



PROJET PADI/BF 101 – APEFE/ WBI

Méthodologie de dimensionnement et de confection d'un Seepage Meter artisanal

Martial NITCHEU, Akoly MIDEKOR, Elie SAURET

13/03/2012

Tables de matières

I. Contexte de l'étude	3
II. Objectif de l'étude.....	3
III. Méthodologie	3
III.1. Définition du « seepage meter »	4
III.2. Concepts de base du « seepage meter ».....	4
III.2.1. Théorie du « seepage meter »	5
III.2.2. Avantage de la méthode.....	6
III.2.3. Désavantage de la méthode.....	6
III.2.4. Applicabilité de la technique.....	6
IV. Guideline du dimensionnement et confection du seepage meter.....	7
IV.1. Construction et installation.....	8
IV.1.1. Matériels et outils exigés	8
IV.1.2. Mode opératoire.....	9
IV.1.3. Potentiels sources d'erreurs causées par la mise en œuvre.....	11
V. Mise en œuvre sur la rivière Kou.....	12
VI. Conclusion	13

I. Contexte de l'étude

La plaine alluviale du Kou, déployée le long de la rivière Kou dans le bassin du Kou au Sud Ouest du Burkina Faso est régulièrement sollicitée par les exploitants agricoles pour l'irrigation de leur champ. La modélisation des ressources en eau de la plaine alluviale passe par une quantification des flux d'eau échangés entre la plaine alluviale, la rivière Kou et les aquifères du sédimentaire profond, une estimation des apports (recharge) et exports (prélèvements) d'eau dans la plaine alluviale.

Dans la littérature, il existe plusieurs méthodes d'étude des interactions eaux de surface – eaux souterraines parmi lesquelles l'emploi des « seepage meters » comme méthode directe de quantification des flux d'eau échangés à l'interface entre ces deux réservoirs. En complément des méthodes basées sur la loi de Darcy, les flux de chaleur, les bilans d'eau... la réalisation de mesure directe sur des tronçons de la rivière Kou permettrait à terme d'évaluer les directions/sens et les quantités d'eau échangées entre la plaine alluviale et la rivière.

II. Objectif de l'étude

Les objectifs visés par ce rapport sont :

- compiler la bibliographie sur les mesures directes par seepage meter des flux d'eau échangés à l'interface « nappe – rivière »
- comprendre le fonctionnement du dispositif de « seepage – meter »: théorie, principes, formulation...
- s'assurer de l'applicabilité de la technique dans le bassin du kou, limites et avantages...,
- proposer un guideline/mémento pour le dimensionnement et la confection d'un « seepage meter »,
- confectionner et mettre en œuvre un « seepage meter » sur la rivière Kou.

III. Méthodologie

La méthodologie utilisée consiste à :

- Examiner et faire la compilation de la bibliographique existante
- Faire des sorties de terrain pour appréhender au mieux et permettre un « bon » dimensionnement et confection du « seepage meter ».

IV. Définition du « seepage meter »

Le « seepage meter » est une méthode de mesure directe des échanges de débit entre l'eau de surface et l'eau souterraine. C'est l'une des méthodes les plus utilisées pour la mesure des flux d'échange entre l'eau de surface et sa base sédimentaire (Katrina and Reynolds 2006; Rosenberry D.O. and LaBaugh J.W. 2008; Martinez C. J. 2010).

Le « seepage meter » a été initialement développé en 1940 pour mesurer les pertes d'eau sur les canaux d'irrigation. Puis, étendu en 1970 sur des petits lacs et des estuaires (Katrina and Reynolds 2006). C'est Lee qui pour la première fois en 1977, adapta la technique pour la rendre applicable en rivières. Depuis cette expansion, a suivi un foisonnement d'utilisation : sur des zones marines, les marées, les récifs (Katrina and Reynolds 2006; Rosenberry D.O. and LaBaugh J.W. 2008). Toute sur la base du dispositif de Lee (figure 1). Selon Katrina (2006), le « seepage meter » est aussi utilisé pour élaborer des bilans d'eau et quantifier les flux de contaminants.

