

Elaboration du bilan d'eau du bassin versant du Kou et analyse critique des principaux composants.

J. Wellens^{1*}, F. Traoré², M.-J. Niamian³, H. Karambiri³, M. Diallo⁴,
N.F. Compaoré⁵, D. Dakouré⁶, J. Derouane⁷ & B. Tychon²

¹ Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts-Bassins ;

² Université de Liège, Département Sciences et Gestion de l'Environnement ;

³ Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement ;

⁴ Association Eau, Développement & Environnement ;

⁵ Programme Valorisation des Ressources en Eau dans l'Ouest ;

⁶ Observatoire de l'Eau de l'Ouest du Burkina Faso ;

⁷ Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelle et de l'Environnement.

* Courriel : J. Wellens@apefe.org; +226-20.97.09.53 (bur.)

Abstract :

Situé au Sud-ouest du Burkina Faso, d'une superficie de 1.823 km², le bassin versant du Kou, avec ses importantes ressources en eau, fait l'objet d'une exploitation intensive de ses réserves (alimentation en eau potable, irrigation des zones agricoles, ...). Face à la croissance démographique, l'élaboration d'un état de lieux des ressources en eau s'avère indispensable.

L'objectif de cette étude est la réalisation d'un bilan d'eau du bassin versant du Kou et s'inscrit dans le cadre d'un travail de recherche contribuant à l'amélioration de la connaissance, de la gestion et de la protection des ressources en eau pour l'agriculture. Cela a nécessité l'utilisation du modèle hydrologique HYSIM. La mise en œuvre de ce modèle, réalisée sur une année hydrologique (année 2000), et particulièrement sur le sous bassin versant en amont de Badara a révélé la relative complexité de ce bassin versant due à la présence de nombreux processus hydrologiques actifs en son sein: ruissellement de surface, contribution de la nappe aux débits d'écoulement, précipitations, évapotranspiration, infiltration.

Les résultats obtenus sont satisfaisants et indiquent que pour un apport d'eau annuel de 1027,7 mm, à l'exutoire 57% provient de la pluie et 43% provient de la nappe, à travers le bassin 77% (863,8 mm) est perdu par évapotranspiration, 13% (151,5 mm) participe au ruissellement de surface et 10% (112,4 mm) s'infiltré.

Mots clés : bilan d'eau, modélisation hydrologique, HYSIM, infiltration, ruissellement, évapotranspiration.

1. Introduction

L'eau est présente dans toutes les activités humaines et constitue un atout important dans le développement d'un pays. D'autant plus vrai pour une région soudano-sahélien comme le Sud-ouest du Burkina Faso, qui bien que théoriquement relativement bien favorisé par la disponibilité et la qualité de certains paramètres climatiques et naturels (biodiversité), connaît dans la réalité des contraintes de divers ordres ; dont une forte variabilité spatiotemporelle, une forte croissance démographique, et les activités y liées, résultant en des pénuries d'eau.

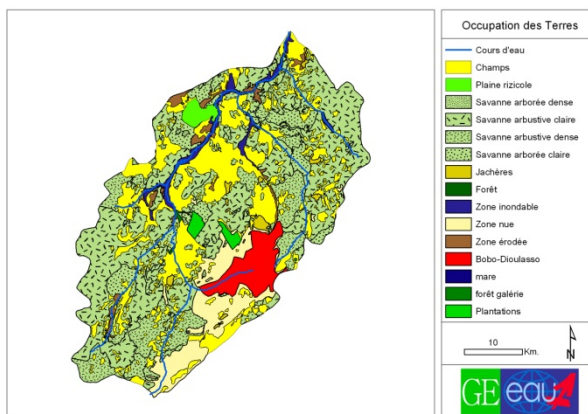
Il convient par conséquent de gérer les ressources en eau du bassin de façon intégrée afin de garantir la durabilité de l'écosystème et de l'eau qu'il fournit. Cette étude consiste à réaliser le bilan d'eau du bassin versant du Kou permettant à terme une meilleure connaissance du niveau des

ressources en eau du bassin, préambule à une meilleure gestion de ces ressources.

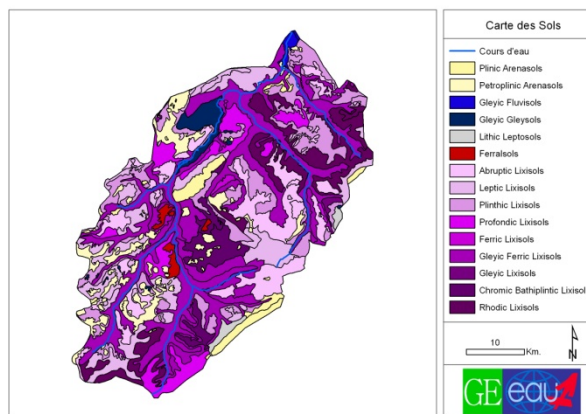
Les objectifs spécifiques peuvent être résumés comme suit : i) évaluer et analyser les différents termes mesurables du bilan d'eau du bassin versant du Kou. Cela consistera à reconstituer sur une période donnée les flux d'eau entrant et sortant du bassin ; ii) estimer et analyser les différentes termes non mesurables à l'aide d'une modélisation hydrologique, et iii) établir le bilan hydrologique à l'échelle du bassin versant du Kou et analyser sa fermeture.

