

Choix du débit du goutteur en irrigation localisée

Mamadou Sangaré

IPR/IFRA de Katibougou ; cellulaire : +223 76383350 ;

E-mail : mamadoudanceni@gmail.com

RESUME : La présente communication traite du choix des débits des goutteurs lors de la conception des systèmes d'irrigation goutte à goutte. Pour cette étude-ci, nous nous sommes servi de quelques expressions d'une précédente communication intitulée « Une nouvelle expression du coefficient de filtration » ; parmi ces expressions figurent celles de la surface humidifiée d'un sol arrosé par un goutteur de débit connu. Au regard des résultats antérieurs, nous nous sommes aperçus que certaines valeurs calculées de surfaces humectées diffèrent quelque peu de celles expérimentales de Karmeli et de Keller servant de référence. Afin d'élucider les causes de ces différences, nous avons revu et reformulé les expressions de la surface humidifiée en prenant cette fois-ci en compte les coefficients de filtration vertical et horizontal ; en effet, en utilisant ces derniers, la forme du bulbe humide de sol change, entraînant la modification de la surface humidifiée. Par ailleurs, du fait que le coefficient de filtration soit partie intégrante de l'expression du débit moyen, avec les minima et maxima des différents coefficients de filtration, nous avons développé les expressions des débits maxima et minima. Ces débits et coefficients de filtration nouvellement calculés ont permis d'obtenir des valeurs de surface humidifiées presque identiques à celles de Karmeli et Keller. Lors des opérations, et pour des raisons d'économie d'eau, nous n'avons utilisé que les débits moyens et minima. Et enfin avec les résultats obtenus, nous avons proposé un diagramme permettant de faire le bon choix du débit en fonction du type de sol.

Mots- clé : Surface humidifiée de sol, débits des goutteurs, coefficients de filtration du sol, intensités d'arrosage.

1. Introduction :

Ce thème « choix du débit du goutteur en irrigation localisée » traite en fait de la cause des différences entre certaines valeurs de surfaces humectées de sol calculées à l'aide de formule et celles expérimentales de Karmeli et Keller⁽¹⁾ ; d'après l'expression de la surface humectée de sol dans la communication « La nouvelle expression du coefficient de filtration du sol »⁽³⁾, le débit et le coefficient de filtration sont les paramètres essentiels de calcul de la surface humectée de sol ; mais il n'existe aucune méthodologie de choix du débit du goutteur .

L'objectif de cette étude n'est pas une comparaison de formules avec celles d'autres auteurs à l'instar de Schwatzman et Zur⁽⁴⁾ (1986) ou de Keller et Bliesner⁽²⁾ (1990) qui ont élaboré des formules empiriques pour l'estimation du diamètre ou de la profondeur du bulbe humide de sol ; mais nous cherchons plutôt à proposer, à travers les résultats de la nouvelle théorie de l'infiltration de l'eau dans le sol, un moyen fiable permettant de déterminer la surface humectée de sol avec beaucoup plus

de précision, et cela une fois que les paramètres du test d'infiltration que sont les coefficients de filtration du sol et les humidités remarquables sont connus. A rappeler que la même théorie permet de calculer les humidités remarquables.

La finalité de cette étude est donc la mise à disposition d'un outil permettant de déterminer le débit du goutteur, quel que soit la nature du sol ; car le bon choix du débit du goutteur est synonyme de la bonne gestion de l'eau d'arrosage.

2. Rappel de la nouvelle théorie :

Par rapport aux expressions de la nouvelle théorie de l'infiltration, nous avons tout d'abord développé une équation différentielle qui nous a permis d'établir deux expressions différentes de la surface humectée de sol (3) ; les deux expressions sont les suivantes :

$$S = \frac{Q}{K} \times \ln t \quad \text{et} \quad S = \frac{Q}{K_1} \times \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \times t^\alpha \quad (1) \text{ et } (2)$$

Ces deux expressions nous ont à leur tour permis d'écrire la nouvelle expression du coefficient de filtration moyen du sol « K » que voici:

$$K = K_1 \times \frac{\alpha}{1-\alpha} \times \frac{\ln t}{t^\alpha} \dots\dots\dots (3)$$

Où : « K » est le coefficient de filtration moyen (en mm/h)

K_1 : est le coefficient de filtration intrinsèque, estimé à 222,2 mm/h⁽³⁾.

