

## Estimation des paramètres hydrodynamiques des sols par la méthode Beerkan



**IABC**  
International  
**TUNISIA**  
2015

S. KANZARI\*, H. SAHRAOUI<sup>1</sup>, S. BEN MARIEM<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts, Ariana

\* Auteur correspondant: sabri.kanzai@gmail.com

**Abstract**-Soil hydraulic parameters estimation is essential in many areas of agriculture studies. The Beerkan method allows the estimation of saturated hydraulic conductivity and other water transfer parameters in the soil. In this study, Beerkan Method was used for a silty-clay soil with four added volumes of water (200 ml, 300 ml, 400 ml and 500 ml). The results were processed in a computer program based on the BEST algorithm for estimating soil hydraulic parameters. The volume of added water during the experimental test has not a significant effect on the estimated parameters. The studied method will allow the characterization of the spatial and temporal variability of these parameters.

**Keywords:** Soil, Infiltration, Beerkan Method, Saturated Hydraulic Conductivity, Hydraulic Properties

**Résumé** - L'estimation des paramètres hydrodynamiques des sols est une étape nécessaire dans plusieurs domaines d'étude en agriculture. La méthode Beerkan permet l'estimation de la conductivité hydraulique à saturation et les autres paramètres de transfert de l'eau dans le sol. Dans cette étude, la méthode Beerkan a été utilisée pour un sol limono-argileux avec quatre volumes d'eau ajoutée (200 ml, 300 ml, 400 ml et 500 ml). Les résultats obtenus ont été utilisés dans un programme informatique basé sur l'algorithme BEST pour l'estimation des paramètres hydrodynamiques des sols. Le volume d'eau ajouté lors de l'essai expérimentale n'a pas un effet significatif sur les paramètres estimés. La méthode étudiée permettra l'étude de la variabilité spatiale et temporelle de ces paramètres.

**Mots clés:** Sol, Infiltration, Méthode Beerkan, Conductivité hydraulique à saturation, Paramètres hydrodynamiques

### 1. Introduction

La demande croissante en eau, la dégradation de sa qualité du fait des activités industrielles, agricoles, anthropiques et de la salinisation ont suscité un grand intérêt pour la compréhension des propriétés hydrodynamiques des sols, fortement influencées par la structure et la texture des sols (van Genuchten et al., 1991 ; Simunek et al., 1999) et la présence de solutés. Ces paramètres sont utilisés comme entrée dans les modèles de simulation numériques et de transport de solutés. La fiabilité de ces méthodes dépend de la précision des mesures des paramètres hydrodynamiques des sols. Plusieurs méthodes directes de mesures in situ et au laboratoire ont été développées, cependant la plupart de ces méthodes sont coûteuses, laborieuses, pas très précises et nécessitent beaucoup de temps (van Genuchten et al., 1991 ; Ungaro et Calzolari, 2000 ; Kanzari et al., 2014).

L'utilisation des méthodes indirectes constitue une alternative pour l'estimation des paramètres hydrauliques des sols. Ces méthodes théoriques sont basées sur les propriétés des sols telles que la distribution des pores et donc l'utilisation de fonctions pédotransfert (Ungaro et Calzolari, 2000). Elles permettent à partir de méthodes de mesures simples comme la méthode de l'évaporation de déterminer la courbe de rétention afin d'en déduire celle de la conductivité hydraulique à partir de modèles analytiques. Plusieurs méthodes empiriques d'estimation de la courbe de rétention et de la courbe de conductivité hydraulique ont été développées tels que les modèles de : Gardner (1958) ; Brooks and Corey (1964); van Genuchten (1980) ; Mualem (1976) ; van Genuchten et al. (1991), J.B. Kool et al.



(1987). Ces modèles sont simples d'utilisation et précis pour la plupart des textures; mais sont des fois imprécis surtout pour des textures très fines (Kanzari et al., 2012).

L'objectif de cette étude est d'évaluer la méthode Beerkan pour la détermination des paramètres hydrodynamiques des sols et d'étudier l'influence du volume d'eau ajouté sur les mesures de ces paramètres.

## 2. Matériel et Méthodes

### *Expérimentation – Essai Beerkan*

Le matériel nécessaire pour l'essai est listé comme suit :

- Bouteilles d'eau ;
- Verre gradué ;
- Cylindres en pvc de 16 cm de diamètre ;
- Marteau pour enfoncer le cylindre dans le sol.