Le document présenté est une compilation : d'étude comparative menée par Rosenberry D.O. and LaBaugh J.W. (2008), des travaux des auteurs précités.

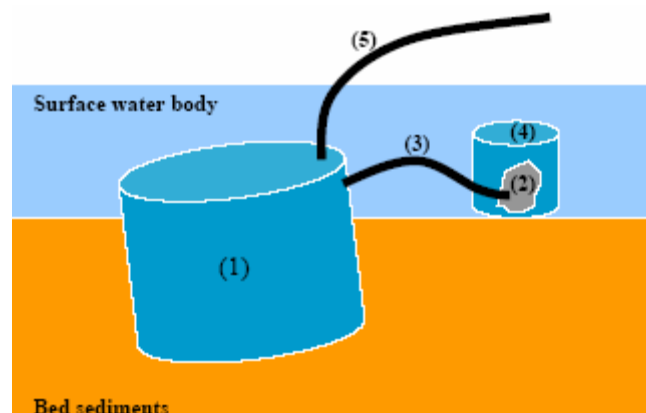


Figure 1 : Composant d'un « seepage meter » typique : (1) chambre d'échange ; (2) sac collecteur (3) tube de connexion ; (4) abri de protection du sac collecteur ; (5) tube d'évacuation des gaz

IV.1 Concepts de base du « seepage meter »

Le concept de base de « seepage meter » est d'enfermer et d'isoler une section de l'interface sédiment-surface de l'eau avec un cylindre ouvert à sa base et relié par un trou au sommet à un sac de collecte en plastique. La modification du volume de l'eau dans le sac de

collecte en un intervalle de temps mesuré est utilisée pour déterminer la direction et le taux de flux d'eau entre l'eau de surface et l'eau souterraine (Kalbus, Reinstorf et al. 2006; Katrina and Reynolds 2006; Rosenberry D.O. and LaBaugh J.W. 2008; Martinez C. J. 2010).

IV.2. Théorie du « seepage meter »

L'écoulement et la direction de l'écoulement entre l'eau souterraine et l'eau de surface sont mesurés par le changement du volume de l'eau dans le sac de collecte en une période de temps connue. Le temps qui sera nécessaire pour une mesure correcte variera pour chaque application, avec par exemple des endroits à faible flux exigeant plus de temps.

Après un temps (dt) de mesure, le sac de collecte donne un volume d'eau final (V_{final}), qui est combiné au volume initial du sac ($V_{\text{départ}}$), et à l'aire (A) délimité par la chambre d'échange, pour quantifier le flux d'échange (Q) durant le temps (dt) écoulé :

$$Q = \frac{dV}{dt * A} = \frac{V_{\text{Final}} - V_{\text{départ}}}{\text{Temps écoulé} * A}$$

Une valeur positive de Q signifie que la direction de l'écoulement est ascendante du souterrain à la surface. Une valeur négative signifie que la direction de l'écoulement est descendante de la surface au souterrain.

Des erreurs peuvent s'introduire dans la mesure, causées notamment par : l'advection ascendante de l'eau interstitielle (effet Bernoulli) ; les effets venturi de l'écoulement fluvial sur le sac de collecte, l'accumulation de gaz dans la chambre de mesure, la résistance de friction causant des pertes de charge à travers les éléments du dispositif... (Murdoch L.C. and Kelly S.E. 2003).

Plusieurs dispositifs ont été proposés au fil des années pour corriger les erreurs liées au montage et à la mise en œuvre de la technique. Le choix du matériel et de la technique de mise en œuvre dépendra d'avantage de l'environnement de travail (profondeur de la rivière, vitesse d'écoulement de la rivière, la nature du sédiment au fond de la rivière). Les fonds sableux étant les plus propices à la mise en œuvre. La valeur du taux d'échange Q est souvent multiplié par un facteur de correction pour prendre en compte les pertes de charge à travers les éléments constitutifs du « seepage meter » (figure 2).

