

Conception et utilisation de « seepage-meters » artisanaux pour l'étude des interactions
«rivière – eaux souterraines » au Burkina Faso
Sauret E^{1,2}, Nitchou M³, Orban P¹, Brouyère S.¹

¹Université de Liège –Secteur Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement, Chemin des Chevreuils 1, 4000 Sart-Tilman, Liège – Belgique. ³ Association Eau Développement Environnement (AEDE)/Observatoire de l'Eau des bassins versants du Mouhoun, de la Comoé et du Banifing (OE) – 01 BP 179 Bobo Dioulasso 01, Burkina Faso. ²Adresse mail de l'auteur : saurelie517@yahoo.fr

Résumé

Situé à l'ouest du Burkina Faso dans la région de Bobo Dioulasso, le bassin du Kou présente un contexte climatique et hydro(géo)logique, favorables à l'accumulation et à la mobilisation d'importantes ressources en eaux souterraines et de surface, en témoigne, les sources de Nasso/guinguette au centre de bassin qui ont un débit d'environ 6000 m³/h. D'un point de vue hydrogéologique, les sources qui constituent les points d'émergences des formations aquifères profonds du bassin se déchargent dans la rivière (Kou) et assurent ainsi sa pérennité tout au long de l'année. D'amont en aval du bassin, le Kou est largement exploité par les agriculteurs installés çà et là de part et d'autre de ses rives. Malheureusement, au cours des vingt dernières années un afflux important de nouveaux agriculteurs a constitué une pression sur les ressources en terres et en eau du bassin, occasionnant une concurrence aigüe à tendance conflictuelle entre les différents exploitants agricoles autour de la rivière. Pour mieux caractériser et, quantifier l'évolution dans le temps des ressources en eau du Kou, une série de tests et études hydrogéologiques prenant en compte les deux autres réservoirs : les aquifères sédimentaires profonds et la plaine alluviale déployé tout au long de la rivière, ont été réalisées. Les techniques de mesure directe par seepage meters des volumes d'eau échangés à l'interface «rivière - nappe» ont permis de quantifier localement les transferts d'eau et déceler les directions et sens des échanges entre les différents réservoirs. Les résultats obtenus ont montré qu'il existe des sections où le Kou gagne (1.5 m³/s) ou perd (-0.10 m³/s) de l'eau au profit ou au détriment des eaux souterraines (aquifères sédimentaires profonds et plaine alluviale). Ces résultats ont été validés par des analyses hydrochimiques des échantillons d'eau prélevés.

I. Introduction

Les échanges « nappe – rivière » sont généralement complexes. Les processus qui gouvernent ces échanges dépendent du climat, la topographie et la géologie. Ces 03 processus sont variables dans le temps et dans l'espace rendant difficile les études « nappe – rivière ». Dans la littérature scientifique, trois approches sont généralement utilisées pour étudier les interactions « nappe – rivière (Sophocleous 2002; Mouhri A., Filipo N. et al. 2011) ce sont : les mesures directes, les mesures indirectes (méthodes hydrologiques, physico-chimiques et biologiques) et la modélisation numérique (modèles déterministes, conceptuels ou empiriques). Dans le cadre de ce papier les mesures directes par seepage meters ont été réalisées à l'interface « nappe – rivière ». Les seepage meters permettent de mesurer et identifier localement les flux d'eau échangés à l'interface « nappe –rivière ». Le modèle simplifié de seepage meter de Lee (1977) (voir section II) employé dans la présente étude a été confectionné avec des matériaux locaux. Selon Rosenberry D.O. and LaBaugh J.W. (2008) les résultats obtenus sur base du modèle simplifié de Lee fournissent une précision de l'ordre de 10% proche des valeurs vraies de flux d'eau échangés à l'interface « nappe – rivière ». Cependant, un problème très peu discuté dans la littérature concerne la validation des résultats, dans le cas d'une section de rivière drainante comment prouver que l'eau provient véritablement de la nappe? Dans le cadre de ce travail, les résultats obtenus sont validés par des analyses hydrochimiques d'échantillons d'eau prélevés dans les aquifères souterrains profonds (bedrock), la plaine alluviale, la rivière kou, les sources et les seepages meters.

