



## **Impacts des pratiques culturelles sur le fonctionnement des hydrosystèmes dans le bassin versant de Tougou au Burkina Faso**

C.O. ZOURE<sup>1</sup>, H. KARAMBIRI<sup>2</sup>, N. DIAL<sup>3</sup>, P. QUELOZ<sup>4</sup>, M. KOITA<sup>5</sup>, T. FOWE<sup>6</sup>, D. CONSUEGRA<sup>7</sup>, R. YONABA<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Doctorant, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), [oumar.zoure@2ie-edu.org](mailto:oumar.zoure@2ie-edu.org)

<sup>2</sup> Professeur, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), [harouna.karambiri@2ie-edu.org](mailto:harouna.karambiri@2ie-edu.org)

<sup>3</sup> Docteur, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), [dial.niang@2ie-edu.org](mailto:dial.niang@2ie-edu.org)

<sup>4</sup> Docteur, Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (HEIG-VD), [pierre.quelez@heig-vd.ch](mailto:pierre.quelez@heig-vd.ch)

<sup>5</sup> Docteur, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), [mahamadou.koita@2ie-edu.org](mailto:mahamadou.koita@2ie-edu.org)

<sup>6</sup> Docteur, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), [tazen.fowe@2ie-edu.org](mailto:tazen.fowe@2ie-edu.org)

<sup>7</sup> Professeur, Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (HEIG-VD), [david.consuegra@heig-vd.ch](mailto:david.consuegra@heig-vd.ch)

<sup>8</sup> Doctorant, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), [ousmane.yonaba@2ie-edu.org](mailto:ousmane.yonaba@2ie-edu.org)

### **Résumé :**

*La présente étude, conduite dans le bassin versant de Tougou au nord du Burkina Faso, évalue les performances hydriques des pratiques culturelles. Un dispositif expérimental composé de deux blocs, chacun composé de 4 parcelles de 200 m<sup>2</sup> aménagées avec des techniques culturelles différentes (zaï, demi-lune, cordons pierreux et semis direct comme témoin), installé sur un sol encrouté (croûte d'érosion) a permis la détermination des caractéristiques hydrodynamiques du sol et la quantification des composantes du bilan hydrique durant deux saisons hivernales successives. Les résultats montrent que, l'aménagement de cordon pierreux réduit le ruissellement de 30% (+/- 5%) et celui du zaï de 55% (+/-15%). La demi-lune ne ruisselle pas pour des précipitations inférieures à 40 mm et peut stocker quatre fois plus d'eau que le témoin. Le zaï et la demi-lune se sont avérés efficaces à réduire le stress hydrique des cultures face à trois poches de sécheresse de 10 jours. Un modèle basé sur la méthode SCS-CN a permis de proposer un outil pratique de quantification et d'évaluation des impacts des pratiques culturelles sur le bilan hydrique.*

**Mots clés :** Dégradation des sols, SCS-CN, Bilan hydrique, Pratiques culturelles, Sahel.

## **Impacts of soil and water conservation management on water balance in the watershed of Tougou in Burkina Faso**

### **Abstract :**

*This following study, conducted in Tougou watershed in northern Burkina Faso evaluates the impact performance of cultural practices. An experimental design composed of two blocks, each composed of 4 plots of 400 m<sup>2</sup> with different cultural practices (zaï, halfmoon, stone row and direct seeding for control), installed on a crusted soil (erosion crusts) allowed to determine soil hydraulic properties and quantify water balance components during two successive rainy seasons. The results show that stone row practices reduces runoff by 30% (+/-15%) and zaï by 55% (+/- 15%) as compared to the control plot. On the half moon plot, precipitation less than 40 mm does not produce runoff and can store four times more water than the control plot. Zaï and half moon, reduced water stress during 3 dry short periods of 10 days. A model based on the SCS-CN method allowed to propose a practical tool for quantifying and predicting water balance taking account climat variability and cultural practices.*

