dugué P., Hien E., Lepage M., 2006. Pratiques innovantes d'utilisation de la fumure organique dans les systèmes de culture et viabilité des agrosystèmes en zone soudano-sahélienne : cas de Ziga (Yatenga, Burkina Faso) ; Université de Ouagadougou. S.l : s.n, 23p.
- FAO ., 1996. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture, collection FAO Agriculture, n°29, Rome, Italie.
- Gardner, W.F., 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Science*, 85: 228-232.
- Guillobez, S., 1990. Reflexions théoriques du ruissellement et de l'érosion. Bases d'un contrôle application à la détermination des écartements entre dispositifs anti-érosifs. *Bois et Forêts des Tropiques*, 226, 37-47.
- Guillobez, B., Zougmoré, R., 1991. Contribution à l'étude du ruissellement et de l'érosion à la parcelle influence des paramètres principaux: précipitations, rugosité du sol, états de surface, humidité du sol en surface. Mémoire IDR. Université de Ouagadougou, 89 pp.
- Haverkamp R., Ross P.J., Smetten K.R.J &Parlange J.-Y., 1994, Three-dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer. *Physical based infiltration equation*, *Water resour. Res*, 30, 2931-2935.
- Ibrahim, B., 2012. Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakambé. Thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie Curie, Sciences de l'Environnement d'Ile-de-France, 245p.
- Institut de l'environnement et de recherches agricoles Bilan de 10 années de recherche : 1988-1998. Ouagadougou (Burkina Faso) : Inera, 2000.
- Institut National de la Statistique et de la Démographie, 2009. Annuaire statistique 2008, Burkina Faso, 143p.

- Institut National de la Statistique et de la Démographie, 2015. Annuaire statistique 2014, Burkina Faso, 386p.
- Kaboré V., 1994. Amélioration de la production végétale des sols dégradés (zipella) du Burkina Faso par la technique des poquets (zaï). Thèse de doctorat : École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse), 201p.
- Karambiri H., 2003. Crues et érosion hydrique au sahel : Etude et modélisation des flux d'eau et de matières sur un petit bassin versant pastoral au Nord du Burkina Faso. Thèse de doctorat de l'Université Paris VI, 341 p.
- Kambou N. F., Zougmore R., 1995. Evolution des états de surface d'un "Zipellé" soumis à différentes techniques de restauration des sols (Yilou, Burkina Faso). Bull. Réseau Erosion, I6 : 1 9-3 2.
- Koussoubé A., Da DEC., Yacouba H., Karambiri H., 2006. Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur les rendements agricoles dans le bassin versant de Tougou. 2ie-AMMA., Ouagadougou, 5p.
- Koussoubé A., 2007. Dynamique du couvert végétal et de la production agricole du bassin versant de Tougou (au nord du Burkina Faso). Mémoire de DESS, Département de Géographie, Université de Ouagadougou, pp. 135.
- Le Borgne J. La dégradation actuelle du climat en Afrique, entre Sahara et Equateur. In : Richars JF, ed. Dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest. Université de Dakar, 1990 : 17-36.
- Mahé G., Paturel, J. E., 2009. 1896-2006 Sahélian annual rainfall variability and runoff increase of Sahelian Rivers. Comptes Rendus Geoscience, 34 (7), 538-546.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources halieutiques (MAHRH), 2011. Politique nationale de développement durable de l'agriculture irriguée : stratégie, plan d'action, plan d'investissement à l'horizon 2015. Ouagadougou (Burkina Faso).
- Morin J., 1993. Soil crusting and sealing in West Africa and possible approaches to improved management. In Soil tillage in Africa: Needs and challenges; FAO soils bulletin; 69pp: 95-128.

- Mounirou, L., 2012. Etude du ruissellement et de l'érosion à différentes échelles spatiales sur le bassin versant de Tougou en zone sahéenne du Burkina Faso : Quantification et transposition des données. Thèse de docteur de l'université de Montpellier II et du 2iE, 249p.
- Ouédraogo, M., Dembélé ; Y., Somé L., 2010. Perceptions et stratégies d'adaptations aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso ; pp 87-96
- Ouédraogo, E., Mando, A., Zombré, N.P., 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in west Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 84, 259–266.
- PANA., 2007 : Programme d'Action National d'Adaptation à la variabilité climatique et aux changements climatiques.
- Zaré A., Patrick M., Bruno B., 2011. Interactions dynamiques homme-climat-ressources dans un bassin versant sahéen : Modélisation hydroéconomique.
- Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris., ministère de la Coopération et du Développement-Cirad-Irat.
- Reij, C., Scoones, I., Toulmin, C., 1996. *Sustaining the Soil: Indigenous Soil and Water Conservation in Africa*. Earthscan Publications, London : pp 1-27
- Ripama, T., Sawadogo, S. P., 2009. Recensement général de la population et de l'habitation (RGPH) de 2006. Monographie de la région du Nord. Rapport d'étude, pp, 189.
- SP/CONEDD, 2006 : Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation aux changements climatiques au Burkina Faso : Volet socio-économique, 23p.
- Stroosnijder L., 1996. Modelling the effect of grazing on infiltration, runoff and primary production in the Sahel. *Ecological Modelling* 92: 779-88.
- Vandervaere, J.P, 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 à l'Université Joseph Fourier-Grenoble, 329p

Vlaar, JCI., 1992 Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays.  
Wageningen, Pays-Bas : CIEH-UAT/t : Wageningen, Pays-Bas. 99p.

White I., Sully M.J. 1987. Macroscopic and microscopic capillary length and time scales from  
field infiltration. *Water Resources Research.*, 23:1514-1522.

Wooding R.A., 1968, Steady infiltration, Steady infiltration from a shallow circular pond.  
*Water Resources Research.*, 4:1259-1273.

