

Effet de la texture du sol sur l'infiltration de l'eau dans les séguias en terre au périmètre de Jorf (Province d'Errachidia)

M. BAKACHE¹, A. HAMMANI¹, M KUPER¹, E. BARTALI¹

(Reçu le 05/12/2018; Accepté le 13/05/2019)

Résumé

Pour pouvoir améliorer l'efficacité de transport d'eau au niveau des séguias en terre dans les périmètres de la Petite et Moyenne Hydraulique au Maroc, la maîtrise du comportement de l'infiltration dans les sols composant ces séguias est une étape incontournable. C'est dans ce sens, que le présent travail s'est consacré à l'étude de l'infiltration au laboratoire sur des échantillons de sol prélevés à partir des séguias Lgdima et Hanabou sises dans le périmètre de Jorf situé dans la province d'Errachidia. Le dispositif expérimental se compose d'éprouvettes en verre contenant les échantillons à tester. Les éprouvettes ont été soumises à une charge constante d'eau durant tous les essais, qui ont consisté en l'enregistrement du temps d'infiltration en fonction de l'avancement du front d'humidification dans les éprouvettes. Tous les échantillons ont subi la même énergie de compactage à sec. Dans toutes les expérimentations, les mesures de l'infiltration ont concerné tout d'abord l'échantillon du sol d'origine non compacté, compacté ensuite mélangé à des fractions d'argile selon des pourcentages allant de 5 à 25% par pas de 5%. Les deux paramètres analysés dans les expérimentations sont le temps d'infiltration de l'eau nécessaire pour traverser entièrement la colonne du sol contenue dans l'éprouvette, et le taux d'infiltration déterminé à partir de la variation des cotes d'avancement du front d'humidification par rapport à la variation du temps d'infiltration. L'objectif de ce papier est de tester l'impact de changement dans les caractéristiques du sol sur le comportement de l'infiltration, tout en gardant constants les autres paramètres tels que la teneur en eau initiale et le degré de compactage. Les résultats ont montré que, dans une première étape de l'expérimentation, la comparaison entre les temps d'infiltration dans le même échantillon non compacté puis compacté, a permis de constater que les deux temps sont dans un rapport supérieur à 2. Ceci montre l'effet du compactage sur le ralentissement du front d'humidification et donc sur celui de l'infiltration. Dans une seconde étape, le temps d'infiltration a été mesuré dans un cas où les deux échantillons d'origine ont été compactés puis mélangés à l'argile suivant les proportions indiquées ci-dessus. Les résultats de ces tests ont indiqué que la variation du temps d'infiltration est une fonction croissante de la fraction d'argile apportée et il se trouve que cette variation est mieux traduite par une loi parabolique de second ordre avec des coefficients de détermination (R^2) de 0,972 et 0,983, respectivement, pour les échantillons Lgdima et Hanabou. D'autre part, l'étude de la variation du taux d'infiltration $I(t)$ en fonction du temps t , a permis d'aboutir dans le cas des deux échantillons, à des courbes dont le type de régression le mieux adapté est une fonction puissance avec un coefficient de détermination (R^2) compris entre 0,909 et 0,995. L'équation du taux d'infiltration trouvée est: $I(t) = \alpha t^{-\beta}$, α et β sont des coefficients qui varient d'un échantillon à un autre et d'un essai à un autre.

Mots clés: Infiltration, front d'humidification, fraction d'argile, taux d'infiltration, compactage.

Effect of soil texture on water infiltration in soils of Jorf irrigation district (Errachidia province)

Abstract

To be able to improve the conveyance efficiency of water within earthen irrigation channels in small and medium irrigated areas in Morocco, the control of the infiltration behavior in the soil composing these irrigation channels is a stage impossible to circumvent. This is why this work was devoted to the study of the infiltration at the laboratory on samples of soil taken from the irrigation channels Lgdima and Hanabou located in the perimeter of Jorf which belongs to the province of Errachidia. The experimental device is composed of test-tubes out of glass containing the samples to be tested. The test-tubes were subjected to a constant water head during all the tests, which consisted of the recording of the infiltration time according to the advance of the humidification face in the test-tubes. All the samples underwent the same energy of dry compaction. In all the experiments, the infiltration measurements concerned the samples from origin soils not compacted, then compacted and finally mixed with fractions of clay according to percentages going from 5 to 25% by step of 5%. The two parameters analyzed in the experiments are the water infiltration time necessary to cross entirely the column of the soil sample contained in the test-tube, and the infiltration rate determined on the basis of the ratio between the variation of the levels of the humidification advance face and the variation of the infiltration time. The objective of this paper is to test the impact of change in the soil characteristics on the infiltration behavior, while keeping constant the other parameters such as the initial water content and the compaction degree. The results showed in a first stage of the experimentation, that the comparison between infiltration times in the same sample not compacted then compacted, allows us to get a ratio between the two times higher than 2. This shows the effect of the compaction on the deceleration of the humidification face and thus on that of the infiltration. In one second stage, the infiltration time was measured in a case where the two samples of origin soil were compacted then mixed with clay according to the proportions indicated above. The results of these tests indicated that the variation of the infiltration time is an increasing function of the clay fraction brought and it is that this variation is better represented by a second order parabolic law with coefficients of determination (R^2) of 0,972 and 0,983, respectively, for Lgdima and Hanabou samples. The study of the variation of the infiltration rate $I(t)$ versus the time t , made it possible to get in the case of the two samples, curves whose the best fit is a function power with a coefficient of determination R^2 ranging between 0,909 and 0,995. The equation of the infiltration rate was found to be as: $I(t) = \alpha t^{-\beta}$, α and β are coefficients which vary from a sample to another and from a test to another.

Key words: Infiltration, Humidification face, Clay fraction, Infiltration rate, Compaction.

¹ Département Eau, Environnement, Infrastructure, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

INTRODUCTION

Une gestion correcte de l'eau d'irrigation peut être considérée comme étant l'un des facteurs essentiels pour assurer une bonne production agricole. Particulièrement dans le secteur de la PMH au Maroc, où une bonne partie des périmètres comporte des réseaux d'irrigation non ou à la limite partiellement revêtus, le besoin d'une gestion appropriée de l'eau d'irrigation s'impose aussi bien au niveau des séguias principales qui jouent le rôle d'adducteurs qu'au niveau des séguias dérivées qui assurent la distribution. Les pertes d'eau dans les canaux en terre sont liées à un certain nombre de facteurs parmi lesquels, on peut citer en premier lieu l'infiltration de l'eau dans le sol. Améliorer l'efficacité de transport ou de distribution de l'eau dans les séguias en terre, revient à chercher les moyens de réduire les pertes d'eau dans ces séguias, et par conséquent limiter l'infiltration de l'eau dans le sol servant d'assise pour ces séguias. Pour atteindre cet objectif, il faut absolument étudier le comportement de l'infiltration dans le sol tout en faisant les prospections nécessaires sur les facteurs qui affectent le mouvement de l'eau dans le sol.

Le taux d'infiltration est un paramètre qui pourrait osciller entre des valeurs basses et élevées au sein d'une même localité en raison de la disparité qui pourrait éventuellement exister entre les caractéristiques des sols au niveau de cette localité.

L'objectif de cette étude est de conduire un certain nombre de tests d'infiltration sur des échantillons prélevés des sols composant deux séguias en terre dans le périmètre de la Petite et Moyenne Hydraulique du Jorf, Province d'Errachidia. Par ces tests, on espère étudier l'impact que pourrait avoir le changement de la texture du sol d'origine sur le comportement de l'infiltration.

