

IRRIGATION GOUTTE A GOUTTE POUR VERGERS

par J. FEYEN

INTRODUCTION

Pour obtenir des productions maximales de la plante un approvisionnement continu d'eau et des éléments nutritifs est nécessaire au système racinaire et, ce, à un taux suffisant correspondant aux besoins instantanés de la plante. Le potentiel de l'eau du sol doit être à un tel niveau que la conductivité du sol correspondante, exprimant la facilité avec laquelle le milieu du sol conduit l'eau, assure la densité requise du flux de l'eau au système de la plante. Dans de telles conditions, la plante peut consommer l'eau très facilement et transpirer en rapport avec la situation climatologique locale. A ce moment là, le taux avec lequel l'eau est fournie par le sol et transportée au feuillage est équivalent au taux de transpiration. L'activité de l'eau (potentiel) dans la plante est élevée; de ce fait on peut s'attendre à des productions importantes.

Le but principal de l'irrigation goutte à goutte consiste à approvisionner en eau nécessaire, de façon continue (si possible) le système racinaire, (entièrement ou partiellement), afin d'empêcher un flétrissement qui serait dû à la réduction du contenu d'eau dans le tissu. Ceci est rendu possible par l'adaptation d'un arrosage du système d'irrigation au taux d'extraction de l'eau du sol par les plantes. En pratique, ceci implique un approvisionnement local de l'eau à des taux très bas, parfois même goutte à goutte, d'où le terme « irrigation goutte à goutte ». On peut ajouter des éléments chimiques solubles à l'eau d'irrigation afin de maintenir un niveau constant des éléments nutritifs.

Le système d'irrigation goutte à goutte comporte un système d'irrigation pour l'eau, de telle façon que chaque gouteur ait, autant que possible, un même débit malgré le vallonement du terrain et les pertes de charge dans les tuyaux. Ainsi, chaque plante obtiendra la même quantité d'eau. Les débits faibles et les pressions d'opération relativement basses sont propres à ces systèmes. Le taux d'application par plante ou débit par gouteur, dépendant principalement du type de sol et de la géométrie du système racinaire, varie de 2 à 10 litres par heure.

Il est possible de compenser journallement l'évapotranspiration ou d'empêcher le potentiel de matrice du sol de dépasser une certaine valeur

correspondant au type de culture. Une bonne approche du potentiel de matrice à laquelle l'eau doit être fournie a été découverte pour un certain nombre de cultures.

1) Une première méthode concerne les régions à climat pratiquement constant et où les précipitations sont d'une importance secondaire. Pour obtenir le débit d'application on calcule le taux d'évaporation journalier d'une surface d'eau à l'aide d'un bac d'évaporation, on réduit cette valeur par un coefficient de culture dans lequel la grandeur n'est pas tellement importante. On accepte généralement une valeur de 0,75. L'arrosage n'est pas instantané mais il exige un délai qui dépend de l'évaporation de la surface d'eau.

2) La seconde méthode ou méthode potentielle est plus universelle. Au lieu d'une information détaillée concernant les quantités d'eau, seules deux valeurs de potentiels sont requises. La première valeur et le potentiel de matrice dans deux ou trois endroits du terrain et à deux ou trois profondeurs dans chaque endroit. Il suffit de lire le cadran du tensiomètre ou *le compteur du bloc de résistance utilisé pour mesurer l'humidité du sol*. La deuxième valeur suppose que l'on connaît le potentiel auquel on doit irriguer. La manipulation peut également être basée sur les mesures de potentiel de matrice dans le tissu de la plante. Cette façon de schématiser l'irrigation est la seule technique pratique d'aménagement sous des conditions climatiques humides. L'avantage de cette méthode est qu'elle est basée sur le potentiel de matrice, une propriété du sol intrinsèque, qui est directement influencée par le contenu d'eau. De plus, la procédure opératoire permet très facilement une automatisation complète.

L'irrigation goutte à goutte est généralement très efficace. Elle exprime le pourcentage d'eau fournie au champ celui-ci étant réellement ajouté à la zone racinaire puis disponible pour l'évapotranspiration. Les pertes de champ sont très basses vu que le débit local (près de la plante) ce qui fait que seulement 10 à 15% de la surface du champ seront humidifiés. De plus, seule cette quantité d'eau sera utilisée par la plante. Parfois on ajoutera un surplus de 20% pour provoquer une filtration profonde et ce, afin d'empêcher une accumulation de sel.