**Keys words :** Soil degradation, SCS-CN, Water balance, Cultural practices, Sahel.

### **Introduction**

Au Burkina Faso, l'économie est essentiellement basée sur l'agriculture qui produit plus de 34% du PIB et emploie près de 90% de la population [1]. Cependant, la moitié des terres du pays sont cultivées et 34% de ces terres sont dégradées, limitant ainsi les rendements agricoles et modifiant du bilan hydrologique[2]. En réponse à ces changements, les paysans accompagnés des partenaires de développement redécouvrent une large gamme de techniques culturelles après les grandes sécheresses de 1973-74 parmi lesquelles le zaï, les cordons-pierreux, les demi-lunes, les bandes enherbées [3]. Ces techniques ont permis d'améliorer les rendements agricoles, de restaurer les potentialités des sols dégradés et surtout d'accroître les revenus des ménages [4]. Cette étude menée en zone sahéenne sur des sols encroutés, investiguera l'impact des techniques culturelles sur le bilan

hydrique et évaluera leurs performances hydriques sous différents régimes pluviométriques à travers la modélisation.

## 1. Matériel et méthodes

### 1.1. Zone d'étude

La zone d'étude est le bassin versant de Tougou (Lat. 13°40' N ; Long. 2°13' E) situé au Nord-Est du Burkina Faso. Le bassin a une superficie de 37 km<sup>2</sup>. Le climat est semi-aride avec une pluviométrie moyenne annuelle qui varie entre 400 et 650 mm et des températures allant de 18 et 40°C. La saison sèche s'étend d'octobre à mai. Les sols sont cultivés ou dénudés (dégradés) et la végétation est constituée de savane, de steppe arbustive et herbeuse. En trente ans (1972-2002) la végétation naturelle qui représentait le cinquième du bassin a presque complètement disparu au profit des sols nus [5], ce qui a engendré une augmentation du ruissellement et de l'érosion [6]. Cette baisse de fertilité des sols combinée à la raréfaction des pluies a conduit plus de 60% des paysans de la localité à adopter les techniques culturales [7]. Dans la présente étude, nous avons retenu les techniques de cordon-pierreux, de zaï adoptées en majorité par les paysans et de demi-lune pour une volonté de vulgarisation car présentant de meilleurs rendements.

### 1.2. Aménagements des parcelles

Le dispositif expérimental est installé sur sol en croûte d'érosion caractérisé par une pellicule indurée, continue et très peu perméable [8]. Le sol est de type ferrugineux tropical lessivé à tâches et concrétions [9] avec une pente moyenne de 1.33% et une profondeur d'environ 120 cm. Le profil pédologique a révélé la présence de trois horizons : un horizon argileux superficiel de 0 à 22 cm, limono-argileux sous-jacent de 22 à 56 cm et limono-argilo-sableux de 56 à 120 cm de profondeur. La porosité varie entre 32 et 37%.

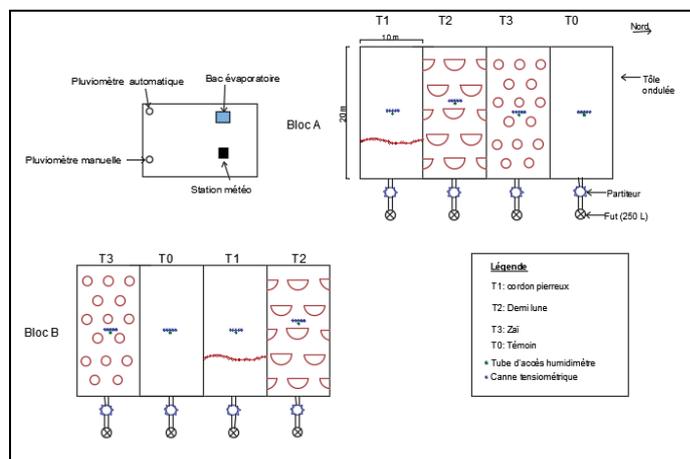


Figure 1: Dispositif expérimental de Tougou

Le dispositif expérimental (figure 1) est un bloc aléatoire complet à deux répétitions A et B [10]. Chaque bloc est constitué de quatre parcelles (20 m de long pour 10 m de large) recevant chacune un traitement spécifique : une parcelle témoin (T0), une parcelle de cordon pierreux (T1), une parcelle de demi-lune (T2) et une parcelle de zaï (T3). Chaque parcelle a été isolée par des tôles ondulées de hauteur 30 cm au-dessus du sol, encastrées à 20 cm de profondeur. Les parcelles ont été aménagées selon les recommandations de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles de Burkina Faso [11]. Les parcelles sont cultivées avec du mil (IKMP5 Kiipalla).