Plusieurs travaux de recherche ont été effectués sur l'étude de l'infiltration dans les sols et la consistance de ces travaux diffère selon les objectifs recherchés. Abdelwahab (2000) avait trouvé que la conception, le fonctionnement, la gestion et l'utilisation de l'eau au niveau de la parcelle sont fortement liés aux propriétés de l'infiltration dans le sol. Ceci est expliqué par le fait que le comportement de l'infiltration dans un sol conditionne les autres variables telles que le débit, la longueur de la course d'eau, la profondeur de percolation et autre. Jianfeng and Kenneth (2008), ont fourni un résumé sur les différents modèles d'infiltration. Ils ont montré que le taux d'infiltration est influencé par la teneur en eau initiale, la nature de la surface du sol, la conductivité hydraulique, la texture, la porosité, le degré de gonflement des colloïdes, la matière organique, la durée de l'irrigation et la viscosité de l'eau. Les travaux d'Adeniji *et al.*, (2013) ont permis de conclure que le taux d'infiltration est étroitement lié à la fraction fine du sol. Il a fourni un modèle pour estimer le taux d'infiltration d'un sol à un temps donné si la fraction fine de ce sol est connue. Razavipour et Farrokh (2014) ont trouvé qu'il y a une relation entre la fraction d'argile présente dans le sol et sa perméabilité selon une loi type parabolique d'ordre 2. Ils ont également démontré que la perméabilité des sols testés diminue avec l'augmentation de la fraction d'argile pour arriver enfin à une valeur environ constante lorsque cette fraction dépasse 40%. Ngom (2015) a montré que l'ajout de l'argile au sol d'origine réduit considérablement les vitesses d'infiltration et que cette diminution dépend de la quantité d'argile ajoutée.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Provenance et caractéristiques des échantillons

Les échantillons ont été prélevés à partir des séguias en terre testées dans le périmètre de Jorf situé dans la région de Tafilalet. Les séguias qui ont fait l'objet d'échantillonnage sont: Lgdima et El Alouia Hanabou. L'analyse granulométrique de ces échantillons, réalisée dans le laboratoire du Département des Ressources Naturelles et Environnement de l'IAV Hassan II, a permis de connaître la texture des échantillons analysés. D'autres échantillons d'argile ont été prélevés au niveau de la carrière de l'Oulja de Salé.

Description du protocole expérimental

L'essai expérimental comprend un certain nombre d'étapes allant depuis la préparation de l'échantillon jusqu'à sa mise en eau. Ces étapes consistent en:

- L'enlèvement de toutes les impuretés présentes dans l'échantillon;
- Le broyage des éléments grossiers;
- Le tamisage des échantillons en utilisant un tamis de 2 mm;
- Le séchage à l'étuve pendant 24 heures;

La mise en place de l'échantillon dans l'éprouvette par colonne de 10 cm. Selon le cas, l'échantillon du sol d'origine est mélangé avec l'argile suivant des proportions bien déterminées;

- Le compactage de chaque tranche de sol de 10 cm en maintenant une hauteur de chute et un nombre de coups constants pour chaque essai jusqu'à l'obtention d'une colonne de sol compactée sur une hauteur de 40 cm ;
- L'alimentation en eau continue de l'éprouvette contenant l'échantillon de sol tout en garantissant une charge d'eau constante de 5 cm tout au long de l'essai ;
- La mesure de l'avancement du front d'humectation à l'aide d'une échelle graduée en fonction du temps.

Le matériel utilisé pour la conduite de l'essai est composé d'un dispositif de démonstration de l'infiltration (Figure 1) comprenant une éprouvette graduée de 2000 ml dépourvue de fond pour laisser passer l'eau à travers l'échantillon, un bac qui collecte l'eau infiltrée et un socle qui supporte les éprouvettes. La base de ce socle est équipée de membranes circulaires transpercées selon un maillage approprié assurant la rétention des particules de sol sans bloquer l'acheminement descendant de l'eau. L'appareil est muni de 3 compartiments pour la mise en place des éprouvettes.



Figure 1: Appareil de démonstration de l'infiltration

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Étude de l'infiltration au laboratoire dans les échantillons du sol d'origine

Il a été procédé, dans une première étape, à l'étude du comportement de l'infiltration dans les deux échantillons à savoir: Lgdima et El Alouia Hanabou. Pour chacun des deux échantillons, deux essais d'infiltration ont été conduits. Pour le même échantillon, le premier essai est effectué sans compactage et le deuxième avec compactage. Les mesures enregistrées de l'avancement du front d'humidification dans les échantillons, en fonction du temps, sont illustrées par les courbes de la figure 2.

L'analyse de ces 2 graphiques montre que pour le cas de l'échantillon Lgdima, le temps d'avancement du front d'infiltration nécessaire pour parcourir la colonne de l'échantillon non compacté, est de $t_{nc} = 43$ minutes. En procédant au compactage de l'échantillon, ce temps s'élève à $t_c = 101$ minutes. La différence ($t_c - t_{nc}$) est de 58 minutes et le rapport (t_c/t_{nc}) est de 2,35.

Pour l'échantillon d'El Alouia Hanabou, le temps mis par le front d'infiltration pour traverser l'échantillon non compacté et après compactage sont respectivement $t_{nc} = 51$ min et $t_c = 137$ min. La différence ($t_c - t_{nc}$) est de 86 minutes et le rapport (t_c/t_{nc}) est de 2,69.

On constate également que le temps de traversée des échantillons par le front d'humidification varie légèrement d'un échantillon à un autre dans les deux situations (sans et avec compactage). Dans les deux cas, les temps t_{nc} et t_c relatifs à l'échantillon Hanabou sont supérieurs à ceux de l'échantillon Lgdima. Ce constat met en évidence l'effet de la texture du sol sur le comportement de l'infiltration de l'eau dans un sol. En effet, l'examen des résultats de l'analyse granulométrique montre que l'échantillon Hanabou présente une texture à base de loam tandis que celle de l'échantillon Lgdima est à base d'un loam sableux (En-Nabbagui, 2015). Les proportions des éléments fins (Argiles et limons) étant, respectivement pour Hanabou et Lgdima, de 50,5% et 37,5%.

Par ailleurs, et pour chacun des deux échantillons, une comparaison entre les temps de traversée des colonnes du sol par le front d'humidification, en l'absence et en présence du compactage, montre que le rapport entre les deux temps (t_c / t_{nc}) est supérieur à 2. Ceci montre clairement que le compactage a aussi un effet sur le ralentissement du front d'humidification.

Une interprétation mathématique des courbes présentées dans la figure 2, montre que les équations qui traduisent la variation de la cote du front d'humidification en fonction du temps pour les échantillons Lgdima et Hanabou, sont respectivement:

$$y = -0,451x + 39,82 \quad (R^2 = 0,999)$$

$$y = 0,001x^2 - 0,434x + 37,25 \quad (R^2 = 0,988)$$

D'autre part, en analysant les deux courbes (figure 2) qui correspondent aux échantillons à l'état compacté, on remarque que pour chacune des deux courbes en question, on peut relever l'existence d'une ou deux pentes de droites dont le calcul donne, respectivement, pour les échantillons Lgdima et Hanabou:

$$a_{1(Lgdima)} = 0,455 (\forall t \in [0;22]) \text{ et } a_{2(Lgdima)} = 0,451 (\forall t \in [22;109])$$

$$a_{1(Hanabou)} = 0,426 (\forall t \in [0;16]) \text{ et } a_{2(Hanabou)} = 0,304 (\forall t \in [16;137])$$

Les résultats dégagés permettent de confirmer que l'écoulement de l'eau dans un sol initialement sec s'accompagne au début d'une vitesse d'infiltration initiale élevée qui, par la suite, diminue en fonction du temps et à fur et à mesure que le front d'humectation avance en profondeur.