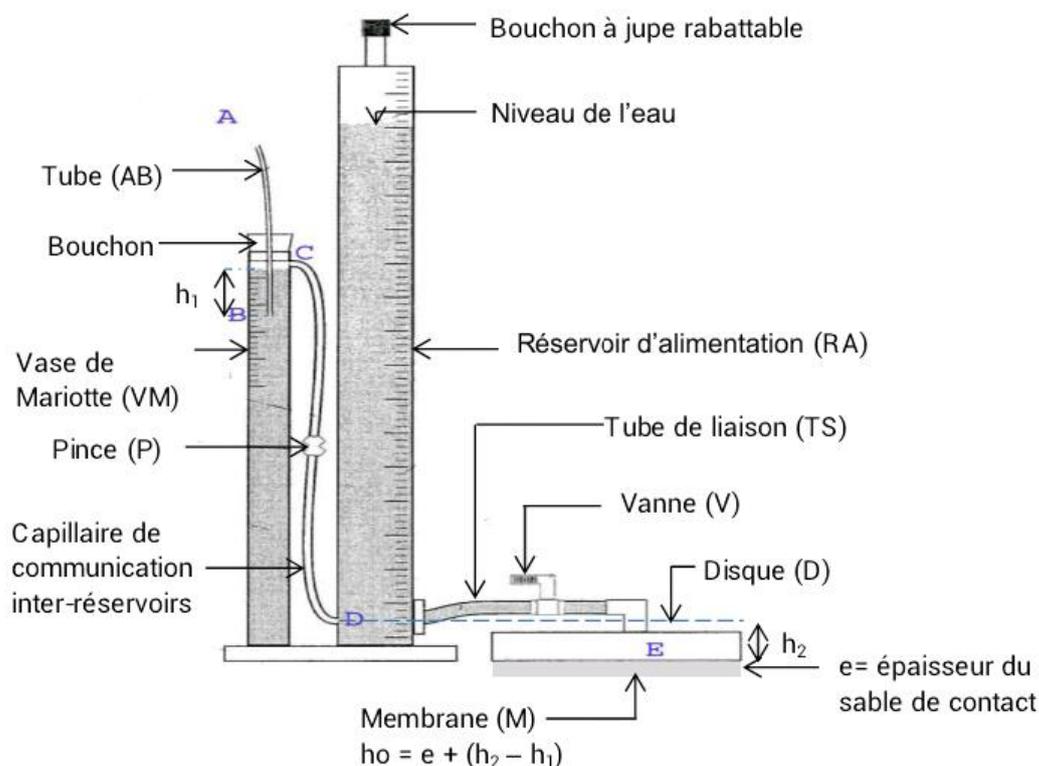
Zombré N.P., 2003. Les sols très dégradés (Zipella) du Centre Nord du Burkina Faso :  
dynamique, caractéristiques morpho-bio-pédologiques et impacts des techniques de  
restauration. Thèse de doctorat : Université de Ouagadougou (Burkina Faso).

## ANNEXES

### **Annexe 1: Profils pédologiques**

- 0-22 cm : brun foncé (7,5YR5/6) à l'état sec, brun foncé (7,5YR4/6) à l'état humide ; limono-sableux ; 5 % de graviers ferro-manganiques ; structure faiblement développée en éléments très grossiers, grossiers et moyens polyédriques subangulaires ; consistance très dure ; assez nombreux pores très fins, fins et moyens ; nombreuses racines très fines et fines ; activité biologique assez bien développée ; limite graduelle.
- 22-56 cm : brun jaunâtre (10YR5/6) à l'état sec, brun jaunâtre foncé (10YR4/6) à l'état humide ; limono-argileux ; 10 % de graviers ferro-manganiques ; structure faiblement développée en éléments moyens et fins polyédriques subangulaires ; consistance très dure ; nombreux pores très fins et fins ; assez nombreuses racines très fines ; activité biologique faiblement développée ; limite graduelle.
- 56-83 cm : jaune brunâtre (10YR6/6) à l'état sec, brun jaunâtre foncé (10YR5/6) à l'état humide ; 5 % de taches brun très pâle (10YR7/4) à l'état sec, brun jaunâtre claire (10YR6/4) à l'état humide ; limono-argileux ; 3% de graviers ferro-manganiques ; structure faiblement développée en éléments fins et moyens polyédriques subangulaires ; consistance très dure ; nombreux pores très fins et fins ; racines non visibles ; activité biologique faiblement développée ; limite graduelle.
- 83-120 cm : jaune brunâtre (10YR6/8) à l'état sec, brun jaunâtre (10YR5/8) à l'état humide ; 5 % de taches brun très pâle (10YR7/4) à l'état sec, brun jaunâtre claire (10YR6/4) à l'état humide ; argileux ; 2 % de graviers ferro-manganiques ; structure massive ; consistance très dure ; nombreux pores très fins, fins, moyens et larges ; racines non visibles ; activité biologique non évidente.

## Annexe 2: Principe de mesure du TRIMS



L'infiltromètre à disque est constitué d'un disque à membrane (D) en nylon séparé du corps de l'appareil pour des raisons de stabilité de ce dernier et d'assurer en permanence le contact hydraulique du disque d'infiltration avec le sol. Un réservoir d'alimentation (RA) gradué en millimètre va permettre l'alimentation en eau du disque à membrane par l'intermédiaire du tube souple (TS) muni d'une vanne (V). Pour permettre à un volume d'eau de passer du RA et de s'infiltrer dans le sol, il doit être remplacé par un volume d'air identique. La présence du tube capillaire de communication inter-réservoirs, muni d'une pince (P) permet l'entrée de cet air jusqu'à la base D du réservoir RA. Ce tube est relié à la vase Mariotte (VM), permettant ainsi de régler la succion du sol ou le potentiel de l'eau au niveau de la surface du sol. Le tube (AB) à la pression atmosphérique assure le transit de l'air à travers le vase de Mariotte. Des bulbes vont alors se former à la base du tube AB qui vont ensuite remonter dans la vase de Mariotte et rejoindre le volume d'air contenue dans ce dernier. On obtient ainsi la pression de l'eau en C dans le vase de Mariotte. Pour que l'eau puisse s'infiltrer dans le sol, il faut que le tube AB soit positionné à la hauteur correspondant à la succion  $h_0$  désirée.

### **Annexe 3: Méthodes d'analyse du TRIMS ainsi que leurs avantages et inconvénients.**

#### ***La solution de Wooding (1968)***

$$Q = K \left[ 1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right] \quad (1)$$

Ou  $r$  (cm) est le rayon du disque,  $Q$  (cm/h) est le débit d'infiltration,  $K$  (cm/h) est la conductivité hydraulique et  $\alpha$  est la constante dépendante de la porosité du sol. La relation qui lie la conductivité hydraulique à la charge de pression est représentée par une fonction de Gardner (1958) :

$$K(h) = K_s e^{\alpha h} \quad (2)$$

$K_s$ , la conductivité hydraulique à saturation et  $\alpha$  sont obtenue à partir d'essais effectués à des charges de pression différentes (Méthode multipotentiel).