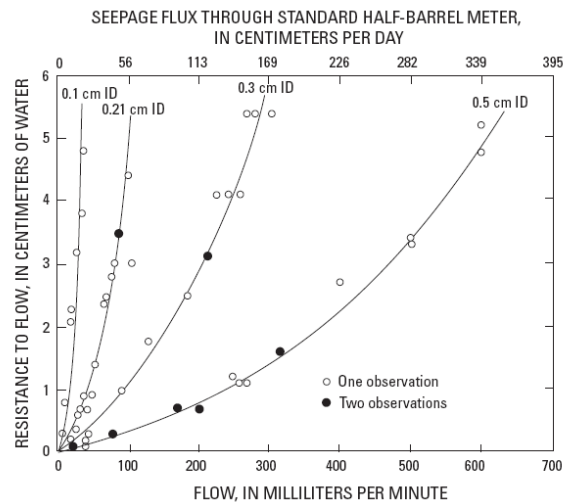


Figure 2. Résistance à l'écoulement relative au diamètre du tube et le taux d'échange (Rosenberry D.O. and LaBaugh J.W. 2008).

IV.3. Avantage de la méthode

Les « Seepage meter » ont un avantage sur les autres méthodes de mesure des flux d'eau échangés à l'interface « nappe – rivière » car les mesures de flux peuvent se réaliser sans les mesures de conductivité hydraulique du sédiment. Les « seepage meters » sont particulièrement utiles lorsque plusieurs mesures sont nécessaires afin de caractériser l'échange « nappe – rivière » dans différents segments de la rivière. Par ailleurs, il offre une flexibilité de conception pouvant s'ajuster à l'environnement d'étude.

IV.4. Désavantage de la méthode

Le seepage meter ne mesure que le flux d'eau échangés sur une section précise de la rivière et nécessite donc plusieurs mesures sur un segment de la rivière pour avoir une meilleure interpolation. (Katrina and Reynolds 2006), a également constaté qu'il lui fallait répéter les mesures sur un même point pour réduire les variations spatio-temporelles des résultats, ce qui peut s'avérer très fastidieux.

V. Applicabilité de la technique

La technique est adapté sur des fonds argilo-limoneux à sables moyens (Katrina and Reynolds 2006; Rosenberry D.O. and LaBaugh J.W. 2008; Martinez C. J. 2010). Elle est également très

adaptée sur des rivières où la vitesse d'écoulement de l'eau est faible, de l'ordre de 6m/s maximum recommandé (Ancid 2000).

En revanche, la technique est moyennement adaptée sur des eaux de surface à forte fluctuation d'ondulation, des sédiments très tendres à faible densité, des fonds rocheux ou recouvert de végétation dense (Katrina, 2006 ; Rosenberry et al. 2008).

VI. Guideline du dimensionnement et confection du seepage meter

Rosenberry D.O. and LaBaugh J.W. (2008) donne certaines recommandations de dimensionnement du seepage meter, pour limiter les erreurs de mesure de l'outil. Recommandations émanant d'un compromis entre les propositions de plusieurs auteurs :