Étude de l'infiltration au laboratoire dans les échantillons du sol d'origine mélangé avec l'argile

Dans une seconde étape, la même expérimentation a été reconduite sauf que les échantillons testés au départ ont été mélangés à l'argile selon des proportions différentes (5%, 10%, 15%, 20%, 25%). Les courbes de variation de l'avancement du front d'humidification en fonction du temps sont présentées dans les figures 3 et 4.

De ces deux représentations graphiques, il ressort que pour chacun des deux échantillons, le temps de traversée de la colonne du sol par le front d'humidification, varie en fonction de la proportion d'argile apportée à l'échantillon. Il croît, lorsqu'on fait augmenter la fraction d'argile mélangée au sol d'origine compacté. Comme le montre le tableau 1, en faisant varier cette fraction de 0 à 25% par pas de 5%, on constate que pour l'échantillon Lgdima, ce temps varie entre 109 mn et 2380 mn et pour l'échantillon Hanabou, il varie de 137 mn à 1462 mn.

Les données indiquées dans le tableau 1, ont été utilisées pour représenter graphiquement la variation du temps de traversée de la colonne du sol en fonction de la proportion d'argile ajoutée. Les courbes obtenues sont présentées dans la figure 3.

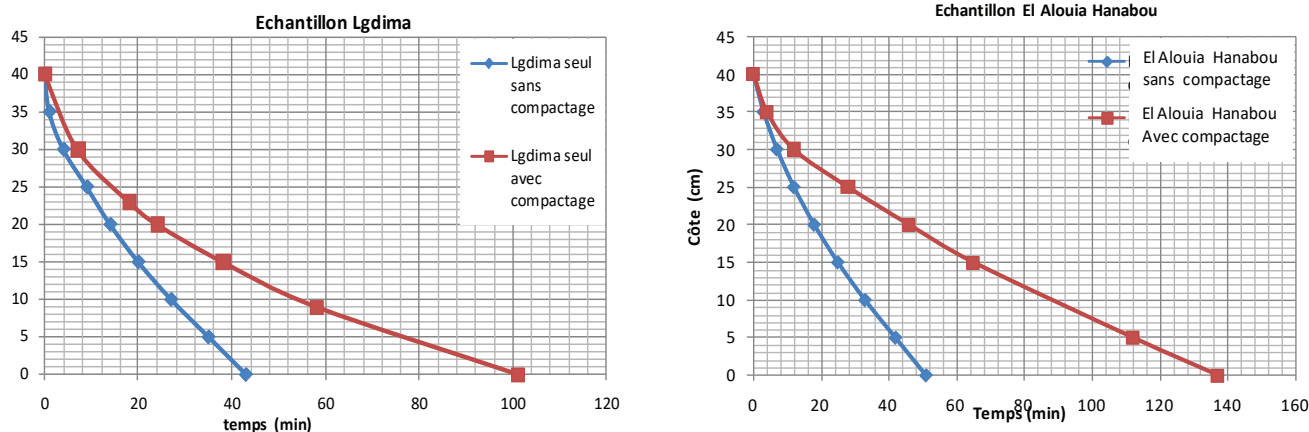


Figure 2: Analyse de l'infiltration dans les échantillons du sol d'origine des séguías Lgdima et El Alouia Hanabou

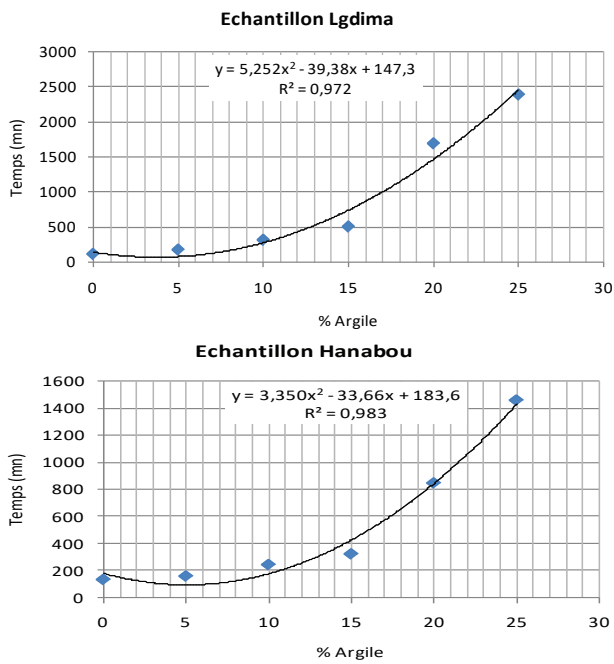


Tableau 1: Temps de traversée du front d'infiltration des échantillons Lgdima et Hanabou en fonction de la fraction d'argile apportée

Fraction d'argile ajoutée (%)	Temps (mn)	
	Échantillon Lgdima	Échantillon Hanabou
0	109	137
5	170	162
10	310	247
10	499	326
20	1685	850
25	2380	1462

Figure 4: Courbes de variation du temps de traversée des colonnes de sol par le front d'humidification dans les échantillons Lgdima et Hanabou