2. Zone d'étude

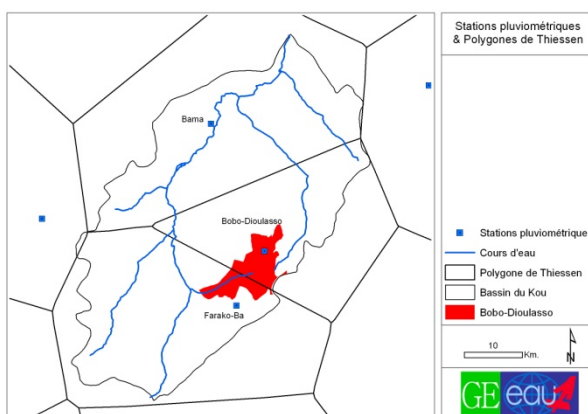
Le bassin du Kou (1.823 km²), situé dans le Sud-ouest du Burkina Faso, est l'espace géographique qui contient le système d'eau associé à la rivière Kou. On y trouve des cours d'eau permanents,



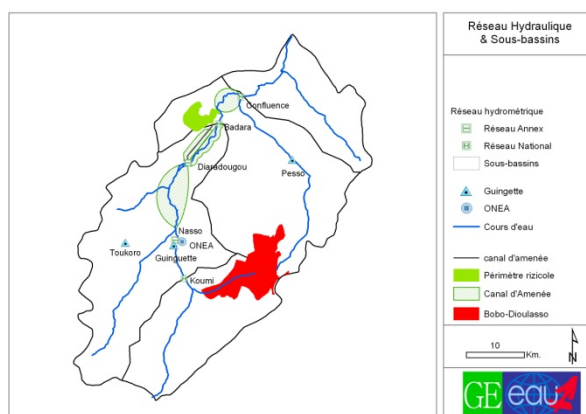
Carte 1 – Carte d'occupation des terres.



Carte 2 – Carte des sols.



Carte 3 – Station pluviométriques avec leurs polygones de Thiessen.



Carte 4 – Stations hydrométriques et leurs sous-bassins.

ainsi que des lacs, des mares et des sources (Guinguette, Peso, ...). Les aménagements hydro-agricoles couvrent une superficie totale de près de 3.200 ha ; il s'agit pour l'essentiel des périmètres privés formant la ceinture maraîchère et horticole de Bobo-Dioulasso, seconde ville du pays, et du grand périmètre de 1.200 ha réalisé par l'Etat à Bama et spécialisé dans la production du riz. La végétation naturelle est dominée par la savane arbustive à arborée (Carte 1).

Les sols du secteur d'étude sont des sols peu évolués d'érosion sur matériaux gravillonnaires, des vertisols sur alluvions ou matériaux argileux, des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur matériaux sableux, sablo-argileux et argilo-sableux et des sols ferralitiques (Carte 2).

Le bassin se situe à la limite sud de la zone climatique tropicale soudano-sahélienne. Le climat est caractérisé par l'alternance de deux saisons bien distinguées, une saison des pluies (mi-mai à octobre) et une saison sèche. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 900 à 1.500 mm, tandis que l'évaporation potentielle

moyenne annuelle est de l'ordre de 2.000 mm.

3. Bilan d'eau et ces principaux termes

3.1 Principe du bilan d'eau

Le principe du bilan d'eau est fondé sur une équation de continuité qui consiste à comparer la quantité d'eau totale arrivant dans un bassin versant avec la quantité d'eau totale sortant et s'inscrit dans sa forme la plus générale : $\Sigma \text{entrée} - \Sigma \text{sorties} = \Delta R$. Avec ΔR la variation des réserves en eau qui cumule les variations de stockage de l'eau dans le sol et la variation des stockages superficiels (dépressions, retenues d'eau, etc.).