Pour bien mener l'essai Beerkan il faut choisir un lieu dans la parcelle privé de cailloux et de végétation. Ensuite, déposer l'anneau et l'insérer à une profondeur de 1cm. L'horizontalité de l'anneau doit être assurée pour que l'eau se répartisse de façon homogène. Un volume connu d'eau est ajouté et on note le temps d'infiltration. Quatre volumes d'eau ont été ajoutés (200 ml, 300 ml, 400 ml, 500 ml). Pour chaque volume, 3 répétitions ont été réalisées. Un total de 12 essais Beerkan ont été effectués sur une période de 2 semaines. La procédure est arrêtée lorsque le temps d'infiltration devient constant : Pour calculer le temps d'infiltration, à  $t = 0$  s on verse l'eau dans le cylindre et on déclenche le chronomètre, une fois l'eau s'est complètement infiltrée on note le temps d'infiltration et puis on verse un second volume d'eau il s'agit de la deuxième itération .On arrête le test lorsque le temps d'infiltration devient constant.

### *Le logiciel BEST*

BEST (beerkan estimation of soil transfer parameters ) est un modèle développé par Lassabatère et al. (2006) pour faciliter la détermination des paramètres hydrodynamiques du sol. Bagarello et al. (2013) a proposé un algorithme alternatif en faisant une utilisation exclusive du régime permanent au cours de l'infiltration. L'avantage de l'algorithme BEST est que les problèmes de l'utilisation de l'infiltration transitoire sont évités.

La procédure BEST se concentre sur la relation de Van Genuchten (1980) pour la courbe de rétention et avec la condition de Burdine (1953) et la relation de Brooks et corey (1964) pour la conductivité hydraulique :

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[ 1 + \left( \frac{h}{hg} \right)^n \right]^{-m}$$

$$m = 1 - \frac{2}{n}$$

$$\frac{k(\theta)}{k_s} = \left( \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\eta$$

$$\eta = \frac{2}{m+n} + 3$$

où :

- $\theta$  est la teneur en eau volumique du sol
- $h(L)$  est la pression de l'eau
- $k(L/T)$  est la conductivité hydraulique
- $n$ ,  $m$  et  $\eta$  sont des paramètres de forme
- $hg(L)$ ,  $\theta_s$  (la teneur en eau à la saturation) ,  $\theta_r$  (teneur en eau résiduelle) sont des paramètres d'échelles .

L'algorithme de calcul a été traduit sous un classeur Excel (Microsoft Office) par Di Prima (2013). Le logiciel présente une interface très simple dont les paramètres d'entrée sont :

- Le diamètre de l'anneau ;
- Le nombre d'itération (steady state) ;
- La teneur en eau du sol : l'état initial du sol est état sec proche de son point de flétrissement permanent (10 % d'humidité) ;
- La composition granulométrique du sol. Le sol de la parcelle expérimentale est un sol limono-argileux (20 % Sable – 30 % Argile – 50 % Limon).
- Les données expérimentales : dose d'eau infiltrée et temps d'infiltration.