### 1.3. Collecte des données

Les pluies ont été enregistrées avec un pluviomètre automatique (RainLogger Gold, Solinst-Canada) associé à un pluviomètre manuel. Les données climatiques ont été enregistrés au pas de temps horaire à l'aide d'une station météo type WatchDog (Spectrum-USA). L'évaporation est mesurée par jour par un bac évaporatoire Colorado. Le ruissellement est mesuré à l'aide d'un partiteur métallique et un fût en aval de chaque parcelle. Les humidités volumiques et les charges de pressions pour chaque parcelle ont été mesurées par l'humidimètre TDR (TRIME-PICO T3/IPH44, Sdec-France) et le tensiomètre électronique SMS 2500S (Sdec-France) tous les 10 cm jusqu'à 120 cm de profondeur. Les mesures sont faites journallement. Les propriétés hydrauliques

de surface ont été estimées au moyen du double anneau de Müntz (Sdec-France) et de l'infiltromètre TRIMS SW 080 B (Sdec-France).

#### 1.4. Estimation du bilan hydrique des parcelles

Un bilan hydrique est considéré à l'échelle de la parcelle (équation 1).

$$S_j = S_{j-1} + P - R - ETr - D \quad (1)$$

Où P est la précipitation, ETr l'évapotranspiration réelle, R le ruissellement, D le drainage et  $S_j$  et  $S_{j-1}$  sont les stocks en eau du système aux jours j et j-1, respectivement. Tous les termes sont en millimètres. L'approche de détermination de la variation de stock et de l'évapotranspiration réelle (ETr) repose sur une formulation itérative qui actualise le stock d'eau disponible dans le sol en tenant compte d'une entrée d'eau dans le système (P-R) et la perte d'eau maximale qui est l'évapotranspiration culturale (ETc) et le drainage (D). Ainsi, l'évapotranspiration journalière de la plante (mil) va dépendre du niveau de remplissage du réservoir d'alimentation, puisqu'elle s'opère au taux de l'évapotranspiration culturale jusqu'à ce que le stock critique soit atteint. Ainsi, la variation de stock et l'ETr sont calculées par les équations (2), (3) et (4) :

$$ETr = ETc \quad si \Delta S_i \geq ETc \quad (2)$$

$$ETr = \Delta S_i \quad si 0 \leq \Delta S < ETc \quad (3)$$

$$\Delta S_i = P - R - D - ETr \quad (4)$$

$\Delta S_i$  est la variation de stock, ETc l'évapotranspiration culturale calculée en utilisant l'équation FAO Penman-Monteith [12]. La lame d'eau percolée au-delà de la zone racinaire prise à 100 cm est estimée par l'équation (5) de Darcy.

$$D = -K(h) \frac{dH}{dz} \Delta t \quad (5)$$

où D (mm) le drainage, Kh (mm/h) la conductivité hydraulique non saturée,  $\frac{dH}{dz}$  est le gradient de charge hydraulique entre 80 et 120 cm et  $\Delta t$  correspondant à l'intervalle de temps entre deux mesures de charges de pression. Les conductivités hydrauliques (saturée et non saturée) et la sorptivité sont obtenues en utilisant les méthodes proposées par [13] et [14]. La détermination de la conductivité hydraulique et de la sorptivité permettent de quantifier la taille moyenne des pores fonctionnelle (pores actifs) qui est un paramètre décrivant l'aptitude d'un sol à l'infiltration.