« t » est le temps en secondes

« α » est l'exposant de Kostjakov (sa valeur varie entre 0,3 et 0,8).

Le coefficient de filtration moyen K est la moyenne géométrique entre les coefficients de filtration vertical K_v et horizontal K_h :

$$K = \sqrt{K_v \times K_h} \dots\dots\dots (4)$$

En utilisant K_v ou K_h , la section du bulbe humide change selon le principe d'orthogonalité qui existe entre le coefficient de filtration représentant le potentiel de vitesse et le débit représentant le courant d'expansion de l'eau dans le sol. Donc si $K_v > K_h$, le bulbe est allongé selon la verticale et si $K_v < K_h$, le bulbe est plutôt aplati. Cela signifie que la prédominance de l'un des coefficients de filtration par rapport à l'autre est déterminante dans le calcul de la surface humidifiée.

2.1. Détermination du coefficient de filtration vertical ou horizontal:

Avec le test d'infiltration, nous obtenons le coefficient de filtration moyen ; afin de déterminer les deux autres, nous avons développé deux expressions des profondeurs (ou diamètres) du bulbe humide⁽³⁾. Cela nous a tout d'abord emmenés à écrire les expressions des humidités remarquables que sont l'humidité disponible et la porosité effective. Avec les différents coefficients de filtration et les humidités remarquables, nous avons développé l'équation de proportionnalité que voici:

$$\frac{K_h}{\omega} = \frac{K_v}{\mu} = \frac{K}{\omega_0} \dots\dots\dots (5)$$

où :
 ω est l'humidité disponible
 μ est la porosité d'aération
 ω_0 est la moyenne des humidités remarquables
 K_v est le coefficient de filtration vertical (en mm/h)

K_h est le coefficient de filtration horizontal (en mm/h)

L'équation (3) et l'expression de « K » ont permis de développer les expressions des humidités remarquables. Ainsi l'expression de l'humidité disponible devient:

$$\omega = 6,6 \times 10^{-2} \times K_h \times \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \times \frac{t^\alpha}{\ln t} \dots\dots\dots (6)$$

Et celle de la porosité d'aération est:

$$\mu = 6,6 \cdot 10^{-2} \times K_v \times \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \times \frac{t^\alpha}{\ln t} \dots\dots\dots (7)$$

Ici « μ » et « ω » sont en % volumique.

Avec les expressions ci-dessus, il a été possible d'écrire les expressions des profondeurs ou diamètres d'humectation maximale « Z » du sol de la manière suivante:

$$Z = \frac{K \times t_{ar}}{\omega_0} = \frac{K_h \times t_{ar}}{\omega} = \frac{K_v \times t_{ar}}{\mu} \dots\dots\dots (8)$$

Où $t_{ar} = t \times \ln t$

Le développement de (8) nous donne une équation unique valable aussi bien pour le diamètre que pour la profondeur ; les calculs nous donnent:

$$Z = 0,42 \cdot 10^{-3} \times \frac{\alpha}{1-\alpha} \times t^{1-\alpha} \times (\ln t)^2 \dots\dots\dots (9)$$

.Cette expression peut s'écrire comme suit :

$$Z = K_x \times t \times \ln t \times \ln t \dots\dots\dots (10)$$

Z est donc le produit d'un coefficient de filtration « K_x » et du temps global du processus d'infiltration ; c'est-à-dire y compris la diffusion capillaire après l'arrosage ; ce temps est « $t \times \ln t \times \ln t$ ».

Avec les équations (9) et (10) nous pouvons écrire :

$$K_x = 0,42 \cdot 10^{-3} \times \frac{\alpha}{1-\alpha} \times t^{-\alpha} \dots\dots\dots (11)$$

Ce coefficient de filtration est vertical quand il s'agit de sol moyen ou de sol à texture fine, et horizontal quand il s'agit de sol à texture grossière. Donc connaissant la valeur de « K_x », et de celle de « K », il est possible de calculer l'autre coefficient de filtration en se servant de l'expression (4).