II. Principes généraux du seepage meter et méthodes hydrochimiques

1.1. Principes du seepage meter

Le concept de base d'un seepage meter consiste à enfermer et isoler une portion de l'interface eau-sédiments d'une rivière, avec un cylindre relié à sa base à un sac plastique dégonflé, et ventilé dans la partie supérieure par un tube d'aération (figure 1a) (Lee 1977). L'afflux d'eau dans le sac indique un apport souterrain : « gaining stream » et, le reflux d'eau une décharge de la rivière : « losing stream ». Le flux d'eau échangé est calculé après une variation d'un volume d'eau dans le sac collecteur au cours du temps.

$$q_s = \frac{V_f - V_0}{t \times A} \quad (1)$$

q_s est en m/s, avec V_f et V_0 en m^3 les volumes d'eau final et initial contenu dans le sac collecteur, t (s), le temps écoulé, A (m^2) la surface basale du réservoir principal

Trois hypothèses sont envisageables :

- $V_f > V_0$ et $q_s > 0$, la rivière gagne de l'eau : « gaining river »
- $V_f < V_0$ et $q_s < 0$, la rivière perd de l'eau : « losing river »
- $V_f = V_0$ et $q_s = 0$, la rivière est en équilibre avec la nappe d'eau souterraine

Dans le cadre de cette étude, des seepages meters ont été confectionnés avec des matériaux artisanaux à un coût de revient global de l'ordre de 60€/seepage meter (figure 1b).

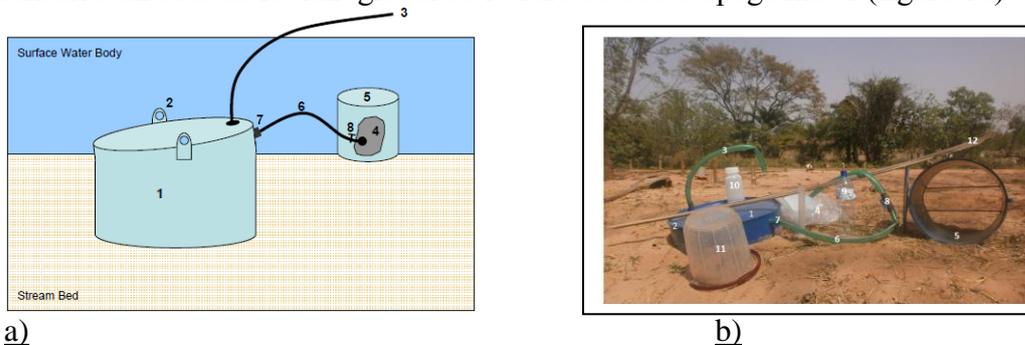


Figure 1 : a) Modèle simplifié de "seepage meter" de (Lee 1977) b) Modèle de seepage meter artisanal fabriqué. Légende : (1) colonne ou réservoir s'ouvrant à la base, (2) bras du réservoir, (3) tube d'aération (4) sac collecteur, (5) abri de protection confort du sac collecteur, (6) tuyau de connexion réservoir-sac collecteur, (7) ruban adhésif, (8) vanne de fermeture/ouverture ; Accessoires : (9 et 11) outils de remplissage et de mesure du volume d'eau, (10) flacon d'échantillonnage, (12) tige de soutènement

1.2. Méthodes hydrochimiques

• Le diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet de caractériser, classer et comparer les eaux suivant leurs faciès hydrochimiques.

• Le système calco-carbonique

La caractérisation des eaux par l'étude du système calco-carbonique fait recours au diagramme Indice de Saturation de la Dolomie (ISD) versus Indice de Saturation du Calcite (ISC) et au diagramme pH réel versus pH équilibre. Le diagramme ISD/ISC donne des informations précieuses sur le caractère « confiné ou ouvert » du réservoir, les vitesses de circulation des eaux et, sur l'âge relatif des eaux (temps de séjour), la perméabilité des aquifères (Oga, Lasm et al. 2009).

III. Cas pratique : quantification des flux d'eau échangés entre la rivière Kou et les aquifères du bedrock dans le bassin du Kou au Burkina Faso

3.1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude (le bassin du Kou) a une superficie d'environ 1860 km^2 il est situé au SO du Burkina Faso et comprend des mares, des sources et une rivière pérenne (le Kou).