#### 1.5. Modification continue de la méthode SCS-CN pour la modélisation du bilan hydrique

L'approche du Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN) développée par l'USDA (US Department of Agriculture) [15] a été utilisée pour simuler les paramètres du bilan hydrique pour chaque aménagement. La méthode SCS-CN standard définie par les équations (6) et (7) est basée sur le bilan hydrologique journalier et définit un potentiel initial d'abstraction et de rétention avant l'évènement pluviométrique.

$$R = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S} \quad P > Ia \quad et \quad R = 0 \quad si \quad P \leq Ia \quad (6)$$

$$I = P - Ia - R \quad (7)$$

Où R est le ruissellement, P la précipitation, Ia l'abstraction initiale, S le potentiel maximal de rétention et I l'infiltration. Tous les termes sont en millimètres.

Nous avons adapté cette méthode à notre étude pour modéliser de manière continue les paramètres du bilan hydrique en redistribuant l'eau collectée par les dépressions supposée perdue entre l'infiltration et l'évaporation. Ainsi, entre deux pluies l'infiltration diminue la capacité de stockage (S) et l'évapotranspiration la rétablit. Ia est obtenue en représentant graphiquement les hauteurs de pluie en fonction des lames d'eau écoulées sur chaque parcelle. S, est déterminé à partir des valeurs standards de tables listées dans le manuel utilisateur de la méthode SCS en considérant un sol à couvert végétal nul,

cultivé et à infiltration modérée. Enfin, des coefficients réducteurs d'évapotranspiration de 0.6 et 0.5 sont appliqués respectivement à la pratique de zaï et de demi-lune pour tenir compte des itinéraires techniques c'est-à-dire du nombre de plants à l'hectare (12600 plants/ha pour la demi-lune, 15900 plants/ha pour le zaï et 27700 plants/ha pour le cordon-pierreux et le témoin) et un facteur d'évaporation de 0.7 est appliqué pour prendre en compte l'évaporation des flaques [16].

## 2. Résultats et discussions

### 2.1. Bilan hydrique des parcelles

Le cumul pluviométrique sur l'année 2016 est de 424 mm. Cette année pluviométrique est déficitaire par rapport à la moyenne annuelle de 600 mm fréquemment enregistrée dans la localité. Trois longues périodes sèches de plus de 10 jours ont été identifiées après le 15 Aout 2016 jusqu'à la fin de la campagne. L'aménagement de cordons pierreux réduit le ruissellement de 30% (+/-5%) et celui du zaï de 55% (+/-15%) par rapport au témoin. Le suivi journalier de l'humidité sur chaque parcelle montre une évolution du front d'humectation au-delà de 100 cm sur le zaï et la demi-lune (T2). Cette performance est aussi mise en évidence par le calcul du drainage (3 à 6% de la lame d'eau drainée par rapport au total pluviométrique). Sur la figure 2, le stock a augmenté d'un facteur de 4 sur la demi-lune (T2), 3 sur le zaï (T3) et 2 sur le cordon pierreux et l'humidité est conservée le plus longtemps possible sur les parcelles de zaï et de demi-lune pour soutenir le stress hydrique. L'évapotranspiration réelle est le paramètre dominant du bilan hydrique. Elle est à plus 80 %

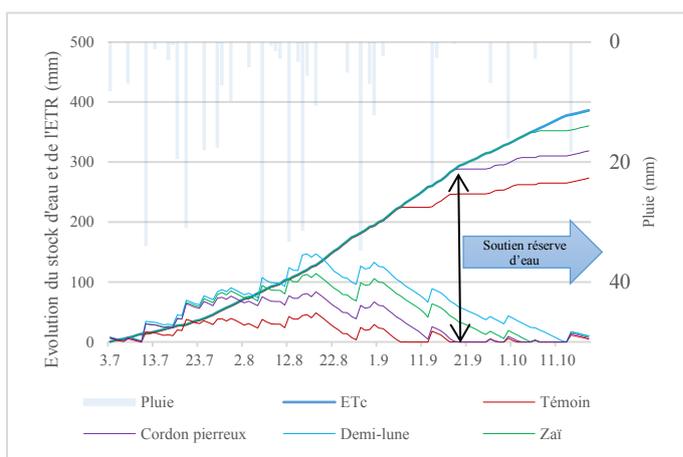


Figure 3: Evolution journalière du stock hydrique et de l'ETr des techniques culturales