En utilisant les données issues du tableau de Karmeli et Keller ⁽⁴⁾, nous obtenons dans le tableau suivant les différentes valeurs des coefficients de filtration :

Tableau n°1 : Coefficients de filtration moyenne, verticaux et horizontaux

En général pour les sols à texture fine et à texture moyenne, $K_h > K_v$ et pour les sols à texture grossière, c'est plutôt $K_v > K_h$. Ci-dessous, nous avons les représentations graphiques des coefficients de filtration selon les types de sol.

Figure n°1 : K moyens (en bleu), K vertical (en vert) et K horizontal (en rouge)

Types de sol	Texture fine	Text. Moyen. à fine	Text. Moy.	Text. Moyen à gross.	Text. Gross.
Q (l/h)	≤ 1,5	2,0	4,0	8,0	12,0
a	0,60	0,57	0,50	0,43	0,40
d (mm)	28,66	30,33	33,66	38,25	45,00
K (mm/h)	17,33	20,00	27,5	34,00	41,00
K_v (mm/h)	12,32	14,85	22,78	32,06	36,70
K_h (mm/h)	24,37	26,93	33,2	45,63	45,80

$$Z_x = \frac{\sqrt{\pi \times K_h \times Q \times \ln t}}{K_x} \dots\dots(14)$$

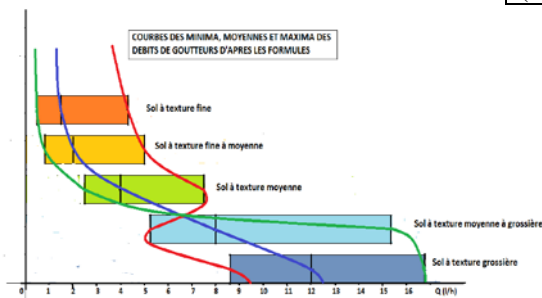
2.3. Débit des émetteurs :

A partir des expressions (9) et (12), nous pouvons écrire l'expression du débit moyen de l'émetteur « Q » qui est:

$$Q = 5,67 \cdot 10^{-8} \times \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} \times K \times t^{2(1-\alpha)} \times (\ln t)^3 \dots(15)$$

Et avec la (9), la (13) et la (14), nous pouvons

Texture de sol	fine	Moy.f ine	Moye n.	Moy. gros	grossière
Q max, max (l/h)	4,17	5,01	7,05	15,36	16,73
Q max, moy (l/h)	3,00	3,76	5,91	9,16	15,16
Q (l/h)	< 1,5	2,0	4,0	8,0	>12,0
Q min, moy (l/h)	0,76	1,14	2,78	7,24	9,74
Q min, min (l/h)	0,54	0,85	2,51	5,33	8,61



2.2. Détermination de la profondeur d'humectation :

Le développement de « Z » par la méthode géométrique (3) nous donne :

$$Z = \frac{\sqrt{\pi \times K \times Q \times \ln t}}{K} \dots\dots\dots(12)$$

Avec l'utilisation de K_v et K_h , Z devient soit le diamètre ou soit la profondeur ; et ainsi nous obtenons les expressions suivantes:

- Pour la profondeur, nous avons:

$$Z_x = \frac{\sqrt{\pi \times K_v \times Q \times \ln t}}{K_x} \dots\dots\dots(13)$$

- Et pour le diamètre:

développer les expressions des débits maxima, minima, maxima moyens et des débits minima moyens. Les expressions générales sont les suivantes :

$$Q_x = 5,67 \times 10^{-8} \times \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} \times \frac{K_v^2}{K_x} \times t^{2(1-\alpha)} \times (\ln t)^3 \dots(16)$$

$$Q_x = 5,67 \times 10^{-8} \times \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} \times \frac{K_h^2}{K_x} \times t^{2(1-\alpha)} \times (\ln t)^3 \dots(17)$$

En remplaçant K_x par K , nous obtenons les moyennes des maxima ou les moyennes des minima selon le type de sol.

Avec les données du tableau n°1, les calculs de débits nous donnent les résultats suivants dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°2: les débits maxima, minima, maxima moyens et minima moyens

Qmax : Débit maximum

Qmin : Débit minimum

Qmax.moy. : Débit maximum moyen

Qmin.moy. : Débit minimum moyen

3. Choix du débit du goutteur :

3.1. Calculs de la surface humectée de sol :

Les surfaces humectées de sol ont été calculées selon l'expression (1) en utilisant des débits minima, minima-moyens et moyens ; et quant aux coefficients filtration verticaux,

horizontaux ou moyens, ils ont été choisis de manière à obtenir des valeurs proches de celles de Karmeli et Keller. Les résultats sont dans le tableau ci- dessous.