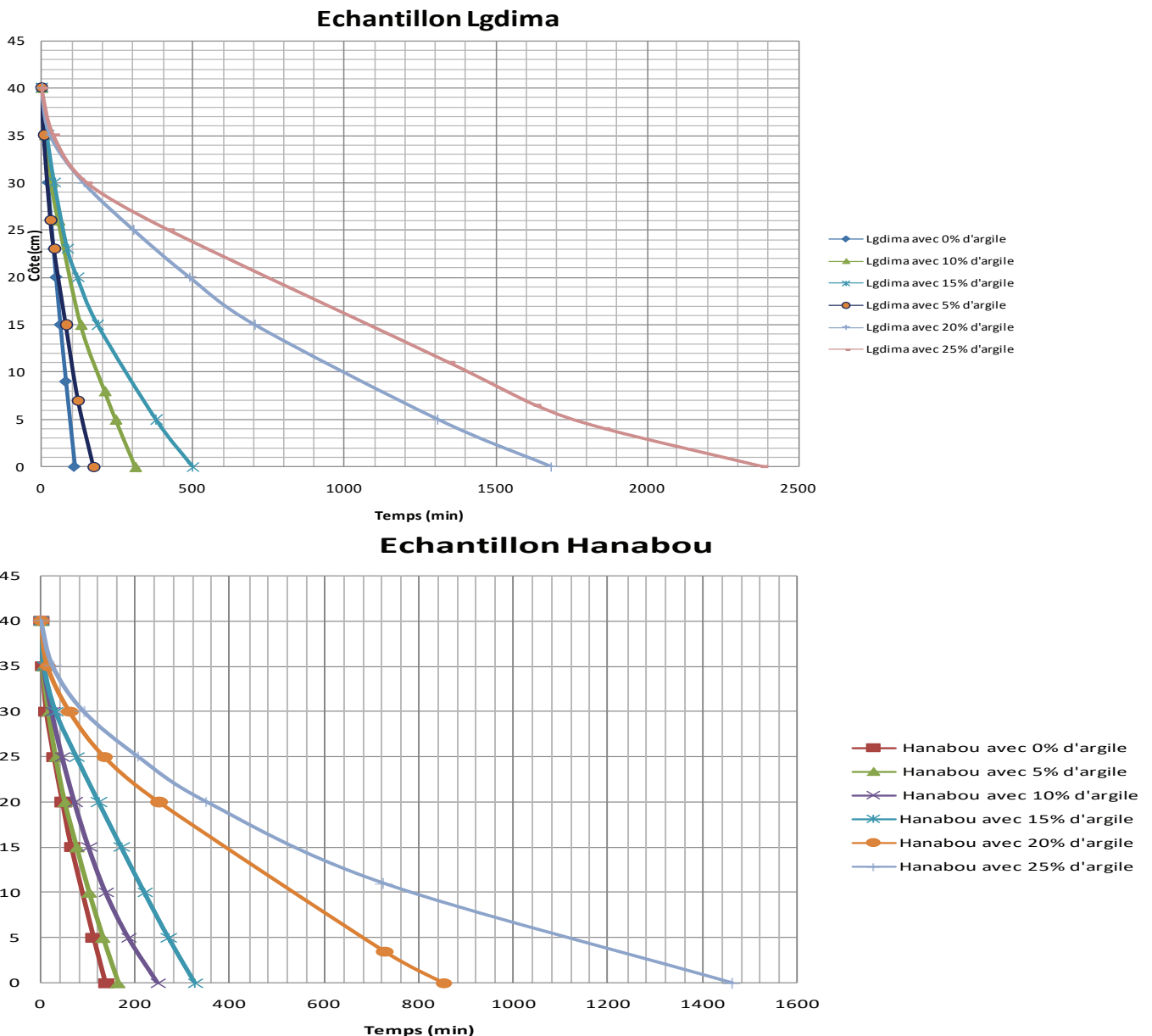


Figure 3: Infiltration dans les échantillons des séguias Lgdima et El Alouia Hanabou mélangés à différentes fractions d'argile

Les deux courbes de la figure 4 mettent en évidence l'existence d'une forte corrélation entre le temps de traversée des colonnes de sol par le front d'humidification et la fraction d'argile apportée au sol d'origine compacté des échantillons Lgdima et Hanabou. Comme le montre la figure 4, la variation du temps d'humidification est une fonction croissante de la fraction d'argile apportée et il se trouve que cette variation est mieux traduite par une loi parabolique de second ordre avec des coefficients de détermination (R^2) de 0,972 et 0,983, respectivement, pour les échantillons Lgdima et Hanabou. Les équations des 2 courbes sont de la forme $ax^2+ bx+c$ et s'expriment par:

Échantillon Lgdima:

$$f(x)=5,252 x^2 - 39,38 x + 147,3 \text{ avec } R^2=0,972$$

Échantillon Hanabou:

$$f(x)=3,350 x^2 - 33,66 x + 183,6 \text{ avec } R^2=0,983$$

La différence entre les coefficients a, b et c des deux équations pourrait être expliquée par la différence dans les textures des deux échantillons. En effet, l'analyse granulométrique des échantillons d'origine avait permis de les classer dans les classes limon sableux (Lgdima) et limon (Hanabou). En addition, même si les deux textures sont rapprochées, il paraît que la proportion des éléments fins par rapport aux éléments grossiers dans les deux échantillons, avant le mélange avec l'argile, pourrait être à l'origine de la différence entre les coefficients des deux équations. En d'autres termes, le temps d'humidification à travers les deux échantillons est conditionné par cette proportion, étant donné que les échantillons ont été soumis aux mêmes conditions de compactage et mélangés à des fractions d'argile identiques.

En utilisant les équations des régressions dégagées à partir des courbes de la figure 4, il serait possible de prévoir le comportement de l'infiltration dans les colonnes testées moyennant une simulation du temps d'humidification nécessaire pour parcourir entièrement la colonne du sol. Les proportions d'argile simulées sont celles qui n'ont

pas fait l'objet de tests au laboratoire. Les résultats sont indiqués dans le tableau 2.

Ces résultats montrent que le temps de traversée de la colonne du sol pourrait varier de 2,6 à 33,8 jours lorsqu'on fait varier la fraction d'argile de 30 à 100% dans le cas de l'échantillon Lgdima. Ce temps varierait de 1,5 à 21,1 jours pour le même intervalle de la fraction d'argile, dans le cas de l'échantillon Hanabou. A la lumière de ces résultats, on peut conclure qu'il est possible de retarder l'avancement du front d'humidification dans une colonne du sol, et par conséquent réduire l'infiltration, sans augmenter infiniment la fraction d'argile à mixer avec le sol d'origine compacté. Pour les deux échantillons, un temps dépassant 1,5 jour est déjà observé lorsqu'on atteint une fraction d'argile de 30%.

Analyse au laboratoire du taux d'infiltration en fonction de l'avancement du front d'humidification dans les échantillons Lgdima et Hanabou

On constate également que le taux d'infiltration, calculé à partir du rapport de la différence de cotes d'avancement du front d'humidification à celle des temps correspondants, varie en fonction de la profondeur d'humidification d'une part; et d'autre part en fonction de la fraction d'argile apportée à l'échantillon. En effet, et comme le montrent les tableaux 3 et 4, le taux d'infiltration décroît en fonction de la profondeur d'avancement du front d'humidification, pour une fraction d'argile fixée. Par ailleurs, ce taux a tendance à diminuer avec l'augmentation progressive de la fraction d'argile mélangée à l'échantillon d'origine compacté. En guise d'illustration, dans le cas de l'échantillon Lgdima, ce taux décroît de 375 à 75 mm/h dans les cinq premiers centimètres comptés à partir de la surface de la colonne du sol, quand le pourcentage d'argile croît de 5 à 25%. Dans le cas de l'échantillon Hanabou, pour la même tranche de la colonne du sol, le taux d'infiltration décroît de 750 à 120 mm/h lorsqu'on augmente la fraction d'argile apportée de 5 à 25%.

Tableau 2:Simulation du temps d'infiltration en fonction de la fraction d'argile ajoutée

	% Argile	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Temps (j)	Lgdima	2,6	3,6	4,8	6,3	7,9	9,6	11,6	13,7	16,1	18,6	21,3	24,1	27,2	30,4	33,8
	Hanabou	1,5	2,2	2,9	3,8	4,8	5,9	7,1	8,4	9,9	11,5	13,1	14,9	16,9	18,9	21,1

Tableau 3:Taux d'infiltration en fonction de l'avancement du front d'humidification pour différentes fractions d'argile apportées à l'échantillon Lgdima

0% Argile		5% Argile		10% Argile		15% Argile		20% Argile		25% Argile	
Cote (cm)	Taux d'infiltration (mm/h)	Cote (cm)	Taux d'infiltration (mm/h)	Cote (cm)	Taux d'infiltration (mm/h)	Cote (cm)	Taux d'infiltration (mm/h)	Cote (cm)	Taux d'infiltration (mm/h)	Cote (cm)	Taux d'infiltration (mm/h)
40		40		40		40		40		40	
35	286	35	375	35	273	35	158	35	100	35	75
30	261	30	250	30	143	30	125	30	27	30	27
23	233	26	240	26	100	23	98	25	18	25	11
20	225	23	164	15	89	20	55	20	16	11	9
15	214	15	123	8	53	15	45	15	14	6	9
9	200	7	120	5	50	5	31	5	10	4	7
0	186	0	84	0	46	0	25	0	8	0	5

Analyse au laboratoire du taux d'infiltration en fonction du temps d'humidification

Dans chaque essai, on a déterminé le taux d'infiltration en fonction du temps d'avancement du front d'humidification dans les colonnes du sol relatives aux deux échantillons. La variable de chaque essai est la proportion d'argile mélangée à l'échantillon d'origine compacté, qui varie de 0 à 25% en adoptant un pas de 5%. Les résultats des calculs sont présentés dans les tableaux 5 et 6.