Vu la complexité du bassin versant, marqué par une non disponibilité de certaines données, les principaux termes possibles du bilan d'eau sont subordonnés aux données existantes (données qui reflètent la réalité d'une manière implicite). Il s'agit notamment de (i) la pluviométrie et l'évapotranspiration qui reflètent les phénomènes climatologiques et (ii) le débit, mesuré à l'exutoire

qui révèle le fonctionnement hydrologique du bassin versant. On aboutit ainsi à l'équation du bilan d'eau suivante pour une surface :

$$P = R + ET_R + I + \Delta R_S$$

Avec : P : précipitation [mm] ;
R : écoulement de surface (ruissellement)
et écoulement souterrain [mm] ;
ET_R : évapotranspiration réelle [mm] ;
ΔR_S : stockages superficiels [mm].

3.2 Précipitation

Etant donné la forte variabilité de la pluie dans l'espace (Bro Carl, 2001 ; Wellens *et al.*, 2003), plusieurs stations hydrométriques ont été prises en compte afin d'obtenir une estimation convenable de la quantité d'eau réellement tombée sur la zone d'étude. La détermination des pluies moyennes a été effectuée à partir de la méthode de polygones de Thiessen ; les stations de Bobo-Dioulasso, Bama et Farako-Ba ont été retenues (Carte 3). L'homogénéité de ces séries de données a été démontrée par Wellens *et al.* (2003).

Une analyse fréquentielle des précipitations annuelles et pondérées sur les trois stations a été effectuée à l'aide de Rainbow (Raes *et al.*, 1996). Pour une période commune de 1989 au 2005, l'an 2000 (année retenue pour l'étude) est considéré comme humide avec une fréquence de dépassement de 20 %. Pour la période étudiée, la pluviométrie varie entre 680 mm/an et 1128 par an, avec une pluviométrie pondérée de 1075 mm pour l'an 2000.

3.3 Evapotranspiration réelle

Dans les pays chauds, l'évapotranspiration est, après la précipitation, le terme le plus important du bilan hydrologique (Roche, 1963). Ce terme fait en même temps partie des termes les plus complexes dans la mesure où il n'y a aucun suivi de l'évapotranspiration réelle sur le bassin versant du Kou.

L'évapotranspiration réelle peut être modélisée à partir de l'évapotranspiration potentielle, cette dernière correspond à l'évapotranspiration dans des conditions optimales pour la végétation dans lesquelles l'eau n'est pas un facteur limitant.

Une estimation de l'évapotranspiration réelle a été faite sur le bassin versant du Kou à l'aide d'AgroMetshell (Traoré, 2007). Une interpolation des données d'évapotranspiration venant de plusieurs stations météorologiques dans les alentours a été améliorée à l'aide des images NDVI de Spot Végétation pour l'année 2000 (méthode SEDI : Satellite Enhanced Data Interpolation). L'étude a estimé l'évapotranspiration réelle annuelle du bassin à 860 mm.

3.4 Ruissellement

Les données hydrométriques sur le bassin versant du Kou souffrent à présent de plusieurs lacunes du point de vue de leur qualité et quantité (Mamadou, 2006). Les Figures 3 et 6 présentent les disponibilités en débits mesurés pour la période 1993-2002 pour les stations hydrométriques à la Confluence Niamé-Baoulé et à Badara (Carte 4).

Normalement, la dernière station hydrométrique en aval, la confluence Niamé-Baoulé, devrait être choisie comme exutoire pour le bilan d'eau du bassin versant. En saison hivernale, cette station n'est plus accessible pour cause d'inondations rendant tout jaugeage impossible. La courbe d'étalonnage (Figure 1) montre l'absence des jaugeages au moment des crues. On est par conséquent obligé de délimiter le bassin versant à la zone en amont de la station de Badara.

Les Figures 4 à 6 affichent la relative bonne qualité et quantité de données hydrométriques pour la station de Badara. Il est important de noter que les débits mesurés à ce niveau ne sont pas représentatifs de la lame d'eau écoulee à cause des prélèvements effectués à la prise d'eau de Diaradougou pour l'alimentation du périmètre irrigué de la Vallée du Kou. Ces prélèvements ont été ajoutés aux débits enregistrés à Badara.

En plus de ces débits, il faudrait tenir compte du débit de base des sources de Nasso, dites 'Guinguette', comme débit initial (2,7 m³/s).

3.5 Infiltration

L'infiltration qualifie le transfert de l'eau à travers les couches superficielles du sol, lorsque celui-ci reçoit une averse ou s'il est exposé à une submersion. L'eau infiltrée remplit en premier lieu les horizons superficiels et percole par la

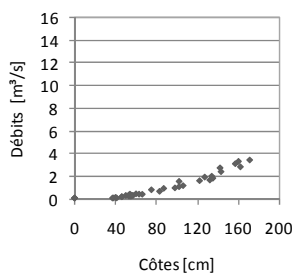


Figure 1 – Courbe de tarage pour la station de la Confluence Niamé-Baoulé

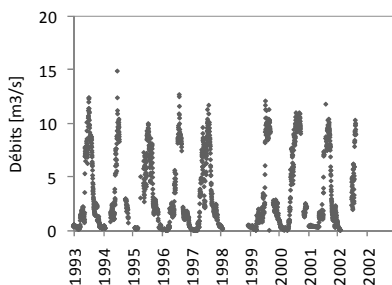


Figure 2 – Fluctuations des débits au niveau de la Confluence Niamé-Baoulé.