Le Kou est long d'environ 60 km et constitue l'exutoire naturel des sources de Nasso/Guinguette au centre du bassin du Kou dont les débits atteignent 6000 m³/h (figure 2). Par débordements de son lit lors des crues exceptionnelles le Kou a engendré une vaste plaine alluviale étendue sur 500 m à 1 km de large de part et d'autres de ses rives (Sauret 2013). A l'aval immédiat des sources de Nasso/Guinguette, 4 piézomètres, 99 micropiézomètres et 5 stations hydrologiques installés sur le Kou, permettent de suivre en continue les variations d'eau des aquifères sédimentaires profonds (bedrock), de la plaine alluviale et du Kou. Sur le plan géologique, à l'instar du SO du Burkina, la géologie du bassin du Kou est constituée de formations gréseuses, carbonateuses et argileuses, régulièrement empilés les uns sur les autres en couches subhorizontales pentées de 2 degrés orientées vers le NO (figure 2) (Ouédraogo 2008). Les dépôts sédimentaires sont intensément fracturés, affectés par des failles verticales orientées SE - NO. Ces fracturations permettent l'emménagement et le stockage d'importants volumes d'eau dans quatre niveaux aquifères superposées (Sogreah Ingénierie 1993): les Grès Fins Glauconieux (GFG), les Grès à Granules de Quartz (GGQ), les siltites argilites et carbonates (SAC1) et, les grès fins roses (GFR). Les eaux souterraines provenant de ces niveaux aquifères forment une nappe d'eau unique qui s'écoule de l'est vers les sources de Nasso avec un faible gradient hydraulique moyen de 0,3%, et une transmissivité comprise entre $2 \text{ à } 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Sogreah Ingénierie 1993).

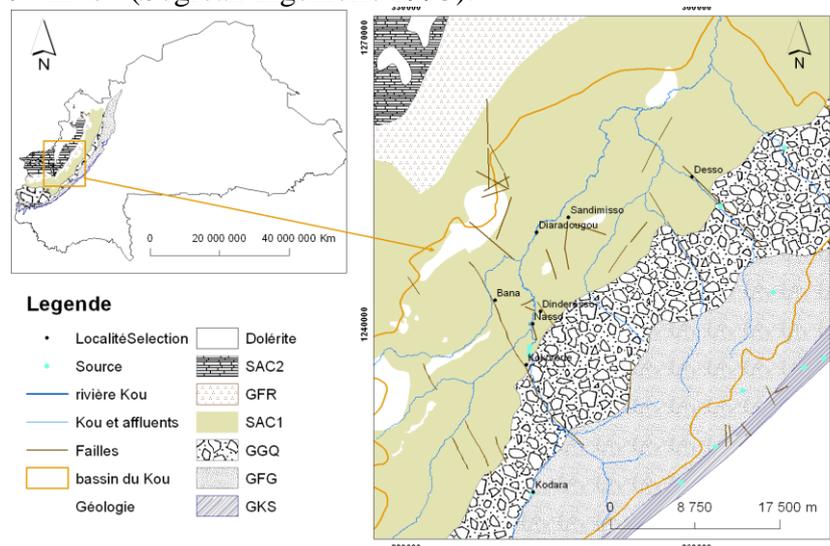


Figure 2. Géologie détaillée du bassin du Kou. Légende : GKS : Grès de Kwadara Sindou, GFG : Grès Fins Glauconieux, GGQ : Grès à Granules de Quartz, SAC1 : Siltites Argilites Carbonates 1, GFR : Grès Fins Roses, SAC2 : Siltites Argilites Carbonates 2

3.2. Mise en œuvre et méthodes

Au total, 18 seepage meters ont été installés sur le Kou depuis l'aval immédiat des sources de Nasso/Guinguette jusqu'à Diaradougou. Les 7 premiers seepage meters sont espacés de 600 m environ, les 11 autres de 1 à 1.5 km, sur le tronçon restant du Kou (16 km environ). Les sections du Kou choisies pour l'installation des seepage meters sont larges de 5 à 20 m avec une hauteur d'eau moyenne de 50 à 75 cm. Les mesures ont été réalisées en pleine saison sèche du 06/03/2012 au 04/04/2012. Lorsque cela a été possible, la mesure a été répétée sur le même seepage meter afin de s'assurer de la concordance du sens de l'échange. Dans le cas d'une section drainante de rivière, la mesure est répétée avec un sac-collecteur à vide lors de l'installation du seepage meter. En vue de valider ces résultats 32 échantillons d'eau ont été prélevés pour des analyses hydrochimiques dont : Kou (4), sources (4), bedrock (4), plaine alluviale (15) et seepage meter (5). Pour chaque échantillon, le pH, la conductivité électrique (CE) et la température (T) sont directement mesurés sur le terrain. L'analyse des Titres Alcalimétriques (TA et TAC) et des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , NO_3^- , K^+ ,

CO₃²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻) et mineurs (Fe³⁺, NH₄⁺, SiO₂, Mn²⁺, NO₂⁻, H₂PO₄, Br⁻, F⁻) ont été réalisées au Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université de Liège (annexe). les Indices de Saturation de la Dolomie (ISD) et de la Calcite (ISC) et les pressions partielles de CO₂ ont été calculés grâce au module PHREEQC (Parkhurst and Appelo 1999) implémenté dans le programme « Diagrammes » de l'université d'Avignon.