#### ***La méthode multipotentiel de Ankeny et al (1991)***

Cette méthode utilise deux mesures du flux d'infiltration donc du débit d'infiltration au même endroit, à deux pressions différentes afin de pouvoir déterminer les deux paramètres inconnues qui sont  $K_s$  et  $\alpha$ .

$$Q(h_1) = K_s \times e^{\alpha h_1} \left[ 1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right] \quad (3)$$

$$Q(h_2) = K_s \times e^{\alpha h_2} \left[ 1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right] \quad (4)$$

De l'équation (3) et (4), on déduit  $\alpha$  et on remplace  $\alpha$  dans une des équations pour trouver  $K_s$  :

$$\alpha = \frac{\ln \frac{Q_1}{Q_2}}{(h_1 - h_2)}$$

Notre analyse sur les différentes méthodes d'analyse du TRIMS se repose sur une étude faite par Coquet et al en 2000. En effet ces auteurs ont permis de démontrer qu'une comparaison des différentes méthodes d'estimation de la conductivité hydraulique  $K$  à l'aide de l'infiltromètre à disque met en évidence la supériorité de la méthode multipotentiel par rapport à méthodes monopotentiel utilisant la sorptivité. La méthode multipotentiel est toutefois longue à mettre en œuvre puisqu'elle nécessite la mesure de trois cinétiques d'infiltration jusqu'à l'atteinte du régime permanent pour obtenir une valeur de  $K$  (avec une précision + ou - de 21%). La méthode monopotentiel en régime permanent de White et Sully

(1987) pose en général problème car elle entraîne une surestimation de la sorptivité et donc une sous-estimation de la conductivité  $K$ . Ce problème de surestimation et de sous-estimation ne se pose pas en régime transitoire proposé par Haverkamp et al. (1994), mais la précision de cette méthode s'est avéré être faible (de l'ordre de 70%). Cette méthode reste quand même la plus intéressante car elle est nettement plus rapide à mettre en œuvre puisqu'elle n'utilise qu'une seule cinétique d'infiltration et ne nécessite pas l'attente du régime permanent d'infiltration.

**Annexe 4: Relevé des mesures d'humidité**

Date	Profondeur	T0A	T3A	T2A	T1A	T2B	T1B	T0B	T3B
14/09/2015	10	17,66	21,77	21,05	17,32	24,03	15,07	18,25	16,42
	20	14,12	19,55	22,97	13,85	19,34	15,31	14	22,25
	30	10,67	11,54	21,02	10,28	19,78	16,77	15,64	26,03
	40	11,47	14,73	19,48	5,03	20,07	16,96	17,16	23,25
	50	12,67	10,6	18,16	4,89	18,08	16,74	19,64	21,42
	60	12,94	13,42	16,46	5,77	18,03	16,89	20,95	21,15
	70	12,58	20,87	15,62	5,47	17,77	17,21	19,67	19,89
	80	11,85	19,76	16,32	4,48	17,22	16,81	18,02	18,22
	90	10,44	18,58	15,28	5,06	16,83	16,63	17,08	17,89
	100	12,26	17,91	16,02	5,64	16,81	16,4	18,44	17,63
15/09/2015	10	17,43	22,27	24,71	17,67	24,18	16,06	19,11	21,39
	20	13,91	18,01	23,39	13,83	19,82	14,75	19,09	23,87
	30	9,9	16,06	22,14	10,64	19,94	17,11	20,44	22,65
	40	10,9	13,68	20,09	2,75	20,26	16,79	23,15	22,99
	50	11,84	10,68	19,89	3,76	18,16	17,22	21,58	22,28
	60	12,79	12,72	18,7	5,19	17,76	17,07	19,87	21,09
	70	12,54	12,63	19,93	5,83	17,68	16,81	18,23	19,37
	80	11,1	20,8	18,57	6,65	17,1	15,92	17,83	18,63
	90	8,47	18,67	15,88	10,67	16,9	15,94	17,83	17,99
	100	11,17	17,74	17,39	10,09	16,92	15,49	17,91	17,66
16/09/2015	10	16,93	20,14	21,31	17,01	23,77	15,04	16,96	16,44
	20	12,4	16,97	22,42	14,47	19,96	14,62	13,29	21,15
	30	10,24	16,69	20,32	11,21	18,95	16,23	17,07	21,72
	40	10,74	14,63	19,98	6,53	20,47	16,53	22,56	22,22
	50	12,28	8,46	18,13	5,35	17,73	16,89	22,1	21,82
	60	12,81	8,93	18,22	5,12	17,7	17,09	19,61	20,7
	70	13,08	14,39	18,37	5,64	17,48	17,17	18,24	19,11
	80	12,08	20,52	18,59	5,39	16,89	16,47	17,75	18,28
	90	11,39	19,36	17,13	9,83	16,8	16,24	17,49	17,64

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel:  
Cas du bassin versant de Tougou

	100	12,46	17,74	19,03	9,78	17,09	15,6	18,41	17,4
17/09/2015	10	13,63	19,48	21,09	16,89	22,88	14,88	19	15,46
	20	10,23	16,64	21,34	13,35	20,05	15,42	13,03	20,61
	30	8,57	14,51	20,36	9,69	18,82	16,24	18,67	21,3
	40	10,55	11,24	19,34	8,22	19,17	15,88	22,3	21,67
	50	12,46	11,2	19,63	8,3	18,04	14,6	20,63	20,81
	60	13,08	9	17,47	7,9	17,64	15	19,47	20,02
	70	13,5	11,51	16,66	5,79	17,22	15,84	18,39	18,17
	80	11,54	19,34	12,1	5,61	17,07	16,36	17,95	17,34
	90	10,28	18,27	10,78	9,21	16,68	16,31	17,69	17,15
	100	8,82	17,1	13,6	10,79	16,75	16,24	18,05	16,83
18/09/2015	10	19,02	27,38	25,84	20,39	25,34	17,63	18,09	27,72
	20	13,27	17,57	25,49	14,08	19,19	15,55	13,83	24,93
	30	10,91	13,69	31,7	11	19,53	16,92	17,5	21,57
	40	11,53	13,63	32,12	7,15	19,75	16,43	22,24	21,07
	50	12,5	10,9	26	4,71	18,3	16,65	21,13	20,93
	60	13,27	13,64	22,12	4,67	17,67	16,8	20,21	20,17
	70	13,55	13,96	27,24	2,42	17,34	16,78	18,69	19,12
	80	12,48	18,65	40,91	2,57	16,95	16,01	17,44	18,95
	90	12,17	18,27	43,96	9,26	16,88	16,08	17,02	18,42
	100	13,11	17,84	39,26	9,89	16,95	15,56	18,57	18,49
19/09/2015	10	19,55	24,93	24,66	20,08	25,11	17,68	19,18	24,71
	20	13,47	18,58	24,78	14,12	20,56	14,99	13,13	22,71
	30	11,41	13,93	23,39	11,23	20,25	16,64	17,57	20,85
	40	11,59	13,14	20,43	4,92	19,46	16,15	21,71	21,03
	50	12,47	8,38	23,44	5,05	18,32	16,67	21,09	21,02
	60	11,56	9,85	22,32	6,05	18,24	16,91	19,9	20,57
	70	10,33	15,4	25,23	4,99	17,9	16,75	19,57	19,63
	80	8,08	20,28	24,63	3,82	17,41	16,03	18,75	18,62
	90	6,3	18,22	20,76	10,12	17,13	16,22	17,94	17,99
	100	10,25	17,18	23,86	11,99	17,11	15,44	18,02	17,68
20/09/2015	10	18,81	26,28	25,38	20,31	24,43	17,22	20,35	24,31