- utiliser une chambre d'infiltration rigide, d'environ 0.5 m de diamètre. S'assurer que le rebord de la chambre d'infiltration est ancré au moins de quelques centimètres dans l'interface eau-sédiments. Pour les sédiments sableux, 1 heure est un temps suffisant pour stabiliser l'environnement du dispositif avant le début des mesures.
- caractériser hétérogénéité spatiale, à une échelle appropriée à la zone d'étude. L'effet de l'affouillement peut être significativement réduit en utilisant un bas profil de chambre.
- utilisez un abri pour protéger le sac de collecte des vagues et des courants, et faire en sorte que l'orientation du sac soit maintenue dans une position qui ne ferme pas l'ouverture ou ne restreint pas le système de connexion sac - chambre d'infiltration.
- utiliser un large diamètre de connexion, 9 mm ou plus est suggéré.
- utiliser un sac de collecte à paroi mince, doux et renforcé pour limiter la résistance du sac. La dimension du sac dépendra du taux de suintement (écoulement) et la période pendant laquelle les mesures sont réalisées, un sac plus grand sera nécessaire pour de plus longues périodes de mesure, et localisations avec de plus large taux d'infiltration supposée. Un sac de collecte de 1 à 4 litre est généralement recommandé. Le sac choisi doit être rigide, à paroi mince et sans fuites.
- pré-remplir le sac de 500 à 1000 ml d'eau avant la fixation. Si les infiltrations des eaux de surface vers les eaux souterraines sont prévues, un plus grand volume d'eau initial peut être envisagé. Ne pas remplir le sac à plus de 75 pour cent environ de sa capacité.

- le coefficient de correction a baissé au fil du temps, avec l'amélioration du dispositif de mesure, tenant compte du tableau de correction ci-dessus, on l'envisage entre 1 et 1.1, pour une meilleure estimation des infiltrations.

VI. 1. Construction et installation

Suivant le guideline de dimensionnement, le choix du matériel dépendra des spécificités de la rivière et de la disponibilité du matériel. Le dispositif que nous utiliserons est l'un des trois expérimentés par Katrina (2006), celui qui donna de meilleur résultat sur un cours d'eau (figure 3).



Figure 3 : Dispositif d'installation (Katrina, 2006)

IV.2. Matériels et outils exigés

Les matériels et outils de confection sont disponibles localement.

Matériels

- Le haut ou le bas d'une barrique de 200 litres ou quelque chose de similaire de diamètre environ 56.5cm (barrique usuelle au Burkina Faso, coupée et d'une hauteur de 12 cm environ)
- Bouchon en caoutchouc avec un trou unique percé au milieu pouvant recevoir de façon étanche un tube de 12.5mm. Le trou de sortie est proche d'un coin haut de la barrique
- Tube flexible transparent de 12.5mm, qui s'encastrent parfaitement dans le trou du bouchon en caoutchouc.

- Une tête male de 13mm sur le sac, par lequel ce dernier est connecté au tube, ou un ruban en caoutchouc permettant d'encastrer de façon étanche le tube dans le sac collecteur. (Figure 4 et 5)
- Une valve placée sur le tube, à un quart de la longueur du tube à partir du sac.
- Le sac de collecte plastique de 4l (vessie dégonflée par exemple)
- Un tube en PVC maillé de trous, servant d'abri de protection du sac de collecte
- Un tube de 7mm rigide introduit au dessus de la chambre, pour l'évacuation d'éventuels gaz accumulés
- IPN pour la fixation du tube d'évacuation de l'air.

Les outils

- Maillet en caoutchouc pour aider à enfoncer la barrique dans le sédiment s'il y a besoin.
- Un cylindre gradué pour mesurer le volume d'eau dans le sac de collecte au début et à la fin de la mesure.

IV. 3. Mode opératoire

Les différentes étapes du mode opératoire sont définies comme suit (Figure 4) :

- trouver en endroit libre de végétation, de débris, et de gros cailloux. Comme la direction et le taux de flux peut varier selon les endroits, il est recommandé d'installer plusieurs « seepage meter » sur un segment.
- l'enfoncer lentement dans le sédiment jusqu'à une étanchéité adéquate. Une profondeur de 8 cm est considérée comme suffisante à moins que le sédiment soit extrêmement mou. La chambre peut être vissé ou enfoncé (avec l'aide du maillet en caoutchouc si nécessaire) laissant une espace de 2 cm à 7,62 cm au dessus de la surface du sédiment (2 cm est recommandé). Le couvercle de la chambre ne devrait pas toucher le sédiment. Laisser le côté portant le trou de sortie un peu surélevé par rapport au reste de la chambre.