Les données des tableaux 5 et 6 ont servi pour établir les représentations graphiques du taux d'infiltration en

fonction du temps pour les deux échantillons en faisant varier les proportions d'argile comme il a été expliqué ci-dessus. Les courbes obtenues sont présentées dans les figures 5 et 6. Le type de régression le mieux adapté est une fonction puissance avec un coefficient de détermination R^2 compris entre 0,944 et 0,982 dans le cas de l'échantillon Lgdima. Pour l'échantillon Hanabou, ce coefficient est compris entre 0,906 et 0,995. Ces résultats montrent qu'il y a une très bonne corrélation entre le taux d'infiltration et le temps. D'après les graphiques obtenus, les courbes de tendance obéissent à une loi de type puissance dans laquelle le taux d'infiltration $I(t)$ est lié au temps (t) par

Tableau 4: Taux d'infiltration en fonction de l'avancement du front d'humidification pour différentes fractions d'argile apportées à l'échantillon Hanabou

0% Argile		5% Argile		10% Argile		15% Argile		20% Argile		25% Argile	
Cote (cm)	Taux d'infiltration (mm/h)	Cote (cm)	Taux d'infiltration (mm/h)	Cote (cm)	Taux d'infiltration (mm/h)	Cote (cm)	Taux d'infiltration (mm/h)	Cote (cm)	Taux d'infiltration (mm/h)	Cote (cm)	Taux d'infiltration (mm/h)
40		40		40		40		40		40	
35	750	35	750	35	500	35	429	35	214	35	120
30	375	30	250	30	176	30	125	30	65	30	46
25	188	25	200	25	136	25	68	25	41	25	26
20	167	20	158	20	115	20	64	20	26	20	21
15	158	15	120	15	100	15	63	15	20	15	16
10	130	10	115	10	83	10	61	10	21	10	13
5	125	5	103	5	63	5	59	5	21	5	9
0	120	0	94	0	48	0	54	0	18	0	8

Tableau 5: Taux d'infiltration en fonction du temps d'humidification pour différentes fractions d'argile apportées à l'échantillon Lgdima

0% Argile		5% Argile		10% Argile		15% Argile		20% Argile		25% Argile	
Temps (mn)	Taux d'infiltration (mm/h)	Temps (mn)	Taux d'infiltration (mm/h)	Temps (mn)	Taux d'infiltration (mm/h)	Temps (mn)	Taux d'infiltration (mm/h)	Temps (mn)	Taux d'infiltration (mm/h)	Temps (mn)	Taux d'infiltration (mm/h)
0	0			0		0		0			0
10,5	286	8	375	11	273	19	158	30	100	40	75
22	261	20	250	32	143	43	125	140	27	150	27
40	233	30	240	56	100	86	98	305	18	420	11
48	225	41	164	130	89	119	55	490	16	1345	9
62	214	80	123	209	53	186	45	705	14	1630	9
80	200	120	120	245	50	378	31	1310	10	1860	7
109	186	170	84	310	46	499	25	1685	8	2380	5

Tableau 6: Taux d'infiltration en fonction du temps d'humidification pour différentes fractions d'argile apportées à l'échantillon Hanabou

0% Argile		5% Argile		10% Argile		15% Argile		20% Argile		25% Argile	
Temps (mn)	Taux d'infiltration (mm/h)	Temps (mn)	Taux d'infiltration (mm/h)	Temps (mn)	Taux d'infiltration (mm/h)	Temps (mn)	Taux d'infiltration (mm/h)	Temps (mn)	Taux Temps d'infiltration (mm/h)	Taux d'infiltration (mm/h)	
0	0			0		0		0		0	
4	750	4	750	6	500	7	429	14	214	25	120
12	375	16	250	23	176	31	125	60	65	90	46
28	188	31	200	45	136	75	68	133	41	205	26
46	167	50	158	71	115	122	64	248	26	350	21
65	158	75	120	101	100	170	63	400	20	540	16
88	130	101	115	137	83	219	61	540	21	780	13
112	125	130	103	185	63	270	59	680	21	1120	9
137	120	162	94	247	48	326	54	850	18	1462	8

l'expression:

$$I(t) = \alpha t^{-\beta} \quad (1)$$

α et β sont des coefficients qui varient d'un échantillon à un autre et d'un essai à un autre. Les valeurs de α et β sont mentionnées dans le tableau 7.

La relation du taux d'infiltration en fonction du temps telle qu'elle a été dégagée à partir des 12 graphiques vient valider la relation très connue dans la bibliographie, à savoir que le taux d'infiltration diminue avec le temps et finit par tendre asymptotiquement vers une valeur constante qui représente la conductivité hydraulique à saturation. La

même forme d'équation a été recommandée par Kostiakov en 1932 pour décrire le comportement de l'infiltration de l'eau (I) dans le sol. D'après Kostiakov, I est donnée par l'expression:

$$I = K t^{-n} \quad (2)$$

K et n étant respectivement un coefficient et un exposant tel que: $0 < n < 1$. Une comparaison entre les équations (1) et (2) permet de valider l'intervalle de β étant donné que, dans tous les essais, l'exposant β est compris entre 0,18 et 0,66.

Tableau 7: Valeurs des coefficients α et β déterminés pour différentes fractions d'argile apportées aux échantillons Lgdima et Hanabou

Échantillon		Lgdima			Hanabou		
Essai N°	Fraction d'argile (%)	α	β	R ²	α	β	R ²
1	0	451,6	0,18	0,982	1353	0,52	0,961
2	5	1050	0,47	0,967	1358	0,54	0,974
3	10	906,8	0,52	0,973	1303	0,58	0,978
4	15	1063	0,59	0,958	885,6	0,51	0,906
5	20	622,7	0,59	0,972	835,7	0,59	0,958
6	25	592,9	0,6	0,944	964,8	0,66	0,995