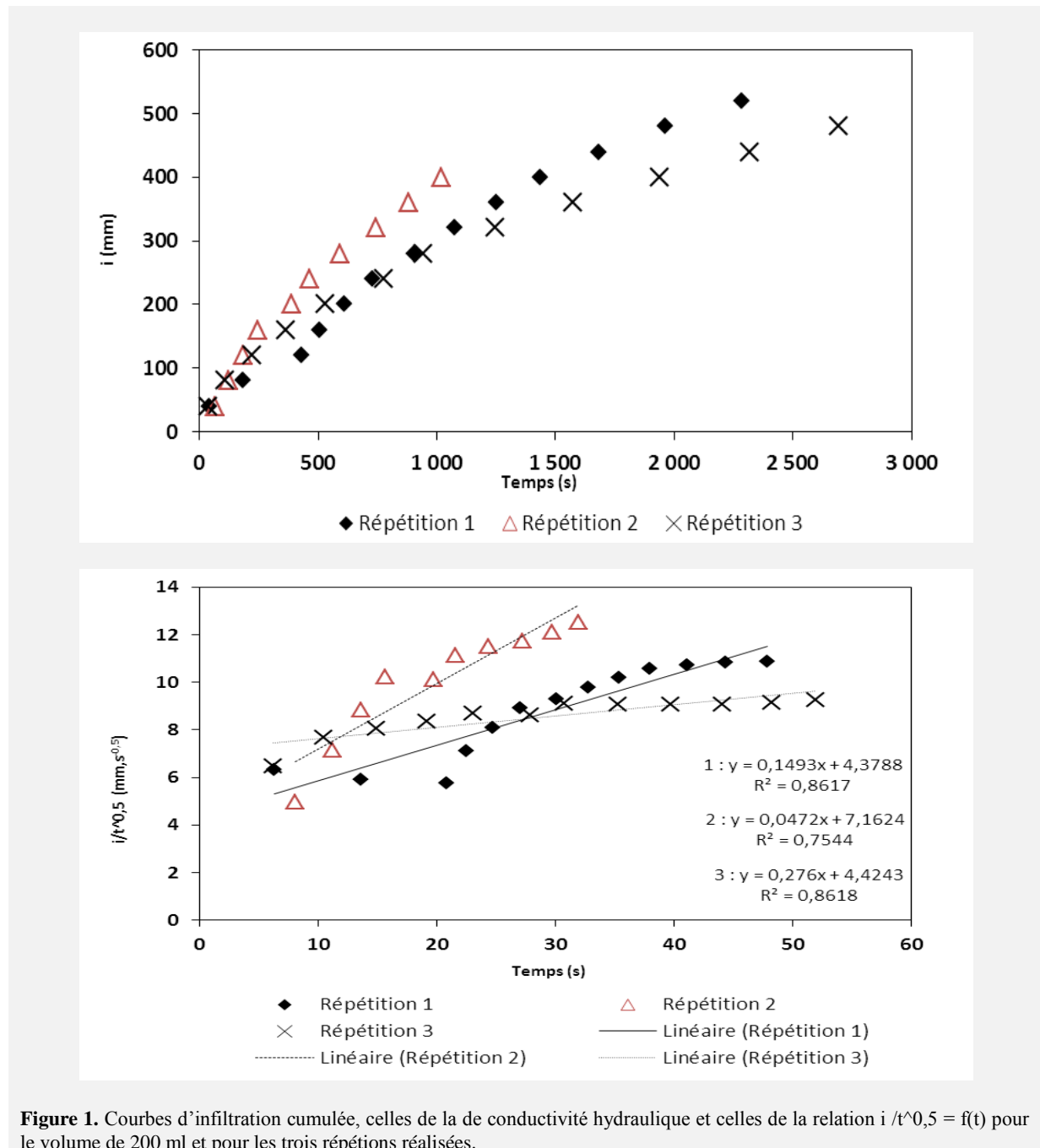
Comme paramètres de sortie le logiciel permet l'estimation des paramètres  $\alpha, \theta_s, m, n, \eta$ .