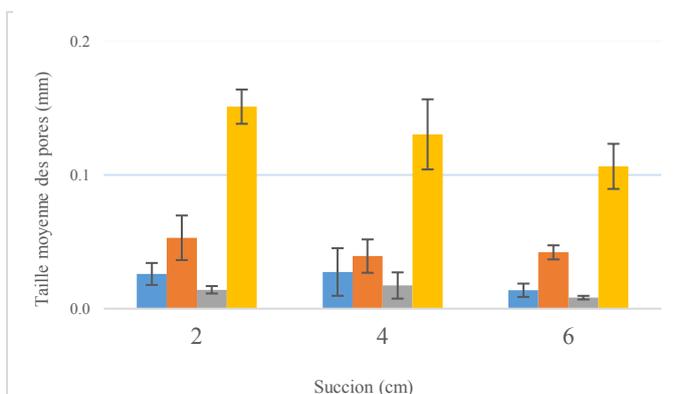


Figure 2: Taille moyenne des pores fonctionnels des techniques pour trois succions différentes

sur les parcelles de zaï (T3) et de demi-lune (T2). L'évolution temporelle de l'ETr et de l'ETc (figure 2) nous montre qu'à la fin de la saison, le déficit hydrique ( $ETc - ETr$ ) est de 120 mm pour le témoin 80mm pour le cordon pierreux, 20 mm pour le zaï et nul sur la demi-lune. Cela illustre l'efficacité de la technique du zaï et de la demi-lune à satisfaire les besoins hydriques de la plante et ce, de manière durable.

Qu'est ce qui explique la performance des techniques culturales à collecter et à stocker l'eau dans le sol ?

La performance des pratiques culturales à améliorer l'humidité du sol est probablement due à la rugosité générée par ces techniques qui leur confère le rôle de ralentissement et de stockage de l'eau de pluie. Ainsi, l'infiltration est améliorée au niveau du zaï et des cordons pierreux du fait de l'importance des pores fonctionnels (pores actifs), tandis qu'au niveau de la demi-lune du fait de l'existence de croûte de décantation dans la cuvette, l'infiltration se fait de manière modérée dans le temps ce qui témoigne de la constante humidité observée dans le sol. L'évolution de la

succion est présentée par la figure 3. La taille de ces pores actifs est améliorée d'un facteur de 5 à 10 sur le zaï par rapport aux autres techniques.