3.3. Présentation des résultats

Les résultats en termes de flux d'eau échangés et les caractéristiques des sections d'implantation des seepages meters sont repris dans le tableau 1 et illustrés par la figure 3.

Tableau 1. Résultats obtenus sur les 18 seepage meters fonctionnels. Légende : q_{smin} et q_{smax} : valeur minimale et maximale du flux d'eau échangé pour 2 ou plusieurs mesures répétées à la même station, Δ(q_s) : écart entre valeur minimale et maximale. En rouge : le Kou est drainé par les eaux souterraines (losing stream), en bleue : le Kou draine les eaux souterraines (gaining stream)

Sites	Codification	Nombre de mesures	q _{smin} (m/j)	q _{smax} (m/j)	Δ(q _s) (m/j)	q _{s moy} (m/j)
Aval source	Seep_1	2	4.05E-03	9.27E-03	5.23E-03	5.80E-03
Kapkodougou	Seep_2	2	1.46E-02	1.74E-02	2.89E-03	1.60E-02
Guingueta	Seep_3	1	-----	-----	-----	1.79E-02
Pont guingueta	Seep_4	2	3.85E-02	4.17E-02	3.28E-03	4.01E-02
Nasso village	Seep_5	1	-----	-----	-----	1.35E-03
Dindéresso	Seep_6	1	-----	-----	-----	3.08E-03
Aval pont Dindéresso	Seep_7	2	1.00E-03	2.15E-03	1.15E-03	1.58E-03
Marre1-Sosogna	Seep_8	2	-1.42E-03	-1.90E-02	-1.75E-02	-1.02E-02
Marre2-Sosogna	Seep_9	2	3.35E-03	8.46E-03	5.10E-03	5.91E-03
Sosogna1	Seep_10	4	-8.33E-04	-2.61E-03	-1.78E-03	-2.00E-03
Sosogna1-2	Seep_11	3	1.38E-02	5.79E-02	4.40E-02	3.59E-02
Sosogna1-3	Seep_12	3	5.91E-02	6.32E-02	4.08E-03	6.12E-02
Sosogna2	Seep_13	2	3.73E-02	5.26E-02	1.52E-02	4.49E-02
Sosogna2-1	Seep_14	2	7.85E-02	1.36E-01	5.74E-02	1.03E-01
Sosogna2-2	Seep_15	3	6.84E-03	3.76E-02	3.08E-02	2.15E-02
Sosogna2-3	Seep_16	2	1.19E-01	1.23E-01	4.20E-03	1.21E-01
Diaradougou_1	Seep_17	1	-----	-----	-----	-3.85E-04
Diaradougou_2	Seep_18	1	-----	-----	-----	-3.86E-03

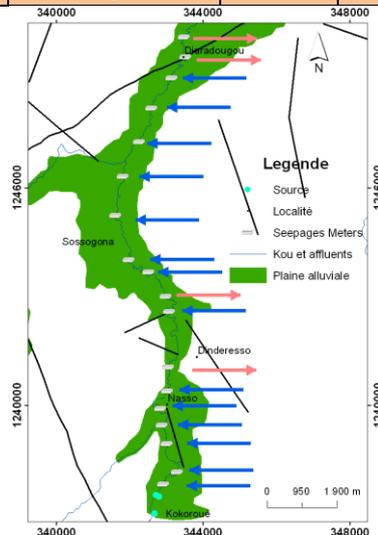


Figure 3 : résultats obtenus des mesures directes par seepage meters. Flèche rouge : le Kou est drainé par les eaux souterraines (losing stream), flèche bleue : le Kou draine les eaux souterraines (gaining stream)

Le tableau 1 et la figure 3 montrent que le Kou :

- gagne de l'eau (couleur bleue, figure 3) du Seepage meter 1 au Seepage meter 7, au Seepage meter 9 et du Seepage meter 11 au Seepage meter 16. Les flux d'eau gagnés sont d'environ 4.8×10^{-1} m/j, par contre il,

- perd de l'eau (couleur rouge, figure 3) aux Seepage meter 8, 10 et du Seepage meter 17 à 18. Les flux d'eau perdus sont d'environ -1.65×10^{-2} m/j.