- une fois installé, il est désirable de donner au sédiment le temps pour équilibrer la possible pression de sédiment pendant l'installation (1 à 24 heures, en fonction de la nature du sédiment). Environ 1h pour les fond sableux
- pré remplir le sac collecteur de 500 ml d'eau
- pour s'assurer que l'eau dans le sac est en équilibre hydraulique avec la surface du plan d'eau, le sac est descendu lentement dans l'eau avec la vanne ouverte, et l'extrémité du tube laissé au dessus de la surface de l'eau. Tout l'air à l'intérieur du sac est ainsi expulsé à travers le tube. Fermer ensuite la vanne. Prendre soin de ne pas perdre une partie de l'eau du sac durant ce processus.
- joindre le tube à la chambre à travers la perforation latérale, en submergeant premièrement le sac et la valve pour permettre aux bulles d'air dans le tube entre la valve et l'extrémité vers la chambre, de s'échapper.
- placer le sac dans l'abri en PVC, le placer proche du rivage du cours d'eau où le courant est plus faible, pour minimiser les risques de fuites induites par l'écoulement de l'eau.
- la mesure des infiltrations commence par l'ouverture de la valve et la prise du temps.
- une fois que le temps programmé est expiré, fermer la valve, noter le temps, retirer le bout du tube de la chambre et sortir l'ensemble tuyau et sac de l'eau. Puis mesurer le volume de l'eau contenu dans le sac via le cylindre gradué.
- l'écoulement et la direction de l'écoulement entre l'eau souterraine et l'eau de surface est mesuré par le changement du volume de l'eau dans le sac de collecte en une période de temps connue. Le temps qui sera nécessaire pour une mesure correcte variera pour chaque application, avec des endroits à faible flux) exigeant plus de temps. Une (1) à deux (2) heures est recommandé pour le point de départ. S'il n'est apparu aucun changement dans le volume après 1 à 2 heures, il faut refaire les mesures en utilisant une plus longue période de temps. Si après 1- 2 heures le sac de collecte est complètement rempli ou complètement vide, alors la mesure devrait être répétée en utilisant une plus courte période de temps.
- le débit d'infiltration Q est obtenu par :

$$Q = \frac{V_{Final} - V_{départ}}{\text{Temps écoulé} * \text{surface délimitée par la chambre}}$$

Une valeur positive de Q signifie que la direction de l'écoulement est de bas en haut, soit de l'eau souterraine vers l'eau de surface. Une valeur négative signifie que la direction de l'écoulement est descendante de l'eau de surface vers l'eau souterraine.

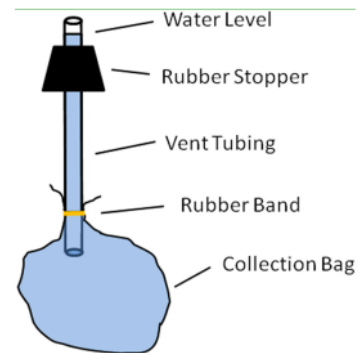


Figure 3. The collection bag assembly with the vent tube inserted through the rubber stopper and attached to the collection bag that has been purged of air.

Figure 4: dispositif groupé sac collecteur – abri – et tube de connexion

IV. 4. Potentiels sources d'erreurs causées par la mise en œuvre

Rosenberry D.O. and LaBaugh J.W. (2008) dans une analyse des travaux de plusieurs auteurs, a relevé quelques sources d'erreurs d'installation pouvant impacter sur les résultats :

- adhésion faible entre la chambre et le sédiment, instabilité du cylindre,
- temps insuffisant entre l'installation et la première mesure,
- mauvaise procédure de mise en place du sac collecteur, pouvant entraîner une grande résistance au mouvement de l'eau du sac,
- erreur de mesure du volume d'eau du sac collecteur,
- flexibilité du cylindre constituant la chambre
- volume du sac collecteur insuffisant ou volume de l'eau initial du sac insuffisant,
- accumulation du gaz comprimé dans la chambre,
- coefficient de correction du flux mesuré non adéquat,
- caractérisation insuffisante de l'hétérogénéité spatiale des échanges d'eau.