Tableau n° 3 : Calculs des surfaces humectées de sol d'après Karmeli et Keller et selon la formule

Q^* : le débit de 1,0 l/h au lieu de 1,5 l/h

Q_m : le débit de 1,0 l/h au lieu de 1,5 l/h

$Q_{m.m}$: le débit minimum minimum

$Q_{m.moy}$: le débit minimum moyen

En effet les calculs nous donnent des valeurs pratiquement identiques à celles de Karmeli et Keller; par la suite, nous avons essayé de dégager une certaine logique par rapport au choix des paramètres ; et d'après les résultats obtenus, nous remarquons que :

- Pour les sols à texture grossière, le coefficient de filtration utilisé est toujours celui vertical ; et les débits appliqués vont du minimum des minima quand il s'agit de débits faibles à la moyenne quand le débit devient important.
- Pour les sols moyens, le coefficient de filtration choisi va de celui vertical pour les faibles débits à celui moyen pour les débits moyens et élevés ; et quant aux débits appliqués, c'est celui moyen qui est utilisé pour tous les sols.
- Concernant les sols à texture fine, c'est la même situation qu'avec les sols moyens à l'exception des débits élevés qui sont des minima moyen.

Afin d'avoir beaucoup plus de détails sur le phénomène de l'arrosage, nous avons jugé nécessaire de calculer les intensités d'arrosage « Q/S_{KK} » en utilisant les données du tableau de Karmeli et Keller. Les résultats des calculs sont dans le tableau ci- dessous.

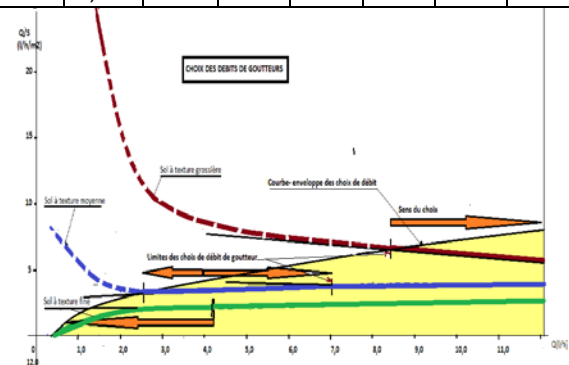
Tableau n° 3 : Calculs des intensités d'arrosage selon les données de Karmeli et Keller

Débit (l/h)	Moins de 1,5			4,0			12,0		
	G	M	F	G	M	F	G	M	F
S_{KK} (m ²)	0,06	0,36	1,08	0,5	1,2	2,1	2,1	3,26	4,8
Q/S_{KK}	25,0	4,2	1,40	8,0	3,3	1,9	5,7	3,7	2,5

Um Pour encore mieux apprécier la qualité des arrosages, nous avons effectué les représentations graphiques de ces intensités par rapport aux débits (voir figure n°1)

Figure n°1 : Courbes des intensités d'arrosage

	Débits moyens du goutteur (l/h)								
	Moins de 1,5			4			12 et plus		
Texture	G	M	F	G	M	F	G	M	F
K utilisé (mm/h)	Kv	Kv	Kv	Kv	K	K	Kv	K	K
Q utilisé (l/h)	Qm	Q*	Q.	Qm	Q	Q	Q	Q	Qm
S_{KK} (m ²)	0,06	0,36	1,08	0,50	1,20	2,10	2,10	3,26	4,80
S_r (m ²)	< 0,10	0,38	1,06	0,50	1,22	2,00	2,17	3,66	4,88



Les graphiques montrent une certaine constance des intensités pour les sols moyens et les sols à texture fine au-delà de 2,5 mm/h ; mais pour les sols à texture grossière, les intensités sont trop élevées et cela, surtout pour les débits faibles. Afin de déterminer les débits- limite, nous avons tracé des tangentes aux courbes ; c'est ce qui nous a permis d'identifier le maximum et le minimum de débit pour les sols moyens, soit respectivement environ un débit de 4,0 l/h et de 2,5 l/h ; et un débit maximum de 4,2 mm/pour les sols à texture fine ; pour les sols à texture grossière, le débit minimum est d'environ 8,5 mm/h.