En outre, le tableau 1 montre que les flux d'eau calculés sur le même site présentent des écarts $q_{smax} - q_{smin}$ parfois négligeables de l'ordre de 10^{-3} m/j (Seepage meter 2, 4, 12, 13, 1, 16), ou élevés de l'ordre de 10^{-2} m/j (Seepage meter 8). Ces résultats traduisent donc la faible précision des mesures obtenus ; ils renseignent néanmoins sur les directions d'échange « Kou-nappe » et fournissent à titre indicatif des ordres de grandeurs des flux d'eau localement échangés. Le diagramme de Piper des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) des échantillons d'eaux des 4 réservoirs (Kou, bedrock, plaine alluviale et source) et celles des sacs collecteurs issus des sections drainantes du Kou a été réalisé (figure 4).

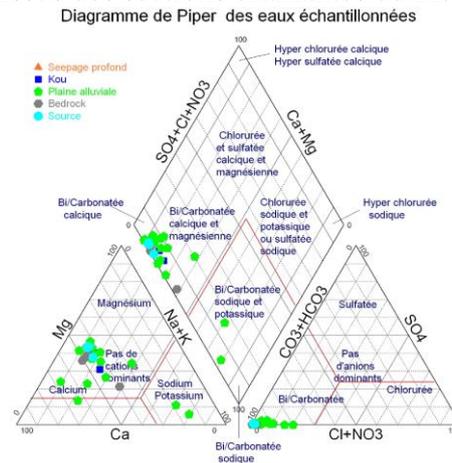


Figure 4. Faciès hydrochimiques des eaux analysées

Le diagramme montre que l'anion dominant est l'ion HCO_3^- pour la quasi-totalité des eaux analysées ; les eaux sont donc toutes bicarbonatées. Au niveau des cations, dans 82.5% des cas il n'y a pas d'ions dominants (faciès mixte). Ca^{2+} est le cation prédominant dans 11.7% des cas et $[Na^+ + K^+]$ dans 5.8%. Par conséquent l'ensemble des eaux analysées peuvent être attribuées aux faciès : "bicarbonaté calco-magnésien" et deux échantillons de la plaine alluviale au faciès "bicarbonaté sodi-potassique" (PDN04 et PD25). Les eaux étant toutes bicarbonatées, le diagramme de Piper ne permet pas de lier directement les eaux des sacs collecteurs des sections drainantes du Kou à celles des eaux souterraines ?

Le diagramme d'indice de saturation de la calcite (ISC) en fonction de la dolomite (ISD) fournit des informations intéressantes (figure 5).

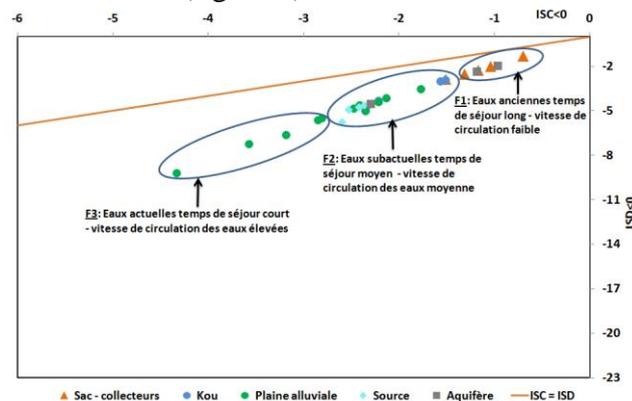


Figure 5. Diagramme ISD/ISC des eaux des quatre réservoirs (Kou, plaine alluviale, bedrock, sources) et des sacs collecteurs

En première analyse, le diagramme de l'ISC en fonction de l'ISD (figure 5) montre que la quasi totalité des eaux analysées présentent une sous-saturation à la fois vis-à-vis de la calcite ($ISC < 0$) et de la dolomite ($ISD < 0$). Mais, la répartition des valeurs des ISD permet de distinguer trois familles d'eau:

Famille 1 (-2.5 < ISD < 0) : elle regroupe les eaux à ISD proche de 0, ce sont 2 des 4 échantillons d'eau représentatifs du bedrock (-2.32 et -1.92) et 4 des 5 échantillons d'eau des sacs collecteurs (-2.49 à -1.28). La proximité de cette famille avec la droite d'équilibre $ISD = ISC$ indique que ces eaux sont proches d'un état de saturation primaire en carbonate. En effet, comparés à l'ensemble des échantillons d'eau analysés, les échantillons d'eau du bedrock de cette famille présentent les teneurs en ions bicarbonatés (HCO_3^-) les plus élevés, (1.14 meq/l). Il y a donc une phase de consommation progressive de CO_2 suivi d'une libération lente entraînant une saturation progressive du milieu en $CaCO_3$. Cette évolution se traduit par un pH neutre à légèrement basique [6.8 – 7.9]. Les eaux du bedrock ont donc un temps de séjour relativement plus long avec des vitesses de circulation des eaux lentes ou même nulles. Les eaux des 4 échantillons des sacs collecteurs sur les 5 analysés qui appartiennent à cette famille auraient donc une origine liée au bedrock.

