



**HAL**  
open science

## Simulation hydraulique d'une rampe de micro-irrigation par la méthode dite " des volumes de contrôle "

Lakhdar Zella, Ahmed Kettab, Gérard Chassériaux

### ► To cite this version:

Lakhdar Zella, Ahmed Kettab, Gérard Chassériaux. Simulation hydraulique d'une rampe de micro-irrigation par la méthode dite " des volumes de contrôle ". *Agronomie*, 2003, 23 (1), pp.37-44. 10.1051/agro:2002067 . hal-00885968

**HAL Id: hal-00885968**

**<https://hal.science/hal-00885968>**

Submitted on 11 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Simulation hydraulique d'une rampe de micro-irrigation par la méthode dite « des volumes de contrôle »

Lakhdar ZELLA<sup>a\*</sup>, Ahmed KETTAB<sup>b</sup>, Gérard CHASSÉRIAUX<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Université de Blida, ANDRU, Algérie

<sup>b</sup> École nationale polytechnique, Alger, Algérie

<sup>c</sup> Institut National d'Horticulture, UMR SAGAH, Angers, France

(Reçu le 12 décembre 2000 ; révisé le 10 janvier 2002 ; accepté le 4 mars 2002)

**Abstract – Hydraulic simulation of micro-irrigation lateral using control volume method.** The optimization of the uniformity of water distribution by emitters determines the efficiency factor of the micro-irrigation network. Model simulation enables the research of the characteristics of a micro-irrigation network in order to optimise the water distribution uniformity at a reasonable investment cost. The variation of flow among emitters along the lateral is due to the variation of the pressure. The proposed method consists in delimiting a elementary volume of the lateral equipped with an emitter, called “control volume”, on which the conservation equations of the fluid mechanics are applied. The mass and energy balance lead to two coupled non linear algebraic equations solved by using a simple numerical technique called “control volume technique” (CVM), which consists to determine retroactively along the lateral the parameters of every volumes. This method enables to display the pressure and flow distribution along the lateral. The obtained results are compared with those given by other resolution methods based on sophisticated and heavy to use calculation techniques. The proposed method has been satisfactorily tested in some for designing micro-irrigation lateral. It can be generalised to the calculation of a micro-irrigation network, and has the interest to be relatively easy to use, quite fast and to give accurate enough results.

**micro-irrigation / design / control volume / model / uniformity**

**Résumé –** L'uniformité de distribution d'eau par les distributeurs est un facteur déterminant de la qualité du réseau de micro-irrigation. La simulation numérique permet de rechercher les caractéristiques d'une rampe de micro-irrigation afin d'optimiser cette uniformité tout en tenant compte du coût d'investissement. La variation de débit entre distributeurs le long de la rampe est due à la variation de la charge. La méthode proposée consiste à délimiter un volume élémentaire de la rampe muni d'un distributeur, dit "volume de contrôle", pour lequel sont appliquées les équations de conservation de la mécanique des fluides. Le bilan énergétique et massique aboutit à deux équations algébriques, non linéaires, couplées, résolues grâce à une technique numérique simple, en l'occurrence : « la méthode des volumes de contrôle » (CVM), qui consiste à déterminer de façon rétroactive le long de la rampe les paramètres de chacun des volumes. Cette méthode permet de représenter les distributions de pression et de débit le long de la rampe. Les résultats obtenus seront comparés à ceux issus d'autres méthodes de résolution utilisant des techniques de calcul très élaborées et difficiles à manipuler. La méthode a été testée de manière satisfaisante à quelques cas de dimensionnement de rampe de micro-irrigation. Elle peut être généralisée au calcul d'un réseau de micro-irrigation, et présente l'intérêt d'être relativement facile d'utilisation, précise dans ses résultats et d'une exécution rapide.

**micro-irrigation / dimensionnement / volume de contrôle / modèle / uniformité**

### 1. INTRODUCTION

La micro-irrigation est une technique d'irrigation localisée qui permet de répartir de faibles débits d'eau, grâce à un réseau ramifié sous pression, composé d'une conduite principale qui alimente les porte-rampes, lesquelles desservent les rampes munies de distributeurs. La performance du réseau est

liée à l'homogénéité des débits des distributeurs. Le dimensionnement d'une rampe ou d'un réseau de micro-irrigation consiste à déterminer les longueurs et les diamètres des conduites les plus économiques permettant d'assurer, au niveau des distributeurs, une uniformité d'arrosage satisfaisante. Il est impératif pour respecter le cahier des charges, que les dimensions déterminées pour la rampe conduisent à une