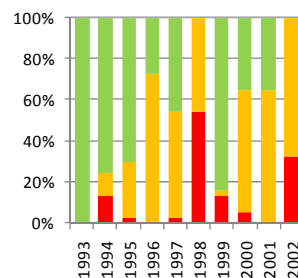


Figure 3 – Disponibilité des données (Niamé-Baoulé) ; rouge = absente ; orange = incomplète ; vert = complète.

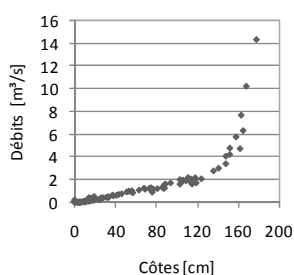


Figure 4 – Courbe de tarage pour la station de Badara

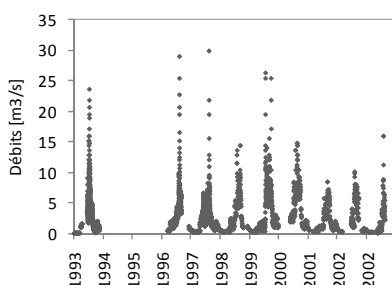


Figure 5 – Fluctuations des débits au niveau de Badara.

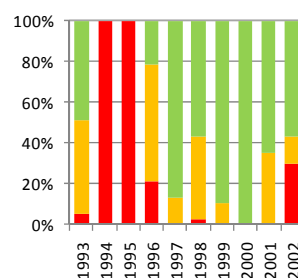


Figure 6 – Disponibilité des données (Badara) ; rouge = absente ; orange = incomplète ; vert = complète.

suite sous l'action de la gravité. Il peut se former une ou plusieurs nappes avec des écoulements.

Les mécanismes de l'infiltration étant peu connus dans le bassin versant du Kou, leur caractérisation a nécessité l'utilisation du modèle hydrologique HySim. La fermeture du bilan d'eau servira à contrôler la validité des données qui ont servi à l'établir.

3.6 Variation de stock

Ce terme, correspondant à la variation des stockages superficiels d'eau, est assez dynamique dans le cas du Bassin du Kou, vu leurs fortes exploitations. La variation de stock peut être obtenue suite à un bilan des points d'eau. La difficulté réside dans le fait que les variations des niveaux d'eau de ces stockages sont peu connues.

Cependant, en considérant un pas de temps annuel pour le calcul du bilan d'eau, on peut faire l'hypothèse que d'une année à l'autre les réserves en eau n'évoluent pas trop et par conséquent, ce terme s'annule.

4. Modélisation hydrologique

HySim (Manley, 2003) est un modèle conceptuel de simulation hydrologique. Il est à cheval entre les modèles physiques basés sur l'analyse et la quantification des phénomènes physiques se produisant dans un bassin versant et les modèles 'empiriques' à base de régressions multiples où la physique n'intervient que pour suggérer des variables explicatives.

4.1 Principe de fonctionnement

Les processus hydrologiques au sein du bassin versant sont schématisés par les transferts entre six réservoirs virtuels en communication. La capacité des réservoirs, le taux maximum de transfert entre eux et les équations qui commandent les processus de transfert sont définis par des paramètres indépendants du temps. A l'opposé, les volumes des réservoirs et les taux de transfert varient en fonction du temps.

La représentation schématique à la Figure 7 illustre la façon dont les réservoirs sont raccordés entre eux et permet de mieux comprendre le fonctionnement du modèle (plus de détail : Wellens *et al.*, 2007).

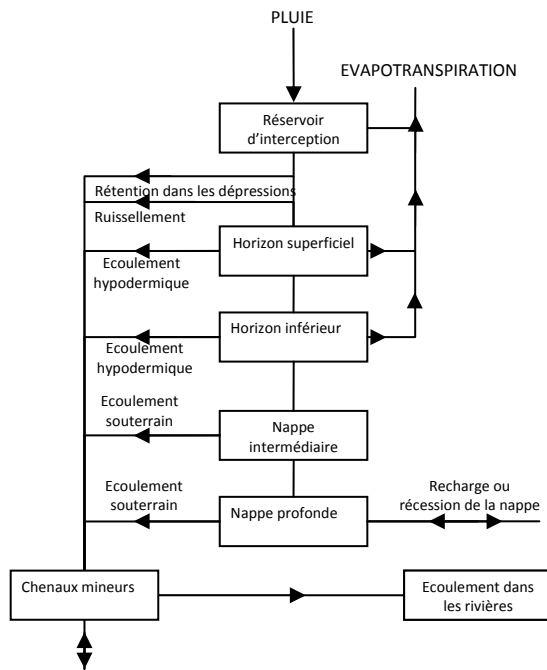


Figure 7 - Schéma de fonctionnement du modèle

4.2 Variables d'entrée et de sortie

Les principales variables d'entrée sont la pluviométrie moyenne et l'évapotranspiration. Comme variables de sortie on a : l'infiltration, les contenances des différents réservoirs, la percolation, le ruissellement, etc..