## 2.2. Modélisation du bilan hydrique

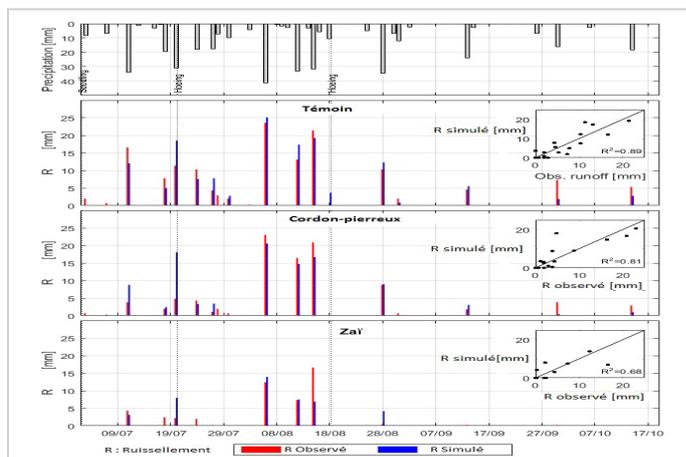


Figure 4 : Ruissellement observé et simulé en 2016

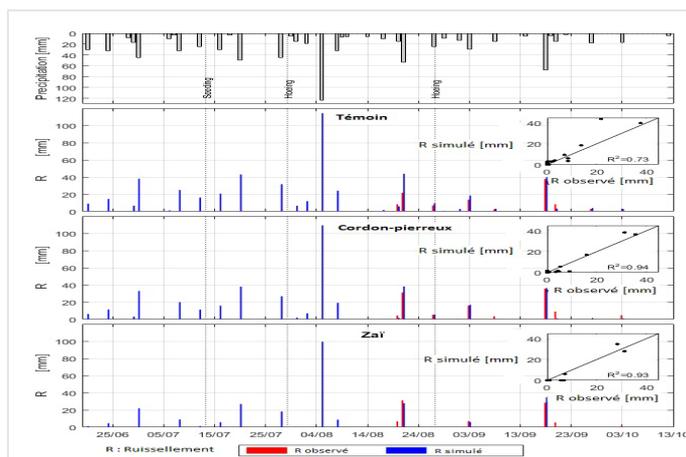


Figure 5 : Ruissellement observé et simulé en 2015

Les meilleurs ajustements du modèle SCS-CN ont été obtenus pour une capacité maximale d'infiltration de 35 mm. Les valeurs d'abstraction initiale sont de 7 mm, 12 mm et 23 mm respectivement pour le témoin, le cordon pierreux et le zaï. La nature du sol ne change pas en fonction de la technique. On note sur la figure 4, une adéquation entre le ruissellement observé et simulé de l'année 2016 et les coefficients de détermination acceptables de l'ordre de 0.70 à 0.90. L'efficacité du modèle réside dans sa capacité explicative des différences de ruissellement observé et simulé (effets du sarclage), mais aussi à sa simplicité à utiliser peu de paramètres. Durant la campagne 2016, la demande en eau du mil n'a pas été satisfaite sur le témoin et le cordon pierreux du fait des poches de sécheresses répétitives. On remarque un coefficient de détermination du ruissellement plus faible sur le zaï (0.7). Cette situation peut s'expliquer par le fait que la nature du sol reste invariable dans le cas de notre étude pour toute les techniques d'où la considération d'une même capacité de stockage. Quelques auteurs associent cette variabilité à la gestion des terres et du stade de croissance des plants. Pour ces auteurs, il est préférable d'estimer la valeur de S à partir des données de précipitation et de ruissellement mesurés si elles sont disponibles [17].

## 2.3. Simulation du bilan hydrique en régime pluviométrique excédentaire (année 2015)

Les paramètres du modèle ayant été calés sur la base des données de 2016, nous l'avons utilisé pour simuler les paramètres hydriques de la campagne hivernale 2015. Pour cette année, nous disposons des données de ruissellement pour la période du 10/08 au 12/10/2015. Les données climatiques sont disponibles pour toute la campagne. La figure 5 montre que le modèle a une assez bonne aptitude à prédire le ruissellement et à simuler les ruissellements observés durant la période de mesures ( $R^2$  est de 0.8 à 0.9). Pour la suite, 2015 a été une année humide (845 mm), d'où l'efficacité des techniques à améliorer d'avantage les rendements agricoles. La meilleure distribution de la pluie en 2015, comparativement à 2016 justifie la satisfaction des besoins hydriques du mil sur les différentes parcelles. Cependant, en 2015, la disponibilité en eau pour les cultures n'a pas permis d'engendrer de meilleurs rendements sur les parcelles témoins et de cordons pierreux. Ce résultat pourrait s'expliquer par le lessivage de l'amendement, par l'effet du ruissellement, sur des sols peu rugueux. Quant à la technique du cordon pierreux, il a été montré que sa mise en pratique dans ces zones fortement dégradées améliore nettement la sédimentation des éléments nutritifs et les rendements agricoles surtout au voisinage de la diguette filtrante mais ce, deux années au moins après son installation.