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel:  
Cas du bassin versant de Tougou

	20	12,9	19,51	25,08	14,82	19,66	15,17	12,59	22,71
	30	11,14	13,12	24,82	12,56	20,07	16,21	17,38	20,92
	40	11,51	13,74	21,4	7,02	18,65	16,42	20,59	21,18
	50	10,57	10,22	23,17	7,9	18,45	16,78	20,22	19,96
	60	10,09	9,81	23,27	8,42	17,86	16,52	18,83	19,67
	70	12,8	15,42	22,67	7,93	17,85	16,5	17,57	17,78
	80	11,66	19,69	23,23	10,71	16,97	16,79	17,14	17,32
	90	11,46	18,1	19,78	12,94	17,02	16,42	17,68	17,39
	100	12,69	17,1	20,3	14,26	16,84	16,55	18,34	17,01
21/09/2015	10	19,1	24,37	23,03	19,05	22,88	16,9	20,02	22,2
	20	12,56	17,09	23,29	14,34	17,38	15,39	17,66	21,79
	30	9,84	13,96	27,02	11,21	19,55	15,8	18,23	20,41
	40	11,21	15,36	27,69	6,32	17,91	15,55	21,5	20,61
	50	12,82	9,38	30,88	2,99	17,51	14,31	20,68	20,21
	60	13,09	9,94	34,56	8,44	17,22	15,26	19,65	18,98
	70	13	14,73	42,62	10,65	17,08	16,39	18,28	18,08
	80	11,9	18,51	38,68	4,89	16,36	16,44	17,7	16,61
	90	11,88	17,37	41,81	13,74	16,38	16,37	16,77	16,78
	100	12,86	16,94	37,52	13,03	16,77	15,13	17,59	17,72
22/09/2015	10	18,49	22,74	23,19	18,44	23,89	16,52	20,37	21,57
	20	12,32	16,87	22,51	14,42	18,96	15,41	17,88	21,06
	30	9,32	13,81	18,24	10,89	19,33	15,35	19,77	20,57
	40	10,9	12,91	17,03	7,11	17,96	15,78	21,35	20,97
	50	12,6	8,3	18,99	5,79	17,72	16,83	20,72	20,69
	60	13,01	10,02	19,39	2,51	17,42	16,79	19,53	19,61
	70	10,22	14,47	23,45	4,92	17,08	16,15	18,24	19,13
	80	7,47	18,79	22,28	11,97	16,56	15,69	17,38	17,92
	90	11,38	17,67	12,64	13,16	16,44	16,1	17,04	16,95
	100	12,49	16,89	13,42	12,73	16,53	15,45	17,72	16,66
23/09/2015	10	18,84	22,33	22,72	17,95	18,49	16	20,31	20,4
	20	11,91	15,72	23,36	13,71	19,01	14,52	17,8	20,97
	30	8,53	15,12	22,8	10,83	19,29	15,8	18,45	20,12

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel:  
Cas du bassin versant de Tougou

	40	10,23	12,69	20,06	4,08	18,32	15,9	20,11	20,28
	50	11,49	9,81	23,71	6,77	17,72	15,35	19,51	19,84
	60	12,55	10,93	22,43	9,26	17,47	16,61	19,8	18,75
	70	12,32	14,04	22,53	10,89	17,07	16,76	18,55	17,4
	80	11,56	18,8	22,73	11,93	16,68	16,1	17,61	17,77
	90	10,65	17,63	20,65	11,99	16,5	15,89	17,29	17,85
	100	11,93	16,68	20,15	11,38	16,46	15,57	17,76	18,2
24/09/2015	10	16,89	20,36	23,3	16,27	23,2	15,32	16,36	18,21
	20	13,93	16,15	20,31	15,09	19,06	15,08	13,02	20,11
	30	10,67	15,17	17,08	9,17	18,94	15,79	19,28	20,25
	40	11,09	12,99	16,38	4,82	17,75	15,93	21,2	20,69
	50	12,12	9,29	18,09	4,63	17,25	16,48	19,44	20,44
	60	12,84	12,89	14,12	4,13	17,6	16,5	18,98	19,44
	70	12,66	13,27	16,71	3,33	16,81	16,03	18,07	18,79
	80	11,76	18,45	17,77	2,96	16,38	15,55	18,05	17,72
	90	10,68	17,56	13,71	8,69	16,32	15,8	17,92	17,77
	100	11,54	16,6	15,57	10,29	16,02	15,12	18,57	17,68
25/09/2015	10	17,02	20,71	22,92	15,13	22,8	15,45	15,06	15,99
	20	13,72	16,76	23,1	15,9	18,86	14,27	11,14	19,06
	30	10,52	14,03	21,68	12,93	18,15	15,28	15,82	19,94
	40	10,65	17,26	20,5	7,81	19,16	15,3	20,26	20,4
	50	12,1	14,01	19,5	7,82	17,22	15,81	19,08	19,97
	60	12,99	14,24	15,76	9,54	17,1	15,32	18,3	18,73
	70	12,5	16,8	16,63	9,95	17,09	15,5	17,5	16,56
	80	11,73	18,54	15,91	10,82	16,69	15,42	17,52	16,29
	90	11,02	17,22	11,87	12,37	16,35	15,59	17,82	16,34
	100	12,16	16,74	15,13	12,76	16,4	15,06	18,32	16,7
26/09/2015	10	16,15	18,58	21,6	15,68	22,82	14,28	17,41	15,43
	20	11,18	15,3	21,07	13,88	19,17	14,7	17,58	18,95
	30	7,98	16,11	17,81	12,02	18,62	15,86	19,55	19,86
	40	8,09	15,02	16,82	8,58	19,18	15,47	20,24	20,76
	50	8,97	11,42	18,98	7,62	17,28	14,84	19,71	20,4

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel:  
Cas du bassin versant de Tougou