Il s'agit d'un système permanent mais assez cher au début ne demandant, cependant, aucune dépense par la suite. Les systèmes d'irrigation goutte à goutte s'adaptent bien à l'automatisation. Pour des cultures sous abri, ce système convient beaucoup mieux que toute autre technique d'irrigation conventionnelle. Par ailleurs, ce système d'irrigation est le moins cher que l'on puisse trouver pour un tel but.

Le fait que l'on puisse utiliser ce système pour la livraison d'engrais contribue considérablement à son succès. Cette méthode est la plus efficace pour résoudre le problème de la salinisation des sols.

Cette méthode a tout d'abord été employée il y a quarante cinq ans dans les serres d'Europe Occidentale. Le développement de l'industrie de matières synthétiques et l'augmentation des salaires on fait que la méthode a été très répandue, non seulement pour ce qui est des serres, dans lesquelles les cultures de grande valeur justifient les investissements, mais aussi pour des cultures maraîchères et des vergers. En Australie, Israël, Mexique, Afrique du Sud et USA l'irrigation goutte à goutte a eu un très grand succès ces dernières années.

IIÈRE PARTIE.

Description d'un système d'irrigation goutte à goutte.

1 INTRODUCTION

Tous les systèmes de goutte à goutte doivent avoir au moins:

- une source d'eau sous pression;
- un système de tuyaux pour transporter l'eau de la source au point de livraison;
- et quelques orifices à travers lesquels l'eau est distribuée sur le champ.

De nouvelles composantes peuvent être utilisées:

- pour faire démarrer et stopper l'écoulement de l'eau;
- pour régulariser le réseau d'eau;
- pour mesurer l'écoulement et la pression de l'eau;
- pour fermer une rampe de livraison et activer une autre.

Plusieurs de ces composantes secondaires consistent en des dispositifs très simples alors que d'autres font appel à un équipement moderne très complexe.

La composition complète du système d'irrigation goutte à goutte sera détaillée dans les paragraphes suivants. On insistera sur des composantes qu'on utilise le plus. Les avantages et les inconvénients du système seront, par ailleurs, résumés. Il est clair qu'il existe beaucoup de variantes en rapport avec la superficie de la surface à irriguer et avec les besoins à satisfaire. La diversité du matériel est dictée par la culture, le sol, le climat, la main d'oeuvre, la livraison de l'eau et des considérations d'ordre économiques. La figure 1 offre un plan schématique du système d'irrigation goutte à goutte.

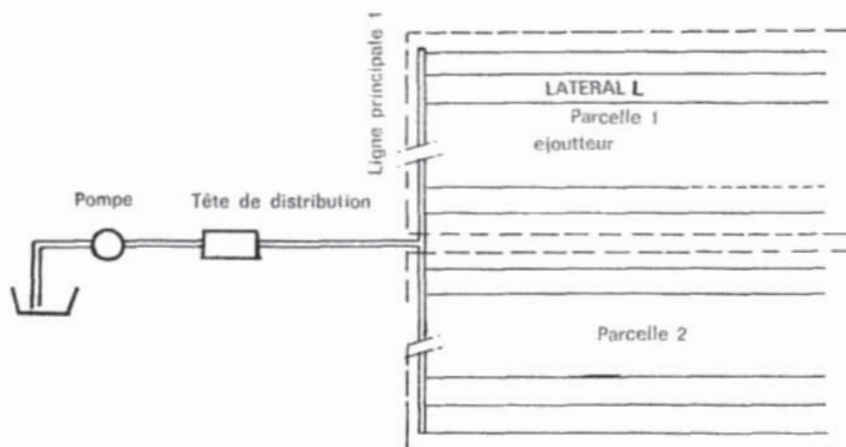


Figure 1. - Schéma d'une région dans laquelle doit être installée un système de goutte à goutte.

2 COMPOSITION DES SYSTEMES D'IRRIGATION GOUTTE A GOUTTE

Les composantes majeures sont:

- pompe,
- conduit principal vers la tête de distribution groupant les instruments d'opération et de contrôle,
- tête de distribution (voir figure 2) comprenant:
 - vanne de mesure automatique combinée à une vanne hydraulique contrôlée à distance (1 et 2);
 - vanne à sens unique (3);
 - sortie vers le réservoir d'engrais (4);
 - vanne de régularisation (5);
 - nouvelle entrée provenant du réservoir (6);
 - jauge de pression;
 - filtre;
 - sortie vers les principaux réseaux avec régulateurs de pression (9 et 10);
 - conduit principal;
 - latéraux;
 - goutteurs.