La formule de l'intensité d'arrosage « I » développée à partir l'expression (1) est la suivante :

$$I = \frac{K}{\ln t} \dots\dots\dots (18)$$

Cette expression nous montre déjà que l'intensité d'arrosage dépend essentiellement du coefficient de filtration du sol, car « $\ln t$ » varie très peu ; avec les différents coefficients de filtration, les calculs des maxima « I_{max} », des

Texture	fine	moyenne	grossière
I_{max} (mm/h)	2,80/2,5	3,96/4,2	5,53/6,3
I (mm/h)	2,00/1,9	3,28/3,3	4,72/-
I_{min} (mm/h)	1,41/1,40	2,71/3,7	4,43/5,5

moyennes « I_{moy} » et des minima « I_{min} » d'intensité nous donnent pour les trois types de sol, les résultats consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° 4 : Les intensités d'arrosage calculées selon la formule comparées à celles des graphiques

Diagramme n° 1 : Choix du débit

La comparaison des valeurs issues de la formule et de celles obtenues à partir des graphiques montre qu'elles sont très semblables ; d'ailleurs la tangente de la courbe d'intensité pour les sols à texture grossière nous donne un maximum d'intensité de 6,3 mm/h ; cela correspond au débit minimum de 8,5 l/h qui est pratiquement identique à celui minimum calculé d'après les formules, soit 8,61 mm/h.

coefficients de filtration et les humidités remarquables sont bien mesurés ou calculés. Par

Sols	Débits des goutteurs															
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	8,5	9	10	11	12
TF																
TFM																
TM																
TMG																
TG																

TF : Sol à texture fine

TFM: Sol à texture fine à moyenne

TM : Sol à texture moyenne

TMG: Sol à texture moyenne à grossière

TG : Sol à texture grossière

TG : Sol à texture grossière

ailleurs les résultats de l'étude montrent que plus la texture du sol est grossière, autant le débit est élevé ; et plus la texture est fine, le débit est faible. Cependant, le choix du débit dépend aussi des impératifs de gestion d'eau ; c'est pourquoi nous nous sommes limités aux débits minima et moyens. Le tableau de Karmeli et Keller donne de très bons résultats expérimentaux mais ne donne aucune instruction par rapport au choix des débits ; et nous pensons que le diagramme proposé pourrait beaucoup aider dans ce choix.

Au vu de tout ce qui précède, l'on pourrait utiliser les débits issus de formules. Et d'après les données du tableau de Karmeli et Keller, les débits à recommander pour les sols à texture grossière varieraient entre 8,5 l/h et 12,0 l/h ; ce qui correspond respectivement aux intensités de 6,6mm/h et de 5,5 mm/h; pour les sols moyens, le débit à utiliser varierait entre 2,5 et 4,0 l/h pour une intensité d'arrosage de 2,5 à 4,0 mm/h ; concernant les sols à texture fine, les débits utilisables varient entre 0,5 et 1,5 l/h pour une intensité d'arrosage inférieure à 2,0 mm/h. Afin de faciliter le choix du débit, nous avons élaboré un diagramme où chaque type de sol a ses débits- limite. C'est le diagramme ci-dessous :

4. Conclusion :

Avec cet exercice, nous avons pu apprécier l'importance de l'intensité d'arrosage dans le choix du débit ; et la bonne intensité ne peut être obtenue que si les paramètres du sol que sont les

5. Références bibliographiques :

- [1] Keller J., Karmeli D., 1974. Trickle irrigation design parameters, Trans. ASAE 17(4) : 678-684
- [2] Keller J. , Bliener Ron D. 1990 ; Sprinkle and trickle irrigation. An AVI book.- Van Nostrand Reinhold. New York
- [3] Mamadou Sangaré, 2014, Une nouvelle expression du coefficient de filtration; MSAS, 8ème Symposium malien sur les sciences Appliquées.
- [4] Schwartz an, M. and Zur, B. 1986. Emitter Spacing And Geometry of Wetted Soil Volume. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 112(3): 242-253.