---

Communiqué par Gérard Guyot (Dijon, France)

variation de débit entre distributeurs qui n'excède pas 10 % [1]. Cette variation de débit est due principalement aux variations de pression, mais aussi à l'homogénéité de fabrication des distributeurs, à la température et à la qualité de l'eau (bouchage). Le long de la rampe, les variations de pression sont causées par les pertes de charge linéaires et locales mais aussi par la dénivellation du terrain. Compte tenu des faibles débits utilisés en micro-irrigation et de leur répartition ponctuelle, des variations au-delà de certaines limites peuvent compromettre les performances hydrauliques du système et sa rentabilité. De façon à maîtriser ces variations de pression et de débit, il est préférable d'affiner le calcul hydraulique et d'opter pour des méthodes précises.

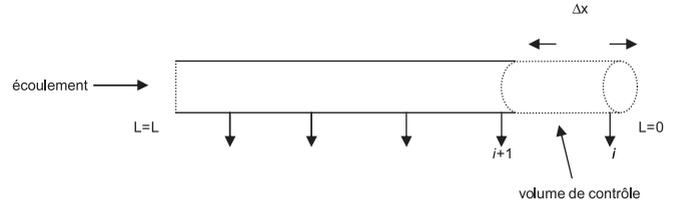
Traditionnellement, le dimensionnement des rampes est basé sur l'utilisation d'abaques empiriques, de nomographes, ou de méthodes simples transférables sur calepures programmables ou tableurs [9]. La méthode de Christiansen [4] est souvent utilisée lors du dimensionnement des réseaux d'aspersion mais aussi en micro-irrigation. La perte de charge estimée pour une conduite sans distributeurs est affectée d'un coefficient de réduction fonction du type et du nombre de distributeurs installés sur la rampe. Le débit des distributeurs est supposé uniforme, ce qui a des conséquences sur la précision des résultats. Dans leurs travaux basés sur le concept de coefficient d'uniformité, Wu et Gitlin [11], ainsi que Wu et Yue [12] ont développé des nomographes utilisés spécifiquement pour le calcul des rampes de micro-irrigation et élaboré la technique de la ligne du gradient d'énergie en présence de pente. Howell et Hiler [7] ont réalisé des graphiques basés sur des solutions numériques itératives de plus en plus précises et Helmi et al. [8] ont élaboré un algorithme basé sur le processus « trial and error ». Bralts et Segerlind [2] ont proposé une procédure de calcul permettant la formulation en éléments finis pour analyser les phénomènes hydrauliques dans la rampe et les conduites secondaires. L'introduction du concept du nœud virtuel permet à Bralts et al. [3] une réduction du nombre de nœuds et donc de matrices facilitant ainsi l'utilisation de la méthode des éléments finis. La convergence vers la solution est accélérée et offre la possibilité de dimensionner un réseau faisant intervenir un nombre important de matrices.

Dans cet article, nous proposons une méthode de calcul hydraulique qui permet d'établir les profils de pression et de débit le long d'une rampe portant des distributeurs similaires et équidistants, en suivant une méthode itérative simple et précise, basée sur une procédure rétroactive (« back step ») : « la méthode des volumes de contrôle » (notée CVM). Le modèle est décrit par des équations algébriques, couplées, non linéaires dont la résolution numérique est simple et constitue l'originalité de ce travail. Un algorithme basé sur la résolution approchée des systèmes d'équations non linéaires par la méthode de Newton [5] est aussi testé dans le but de confronter les résultats.

## 2. DÉVELOPPEMENT THÉORIQUE

### 2.1. Description du modèle

La méthode de calcul proposée est basée sur les principes fondamentaux de conservation d'énergie et de masse, appliqués à l'écoulement d'un liquide incompressible dans une