VII. Mise en œuvre sur la rivière Kou

La mise en œuvre du « seepage meter » sur la rivière kou, compte tenu d'autres études en cours, sera optimisée par :

- une exploitation et analyse des données produites par les sondes hydrométriques installées le long de la rivière. Il s'agira en occurrence, d'élaborer un bilan de la rivière, sur les tronçons délimités par les différentes stations à sonde hydrométrique. Ce bilan permettra d'orienter sur les sens d'échanges des flux d'eau entre souterrain et surface, ce qui favorisera un meilleur maillage spatial des « seepages meters »
- des sorties de terrain pour le choix des sites optimaux de mesure, et pour un dimensionnement convenable de l'appareil.

Une première mesure de flux a été effectuée en aval des sources de Nasso (figure 5a). Le dispositif mise en place était constitué de :

- une barrique en aluminium de diamètre 56.5cm, et 17 cm de hauteur
- le sac de collecte en matière plastique de plus 4l
- tube flexible transparent de 12.5mm, qui s'encastrent parfaitement dans le trou percé sur la barrique, et dans le sac collecteur
- une valve placée sur le tube, à un quart de la longueur du tube à partir du sac collecteur.
- un tube de 7mm rigide introduit au dessus de la chambre, pour l'évacuation d'éventuels gaz accumulés
- tige en bois pour la fixation du tube d'évacuation de l'air.

Des mesures ont été effectuées après 16h30mn et 118h15mn dès fermetures de la vanne de sectionnement. Les flux obtenus sont respectivement de **0.173** et **0.172** L/h/m².

Ces chiffres quasiment identiques pour des temps de mesure différents démontrent d'une certaine cohérence des mesures effectuées par le dispositif en place. Par ailleurs les résultats montrant une alimentation de la rivière par l'eau souterraine sont en adéquation avec les tendances données par les niveaux piézométriques de la plaine alluviale et les bilans d'eau effectués sur la zone.

L'expérience menée avec un temps de collecte de 118h15mn à montré qu'il y'avait de gros risque de perforation du collecteur par les débris flottants, même dans cette section de la rivière interdite aux activités humaines. Il sera donc nécessaire, dans la suite, d'associer un abris de protection au sac collecteur (figure 5b).



a)

b)

Figure 5 : Dispositif seepage meter installé sur la rivière Kou, avec sac collecteur sans protection (a) et avec un abri de protection (b)

VIII. Conclusion

Les seepage meters sont basés sur un concept simple et de confection peu coûteuse. Pour obtenir des flux d'échanges moyens représentatifs, cependant, les mesures à plusieurs emplacements sont exigées sur le segment de tronçon d'étude.

Mais les flux mesurés sur les cours d'eau avec le seepage meter ne pourraient pas entièrement être attribués au flux d'échange, car le dispositif lui même constitue un obstacle au flux de courant du cours d'eau et peut inciter le flux interstitiel dans la chambre de mesure.

Cependant les premiers résultats obtenus sur la rivière Kou laisse croire une certaine fiabilité du dispositif mis en place, et peut donc être dupliqué le long de la rivière pour d'autres mesures.

IX. Bibliographies

Kalbus, E., F. Reinstorf, et al. (2006). "Measuring methods for groundwater - surface water interactions: a review." Hydrology and Earth System Sciences **10**: 873-887.

Katrina, A. and D. Reynolds (2006). comparison of techniques for investigating groundwater-surface water interactions along the Brunswick River, Western Australia. Department of water, Government of western Australia, The University of western Australia: 141.

Martinez C. J. (2010). "Seepage Meters for Measuring Groundwater–Surface Water Exchange." Agricultural and Biological Engineering Departement, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida: 5p.

Murdoch L.C. and Kelly S.E. (2003). "The factors affecting the performance of conventionnal seepage meters." Water Resour. Res. **39**(6): 6.

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.