4.3 Paramétrage et optimisation du modèle

La détermination de la plupart des paramètres est faite sur la base des indications du manuel d'utilisation de HySim. Un SIG a été utilisé pour calculer les valeurs pondérées et spatialisées de certains paramètres par manque de module SIG dans le modèle.

L'optimisation des paramètres a été faite par une procédure de 'essai et erreur'. A partir des paramètres par défaut ou calculés, les résultats simulés ont été comparés avec les données observées. Si nécessaire, des paramètres ont été légèrement ajustés, tout en respectant la réalité du terrain, afin d'arriver à des comparaisons satisfaisantes.

Les paramètres hydrauliques ont été obtenus à l'aide des données topographiques disponibles et sur la base des observations de terrain. Ils concernent les caractéristiques géométriques des chenaux.

La largeur en gueule est 30 m, celle au plafond 15 m. La profondeur est 2 m, la longueur 40 km, la largeur du lit majeur est 100 m et la pente longitudinale 2 ‰. Le coefficient de rugosité de Manning pour du chenal est 0,033 et celui du lit majeur 0,06 (Arcement et Schneider, 1990).

Comme *réservoir d'interception*, une valeur de 2 mm est raisonnable pour les prairies tandis que, pour des zones de forêt, on pourra dépasser 10 mm. La carte d'occupation du sol du bassin montre une hétérogénéité avec une prédominance de zones arbustives (66%) suivie de plantations (19%), champs (13%) et plaine rizicole (8%). On retient de ce fait une valeur de 8 mm.

La *proportion de zone imperméable* correspond à la proportion du bassin versant que l'on peut considérer comme imperméable y compris les routes, les aires naturelles ayant cette propriété ainsi que la rivière même. Une valeur de 0,02 est typique pour des zones rurales, due à la forte présence des sols lourds et souvent peu perméables ; une valeur de 0,11 a été retenue.

Le *temps de montée des petits chenaux* est le temps mis par les affluents des canaux mineurs en amont du bassin versant pour atteindre une valeur maximale au niveau de la station hydrométrique. Wellens *et al.* (2007) ont calculé 60 h.

La *profondeur racinaire* peut varier entre 500 et 1.000 mm, et peut aller à 5.000 mm dans une zone boisée. Une profondeur de 4.000 mm a été considérée.

L'*indice granulométrique* contrôle la réponse du sol et est déterminé en fonction de la texture du sol (Manley, 2003). La carte pédologique de la zone d'étude montre une hétérogénéité avec : 8,5% argileux, 5,5% argilo-sableux, 23% limoneux, 40,9% limono-argileux, 1% limono-sableux et 21,1% sablo-limoneux (Wellens *et al.*, 2004). En considérant la texture la plus dominante (limono-argileux), on obtient une valeur de 0,12.

La *perméabilité verticale à saturation à la limite entre l'horizon superficiel et l'horizon inférieur* varie entre 5 mm/h (sols argileux) jusqu'à 200 mm/h (sols sableux). On retient 120 mm/h.

Le taux de transfert d'humidité de sol vers la nappe est contrôlé par la *perméabilité verticale à saturation à la base de l'horizon inférieur*. Sa valeur change entre 1 mm/h (sols lourds) et 100