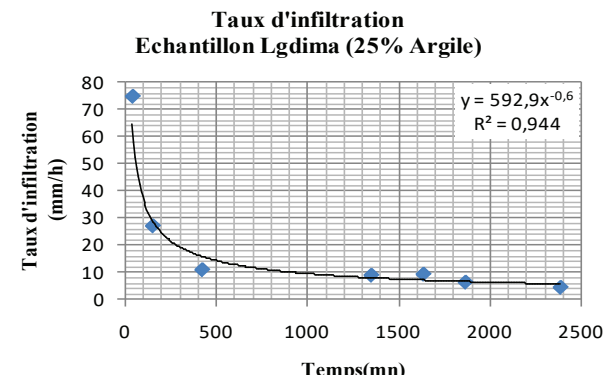
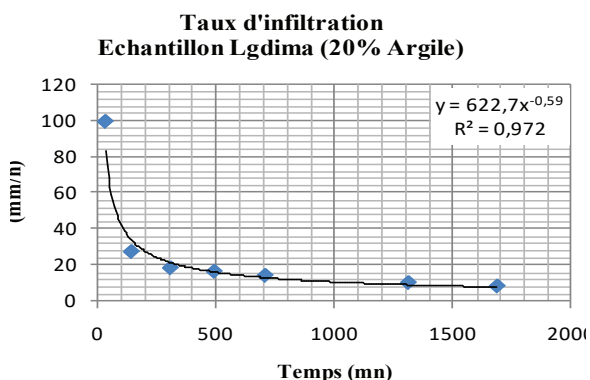
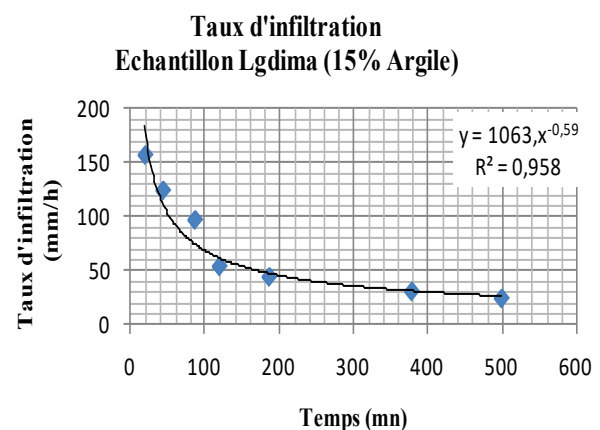
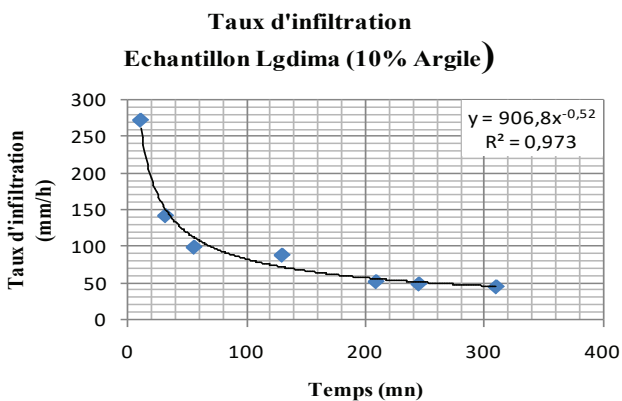
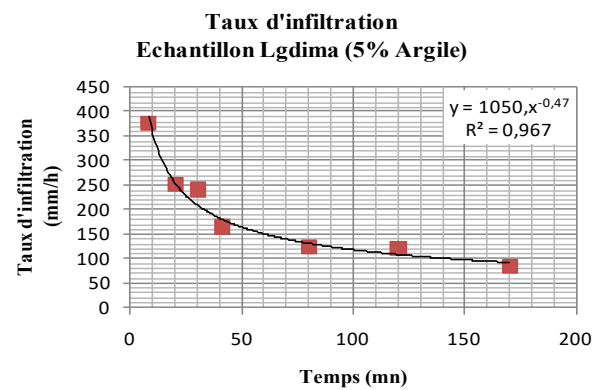
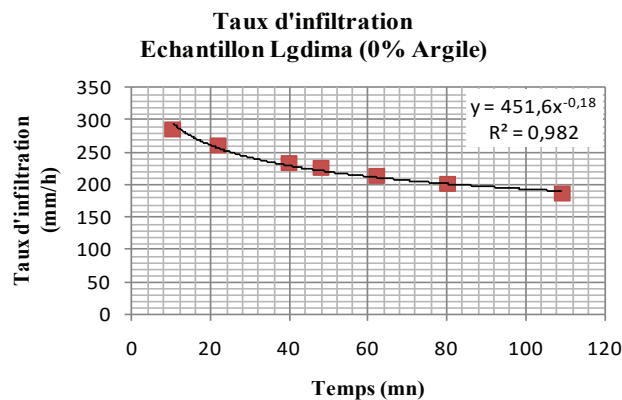


Figure 5: Représentations graphiques du taux d'infiltration pour l'échantillon Lgdima

On constate également que toutes les courbes obtenues montrent au départ une décroissance rapide du taux d'infiltration avec le temps, pour diminuer progressivement après, jusqu'à une certaine valeur constante. Ceci est expliqué par le fait qu'initialement, le sol était sec et donc le taux d'infiltration était élevé.

Il est clair que les coefficients α et β de l'équation (1) conditionnent le comportement de l'infiltration dans les deux échantillons. Le tableau 8 montre clairement que α et β varient en fonction de la texture initiale, autrement dit d'un échantillon à un autre, et en fonction de la fraction d'argile ajoutée dans chaque essai. Donc, on peut conclure, que le taux d'infiltration dans un sol donné, pourrait être volontairement modifié et même anticipé, rien qu'en agissant sur sa texture initiale. Cependant, il y a lieu de remarquer que les essais sur l'infiltration, ont été conduits, tout en soumettant tous les échantillons aux mêmes conditions de compactage et de teneur en eau, pour que la seule variable retenue soit la texture du sol à travers l'importance de la présence des éléments fins en particulier les argiles.

Une autre interprétation des courbes présentées dans la figure 5 et 6, se base sur le calcul d'un indice de colmatage I_c à partir des taux d'infiltration initial et final dans chaque essai. On définit cet indice par la relation suivante:

$$I_c (\%) = \frac{I_i - I_f}{I_i} \times 100 \quad (3)$$

I_i et I_f sont respectivement les taux d'infiltration au début et à la fin de l'essai. Les résultats de calcul de I_c sont portés dans le tableau 8.

L'examen du tableau 8, montre qu'à part la valeur de 34,8 %, les autres valeurs de I_c sont comprises entre 77,6 % et 93,8 % pour les deux échantillons. Ainsi, on peut remarquer que l'indice de colmatage croît avec la fraction d'argile apportée pour atteindre des valeurs respectives de 93,7 % et 93,8 % pour les échantillons de Hanabou et Lgdima lorsque la fraction d'argile apportée atteint 25 %. Autrement dit, pour cette valeur de la fraction d'argile, le taux d'infiltration se voit réduit d'environ 94%. Ce qui souligne le rôle capital que joue l'argile dans la réduction du taux d'infiltration dans les deux échantillons et par la