Famille 2 (-5.5 < ISD < -2.5) : cette famille regroupe 16 échantillons d'eau caractérisée par des valeurs d'ISD croissantes, dans l'ordre : sources (4 échantillons), plaine alluviale (6 échantillons), bedrock (1 échantillon), Kou (4 échantillons) et sac collecteur (1 échantillon). Cette évolution s'accompagne d'une augmentation des teneurs en ions bicarbonates de 0.63 meq/l à 0.865 meq/l et du pH de 6 à 7.1. Comparés à la famille 1, les échantillons d'eau de cette famille seraient relativement moins âgés avec des vitesses de circulation moins lentes. La figure 5, montre en outre que l'ensemble des échantillons d'eau du Kou se retrouve entre ceux du bedrock et des sources de Nasso/guinguette. Ceci indique des « mélanges éventuelles d'eau » et, une alimentation du Kou par les sources et le bedrock.

Famille 3 (-9.5 < ISD < -5.5) : cette famille contient 5 échantillons exclusivement de la plaine alluviale présentant des ISD faibles ainsi que les teneurs en ions bicarbonates (0.6 meq/l) et les valeurs de pH les plus bas [5.25 – 6.5]. La sous saturation en dolomite des eaux de cette famille est le reflet d'un temps de séjour moins long et donc d'une vitesse de circulation plus élevée par rapport aux familles 1 et 2.

In fine, l'étude de l'équilibre calco-carbonique permet de dégager trois situations : (i) les eaux des sacs collecteurs ont une signature chimique voisine de celles du Bedrock, (ii) la chimie des eaux du Kou est intermédiaire entre celle des sources et du bedrock, le bedrock alimenterait donc le Kou et les sources et, (iv) dans la zone des sources de Nasso/Guinguette en amont du bassin la chimie des eaux de la plaine alluviale est quasi similaire à celle du bedrock suggérant la présence de mélange ou de transfert d'eau entre ces deux réservoirs.

3.4. Discussion générale

Les mesures directes par seepage meters montrent que de l'aval immédiat des sources de Nasso/Guinguette à Diaradougou, le Kou draine globalement les eaux souterraines (4.8×10^{-1} m/j), avec néanmoins quelques sections à Sossogona et Diaradougou où il est drainé (-1.65×10^{-2} m/j). Dans les sections où le Kou est drainant, l'équilibre calco-carbonique des échantillons d'eau des quatre réservoirs (bedrock, Kou, sources, plaine alluviale) et des sacs collecteurs permet de confirmer les résultats obtenus et, suggère une alimentation directe du Kou par le bedrock ou indirectement via les sources. Comparées à la géologie, il apparaît que les sections drainées sont co-localisées près des failles qui serviraient donc de couloir de drainage et de résurgence des eaux souterraines vers les aquifères superficiels et le Kou. Pour Sogreah Ingénierie (1993) et (Sauret 2008), les fractures d'effondrement au centre et en aval du bassin favoriseraient une connectivité hydraulique et des transferts d'eau entre les différents niveaux aquifères suivant des directions préférentielles. Quant aux mélanges éventuelles d'eau entre la plaine alluviale et le bedrock dans la partie avale de la zone d'étude, elles gagneraient à être confirmées par des techniques d'analyses statistiques de données multi-variées telles que les matrices auto-organisantes (SOMs), l'analyse en composantes principales ou l'analyse factorielle discriminante (AFD).