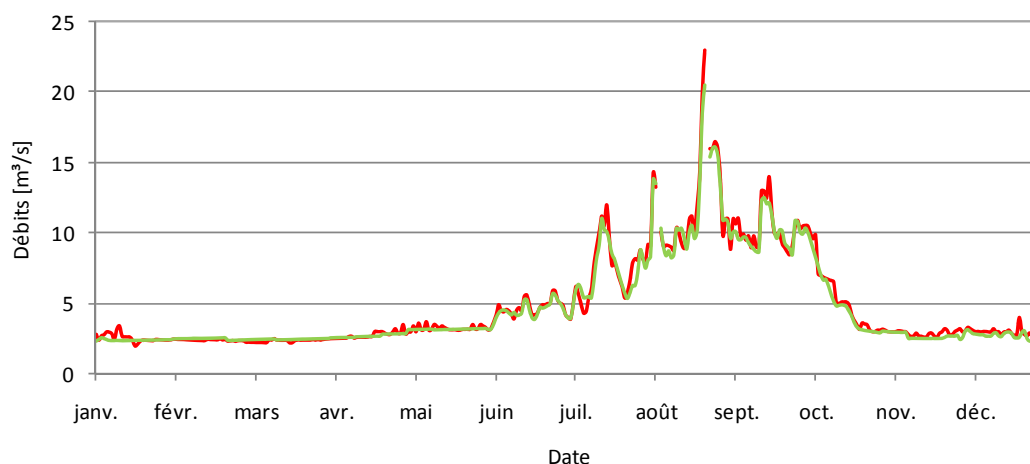


Figure 8 – Mise en évidence des corrélations entre débits simulés (rouge) et observés (vert).

mm/h ou plus (sols sableux). Une valeur de 12 mm/h, proche de la valeur par défaut, a été utilisée.

Une valeur de 12 mm/h, presque la valeur par défaut, a été prise pour la *perméabilité horizontale à saturation de l'horizon superficiel et l'horizon inférieur*.

Sachant qu'en période d'étiage, la contribution du ruissellement cesse en premier et l'écoulement se prolonge après l'arrêt de l'écoulement hypodermique, il est admis que le débit du cours d'eau provient d'une nappe.

En admettant que la période relative de basses eaux de la zone d'étude s'échelonne généralement de septembre à avril, le coefficient de récession de la nappe correspond à la pente du logarithme obtenue à partir du report des débits de cette période en fonction du temps. Ce qui conduit à un *coefficient de récession de la nappe* de 0,95.

Des facteurs de correction de la pluie et de l'évapotranspiration potentielle permettent de corriger des éventuelles sous- ou surestimations de ces valeurs. Vu la bonne qualité de ces données d'entrée un facteur de 1 a été intégré pour la pluviométrie et de 1,1 pour l'évapotranspiration, afin de mieux aligner l'évapotranspiration réelle simulée avec celle obtenue par Traoré (2007).

4.4 Résultats

Lorsqu'il s'agit de juger de la qualité d'une simulation, il est fait appel à des fonctions objectives ou fonctions de critères qui permettent d'estimer globalement sous forme d'un seul

nombre, l'écart entre les sorties calculées et les débits observés. Plusieurs fonctions critères sont utilisées pour l'appréciation des modèles pluies-débits (Fortin *et al.*, 1971 ; Nash et Sutcliffe, 1970 ; etc.).

Pour ce qui est de cette étude, on a utilisé dans un premier temps, un critère visuel qui consistait à représenter sur un graphique les valeurs observées des débits en fonction des valeurs simulées. Ensuite, ce critère visuel a été quantifié par la fonction critère de Nash. Il est en effet de l'avis de nombreux auteurs que, c'est la fonction qui permet d'obtenir les meilleurs résultats (Servat et Dezetter, 1990 ; Dezetter, 1991).

Sachant que $C_{Nash} \in]-\infty, 1]$, on considère qu'un modèle hydrologique donne des résultats acceptables si la valeur du critère de Nash est supérieure à 0,8 (Monfodji, 2004).

Une comparaison des débits simulés et observés est mise en évidence à travers la Figure 8. Le critère de Nash appliqué aux débits donne un coefficient de 0,98 ; soit une très bonne restitution des débits. Cependant, l'observation visuelle montre une légère tendance à surestimer les débits.

5. Bilan d'eau

5.1 Etablissement du bilan d'eau

Pour l'établissement du bilan d'eau, on raisonne en hauteur d'eau d'où l'utilisation de la hauteur de lame d'eau équivalente. On appelle déficit d'écoulement, la différence entre précipitation moyenne et la quantité d'eau sortie du bassin. Les

équations ci-dessous mettent en exergue les principaux termes du bilan d'eau de l'année 2000. Les termes issus de la modélisation sont l'évapotranspiration réelle et l'infiltration.

$$\begin{aligned} \text{Bilan d'eau} &= \sum \text{entrées} - \sum \text{sorties} ; \\ &= P - (ET_R + I + R) ; \\ &= 1072,1 - (863,8 + 112,4 + 151,5) \\ &= -55,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Le résultat négatif traduit que le bilan est déficitaire avec un excès d'eau. Cet excès d'eau pourrait provenir d'une contribution de la nappe au débit d'écoulement. Des études théoriques et expérimentales ont prouvé la contribution des eaux souterraines à l'écoulement du Kou (Dakouré, 2003 ; Derouane et Dakouré, 2006).