**Figure 1.** Représentation d'un volume de contrôle sur la rampe de micro-irrigation.

rampe en position horizontale et ayant une section circulaire de diamètre intérieur  $d$ . La présence de distributeurs similaires et équidistants le long de la conduite provoque la diminution du débit d'une extrémité à l'autre. La diminution de pression sur l'axe, consécutive aux pertes de charge par frottement, nécessite un calcul de la pression, tronçon par tronçon, le long de la rampe. Les pertes de charge locales provoquées par les embouts des distributeurs et autres singularités dans la conduite sont négligées. La technique du calcul inverse est utilisée en initiant le processus itératif avec une vitesse nulle d'écoulement à l'extrémité aval de la rampe et une pression donnée,  $H_{min}$  en ce point (donnée d'entrée). La méthode du volume de contrôle « CVM » a été appliquée afin de calculer, connaissant  $H_i$  et  $q_i$  au niveau du distributeur  $i$ , la pression de service  $H_{i+1}$  et le débit  $q_{i+1}$  au niveau du distributeur  $i+1$ , et ainsi de suite tout le long de la conduite. Le volume de contrôle de longueur  $\Delta x$  est délimité par les extrémités  $i+1$  et  $i$  représentant deux distributeurs successifs dont l'un est inclus (Fig. 1).

La méthode suppose que le débit  $q_i$  du distributeur de type non auto-régulant, dans le volume de contrôle, est uniformément distribué entre  $i+1$  et  $i$ .

L'équation caractéristique du distributeur (1) est une donnée du problème.

$$q_i = \alpha \bar{H}^{x_e} \quad (1)$$

avec

$$\bar{H} = \frac{1}{2}(H_i + H_{i+1}) \quad (2)$$

–  $\bar{H}$  : moyenne arithmétique de la pression de fonctionnement dans la conduite au niveau du distributeur,

–  $\alpha$  et  $x_e$  sont des coefficients expérimentaux caractéristiques du distributeur.

Le bilan énergétique et massique est établi au volume de contrôle entre les extrémités  $i+1$  et  $i$ . L'application de l'équation de Bernoulli entre les points  $i+1$  et  $i$  a pour expression

$$H_{i+1} + \frac{1}{2g}V_{i+1}^2 = H_i + \frac{1}{2g}V_i^2 + \Delta H \quad (3)$$

$H_1$  et  $V_1$  sont connues par hypothèse ( $i = 1$ ),  $H_1 = H_{min}$  donnée et  $V_1 = 0$ .

L'équation de conservation de masse appliquée au volume de contrôle est :

$$AV_{i+1} = AV_i + q_i \quad (4)$$

avec,

- $A$  est la section droite de la rampe,
- $V_{i+1}$  et  $V_i$  sont les vitesses d'écoulement dans la conduite aux extrémités du volume de contrôle.

La perte de charge linéaire  $\Delta H$  du volume de contrôle de longueur  $\Delta x$ , compris entre  $i+1$  et  $i$  est définie par la relation classique de perte de charge :

$$\Delta H = a \cdot \bar{V}^m \Delta x \quad (5)$$

dans laquelle la vitesse considérée est la moyenne arithmétique entre les sections  $i+1$  et  $i$  :

$$\bar{V} = \left( \frac{V_i + V_{i+1}}{2} \right). \quad (6)$$

Les coefficients  $a$  et  $m$  dépendent du régime d'écoulement, lui-même caractérisé par le nombre de Reynolds :

$$R_e = \frac{\bar{V}d}{\nu}. \quad (7)$$

Si le régime d'écoulement est laminaire ( $R_e < 2300$ ), le coefficient  $m$  est égal à l'unité, la valeur du coefficient  $a$  est obtenue par la relation de Poiseuille :

$$a = \frac{32\nu}{gd^2}. \quad (8)$$

Lorsque le régime d'écoulement est turbulent ( $R_e > 2300$ ), le coefficient  $m$  est égal à 1,852 et le coefficient  $a$  est déterminé avec la formule de Hazen-Williams :

$$a = \frac{K}{C^m A^{0,5835}} \quad (9)$$

- $C$  : coefficient de Hazen-Williams,
- $K$  : coefficient de proportionnalité,
- $\nu$  : viscosité cinématique,
- $g$  : accélération de pesanteur.

La combinaison des équations (3), (4) et (5) citées précédemment aboutit à un système de deux équations (10) et (11) donnant la distribution des pressions et des vitesses le long de la rampe :

$$H_{i+1} + \frac{1}{2g} V_{i+1}^2 = H_i + \frac{1}{2g} V_i^2 + a \bar{V}^m \Delta x \quad (10)$$

$$A V_{i+1} = A V_i + \alpha \bar{H}^{xe}. \quad (11)$$

Ces équations algébriques sont non linéaires, l'interdépendance entre les variables  $V$  et  $H$  en complique la résolution, car les solutions obtenues pour  $V$  et  $H$  doivent être simultanées.