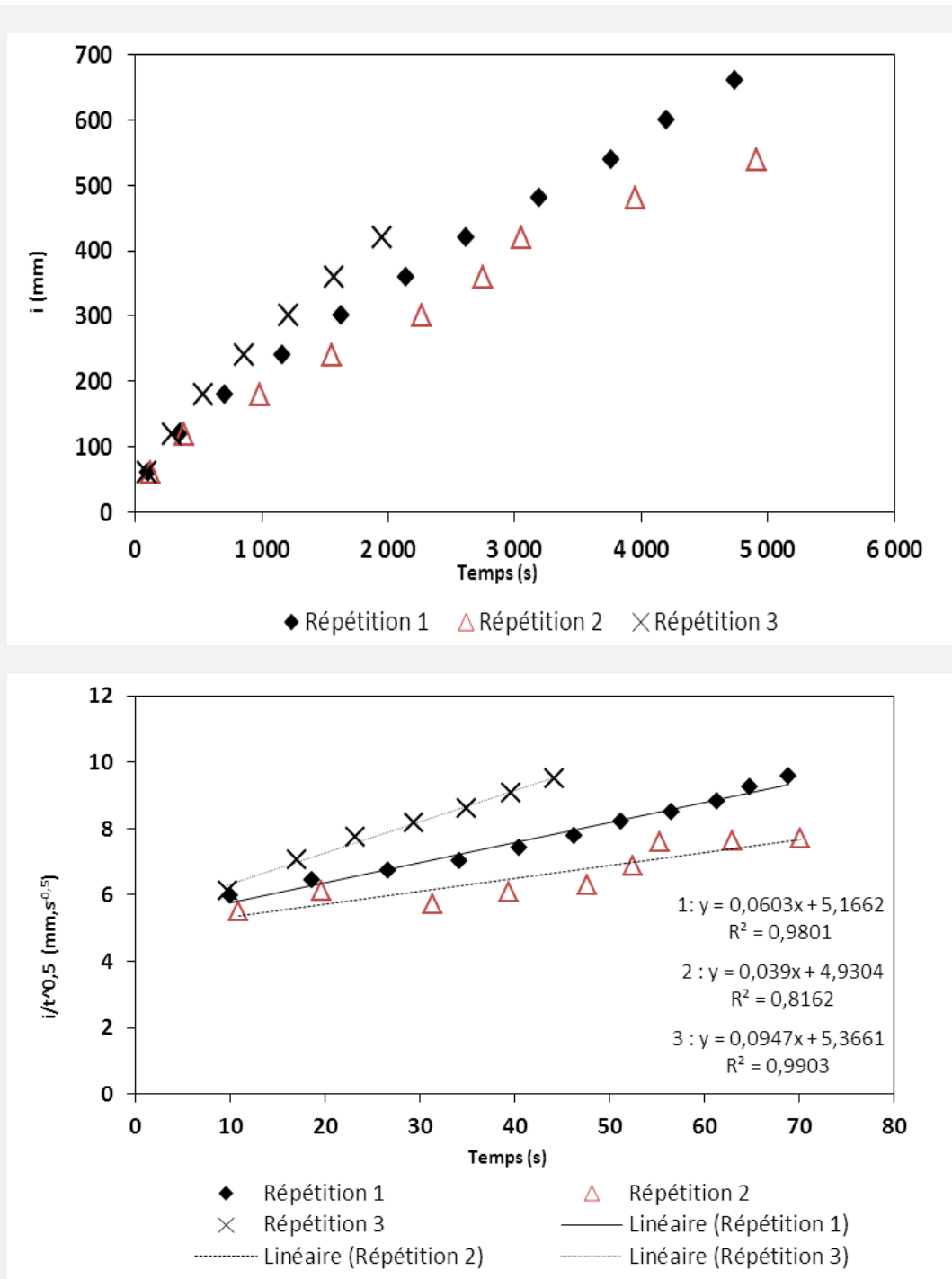
### 3. Résultats et Discussion

#### 3.1. Conductivité hydraulique à saturation

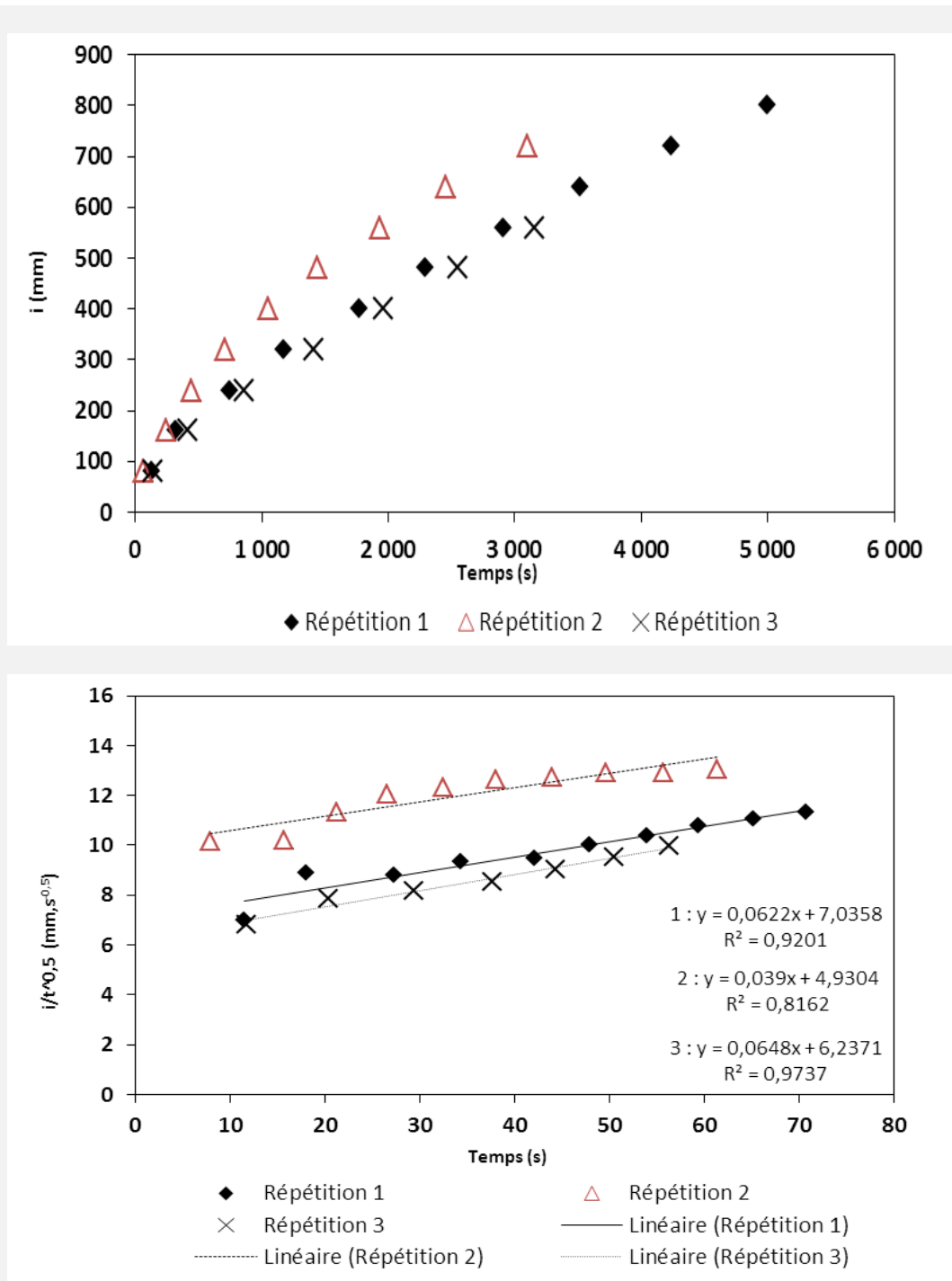
Pour chaque volume d'eau ajoutée lors de l'essai Beerkan, les courbes d'infiltration  $i$  (mm) en fonction du temps, les courbes de conductivité hydraulique et les courbes  $i/t^{0,5}$  en fonction du temps ont été représentées (Figures 1, 2, 3 et 4).

Une droite de régression linéaire a été ajoutée pour chaque courbe de relation  $i/t^{0,5} = f(t)$ . Cette linéarisation a permis l'estimation des paramètres  $b_1$  et  $\alpha$  pour le calcul de  $K_s$  par la formule proposée par Bagarello et al. (2013).