## Conclusion

La capacité des techniques culturales à limiter le ruissellement, à favoriser l'infiltration, à fournir de l'humidité au sol donc à stimuler la production agricole a pu être mise en évidence dans la présente étude. Ce résultat offre des perspectives d'intérêt pour les paysans qui vivent déjà les effets néfastes des changements climatiques. L'effet de capture et d'infiltration des eaux de ruissellement combiné à l'amendement font du zaï et des demi-lunes des techniques efficaces de productions agricoles sur les terres dégradées dès la première année de mise en place. Aussi, par le biais, d'une modélisation conceptuelle, il est possible de corréliser les paramètres du bilan hydrique avec certaines caractéristiques du sol et certaines variables climatiques, ce qui permet d'envisager des recommandations en matière de pratiques culturales à suivre en fonction de la climatologie actuelle et future à l'échelle de la parcelle agricole et du bassin versant.

## Références

- [1] B.M, « Banque Mondiale », 2014.
- [2] S. Assouline, S. E. Thompson, L. Chen, T. Svoray, S. Sela, et G. G. Katul, « The dual role of soil crusts in desertification », *J. Geophys. Res. Biogeosciences*, vol. 120, n° 10, p. 2108- 2119, oct. 2015.
- [3] H. Sawadogo, « Using soil and water conservation techniques to rehabilitate degraded lands in northwestern Burkina Faso », *Int. J. Agric. Sustain.*, vol. 9, n° 1, p. 120- 128, févr. 2011.
- [4] R. Zougmore, A. Mando, L. Stroosnijder, et E. Ouédraogo, « Economic benefits of combining soil and water conservation measures with nutrient management in semiarid Burkina Faso », *Kluwer Acad. Publ.*, n° 70, p. 261- 269, 2004.
- [5] P. Diello, « Interrelations Climat – Homme – Environnement dans le Sahel Burkinabé : impacts sur les états de surface et la modélisation hydrologique. », Montpellier II, 2007.
- [6] L. A. Mounirou, H. Yacouba, H. Karambiri, J.-E. Paturel, et G. Mahé, « Measuring runoff by plots at different scales: Understanding and analysing the sources of variation », *Comptes Rendus Geosci.*, vol. 344, n° 9, p. 441- 448, sept. 2012.
- [7] B. Barbier, H. Yacouba, H. Karambiri, M. Zoromé, et B. Somé, « Human Vulnerability to Climate Variability in the Sahel: Farmers' Adaptation Strategies in Northern Burkina Faso », *Environ. Manage.*, vol. 43, n° 5, p. 790- 803, mai 2009.
- [8] A. Casenave et C. Valentin, *Les Etats de surface de la zone sahélienne: influence sur l'infiltration*. Bondy: Éd. de l'ORSTOM, 1990.
- [9] FAO-Unesco, *FAO-Unesco soil map of the world: revised legend with corrections and updates*. Wageningen, 1997.
- [10] FAO, *Manuel de Statistique pour la Recherche Forestière*. 1999.
- [11] Inera, « Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles : Inera (Burkina Faso) », 2000.
- [12] R. . Allen, L. . Pereira, D. Raes, et M. Smith, *Crop evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage, Rome, 333p*. 1998.
- [13] C. Peugeot, « Influence de l'encroustement superficiel du sol sur le fonctionnement hydrologique d'un versant sahélien (Niger). Expérimentation in-situ et modélisation », Joseph-Fourier, Grenoble I, 1995.
- [14] J. . Vandervaere, M. Vauclin, et D. . Elrick, « Transient flow from tension infiltrometers.Part 1. The two-parameters equation », *Soil Science Society of America Journal*, p. 1264- 1284, 2000a.
- [15] SCS-USDA, *Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture. Urban Hydrology for Small Watersheds*. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office., 1986.
- [16] J. . Brunel et B. Bouron, « Evaporation des nappes d'eau libre en Afrique sahélienne et tropicale », *CIEH-ORSTOM*, 1992.
- [17] K. X. Soulis et J. D. Valiantzas, « SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds &ndash; the two-CN system approach », *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 16, n° 3, p. 1001- 1015, mars 2012.