## 2.2. Analyse des étapes de calcul

L'évaluation des paramètres  $V$  et  $H$  s'effectue selon quatre étapes :

- étape 1 : Les données initiales  $V_1 = 0$  et  $H_1 = H_{min}$  sont fixées;

- étape 2 : Une valeur de  $V_{i+1}$  est proposée puis  $H$  est calculé par l'équation (11), ce qui permet de déterminer la valeur de  $H_{i+1}$ ;
- étape 3 :  $H_{i+1}$  est calculé par l'équation (10), les deux valeurs de  $H_{i+1}$ , sont comparées ; si elles ne sont pas égales, une autre valeur est donnée à  $V_{i+1}$  et ainsi de suite jusqu'à converger vers la solution avec une précision donnée;
- étape 4 : Les étapes 2 et 3 sont poursuivies jusqu'au dernier distributeur de pression  $H_N$  et de vitesse  $V_N$ .

En procédant ainsi, on obtient autant de valeurs  $H_{max}$  et  $Q_{max}$  en sortie du calcul que de valeurs  $H_{min}$  initiées en entrée (les indices  $max$  et  $min$  renvoient respectivement à l'entrée et à la fin de la rampe).

L'algorithme détaillé est décrit par l'organigramme du programme de calcul (*Annexe*).

## 2.3. Test de convergence

Les conditions de convergence entre les nouvelles valeurs de la vitesse  $V_i$  et de la pression  $H_i$  et les valeurs précédentes  $VP$  et  $HP$  sont décrites par les équations (12) et (13), dans lesquelles  $\varepsilon$  est le critère seuil de l'arrêt des itérations. Plus la valeur de  $\varepsilon$  est faible plus la précision est grande :

$$ErV(i) = \left| \frac{V(i) - VP}{V(i)} \right| < \varepsilon \quad (12)$$

$$ErH(i) = \left| \frac{H(i) - HP}{H(i)} \right| < \varepsilon. \quad (13)$$

## 2.4. Calcul d'uniformité

Le débit d'un distributeur quelconque sur la rampe est exprimé par sa relation caractéristique (1), le débit moyen  $q_{moy}$  d'un distributeur par rapport à l'ensemble des débits des distributeurs  $NG$  sur la rampe, le débit total  $Q_t$  ou  $Q_{max}$  à l'entrée de la rampe et le débit total moyen  $Q_{moy}$  sont évalués respectivement par les expressions (14), (15) et (16),  $q_n$  étant le débit nominal du distributeur :

$$Q_{max} = V_{max} A \quad (14)$$

$$Q_{moy} = NG \cdot q_n \quad (15)$$

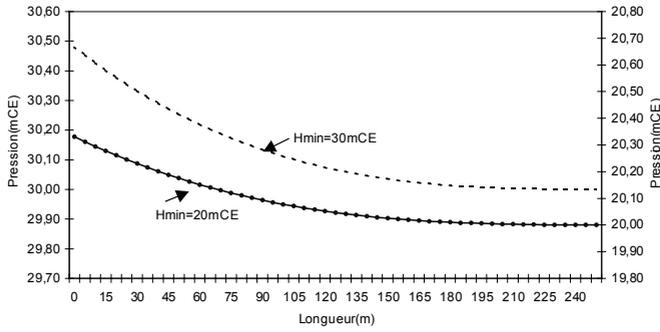
$$q_{moy} = \frac{\sum q(i)}{NG} \quad (16)$$

$$H_{moy} = \frac{\sum H(i)}{NG}. \quad (17)$$

Les coefficients de variation sont les quotients des écarts types  $\sigma$  par les valeurs moyennes :

$$C_{vq} = \frac{\sigma_q}{q_{moy}} \quad (18)$$

$$C_{vH} = \frac{\sigma_H}{H_{moy}}. \quad (19)$$



**Figure 2.** Distribution de la pression le long d'une rampe de longueur  $L = 250$  m de diamètre  $d = 30$  mm équipée de  $NG = 50$  distributeurs distants de 5 m dans les cas où les pressions minimales requises ( $H_{min}$ ) sont respectivement égales à 20 mCE (axe des ordonnées de droite) et 30 mCE (axe des ordonnées de gauche).