IV. Conclusion

Les résultats obtenus sur le même site ont souvent présentés des écarts parfois négligeables à élevés, suggérant des erreurs qui seraient liées à l'installation des seepage meters. Pour Isiorhio S.A. and Meyer J.H. (1998), Schincario R.A. and McNeil J.D. (2002), le type et la nature du réservoir et du sac collecteur, l'arrivée de flux anormaux à l'installation du dispositif, l'effet venturi dû au remplissage du sac-collecteur à point, les pressions différentielles dans le dispositif, la diminution de la conductance du « sac-collecteur », l'emménagement de gaz dans la colonne ou le réservoir peuvent être sources d'erreurs. Malgré ces erreurs éventuelles, l'emploi des seepage meters demeure d'une part une solution adaptée à des études aux budgets limités et d'autre part une étape préliminaire pour disposer d'une information locale sur les flux d'eau échangés et les directions des transferts. Dans la présente étude, il apparaît que le berock constituerait un « réservoir magasin » de décharge directe des eaux souterraines dans la rivière ou via les zones de sources de Nasso/Guingette.

V. Références bibliographiques

- Isiorhio S.A. and Meyer J.H. (1998). "The effects of bags type and meter size on seepage meters measurements." Groundwater **37**(3): 3.
- Lee, D. R. (1977). "A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries." Limnology and Oceanography **22**(1): 140-147.
- Mouhri A., Filipo N., et al. (2011). Etat de l'art sur les méthodes de caractérisation et de quantification des échanges nappe-rivière. Programme PIREN -Seine : Méthodes de caractérisation et de quantification des échanges nappe - rivière: 31.
- Oga, M. S., T. Lasm, et al. (2009). "Caractérisation chimique des eaux des aquifères de fracture: cas de la région de tiassalé en Cote D'ivoire." European Journal of Scientific Research **31**(1): 72-87.
- Ouédraogo, C. (2008). Cartographie des couches imperméables dans les formations sédimentaires du bassin hydrographique du Kou. Synthèse de forages hydrauliques. Bobo Dioulasso, Burkina Faso, APEFE/DRI/CGRI - Projet "Appui à la gestion et à la protection des ressources en eau souterraines exploitées dans la région de Bobo Dioulasso: 20.
- Parkhurst, D. L. and C. A. J. Appelo (1999). "User's guide to PHREEQC (version 2) - a computer program for speciation, reaction-path, 1D-transport, and inverse geochemical calculations. ." USGS. Water Resour. Inv. Rep. 99-4259: 312.
- Rosenberry D.O. and LaBaugh J.W. (2008). " Field Techniques for Estimating Water Fluxes Between Surface Water and Ground Water—USGS Techniques and Methods 4—D2." 128p.
- Sauret, E. (2008). Contribution à la compréhension du fonctionnement hydrogéologique du système aquifère dans le bassin du Kou. Diplôme d'Etude Approfondie (DEA) en Sciences Appliquées. Département ArGenCO - Géotechnologie, Hydrogéologie, Géophysique appliquée. Liège (Belgique), Université de Liège: 96.
- Sauret, E. (2013). Etude des potentialités hydrogéologiques d'une plaine alluviale en relation avec les eaux souterraines et de surface dans un contexte d'agriculture irriguée (Burkina Faso). ArGenCO - GEO3 Laboratoire d'Hydrogéologie et géologie de l'Environnement de l'Université de Liège (ULG). Liège - Belgique, Université de Liège: 215.
- Schincario R.A. and McNeil J.D. (2002). "Errors with small volume elastic seepage meter bags." Groundwater **40**(6): 649-651.
- Sogreah Ingénierie (1993). Notice explicative de la carte hydrogéologique 1:50000 de la région de Bobo-Dioulasso. Etude des ressources en eau souterraine de la zone sédimentaire de la région de Bobo-Dioulasso. Bobo Dioulasso, Burkina Faso, Ministère de l'Eau, Direction Régionale de l'Eau des Hauts Bassins.: 25.
- Sophocleous, M. (2002). "Interactions between groundwater and surface water: the state of the science." Hydrogeology Journal **10**: 52-67.

Annexe : résultats de l'analyse physico-chimiques des échantillons d'eau du Kou, des sources, de la plaine alluviale et des sacs collecteurs des seepage meters. Eléments chimiques exprimés en en még/l.