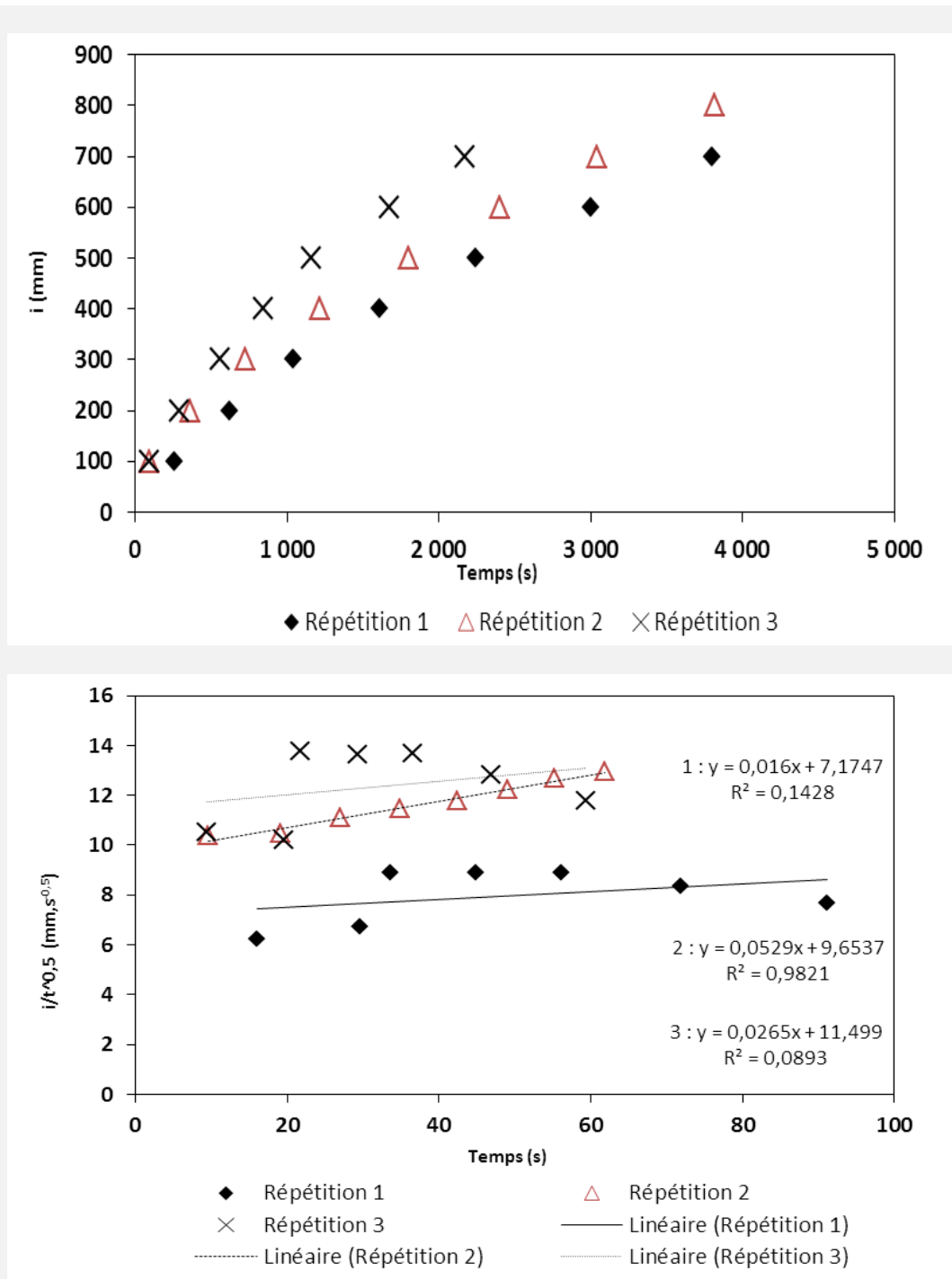




**Figure 2.** Courbes d'infiltration cumulée, celles de la de conductivité hydraulique et celles de la relation  $i/t^{0,5} = f(t)$  pour le volume de 300 ml et pour les trois répétitions réalisées.



**Figure 3.** Courbes d'infiltration cumulée, celles de la de conductivité hydraulique et celles de la relation  $i/t^{0,5} = f(t)$  pour le volume de 400 ml et pour les trois répétitions réalisées.



**Figure 4.** Courbes d’infiltration cumulée, celles de la de conductivité hydraulique et celles de la relation  $i / t^{0,5} = f(t)$  pour le volume de 500 ml et pour les trois répétitions réalisées.

Les différentes courbes d’infiltration cumulée et celles de la conductivité hydraulique montrent qu’il n’a pas de différence entre les répétitions pour chaque volume.

Cependant, de mauvaises corrélations ont été observées pour les courbes  $i / t^{0,5} = f(t)$  pour les volumes de 200 ml et celui de 500 ml. Ceci, peut s’expliquer par le faite que si le volume d’eau ajoutée est relativement faible, la saturation du sol n’est pas homogène alors qu’une dose élevée nécessite un temps d’infiltration long ce qui favorise l’infiltration horizontale de l’eau.

Les volumes de 300 ml et de 400 ml semblent être idéals pour l’essai Beerkan avec un anneau de diamètre 16 cm puisque les corrélations obtenues sont supérieures à 0,9 (Figures 2 et 3).

Le tableau 1 comporte les valeurs de  $K_s$  calculées pour les différents volumes et pour chaque répétition. Les valeurs de  $K_s$  sont autour d'une moyenne de  $0,10 \text{ mm.s}^{-1}$ .

**Tableau 1.** Valeurs calculées de la conductivité hydraulique à saturation.

ID	b1	$\alpha$	$K_s \text{ (mm.s}^{-1}\text{)}$	$K_s \text{ Moy. (mm.s}^{-1}\text{)}$
200-1	0,15	0,02	0,11	
200-2	0,27	0,02	0,22	<b>0,12</b>
200-3	0,05	0,02	0,03	
300 -1	0,06	0,02	0,10	
300-2	0,04	0,01	0,09	<b>0,10</b>
300-3	0,10	0,02	0,11	
400-1	0,06	0,02	0,10	
400-2	0,04	0,01	0,09	<b>0,10</b>
400-3	0,06	0,02	0,10	
500-1	0,02	0,01	0,08	
500-2	0,05	0,02	0,10	<b>0,09</b>
500-3	0,03	0,01	0,09	

### 3.2. Paramètres hydrodynamiques

Les valeurs des paramètres hydrodynamiques estimées pour chaque volume d'eau ajoutée et chaque répétition sont consignées dans le tableau 2. Les valeurs de  $\theta_r$  et de  $\theta_s$  sont identiques pour toutes les volumes parce qu'elles ont été estimées à partir de la composition granulométrique du sol. Concernant les autres valeurs on constate que sont presque les mêmes pour les différents essais.