Les coefficients d'uniformité de débit ( $C_{uq}$ ) et de pression ( $C_{uH}$ ) sont déterminés par les relations (20) et (21) :

$$C_{uq} = 100(1 - C_{vq}) \quad (20)$$

$$C_{uH} = 100(1 - C_{vH}). \quad (21)$$

### 3. RESULTATS ET COMMENTAIRES

#### 3.1. Étude d'un exemple

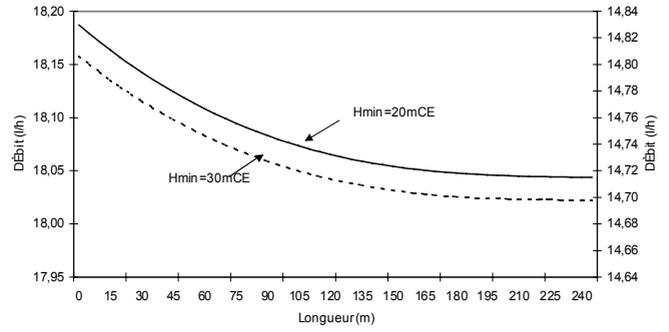
Nous avons choisi d'appliquer la méthode de calcul *CVM* à une rampe horizontale de longueur  $L = 250$  m munie d'un nombre  $NG = 50$  distributeurs identiques ( $\alpha = 9.14 \times 10^{-7}$ ,  $x_e = 0,5$ ). L'espacement entre les distributeurs sur la rampe est  $\Delta x = 5$  m et la température de l'eau est  $20^\circ\text{C}$  (il s'agit de l'exemple présenté par Bralts et al. [3]).

Le modèle de calcul a été appliqué pour plusieurs valeurs de  $H_{min}$  et de diamètres  $d$ . La convergence vers la solution est rapide, les répartitions de pression et de débit (sorties) obtenues pour les valeurs de  $H_{min} = 30$  m et 20 m et un diamètre de 30 mm, prises à titre d'exemple, sont illustrées par les figures 2 et 3.

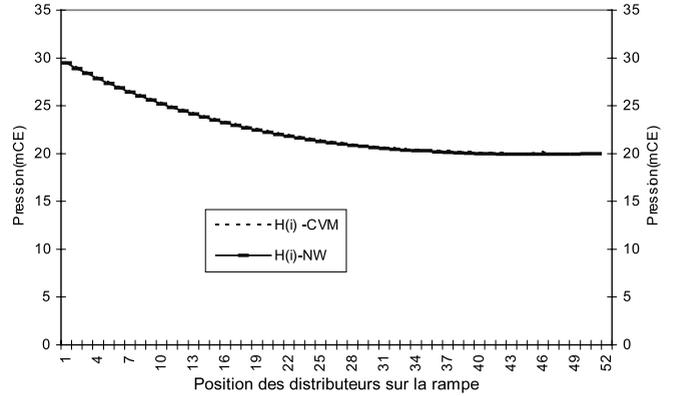
La ligne piézométrique (Fig. 2) est une courbe d'allure régressive dont la pente (perte de charge unitaire) est minimisée par le calcul. D'un point de vue énergétique, c'est la plus faible valeur qui est préférable, cependant le critère agronomique est principalement basé sur le coefficient d'uniformité des débits des distributeurs.

Pour ces mêmes exemples, la répartition des débits le long de la rampe est représentée par les courbes (Fig. 3), ayant la même allure que celles des pressions. La variation relative de la pression sur la rampe est plus forte que la variation de débit, et manifestement plus importante en amont car les pertes de charge y sont plus élevées.

Notons que les caractéristiques de la conduite (longueur, diamètre et rugosité) ainsi que celles du distributeur ( $\alpha$  et  $x_e$ ) sont des variables, ce qui donne la possibilité de couvrir une large gamme d'exemples par cette méthode et a fortiori les exemples relatifs aux diamètres normalisés et à plusieurs types de distributeurs.



**Figure 3.** Distribution des débits le long d'une rampe de longueur  $L = 250$  m de diamètre  $d = 30$  mm équipée de  $NG = 50$  distributeurs dans les cas où les pressions minimales requises ( $H_{min}$ ) sont respectivement égales à 20 mCE (débit nominal  $q_n = 14,71$  l/h, axe des ordonnées de droite) et 30 mCE (débit nominal  $q_n = 18$  l/h, axe des ordonnées de gauche).



**Figure 4.** Distribution des pressions le long d'une rampe obtenue par la méthode des volumes de contrôle (CVM) et la méthode de résolution de Newton (NW).