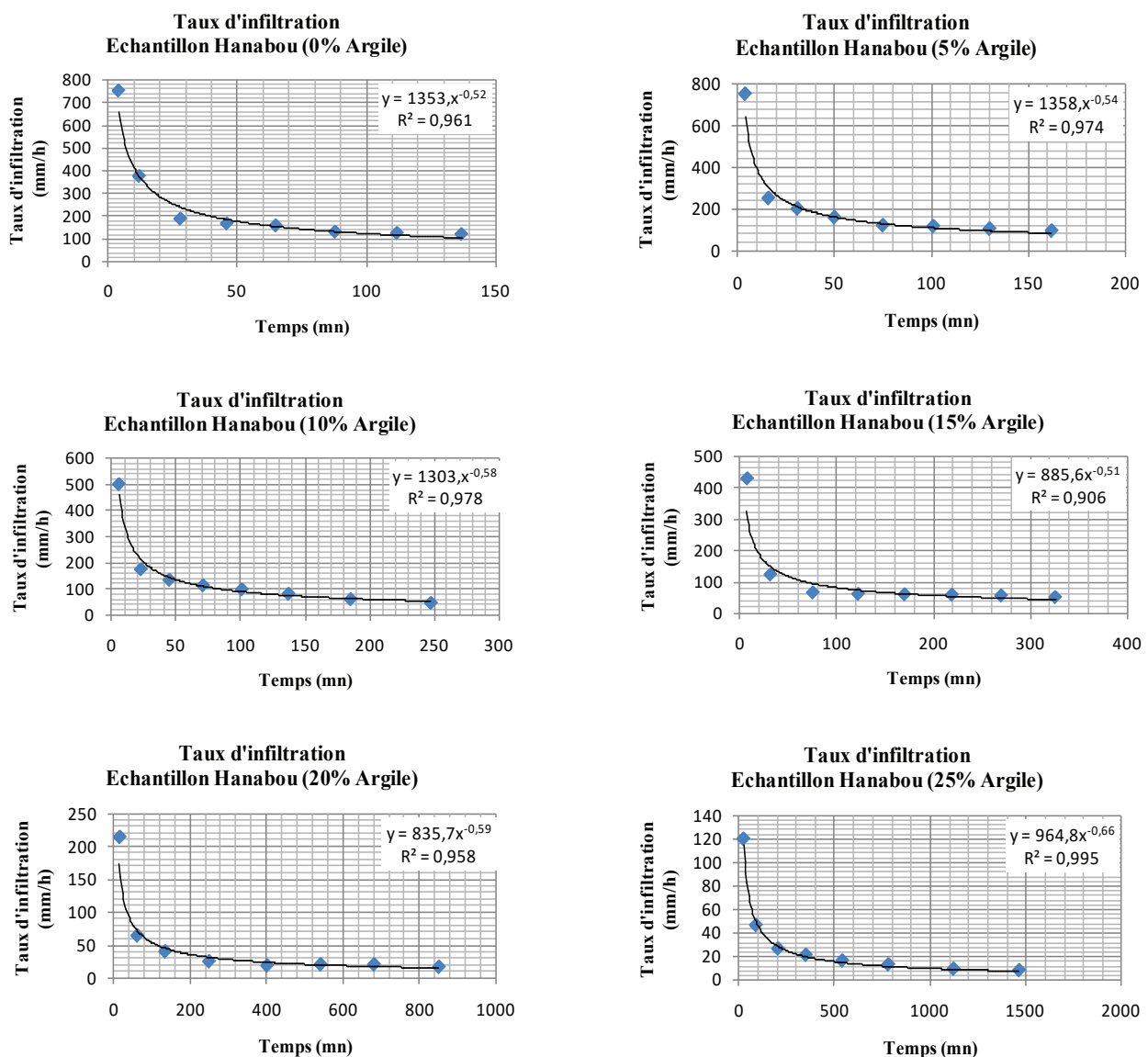


Figure 6: Représentations graphiques du taux d'infiltration pour l'échantillon Hanabou

suite dans la réduction des pertes par infiltration dans les séguias d'où ont été prélevés les échantillons en question.

Sur la figure 7, on a porté les valeurs de I_c en fonction de la fraction d'argile ajoutée aux échantillons Lgdima et Hanabou. Les courbes illustrent la croissance de I_c avec les taux d'argile ajoutés aux échantillons. Les variations de I_c obéissent à une loi polynomiale dans le cas des deux échantillons précités. Les coefficients de détermination sont respectivement de 0,857 et 0,974 pour l'échantillon de Lgdima et celui de Hanabou.

En vue de voir la tendance de la variation de I_c , pour les autres fractions d'argile qui n'ont pas été testées, une simulation a été faite sur la base des équations de tendance obtenues par les courbes de la figure 7 et pour les fractions d'argile de 30%, 35% et 40%. Les résultats de ce calcul sont consignés dans le tableau 9 et les courbes de la figure 8 relatent l'évolution de la variation de I_c en fonction de ces trois fractions en plus de celles qui ont fait l'objet de tests.

La simulation de la variation de I_c , montre une décroissance de cet indice lorsque la fraction d'argile apportée dépasse la valeur de 25%. Ceci est valable dans le cas des deux échantillons. En effet, cette réduction de I_c , pourrait être expliquée par le fait que l'ajout d'une fraction d'argile supérieure ou égale à 30% aurait entraîné une réduction du taux d'infiltration initial I_i , plus accentuée que celle qui a été observée dans le cas des fractions testées. Autrement dit, la différence ($I_i - I_f$) cesse de croître une fois le taux d'argile mélangé avec les échantillons a atteint 30% et continue sa décroissance pour les autres fractions supérieures à 30%. Ainsi, on peut conclure qu'il y a une valeur optimale de la fraction d'argile à apporter à l'échantillon sans qu'elle soit nécessairement la plus grande (100%), pour laquelle on espère assister à une réduction maximale du taux d'infiltration dans les deux échantillons testés et par la suite à une réduction notable des pertes par

infiltration dans les sols des séguias en terre qui ont fait l'objet de prélèvements des échantillons en question. Cette conclusion est en rapport avec les résultats de la simulation indiqués dans le tableau 2 qui ont permis d'observer des temps de traversées des colonnes testées suffisamment longs à partir de l'ajout d'une fraction d'argile égale à 30% pour atteindre 33,8 jours quand la fraction atteint 100%.

Tableau 8: Valeurs des indices de colmatage déterminés pour différentes fractions d'argile apportées aux échantillons Lgdima et Hanabou

Fraction d'argile ajoutée (%)	Indice de colmatage (%)	
	Échantillon Lgdima	Échantillon Hanabou
0	34,8	84,0
5	77,6	87,5
10	83,1	90,3
20	84,3	91,8
25	93,8	93,7

Tableau 9: Valeurs des indices de colmatage complétés par simulation pour les fractions d'argile non testées (30%-35%-40%)

Fraction d'argile ajoutée (%)	Indice de colmatage (%)	
	Échantillon Lgdima	Échantillon Hanabou
0	34,8	84,0
5	77,6	87,5
10	83,1	90,3
20	84,3	91,8
25	93,8	93,7
30	73,1	93,0
35	50,6	92,1
40	20,0	90,6

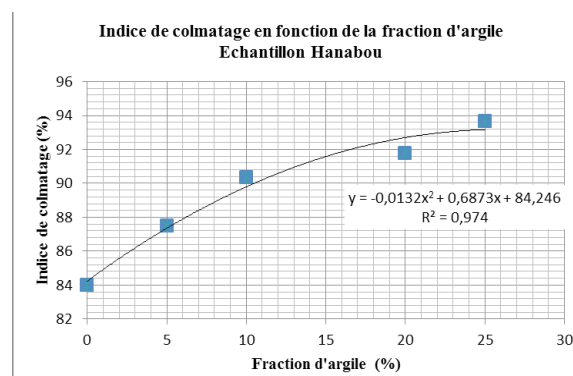
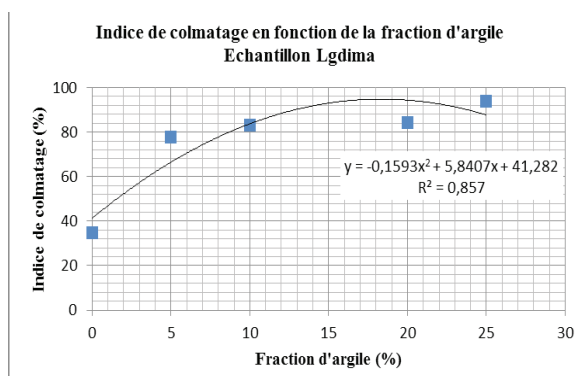