	60	10,3	10,59	14,01	7,4	17,16	14,9	18,3	19,38
	70	11,19	14,47	15,87	7,94	17,13	15,66	17,69	17,34
	80	9,53	18,75	16,16	7,67	16,84	15,97	17,57	16,69
	90	8,7	17,35	10,76	10,9	16,35	16,03	17,17	16,57
	100	11,41	16,68	14,13	10,79	16,28	15,35	17,71	16,15
27/09/2015	10	16,25	21,74	23,48	18,33	24,1	17,24	17,79	19,41
	20	10,06	16,09	22,01	13,9	16,34	13,75	12,01	19,66
	30	7,75	13,77	17,86	11,37	18,16	15,44	14,74	20,44
	40	9,62	14,1	16,62	9,16	18,11	15,41	19,32	20,76
	50	11,93	14,39	19,86	9,1	17,42	16,44	18,47	20,52
	60	12,26	15,72	19,41	10,2	17,05	15,42	17,83	19,77
	70	12,76	16,82	20	11,08	16,8	15,44	17,25	18,82
	80	10,53	16,52	18,28	12,05	16,22	15,64	16,85	17,95
	90	9,51	16,69	13,58	13,68	16,24	15,86	17,9	18,02
	100	9,58	15,92	15,73	14,82	16,02	15,32	17,83	17,6
28/09/2015	10	16,87	20	22,8	17,75	23,36	16,15	15,73	15,22
	20	9,4	15,39	21,16	14,76	18,28	14,4	16,55	19,21
	30	7,09	7,13	20,59	12,69	18,75	15,55	19,02	19,53
	40	8,93	16,96	18,16	9,63	18,73	16,2	18,98	20,82
	50	11,7	13,67	21,25	9,19	18,98	15,87	18,91	20,57
	60	12,74	10,6	18,45	8,86	17,33	15,89	17,88	19,47
	70	13,01	14	20	7,01	17,4	16,43	17,33	18,91
	80	10,74	18,05	17,72	7,56	16,47	16,39	17,99	17,89
	90	9,94	16,71	13,38	10,38	16,21	16,44	17,83	17,92
	100	11,69	16,27	14,6	11,88	16,43	16,73	17,69	17,83
29/09/2015	10	14,88	17,79	22,9	16,23	22,89	15,58	15,21	14,4
	20	10,15	14,22	23,88	16,17	12,8	14,49	11,45	17,71
	30	7,65	15,22	22,89	11,5	19,11	16,04	15,16	19,41
	40	9,91	16,86	21,19	5,82	18,41	15,92	18,66	20,41
	50	11,83	14,29	22,21	6,26	17,43	15,76	17,53	20,26
	60	12,89	10,67	21,16	6,55	17,13	15,49	17,66	18,77
	70	13,25	14,22	21,41	6,5	17,39	16,24	17,07	18,85

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel:  
Cas du bassin versant de Tougou

	80	10,83	18,13	18,46	6,83	16,91	15,72	16,73	17,82
	90	9,42	17,11	14,25	6,93	16,56	15,8	16,49	17,81
	100	11,68	16,42	15,83	9,93	16,56	15,07	17,75	17,59
30/09/2015	10	15,38	17,53	22,67	15,88	23,51	14,59	16,03	12,13
	20	10,57	15,91	23,38	16,48	18,74	14,93	11,34	17,33
	30	7,89	14,04	22,63	10,86	16,97	16,32	15,19	19,5
	40	8,13	17,08	25,38	5,87	18,93	16,06	19,43	20,54
	50	9,13	7,73	22,43	4,92	17,4	15,89	18,7	20,4
	60	9,59	8,65	21,7	4,35	17,33	15,71	17,83	19,45
	70	9,6	16,43	22,11	3,28	17,13	16,05	17	18,96
	80	6,8	17,28	20,67	2,65	16,93	15,87	16,75	17,96
	90	4,28	16,38	16,03	8	16,65	15,95	17	17,34
	100	7,41	16,32	17,35	9,49	16,7	15,25	17,93	16,57
01/10/2015	10	16,28	16,74	22,4	14,95	21,91	13,7	13,12	16,88
	20	11,42	14,84	22,87	15,12	18,25	14,07	10,6	16,2
	30	7,91	14,8	22,08	8,26	18,17	16,01	14,66	18,86
	40	8,28	15,35	21,03	5,13	20,08	16,14	19,01	20,27
	50	9,23	12,28	21,97	5,01	17,52	16,49	18,53	20,27
	60	9,49	11,2	19,75	3,95	17,43	16,9	18,55	19,35
	70	9,81	14,09	20,1	2,81	17,13	16,8	17,68	19,12
	80	7,85	18,03	18,48	2,4	16,96	16	17,96	17,17
	90	5,35	16,9	14,23	8,06	16,7	16,07	17,74	16,58
	100	7,74	16,63	15,79	9,58	16,67	15,55	17,29	16,71
02/10/2015	10	13,23	16,32	22,41	14,71	21,8	13,8	13,9	12,22
	20	9,72	14,51	22,37	14,04	18,64	14,51	10,59	16,41
	30	7,39	15,25	22,49	9,57	18,66	15,59	14,6	19,25
	40	9,95	13,17	20,78	4,68	18,07	15,61	18,39	19,89
	50	11,75	13,41	22,27	5,19	17,15	15,72	18,43	20,09
	60	12,77	12,33	21,75	4,33	17,18	15,76	18,06	18,88
	70	13,42	14,81	22,34	3,49	17,12	16,25	17,55	18,58
	80	11,5	18,09	21,53	3,85	16,91	15,96	17,37	17,81
	90	10,75	16,69	18,47	8,85	16,51	16,14	17,59	17,91

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel:  
Cas du bassin versant de Tougou

	100	12,76	16,6	19,72	10,03	16,56	15,7	17,96	17,94
03/10/2015	10	13,66	15,42	20,58	13,44	20,97	13,69	14,86	11,46
	20	10,7	12,99	22,72	13,62	11,96	14,2	13,88	16,34
	30	7,98	13,15	22,36	11	14,05	15,41	15,43	17,97
	40	8,96	15,3	20,33	4,63	18,49	15,47	16,7	19,37
	50	10,5	14,54	21,89	4,53	16,75	16,17	17,92	19,59
	60	11,68	14,67	21,55	4,24	17,02	15,6	17,19	18,59
	70	12,47	15,69	21,89	2,89	16,93	16,22	16,38	18,41
	80	9,51	17,52	21,11	2,54	16,27	15,69	16,64	17,73
	90	7,84	16,81	17,11	8,46	16,26	15,69	16,33	17,88
	100	10,6	16,57	17,81	9,92	16,59	15,26	17,52	17,89
04/10/2015	10	14,62	18,79	22,76	15,16	21,21	15,58	15,21	14,09
	20	11,1	14,18	22,7	14,01	17,77	14,11	10,85	15,29
	30	7,65	11,89	22,07	12,74	19,15	15,54	13,94	15,51
	40	9,7	13,27	20,5	7,4	18,34	15,93	18,19	19,37
	50	9,83	12,87	21,76	7,02	17,52	16,7	18,12	19,31
	60	12,89	10,43	19,29	9,12	17,5	16,68	17,97	18,59
	70	11,62	16,46	18,16	9,59	17,25	16,71	17,5	18,71
	80	7,15	18,02	16,91	10,06	16,68	16,19	17,26	18,11
	90	5,28	17,08	12,52	11,16	16,6	16,02	17,14	18,37
	100	9,37	16,51	15,48	12,23	16,71	15,52	17,77	17,89
05/10/2015	10	15,49	16,94	21,8	13,54	20,88	13,83	15,83	13,65
	20	13,28	14,55	23,29	15,24	17,74	13,63	15,97	15,75
	30	10,91	14,05	22,63	8,88	18,63	13,44	16,43	17,57
	40	10,5	13,56	22,22	4,04	19,05	16,8	18,73	18,78
	50	10,35	11,42	22,54	5,39	17,56	16,25	18,31	17,86
	60	10,81	11,92	18,99	4,87	17,29	16,31	18,11	17,04
	70	10,4	15,14	17,74	4,48	16,88	16,64	17,76	17,7
	80	9,92	17,24	16	3,67	16,75	16,3	17,6	17,18
	90	11,25	16,73	12,5	8,25	16,4	16,87	17,9	17,49
	100	12,52	16,56	16,37	9,58	16,62	15,85	18,24	17,5
06/10/2015	10	13,79	15,74	21,64	14,06	20,66	13,79	14,82	12,21