#### 3.2. Comparaison avec les résultats obtenus par d'autres méthodes

Un autre algorithme de calcul basé sur une méthode de résolution de Newton (notée NW) a été développé sur la base des hypothèses avancées pour la méthode CVM. L'application de la méthode de Newton exige l'introduction d'un vecteur initial de démarrage des calculs aussi proche que possible de la solution. Pour cela, une approximation initiale  $H^{(0)}$ , une valeur grossière de la solution est proposée. Les conditions aux limites du modèle (NW) servant de vecteur initial sont données par les valeurs de  $H_{min}$  et  $H_{max}$  choisies arbitrairement, et  $V_{min} = 0$  et  $V_{max} = Q_{max}/A$ . Sur la base de la valeur de  $H_{max}$ , le débit du premier distributeur  $q_{max}$  est déterminé par la relation (1) et la valeur supposée ' $Q_{max}$ ' est alors la valeur de  $q_{max}$  multipliée par le nombre de distributeurs.

À titre d'exemple, les résultats relatifs aux deux méthodes de calcul (CVM) et (NW) exécutés pour une même rampe ( $d = 15,2$  mm,  $H_{min} = 20$  m) sont illustrés figure 4. On y

**Tableau I.** Valeurs des coefficients d'uniformité ( $C_{uq}$ ), ( $C_{uH}$ ), et de la variation de débit ( $q_{var}$ ) et de pression ( $H_{var}$ ), de ( $V_{max}$ ) obtenues pour plusieurs valeurs de diamètres  $D_r$  et une pression  $H_{max} = 30$  m. \* : dans ce cas, c'est le diamètre  $d = 18$  mm qui est le plus adapté, ( $q_{var} < 10$  %).

$D_r$ (mm)	$V_{max}$ (m/s)	$H_{min}$ (m)	$q_{max}$ (l/h)	$q_{min}$ (l/h)	$q_{var}$ (%)	$H_{var}$ (%)	$C_{uq}$ (%)	$C_{uH}$ (%)
10	1,80	4,43	17,45	6,92	60,30	85,23	67,93	32,70
12	1,56	10,82	17,65	10,82	38,68	63,93	83,83	66,00
15	1,22	19,84	17,84	14,65	17,87	33,86	93,86	87,40
16	1,11	21,97	17,88	15,42	13,75	26,76	94,44	90,70
17	1,01	23,66	17,91	16,00	10,63	21,11	96,56	93,01
<b>18*</b>	0,92	24,99	17,93	16,44	<b>8,27</b>	<b>16,70</b>	<b>97,37</b>	94,68
19	0,84	26,03	17,95	16,78	6,50	13,23	97,97	95,90
20	0,76	26,83	17,96	17,04	5,14	10,56	98,41	96,80
21	0,69	27,45	17,97	17,24	4,10	8,50	98,74	97,47
22	0,64	27,94	17,98	17,39	3,36	6,86	99,00	97,98
23	0,59	28,32	17,99	17,51	2,70	5,60	99,19	98,37
25	0,50	28,86	18,00	17,67	1,80	3,79	99,46	98,92
27	0,43	29,21	18,00	17,78	1,24	2,63	99,63	99,25
30	0,35	29,53	18,01	17,85	0,88	1,86	99,74	99,47
35	0,26	29,77	18,01	17,95	0,36	0,76	99,89	99,79
40	0,19	29,88	18,02	17,98	0,12	0,00	99,99	99,89
50	0,13	29,96	18,02	18,01	0,06	0,00	99,98	99,96
60	0,08	29,98	18,02	18,01	0,02	0,00	99,98	99,96

remarque la superposition presque parfaite des lignes piézométriques obtenues, la différence de pression moyenne observée sur la rampe étant seulement d'une centaine de mmCE.

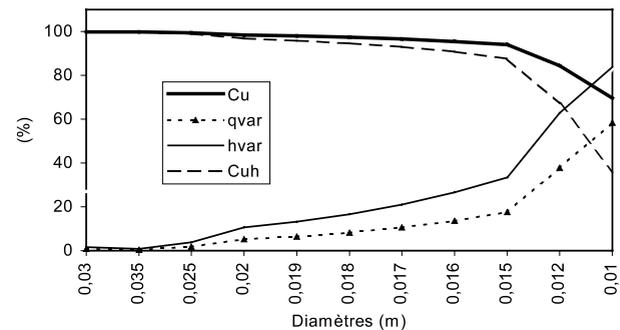
Les deux modèles CVM et NW aboutissent donc en pratique aux mêmes résultats. Bien que d'un algorithme simple et rapide, le choix par tâtonnement du vecteur d'initiation des calculs complique l'utilisation de la méthode de Newton. La méthode CVM a plus grande facilité d'exécution, et sa convergence est rapide.