Figure 7: Variation de l'indice de colmatage en fonction de la fraction d'argile ajoutée aux échantillons Lgdima et Hanabou

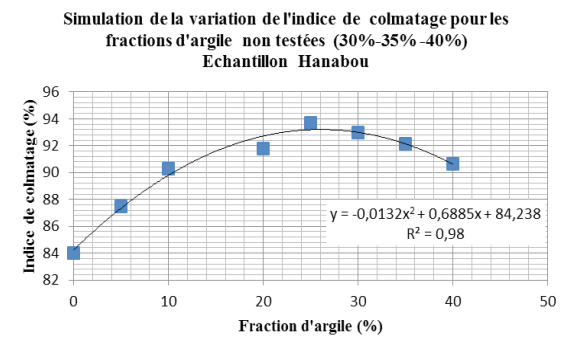
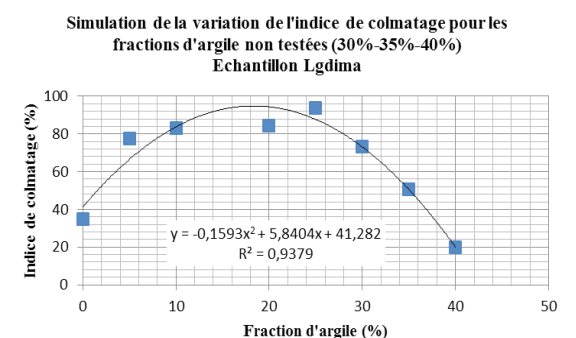


Figure 8: Simulation de la variation de l'indice de colmatage pour les fractions d'argile non testées dans les échantillons Lgdima et Hanabou

CONCLUSION

Les résultats du présent travail indiquent que, dans une première étape de l'expérimentation, la comparaison entre les temps d'humidification dans le même échantillon du sol non compacté puis compacté, a permis de constater que les deux temps sont dans un rapport supérieur à 2. Ce rapport est respectivement de 2,35 et 2,69 pour les échantillons Lgdima et Hanabou. Ceci montre l'effet du compactage sur le ralentissement du front d'humidification dans les colonnes du sol testées et donc sur l'infiltration.

Dans une seconde étape de l'expérimentation, où la composition de sol des deux échantillons a été modifiée par l'apport de différentes fractions d'argile allant de 5% à 25% par pas de 5%, les résultats montrent que le taux d'infiltration est fortement lié à la composition du sol. Ceci est mis en évidence par les équations de régression qui ont traduit les courbes de variation obtenues, du taux d'infiltration en fonction du temps, pour différentes compositions du sol. En effet, les coefficients de détermination relatifs à ces courbes varient de 0,944 et 0,982 dans le cas de l'échantillon Lgdima, et de 0,906 à 0,995 pour l'échantillon Hanabou. Ces résultats attestent de l'existence d'une très bonne corrélation entre le taux d'infiltration et le temps, pour une composition de sol, une teneur en eau et un degré de compactage donnés. Cette corrélation est traduite par une loi type puissance de la forme: $I(t) = \alpha t^{-\beta}$ dans laquelle le coefficient α et l'exposant β varient d'un échantillon à un autre et d'un essai à un autre en fonction de la fraction d'argile ajoutée. Dans tous les essais, β varie entre 0,18 et 0,66, ce qui nous permet de conclure que l'équation du taux d'infiltration dégagée à partir des essais est similaire à celle recommandée par Kostiakov dans laquelle $\beta \in]0,1[$. Par conséquent, on peut conclure que le taux d'infiltration dans un sol donné, pourrait être volontairement modifié et même anticipé, rien qu'en agissant sur sa texture initiale.

Bien que les textures des deux échantillons testés soient proches d'après les résultats de l'analyse granulométrique à savoir limon sableux et limon respectivement pour les échantillons Lgdima et Hanabou, on constate que les courbes du taux d'infiltration sont différentes pour ces deux échantillons. Ceci peut être expliqué par le fait que la répartition en pourcentage des grains solides selon leurs dimensions est différente dans les deux échantillons. Autrement dit, le comportement de l'infiltration, qui est lié à l'importance des pertes d'eau dans un sol donné, peut être différent dans un autre sol dont la texture est très proche de celle du premier.

Par ailleurs, il y a lieu de remarquer que dans tous les essais effectués sur l'infiltration, tous les échantillons ont été soumis aux mêmes conditions de compactage et de teneur en eau initiale, pour que le seul paramètre étudié soit la texture du sol à travers l'importance de la présence des éléments fins en particulier les argiles. Autrement dit, il serait nécessaire d'étudier l'effet des autres paramètres à savoir le degré de compactage et la teneur en eau initiale, sur le comportement de l'infiltration, en vue de déterminer l'importance de chaque facteur dans le processus de l'infiltration.

En définissant un paramètre appelé indice de colmatage (I_c), il serait possible de déterminer une fraction d'argile optimale qu'il faut apporter aux échantillons en vue d'aboutir à une réduction prononcée de l'infiltration dans ces échantillons et en conséquence à une réduction des pertes par infiltration dans les séguias en terre concernées par ces échantillons.

Il serait indispensable dans une prochaine étape de trouver la relation entre le comportement de l'infiltration dans le sol, en l'occurrence, celui qui entre dans la composition des deux séguias étudiées, et les pertes en eau mesurées au niveau de ces séguias. En effet, agir sur l'infiltration de l'eau dans un sol, revient à dire, agir sur le flux d'eau qui entre dans ce sol. A travers les résultats du présent travail, on a pu mettre en évidence l'impact du changement de texture du sol d'origine sur le comportement de l'infiltration dans ce sol. Le mélange du sol d'origine à des fractions d'argile différentes a été traduit par une modification au niveau du taux d'infiltration. On pose l'hypothèse, donc, que cette modification est susceptible de conditionner les flux d'eau qui entrent dans le sol et en conséquence, on pourrait espérer être en mesure de contrôler les pertes d'eau dans un canal en terre en vue d'améliorer son efficacité.

RÉFÉRENCES

- Abdel Wahab, D. M. (2000). Evaluation, prediction and optimization of long furrow irrigation under Kenana conditions. P.h.D. Dissertation. Water management and irrigation Institute, University of Gezira, Wad Medani, Sudan.
- Adeniji F. A., Umara B. G., Dibal J. M. and Amali A. A. (2013). Variation of infiltration rates with soil texture. A laboratory study. *International Journal of Engineering and Innovative Technology* 3: 454-459.
- En-Nabbagui H. (2015). Diagnostic de l'efficacité des canaux d'irrigation en terre dans la Petite et Moyenne Hydraulique (cas de Chichaoua et Jorf-Arfoud). Projet de fin d'Études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Génie Rural.
- Jianfeng X., and Kenneth, G. (2008). Effect of Rainfall intensity on infiltration into partly saturated slopes. *Publication information. Geotechnical and Geological Engineering*, 26: 199-209.
- Ngom A. (2015). Essais d'infiltration en vue de l'amélioration de l'efficacité des canaux d'irrigation en terre dans la Petite et Moyenne Hydraulique (cas de Jorf-Arfoud). Projet de fin d'Études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Génie Rural.
- Razavipour T. and A.R. Farrokh (2014). Measurement of vertical water percolation through different soil textures of paddy field during rice growth season. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 2: 1379-1388.