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel:  
Cas du bassin versant de Tougou

	20	10,1	14,6	23,34	13,53	18,27	14,25	16,4	15,3
	30	7,37	12,78	23,05	10,43	18,76	15,57	18,11	17,71
	40	9,06	17,06	21,61	4,9	19,04	15,86	19,23	18,86
	50	11,11	14,06	22,81	4,84	18,13	16,65	18,84	19,2
	60	11,75	15,25	22,18	4,63	17,65	16,33	18,49	18,97
	70	12,44	15,9	22,37	3,58	17,35	16,58	18,14	18,53
	80	9,68	16,99	21,78	2,26	16,99	16,47	17,73	17,79
	90	9,44	16,29	19,22	8,15	16,57	16,26	17,75	17,95
	100	11,6	16,3	20,73	9,67	16,76	15,94	18,27	17,84
07/10/2015	10	14,13	15,97	20,86	14,84	20,77	13,81	14,66	11,56
	20	10,63	13,17	23,28	13,49	18,23	14,67	15,39	15,74
	30	9,57	13,85	23,63	12	18,2	15,56	16,66	17,6
	40	9,98	13,1	21,86	7,91	18,64	15,87	18,93	19,18
	50	10,65	8,51	22,04	7,68	17,59	15,59	18,7	19,5
	60	11,84	10,4	22,48	6,48	17,41	16,28	18,52	18,59
	70	12,55	13,95	19,37	7,06	17,15	16,29	18,35	18,5
	80	10,98	17,74	17,49	6,28	16,89	16,36	18,26	17,78
	90	10,59	17,19	13,87	9,52	16,54	16,18	18,07	17,71
	100	12,38	16,62	18,95	9,59	16,58	15,71	18,84	17,52
08/10/2015	10	13,9	15,76	21,07	14,26	19,84	13,63	12,85	11,35
	20	10,93	12,63	22,44	14,02	17,69	14,19	13,73	15,34
	30	6,79	13,73	20,17	8,76	18,07	15,35	15,69	16,74
	40	8,12	13,99	19,64	5,75	18,73	15,98	17,43	19,32
	50	9,19	10,65	22,26	5,22	17,27	16,55	17,65	19,42
	60	10,09	10,72	20,55	3,9	17,16	16,44	17,69	18,22
	70	10,2	14,45	20,94	2,87	16,9	16,84	16,97	16,29
	80	7,59	17,7	21,61	4,59	16,61	16,55	16,82	16,33
	90	4,42	16,94	18,6	8,3	16,37	16,33	16,92	16,38
	100	7,4	16,61	18,93	9,8	16,37	16,18	17,82	16,01
09/10/2015	10	13,24	14,89	20,49	13,86	20,1	13,63	14,67	11,86
	20	10,35	13,38	20,65	14,21	17,38	14,17	13,83	14,95
	30	8,68	14,68	17,54	11,65	18,78	15,36	14,95	17,13

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel:  
Cas du bassin versant de Tougou

	40	10,42	13,6	17,19	5,42	19,27	15,21	16,66	18,95
	50	11,89	10,55	19,48	6,03	17,84	14,01	17,72	19,26
	60	12,79	13,81	16,2	7,26	17,37	15,05	17,08	18,69
	70	13,27	13,65	15,67	6,53	17,33	15,66	16,59	18,45
	80	11,89	17,08	16,57	6,59	16,6	16,08	16,82	17,81
	90	10,96	16,33	13,77	10,77	16,47	16,21	16,84	17,56
	100	12,93	16,1	18,74	12,42	16,42	15,52	18,03	17,49
10/10/2015	10	13,04	14,37	20,2	13,09	18,6	13,39	13,64	10,55
	20	10,17	13,23	22,39	13,96	17,24	14,51	12,93	14,23
	30	7,45	13,17	22,34	9,61	18,27	15,47	16,13	16,58
	40	8,98	13,61	20,96	5,86	19,09	15,36	17,84	17,74
	50	10,85	13,53	22,51	5,08	16,95	15,21	18,03	18,43
	60	11,93	14,38	21,82	4,83	16,93	15,54	17,2	18,56
	70	12,64	13,41	21,68	3,55	16,71	15,79	16,41	18,5
	80	10,27	15,18	21,61	4,14	16,37	15,65	16,8	17,8
	90	9,96	16,52	19,32	9,43	16,2	15,75	16,72	17,27
	100	11,82	16,29	19,64	10,63	16,25	15,29	17,39	17,3
11/10/2015	10	13,26	13,96	20,86	15,07	17,82	12,01	13,43	10,66
	20	10,56	12,88	25,9	14,48	17,53	13,66	9,63	14,75
	30	6,47	14,75	20,39	12,56	17,51	15,23	13,96	16,79
	40	8,2	14,45	19,87	6,98	19,61	15,57	18,17	18,13
	50	8,82	9,92	19,84	7,63	17,2	16,34	18,04	18,64
	60	9,63	10,18	15,86	9,18	17,36	16,1	18,2	18,41
	70	9,91	11,95	16,51	9,41	17,46	15,56	17,74	16,22
	80	9,08	16,98	15,27	10,42	16,93	15,89	17,81	16,04
	90	5,48	17,17	10,13	13,72	16,58	16,09	17,68	16,12
	100	8,74	16,85	15,91	14,78	16,71	15,66	18,28	16,15
12/10/2015	10	13,2	13,73	20,05	13,81	18,21	13,32	13,05	10,75
	20	10,3	13,15	22,36	14,04	18,53	14,77	11,28	14,32
	30	6,86	14,93	20,07	11,73	18,67	15,26	14,58	16,96
	40	9,08	12,13	21,42	6,98	18	15,38	17,41	18,8
	50	11,75	11,39	22,57	7,75	17,61	15,16	16,88	19,2