Ces résultats corroborent ceux de Bralts et al. [3] obtenus par la méthode dite « exacte » et la méthode des éléments finis appliquées au même exemple ( $C_{uq} = 94$  %, et  $C_{uq} = 94,22$  % pour la méthode CVM).

### 3.3. Détermination du diamètre optimal de la rampe

La méthode CVM a été testée pour plusieurs valeurs de diamètre  $d$  et de pression finale  $H_{min}$ . Les paramètres ( $L$ ,  $C$ ,  $v$ ,  $\alpha$  et  $x_e$ ) sont maintenus constants. L'objectif est de déterminer le diamètre le plus intéressant au plan économique en se basant sur les normes de dimensionnement utilisées en micro-irrigation, en l'occurrence une variation du débit entre distributeurs  $q_{var} \leq 10$  % [1]. Les résultats sont regroupés sur le tableau I et la figure 5.

Une série de valeurs de  $H_{min}$  donc de  $H_{max}$  ont été testées, celles retenues dans ce tableau sont celles dont le débit total  $Q_{max}$  converge vers  $Q_{moy}$ . Ce dernier représente la base des



**Figure 5.** Évolution des coefficients d'uniformité de débit ( $C_u$ ) et de pression, ( $C_{uH}$ ), et des pourcentages de variation de débit ( $q_{var}$ ) et de pression ( $h_{var}$ ) en fonction du diamètre de la rampe.

besoins en eau estimés pour la culture irriguée par ce type de distributeur. En fixant la longueur de la rampe, il est aisé de déterminer selon le type de distributeur le diamètre optimal de la rampe et les répartitions de pression et de débit le long de celle-ci.

Suivant le critère d'uniformité imposé, le diamètre économiquement le plus rentable peut être déterminé. Si on veut revoir à la baisse le coût du réseau, il faut diminuer le diamètre des rampes, ce qui se fera au détriment de l'uniformité. Il est aussi possible de combiner deux ou plusieurs diamètres et obtenir une rampe dont la longueur des tronçons ainsi que la

répartition de débit et de pression seront connues. En fixant le diamètre, la même procédure peut être adoptée pour déterminer la longueur optimale de la rampe.

#### 4. DISCUSSION

On peut observer que la perte de charge est répartie sur la longueur de la rampe, pour moitié dans le premier cinquième ( $1/5 L$ ), pour le quart dans le tronçon suivant de même longueur, et enfin pour le quart restant sur le dernier tronçon ( $3/5 L$ ). Cette répartition de la pression est à l'origine de la variation spatiale du débit évaluée par le coefficient d'homogénéité de distribution.

Les pertes de charge locales provoquées par les dispositifs de fixation des distributeurs sur la rampe ont été négligées dans ce travail. L'influence de ces pertes sur l'évolution de la charge le long de rampe est d'autant plus importante que le diamètre de celle-ci et le pas d'espace entre distributeurs sont faibles. Howel et Hiler [7] proposent de tenir compte des pertes de charge locales en augmentant le coefficient de réduction ( $F_c$ ) de Christiansen alors que Keller et Karmeli in [6] suggèrent de réduire le coefficient de résistance hydraulique de Hazen-Williams ( $C$ ). Il est à signaler que ces propositions nécessitent la connaissance des valeurs empiriques des coefficients  $F_c$  et  $C$ . La solution classiquement adoptée consiste à évaluer la longueur équivalente ( $L_e$ ) aux pertes de charge locales par la relation suivante :

$$L_e = C_e Q^{m'} \quad (22)$$

où  $C_e$  et  $m'$  sont des coefficients empiriques fonction du diamètre et du type de distributeur [6].

Un autre facteur influant que nous avons également négligé est la pente du sol sur lequel reposent les rampes. La pente est synonyme d'énergie potentielle de position, qui s'ajoute à la perte de charge totale dans le cas d'une pente descendante et qui se retranche dans le cas d'une pente ascendante. Dans le cas d'une pente uniforme, il n'y a pas de contrainte à intégrer cette variable dans le calcul de la charge, cependant la difficulté réside dans le cas des terrains trop ondulés où plusieurs scénarios sont possibles. Les variations de pression consécutives aux évolutions de la pente peuvent s'annuler entre elles, comme elles peuvent compenser partiellement voire totalement les pertes de charge. Les pressions  $H_{max}$  et  $H_{min}$  ne sont plus positionnées à priori à l'entrée et à l'extrémité aval de la rampe. Dans le cas d'une pente descendante accentuée, les pressions dans la rampe s'inversent et  $H_{max}$  peut se positionner à l'extrémité aval et  $H_{min}$  à l'extrémité amont. L'intégration de la topographie du terrain peut donc se révéler délicate dans certains cas.