**Tableau 2.** Valeurs estimées des paramètres hydrodynamiques.

ID	$\theta_r \text{ (m}^3\text{m}^{-3}\text{)}$	$\theta_s \text{ (m}^3\text{m}^{-3}\text{)}$	m	n	$\eta$
200-1	0,1	0,46	0,04	2,09	25,81
200-2	0,1	0,46	0,08	2,16	15,21
200-3	0,1	0,46	0,06	2,13	18,71
300-1	0,1	0,46	0,06	2,13	18,71
300-2	0,1	0,46	0,08	2,16	15,21
300-3	0,1	0,46	0,06	2,13	18,71
400-1	0,1	0,46	0,07	2,14	16,94
400-2	0,1	0,46	0,06	2,13	18,71
400-3	0,1	0,46	0,06	2,13	18,71
500-1	0,1	0,46	0,07	2,14	16,94
500-2	0,1	0,46	0,06	2,13	18,71
500-3	0,1	0,46	0,08	2,16	15,21

### 4. Conclusion

La détermination des propriétés hydrodynamiques des sols est une étape primordiale dans la modélisation des phénomènes de transport dans les sols. Les difficultés des mesures et leur coût exorbitant a conduit au choix de méthodes de contournement en passant par des fonctions de pédotransferts et des modèles analytiques associés à l'utilisation des programmes numériques. Cette étude a permis, à partir d'une méthode simple, de déterminer les paramètres hydrodynamiques des sols. Comme perspectives de ce travail, on propose d'étudier l'effet des sels sur ces paramètres ainsi que d'étudier leur variabilité spatiale et temporelle à l'échelle de la parcelle.



## 5. Références

- Babacar N (2000)** Etude expérimentale des propriétés hydrodynamiques des sols cultivés par la méthode de Wind. Grenoble, France.
- Bagarello V, Castellinib M, Di Prima S, Giordano G, Iovino M (2013)** Testing a simplified approach to determine field saturated soil hydraulic conductivity. *Procedia Environmental Sciences* 19: 599 – 608.
- Di Prima S et al. (2016)** Testing a new automated single ring infiltrometer for Beerkan infiltration experiments. *Geoderma* 262: 20-34.
- Kanzari S, Hachicha M and Bouhlila R (2012)** Laboratory Method for Estimating Soil Water Retention Properties of an Unsaturated Soils. *Walailak Journal of Science and Technology*, 9(4): 361-367.
- Kanzari S, Hachicha M and Bouhlila R (2014)** Simple Evaporation Method for Estimating Soil Water Retention Properties of an Unsaturated Zone in Bouhajla (Kairouan - Central Tunisia). *The Experiment Journal*, 26(4): 1834-1843.
- Kool JB, Parker JC, and van Genuchten MTh (1985)** Determining Soil Hydraulic Properties from One-step Outflow Experiments by Parameter Estimation: I. Theory and Numerical Studies. *Soil Science Society of America Journal* 49: 1348-1354.
- Lassabatère L, Angulo-Jaramillo R, Soria Ugalde J.M, Cuenca R, Braud I, Haverkamp R (2006)** Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments – BEST. *Soil Science Society of America Journal* 70: 521-532.
- Simunek J, Wendroth O, van Genuchten MTh (1999)** Estimating unsaturated soil hydraulic properties from laboratory tension disc infiltrometer experiments, *Water Resources Research* 35 (10): 2965—2979.
- Ungaro F, Calzolari C (2000)** Using existing soil databases for estimating retention properties for soils of the Pianura Padano-Veneta region of North Italy. *Geoderma* 99: 99-121.
- van Genuchten MTh (1980)** A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44: 892-898.
- van Genuchten MTh, Leij F, Yates SR (1991)** The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils. Riverside, California.