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel:  
Cas du bassin versant de Tougou

	60	12,54	12,2	21,43	8,6	17,01	15,67	16,98	18,24
	70	12,9	14,18	21,54	6,11	17,15	15,79	16,77	18,22
	80	10,1	15,95	20,74	5,69	16,67	15,69	16,65	17,77
	90	9,09	16,41	17,73	9,36	16,73	15,82	16,49	17,77
	100	11,09	15,98	19,67	11,11	16,69	15,24	17,72	17,71
13/10/2015	10	12,98	15,01	20,18	13,42	18,21	14,21	12,87	12,33
	20	9,85	12,83	21,15	13,9	17,47	14,34	11,91	15,72
	30	7,4	13,74	19,78	10,26	18,29	15,1	14,48	16,49
	40	8,74	10,89	18,63	5,06	18,36	14,99	17,67	17,98
	50	11,61	11,51	19,41	5,8	17,89	15,54	17,37	18,25
	60	11,66	11,67	15,21	7,06	17,01	15,4	17,04	18,17
	70	11,8	13,31	15,2	5,99	16,84	15,47	16,49	17,96
	80	8,62	16,91	14,67	6,34	16,48	15,86	16,99	17,39
	90	6,39	16,56	10,71	10,51	16,21	15,92	16,88	16,96
	100	9,05	16,16	13,17	11,31	16,46	15,16	17,89	16,84

**Annexe 5: Relevé des mesures tensiométriques**

Date	Profondeur(cm)	T0A	T3A	T2A	T1A	T2B	T1B	T0B	T3B
11/09/2015	20	-303	-187	-138	-249	-212	-540	-328	-225
	40	-528	-180	-135	-643	-709	-794	-225	-630
	60	-755	-266	-148	-505	-560	-840	-371	-706
	80	-732	-751	0	-667	-645	-644	-763	-700
	120	-841	-691	-181	-601	-333	-811	-762	-739
12/09/2015	20	-280	-249	-192	-308	-409	-249	-397	-323
	40	-474	-223	-175	-470	-320	-405	-201	-653
	60	-558	-289	-173	-468	-230	-304	-379	-264
	80	-471	-342	-185	-485	-301	-307	-320	-736
	120	-282	-309	-217	-523	-295	-348	-319	-778
13/09/2015	20	-307	-289	-204	-346	-271	-507	-457	-376
	40	-523	-242	-181	-565	-488	-424	-195	-631
	60	-621	-296	-176	-581	-413	-357	-428	-352

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel:  
Cas du bassin versant de Tougou

	80	-589	-440	-187	-600	-416	-409	-425	-738
	120	-405	-423	-214	-626	-343	-411	-440	-776
14/09/2015	20	-339	-351	-216	-377	-286	-563	-559	-569
	40	-549	-264	-187	-618	-537	-490	-195	-642
	60	-717	-306	-178	-616	-486	0	-477	-420
	80	-630	-504	-187	-654	-491	-488	-498	-750
	120	-490	-504	-210	-667	-330	-493	-528	-789
15/09/2015	20	-375	-431	-235	-419	-317	0	-663	-618
	40	-583	-294	-201	-656	-574	-547	-560	-666
	60	-750	-327	-189	-607	-536	-688	-539	-473
	80	-630	-555	-198	-665	-542	-544	-535	-761
	120	-554	-558	-220	-675	-343	-551	-584	-801
16/09/2015	20	-412	-405	-238	-450	-325	-560	-725	-630
	40	-602	-292	-210	-678	-596	-584	-652	-676
	60	-767	-247	-200	-595	-560	0	-794	-165
	80	-581	-152	-207	-660	0	-586	-575	-766
	120	-596	-131	-226	-676	-344	-593	-625	-162
17/09/2015	20	-432	-527	-242	-467	0	-581	-747	-645
	40	-608	-332	-209	-692	-602	-596	-690	-667
	60	-774	-319	-200	-585	-552	-763	-636	-611
	80	-551	-237	-202	-655	-660	-601	-597	-760
	120	-622	-209	-216	-661	-319	-618	-647	-655
18/09/2015	20	-378	-308	0	-494	-343	0	-787	0
	40	-626	-366	-111	-404	-624	0	-739	-674
	60	-773	-351	-62	-577	-557	-803	-694	-711
	80	-539	-300	-85	-650	-698	-613	-628	-771
	120	-646	-278	-140	-663	-333	-653	-677	-750
19/09/2015	20	-343	-206	-29	-497	0	-397	0	0
	40	-638	-362	-75	-714	-633	-480	-753	-642
	60	-740	-282	-78	-572	-557	-747	-727	-708
	80	-531	-341	-97	-646	-685	0	-648	-772
	120	-658	-328	-131	-659	-330	-672	-695	-780

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel:  
Cas du bassin versant de Tougou

20/09/2015	20	-325	-203	-93	-320	-235	-436	-477	-134
	40	-641	-336	-66	-506	-324	-484	-750	-491
	60	-710	-349	-93	-512	-321	-702	-546	-577
	80	-523	-370	-114	-568	-377	-590	-434	-492
	120	-663	-423	-144	-566	-307	-644	-560	-524
21/09/2015	20	-307	-165	-75	-377	0	-436	-558	-185
	40	-495	-301	-62	-601	-444	-489	-776	-582
	60	-491	-388	-57	-622	-487	-709	-571	-684
	80	-551	-418	-85	-662	-540	-647	-574	-614
	120	-617	-525	-119	-669	-295	-766	-700	-658
22/09/2015	20	-307	-238	-94	-399	-207	-456	-599	-262
	40	-556	-311	-80	-662	-509	-499	-784	-635
	60	-625	-407	-83	-642	-580	-696	-583	-712
	80	-660	-524	-112	-683	-633	-649	-641	-669
	120	-740	-668	-134	-715	-297	-807	-755	-722
23/09/2015	20	-328	-327	-120	-412	-246	0	-625	-396
	40	-582	-330	-104	-692	-546	-506	-761	-664
	60	-690	-418	-106	-639	-614	-685	-584	-715
	80	-679	-586	-125	-681	-680	-647	-683	-700
	120	-779	-731	-150	-725	-304	-826	-776	-754
26/09/2015	20	-354	-420	-131	-402	-256	-217	-473	-539
	40	-519	-326	-113	-613	-498	-523	-484	-562
	60	-639	-373	-111	-514	-502	-521	-512	-597
	80	-521	-556	-120	-556	-583	-550	-649	-635
	120	-624	-568	-137	-597	-237	-569	-647	-538
27/09/2015	20	-379	-416	-106	-415	-246	0	-406	-517
	40	-524	-334	-120	-602	-466	-532	-556	-532
	60	-644	-365	-110	-499	-462	-556	-495	-561
	80	-510	-552	-121	-543	-538	-513	-616	-615
	120	-612	-542	-135	-578	-214	-517	-639	-578
28/09/2015	20	-368	-370	-110	-302	-237	-226	-528	-484
	40	-486	-330	-107	-470	-463	-531	-135	-518