On peut conclure que sur le bassin versant du Kou et pour l'année 2000, 57 % des débits à l'exutoire provenaient de la pluie et 43% de la nappe. Quant aux sorties, 77 % étaient perdu par évapotranspiration, 13 % sont évacués par ruissellement de surface et 10 % se sont infiltrés. La question qui se pose est de savoir si les valeurs trouvées sont réalistes.

5.2 Discussions et analyses

Cette analyse des résultats obtenus se justifie par le fait que le bilan d'eau n'est pas un moyen d'évaluation de données inconnues, mais plutôt un moyen pour valider les données qui ont servi à l'établir.

Au vu du bilan d'eau global, l'évapotranspiration réelle est le terme le plus dominant avec une valeur de 863,8 mm. La dominance de ce terme sur le bassin versant du Kou trouve son explication dans la forte exploitation agricole. Les prélèvements massifs d'eau pour l'irrigation augmentent l'évapotranspiration au détriment des écoulements (Lorup *et al.*, 1998). Auparavant, l'évapotranspiration du bassin du Kou pour l'année 2000 avait également été estimée à 860 mm à l'aide de la télédétection (Traoré, 2007). La faible différence de 4 mm fait conclure que l'évapotranspiration réelle a été bien restituée par le modèle.

Si l'on confronte la valeur de l'infiltration à la valeur de la pluie, on constate qu'elle est faible (10 % de la pluie). Ceci est dû à la nature de la zone d'étude, dominée par une texture peu

perméable (argilo-limoneuse). En plus, pendant la saison sèche, l'évapotranspiration laisse peu de possibilité à l'infiltration. La demande évaporative est suffisamment forte pour permettre une remontée capillaire considérable (Raes et Deproost, 2003).

Le coefficient d'écoulement est également faible (inférieur à 8%), même s'il remonte pendant la période pluvieuse (Niamian, 2008). Le bassin du Kou n'est pas très urbanisé et compte de ce fait un nombre de micro-dépression où l'eau de ruissellement (et une partie de la pluie) est piégée. Une partie de cette eau s'infiltré et l'autre partie s'évapore. D'après l'OCDE (2001), des terres labourées présentent aussi des capacités de rétention assez élevées.

Comme énoncé précédemment, des études théoriques et expérimentales ont déjà signalé qu'il existe une contribution de la nappe à l'écoulement du Kou. Une recharge variant entre 0 et 200 mm par an dans les terrains gréseux a été avancée par le CIEH (CIEH/USAID, 1987 cité par Dakouré, 2003). Dakouré (2003) avait obtenu une recharge annuelle variant de 0 à 127 mm à l'issue de l'utilisation des modèles hydrologiques à réservoir. Une valeur de recharge de 166 mm a été acquise par IWACO (1989).

La contribution de la nappe, 55,6 mm, obtenue dans le cadre de cette étude est plus ou moins en accord avec ces études antérieures. De façon générale la connaissance des mécanismes de la recharge reste encore sommaire sur le bassin versant du Kou dans la mesure où aucune étude n'a pu donner une valeur de référence à cette recharge.

Le constat général est qu'aucun terme du bilan ne semble être sous- ou surestimé. Le bilan d'eau établi peut être considéré comme bouclé de manière satisfaisante. Les résultats obtenus ont été analysés et se situent dans des proportions acceptables.

6. Conclusion

Les processus hydrologiques actifs au sein du bassin versant du Kou sont nombreux : ruissellement de surface, contribution de la nappe, évapotranspiration, infiltration, ... Il en résulte donc un fonctionnement complexe. Puisque certains termes ne pouvaient pas être estimés

directement, il a été trouvé nécessaire d'utiliser la modélisation hydrologique.

Le modèle hydrologique HySim utilisé dans le cadre de cette étude se veut le plus complet possible et de ce fait, tente d'intégrer un maximum de paramètres afin de recréer au mieux les conditions qui prévalent dans un milieu naturel tel qu'un bassin versant.

La mise en œuvre de ce modèle a donné des résultats acceptables et sûrement intéressants. Il s'est dégagé une importance de l'évapotranspiration et une faiblesse de l'infiltration dans le

cycle hydrologique de ce bassin versant. Cela traduit que le bassin versant du Kou est marquée par une nette surexploitation. Cette situation paraît problématique pour le futur. Les résultats obtenus restent donc un état des lieux pour les décideurs.

Selon Klemes (1988) l'équation du bilan d'eau peut être considérée comme l'un des 'Rubik Cubes' les plus difficiles à résoudre de la nature, pour lequel les facettes changent de couleur, de forme, de taille au fur et à mesure qu'elles sont déplacées par différentes formes, et dans lequel même les bases structurales changent au cours du temps.