La viscosité de l'eau et la géométrie du distributeur évoluent avec la température. Rodriguez et al. [10] ont montré que le débit d'un distributeur à écoulement hélicoïdal augmente avec la température ( $0,7 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ ) et que celui d'un distributeur de type vortex diminue ( $0,4 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ ). L'effet de la température est négligeable dans le cas des distributeurs à orifice. Cette variation s'ajoute à celles dues à la perte de charge et à la pente. Cette variation de débit des distributeurs est très délicate à modéliser en raison de l'interdépendance de nombreux facteurs avec la température de l'eau et celle de l'air.

Un autre paramètre qui affecte l'uniformité de distribution tant selon une dimension spatiale que temporelle, est relatif au bouchage des distributeurs. Qu'il soit d'origine chimique ou physique, total ou partiel, lent ou brusque, le bouchage constitue un problème majeur pour un réseau de micro-irrigation. Sa prise en charge dans la méthode de calcul peut être introduite en multipliant le coefficient  $\alpha$  de l'équation (1) par le terme  $(1 - \beta)$ ,  $\beta$  représentant le taux de bouchage à prévoir dont la répartition est jugée uniformément distribuée sur tous les distributeurs. Dans la réalité, cette uniformité n'est probablement jamais observée.

Des modèles qui tiennent compte de tous ces facteurs ne sont toujours pas aisés à mettre en œuvre.

#### 5. CONCLUSION

La méthode de calcul proposée permet de projeter des scénarios de dimensionnement des rampes de micro-irrigation et offre l'opportunité du choix de la solution jugée optimale. Les paramètres choisis pour le dimensionnement d'une rampe qui reposent sur des critères d'uniformité et de prix peuvent être remis en cause si l'on considère les coûts de fonctionnement, par exemple dans le cas de rampe de faible diamètre où les pertes d'énergie sont assez grandes. La méthode offre cette possibilité du choix de l'équilibre judicieux entre les dimensions des conduites et l'énergie totale requise.

Le modèle s'appuie sur des techniques de calcul assez simples dont la convergence vers la solution est rapide, il est facile à programmer sur micro-ordinateur et aboutit à des résultats suffisamment précis.

#### RÉFÉRENCES

- [1] Bralts V.F., Irrigation guide, chapter in advances in irrigation, Vol. IV, Academic Press Inc., New York, 1987, p. 5.
- [2] Bralts V.F., Segerlind L.J., Finite elements analysis of drip irrigation submain units, Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 28 (1985) 809-814.
- [3] Bralts V.F., Kelly S.F., Shayya W.H., Segerlind W.H., Finite element analysis of micro-irrigation hydraulics using a virtual emitter system, Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 36 (1993) 717-725.
- [4] Christiansen J.E., Irrigation by sprinkling, Univ. Calif. Agric. Exp. Sta. Bull. 670 (1945) 124.
- [5] Demidovitch B., Maron I., Eléments de calcul numérique, Ed. Mir, Moscou, 1987, p. 717.
- [6] Feyen J., Leliaert J., Badji M., Traité pratique de l'irrigation sous pression, AGCD /ABOS, KU, Leuven, 1986, 231 p.
- [7] Howell T.A., Hiler E.A., Trickle irrigation lateral design, Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 17 (1974) 902-908.
- [8] Helmi M.H., Ahmed I.A., Mohammad F.S., Analysis and design of trickle irrigation laterals, J. Irrig. Drain. Eng. 119 (1993) 756-767.
- [9] Icianz, Polyplot, Imperial Chemical Industries of Australia and New Zealand limited, Melbourne, Australia, 1970.
- [10] Rodriguez L.S., Juana L., Losada A., Effects of temperature changes on emitter discharge, J. Irrig. Drain. Eng. 125 (1999) 64-73.
- [11] Wu I.P., Gitlin H.M., Drip irrigation based on uniformity, Trans. Am. Soc. Agric. Eng. (1974) 429-432.
- [12] Wu I.P., Yue R., Drip lateral design using energy gradient line approach, Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 36 (1993) 389-394.

Annexe 1 : Organigramme du programme CVM.