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel:  
Cas du bassin versant de Tougou

	60	-589	-351	-112	-477	-446	-536	-492	-496
	80	-458	-418	-114	-308	-512	-503	-496	-430
	120	-548	-493	-134	-530	-219	-513	-557	-565
29/09/2015	20	-389	0	-127	-371	-237	-237	-462	-509
	40	-494	-350	-116	-527	-467	-542	-308	-574
	60	-577	-365	-116	-486	-443	-548	-496	-550
	80	-455	-531	-118	-416	-502	-508	-568	-516
	120	-546	-492	-138	-525	-220	-508	-605	-352
30/09/2015	20	-380	0	-133	-376	-236	0	-437	0
	40	-470	-345	-119	-515	-438	-503	-337	-478
	60	-528	-350	-114	-446	-408	-500	-423	-507
	80	-423	-500	-118	-441	-459	-467	-545	-515
	120	-510	-458	-135	-487	-208	-468	-568	-415
01/10/2015	20	-559	-384	-205	-565	-339	0	0	-438
	40	-676	-457	-180	-742	-618	-553	-529	-597
	60	-732	-476	-150	-626	-571	-704	-648	-717
	80	-595	-701	-174	-660	-641	-662	-795	-688
	120	-718	-640	-194	-681	-293	-656	-618	-660
02/10/2015	20	-580	0	-219	-585	-377	0	-461	0
	40	-675	-497	-191	-744	-620	-688	-808	-630
	60	-711	-502	-197	-272	-568	-693	-679	-740
	80	-584	-689	-199	-672	-635	-653	-579	-756
	120	-709	-630	-198	-675	-303	-654	-782	-691
03/10/2015	20	-613	-452	-231	-603	-404	0	-590	-460
	40	-684	-523	-202	-746	-619	-571	-882	-644
	60	-701	-520	-183	-365	-562	-341	-674	-730
	80	-581	-684	-185	-674	-627	-648	-559	-508
	120	-707	-624	-201	-667	-305	-639	-802	-591
04/10/2015	20	-655	0	-223	-620	-421	0	0	0
	40	-704	-552	-195	-757	-631	-657	-897	-478
	60	-700	-537	-144	-445	-565	-654	-672	-715
	80	0	-690	-154	-678	-626	-630	-687	-647

Fonctionnement hydrique des sols à partir de trois pratiques culturales burkinabé dans le Sahel:  
Cas du bassin versant de Tougou

	120	-703	-625	-181	0	-310	-681	-819	-703
05/10/2015	20	-673	-376	-211	-612	-441	-502	-522	-398
	40	-709	-565	-185	-554	-330	-667	-708	-550
	60	-692	-550	-159	-494	-559	-750	-661	-675
	80	-482	-684	-162	-669	-619	-669	-736	-578
	120	0	-619	-180	-695	-306	-676	-403	-666
06/10/2015	20	-687	-389	-231	-612	-460	0	-554	-412
	40	-709	-582	-200	-755	-633	-675	-801	-561
	60	-648	-564	-177	-535	-557	-773	-673	-684
	80	-491	-682	-178	-664	-615	-669	-763	-693
	120	-636	-614	-189	-702	-310	-668	-781	-751
07/10/2015	20	-695	0	-241	-616	-414	0	0	0
	40	-706	-597	-212	-756	-635	-674	-839	-570
	60	0	-577	-188	-564	-553	-769	-678	-710
	80	-491	-678	-187	-668	-113	-663	-771	-745
	120	-661	-609	-196	-689	-315	-654	-797	-783
08/10/2015	20	0	-402	-256	-610	-455	0	-552	-573
	40	-693	-601	-219	-743	-626	-631	0	0
	60	-464	-579	-194	-576	0	-721	0	-722
	80	-458	-662	-193	-642	-152	-636	-760	-765
	120	-649	-594	-201	-671	-317	-645	-791	-788
09/10/2015	20	-657	0	-271	-622	-484	0	-630	0
	40	-557	-622	-230	-750	-632	-626	-778	-461
	60	-586	-597	-203	-582	-480	-708	-780	0
	80	-576	-666	-199	-644	-101	-636	-714	-791
	120	-668	0	-207	-673	-323	-636	0	-804
10/10/2015	20	-731	-385	-286	-631	-505	0	0	-476
	40	-649	-567	-241	-746	-635	-646	-797	-531
	60	-688	-498	-209	0	-565	-679	-484	-621
	80	-635	-485	-206	-642	0	-657	-772	-683
	120	-677	-563	-210	-670	-331	-426	-785	-746
11/10/2015	20	-694	-390	-277	-601	-516	0	-474	-515

	40	-660	-626	-237	-603	-590	-654	-823	-538
	60	-597	-572	-208	-567	-570	-700	-502	-650
	80	-675	-609	-147	-566	-510	-647	-611	-717
	120	-643	-616	-210	-710	-312	-683	-659	-672
12/10/2015	20	-759	0	-286	-686	-476	0	0	0
	40	-716	-585	-252	-599	-610	-691	-740	-532
	60	-694	-603	-217	-553	-595	-335	-509	-651
	80	-654	-675	-140	-673	-570	-672	-718	-791
	120	-674	-630	-216	-711	-323	-680	-757	-751
13/10/2015	20	-767	-365	-307	-712	-486	-540	-507	-465
	40	-733	-609	-257	-618	-455	-683	-508	0
	60	-728	-522	-220	-541	-598	-321	-496	-629
	80	-597	-669	-193	-695	-588	-659	-760	-819
	120	-673	-629	-217	-711	-326	-651	-796	-785

### Annexe 6 : Méthodologie de Gardner

Elle est donnée par la formule de Gardner :

$$K(h) = Ks \times e^{\alpha h} \quad (K(h) \text{ en cm/h})$$

Où  $Ks$  et  $\alpha$  sont des constantes caractéristiques pour sol donné.

Les mesures de TRIMS sont effectuées pour  $h = -2\text{cm}$  et  $h = -4\text{cm}$  donc :

$$K(-2) = Ks \times e^{-2\alpha}$$

$$K(-5) = Ks \times e^{-4\alpha}$$

D'où 
$$\alpha = \frac{\ln \frac{K(-2)}{K(-5)}}{3}$$

et 
$$Ks = K(-2)e^{2\alpha} = K(-5)e^{5\alpha}$$

$K_s$  et  $\alpha$  étant connus la fonction  $k(h)$  est entièrement définie pour différentes pressions.