Références

- Arcement, G.J.J. and Schneider, V.R., 1990. Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. United States Geological Survey Water-supply Paper: 2339. USA. 67 p.
- Carl Bro, (2001). Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion. GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en Eau). Direction Régionale de l'Hydraulique, Burkina Faso – DANIDA. 243 p.
- CIEH/USAID, 1987. Savanna regional water resources and land use: savanna resources. Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques, Ouagadougou, Burkina Faso. 1282 p.
- Dakouré, D., 2003. Etude hydrogéologique et géochimique de la bordure Sud-Est du bassin sédimentaire de Taoudeni (Burkina Faso – Mali) – Essai de modélisation. Thèse de doctorat, Université Paris VI, France.
- Derouane, J. et D. Dakouré, 2006. Etude hydrogéologique et modélisation mathématique du système aquifère du bassin sédimentaire de Taoudéni au Burkina Faso. International Symposium Darcy 2006, Aquifers Systems Management. 17 p.
- Dezetter A. (1991). Modélisation globale de la relation pluie début. Application en zone de savane soudanaise (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Université de Montpellier II. 422 p.
- Fortin, J.P., R. Charbonneau, J. Levefre et G. Girard (1971). Proposition et analyse de quelques critères adimensionnels d'optimisation. IASH publication 101 : 458-557.
- IWACO, 1989. Etude du bilan du Burkina Faso – Tome 2 : Inventaire des ressources en eau. Ministère de l'Eau, Burkina Faso.
- Klemes, V., 1988. A hydrological perspective. Journal of Hydrology 100: p. 3-28.
- Lorup, J.K., J.C. Refsgaard and D. Masvimavi, 1998. Assessing the effect of land use change on catchment runoff by combined use of statistical tests and hydrological modeling: Cases study from Zimbabwe. J. Hydro. 205: p. 147-163.
- Mamadou Cherif, I., 2006. Bilan en eau et étude comparative des écoulements du bassin versant du Kou. Mémoire d'ingénieur, Groupe des Ecoles EIER-ETSHER, Burkina Faso. 164 p.
- Manley, R.E., 2003. A guide to using HYSIM. Water resource association Ltd. Great-Britain. 105 p.
- Monfodji, P.S., 2004. Comparaison de deux outils de modélisation hydrologique au pas de temps mensuel. Essai d'application dans un contexte opérationnel avec peu voire pas de données hydro-pluviométriques. Application au Burkina Faso. Mémoire de fin d'études EIER. 206 p.
- Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual modes. Part I – A discussion of principles. Journal of Hydrology 27(3): p. 282-290.
- Niamian, M.-J., 2008. Analyse critique des principaux composants du bilan d'eau du bassin versant du Kou. Mémoire d'ingénieur, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Burkina Faso. 75p.
- OCDE, 2001. Politiques agricoles des pays de l'OCDE : Suivi et évaluation 2001. OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. p. 297.
- Raes, D., Mallants, D. and Song, Z., 1996. RAINBOW – a software package for analyzing hydrologic data. W.R. Blain ed. Hydraulic Engineering Software VI. Computational Mechanics Publications. Southampton, Boston, p. 525-534.
- Raes, D. and P. Deproost, 2003. Model to assess water movement from a shallow water table to the root zone. Agricultural Water Management, Vol. 62, Is. 2. p. 79-91.
- Roche, M., 1963. Hydrologie de surface. Ed. Gauthier-Villars, Paris, France. 125 p.
- Servat E. et A. Dezetter, 1990. Sélection de critères numériques de calage dans le cadre d'une modélisation

pluie-débit en zone de savane soudanaise. Hydml. Continent., ml. 5, no 2 : 147-165.

Traoré, F., 2007. Méthodes d'estimation de l'évapotranspiration réelle à l'échelle du bassin versant du Kou au Burkina Faso. Mémoire de DEA en Sciences de l'Environnement, Université de Liège, Belgique. 119 p.

Wellens, J. et Compaoré N.F., 2003. Renforcement de la capacité de gestion des ressources en eau dans l'agriculture moyennant des outils de suivi-évaluation – GEeau. Rapport Annuel No 1 (décembre 2001 – Novembre 2002). Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts Bassins, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso & K.U.Leuven, Leuven, Belgique. 123 p.

Wellens, J. et Compaoré N.F., 2004. Renforcement de la capacité de gestion des ressources en eau dans l'agriculture moyennant des outils de suivi-évaluation – GEeau. Rapport Annuel No 3 (décembre 2003 – Octobre 2004). Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts Bassins, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso & K.U.Leuven, Leuven, Belgique. 124 p.

Wellens, J., M. Diallo, D. Dakouré et N.F. Compaoré, 2007. Renforcement structurel de la capacité de gestion des ressources en eau pour l'agriculture dans le bassin du Kou. Rapport Technique 1. APEFE-DRI/CGRI. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 127 p.