	Nom	T (°C)	pH	CE µS/cm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ³⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Seep Nasso vil.Bedr	S1	31.000	7.100	81.200	0.406	0.388	0.036	0.078	0.004	0.859	0.001	0.007	0.006	0.000
Seep Diara 04-02_Bedr	S2	28.900	7.920	85.400	0.408	0.376	0.030	0.082	0.008	0.911	0.004	0.006	0.007	0.000
Seep Soss. 1-2_Bedr	S3	28.800	7.290	87.200	0.435	0.416	0.036	0.077	0.015	0.878	0.001	0.009	0.014	0.002
Seep Soss. 2-1_Bedr	S4	27.700	7.340	113.100	0.595	0.552	0.048	0.092	0.006	1.137	0.001	0.010	0.009	0.000
Seep Soss 2-2_Bedr	S5	28.400	7.370	89.100	0.459	0.414	0.039	0.085	0.056	0.977	0.001	0.010	0.004	0.000
Kou Dinderess	K1	32.200	7.130	75.200	0.341	0.326	0.037	0.073	0.002	0.799	0.001	0.005	0.006	0.003
Kou PB12	K2	27.000	7.060	99.400	0.433	0.427	0.063	0.142	0.038	1.019	0.001	0.044	0.006	0.001
Kou	K3	24.800	6.480	75.300	0.329	0.228	0.052	0.127	0.012	0.780	0.000	0.024	0.011	0.000
Kou Kapkodou.	K4	29.900	6.440	80.500	0.375	0.353	0.039	0.077	0.016	0.860	0.000	0.007	0.005	0.006
Guinguette	So1	29.700	6.160	77.700	0.363	0.363	0.032	0.075	0.001	0.841	0.000	0.005	0.006	0.005
Kou Guing 1-2	So2	29.700	6.280	80.400	0.402	0.388	0.032	0.077	0.011	0.840	0.000	0.007	0.006	0.006
Kon Guinguette	So3	29.500	6.260	78.400	0.369	0.364	0.030	0.074	0.009	0.840	0.000	0.004	0.004	0.006
ONEA 2	So4	29.100	5.970	59.700	0.269	0.229	0.038	0.069	0.011	0.641	0.000	0.004	0.006	0.000
PN45	P1	29.900	5.250	15.700	0.150	0.032	0.037	0.016	0.001	0.226	0.000	0.004	0.002	0.000
PN38	P2	27.700	6.230	113.000	0.549	0.448	0.175	0.037	0.069	1.060	0.000	0.029	0.009	0.095
PD07	P3	26.400	6.240	52.700	0.235	0.214	0.043	0.046	0.021	0.540	0.000	0.016	0.015	0.023
PD17	P4	27.800	6.190	60.300	0.250	0.255	0.056	0.067	0.097	0.601	0.000	0.035	0.007	0.000
PD05	P5	25.300	6.540	127.600	0.633	0.531	0.055	0.064	0.010	1.360	0.000	0.013	0.003	0.000
PD27	P6	27.000	6.540	56.900	0.268	0.224	0.090	0.054	0.000	0.560	0.000	0.048	0.004	0.008
PD10	P7	25.200	6.540	59.300	0.256	0.263	0.034	0.044	0.003	0.620	0.000	0.019	0.010	0.002
PB12	P8	27.000	6.520	90.800	0.392	0.391	0.063	0.072	0.005	0.920	0.000	0.044	0.004	0.000
PD25	P9	27.200	5.310	20.700	0.032	0.019	0.068	0.055	0.002	0.185	0.000	0.035	0.000	0.000
PDN04	P10	28.500	5.050	8.200	0.009	0.004	0.035	0.015	0.003	0.069	0.000	0.003	0.000	0.000
PD19	P11	30.000	6.480	60.100	0.292	0.329	0.044	0.040	0.285	0.640	0.000	0.007	0.016	0.018
PN19	P12	27.000	5.890	73.800	0.166	0.070	0.036	0.032	0.318	0.801	0.000	0.003	0.002	0.000
PN09	P13	29.300	5.900	55.300	0.082	0.049	0.031	0.023	0.339	0.581	0.000	0.005	0.003	0.000
PN29	P14	29.300	6.160	100.200	0.432	0.156	0.037	0.023	0.175	1.061	0.000	0.006	0.002	0.000
PD26	P15	26.200	5.580	38.400	0.094	0.116	0.090	0.037	0.009	0.303	0.000	0.076	0.000	0.000
PiezDia01	Pz1	27.200	6.690	195.300	1.139	0.888	0.285	0.046	0.000	2.159	0.001	0.015	0.018	0.000
PiezDia02	Pz2	27.500	6.870	203.400	1.208	0.859	0.283	0.043	0.004	2.218	0.001	0.023	0.018	0.000
Forage ONEA1	Pz3	29.700	6.290	114.200	0.558	0.484	0.050	0.140	0.008	1.240	0.000	0.004	0.004	0.001
PezNas 01	Pz4	30.100	5.180	13.900	0.049	0.026	0.033	0.014	0.002	0.167	0.000	0.004	0.000	0.000