Nous traiterons des principales composantes dans les paragraphes suivants.

POMPE.

Si l'on suppose 1000 arbres par hectare et un débit de 2 (10) litres par heure et par arbre, on aura besoin d'une capacité de pompe de 2 (10) mètres cubes par heure et par hectare. Cette demande par heure est très basse comparée au système classique d'irrigation par aspersion qui exige 50 à 100 m³/h. La pression requise dépend de la perte de charge totale du système de transport de la pression de l'opération des goutteurs et des différences d'altitude en topographie. Les pertes de charge sont petites à cause des faibles débits. La liste suivante donne une idée de l'ordre de grandeur de la chute de pression par le passage de l'eau dans différentes composantes:

— mètres d'eau automatique	0,10 0,40 kg/cm ²
— vannes automatiques	0,30 0,60 kg/cm ²
— filtres	0,25 0,75 kg/cm ²
— composantes de régulation du débit	0,5 1,2 kg/cm ²
— système de transport	0,2 0,6 kg/cm ²
— goutteurs	0,5 1,2 kg/cm ²

Sur la base des informations ci-dessus une pression de 2,5 . . . 3,5 kg/cm² sera nécessaire au niveau de la pompe.

HYDROMETRE.

Il peut s'agir d'un dispositif très simple ou d'une vanne de mesure automatique se fermant automatiquement lorsqu' une certaine quantité d'eau aura été livrée. Les composantes principales de la vanne de mesure sont:

- un compteur;
- assemblage principal;
- un mécanisme de fermeture automatique à l'intérieur d'une unité compacte.

Une roue à aubes rotative bien équilibrée de type Woltmann met en marche un engrenage de réduction qui est lié à une vanne et à un bouton de contrôle externe. La rotation de la roue à aubes est proportionnelle à la vitesse de l'écoulement de l'eau. Une fois que la quantité d'eau voulue a été livrée, la vanne déclenche le mécanisme de fermeture afin d'arrêter l'écoulement d'eau d'une manière mécanique ou hydrauliquement par une pression du réseau sur le diaphragme. Pour faire fonctionner la vanne motrice on place la vanne pilote au moyen du bouton de contrôle, et ce, dans le but de livrer la quantité d'eau voulue. Une ouverture de drainage sur la partie inférieure de la vanne permet un nettoyage périodique de celle ci.

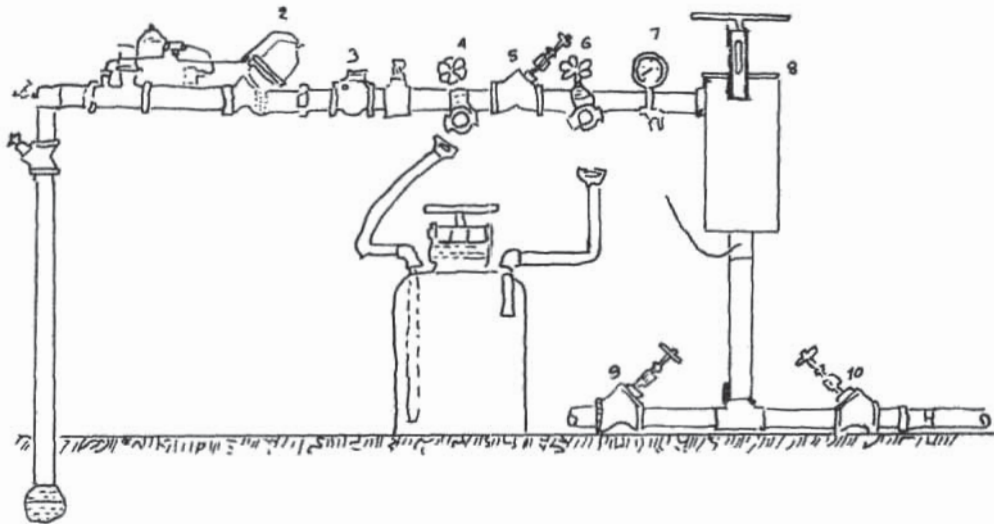


Figure 2. - Tête de distribution d'une installation de goutte à goutte.

RESERVOIR FERTILISANT.

L'appareil de fertilisation est une composante standard du système du goutte à goutte. C'est un réservoir utilisé pour mélanger l'engrais et l'eau; il est hermétique et inoxydable relié au réseau principal par les tubes d'entrée et de sortie. Une vanne de régulation de pression, située sur le réseau principal entre les points de connexion, contrôle la légère chute de pression voulue $0,1 \dots 0,2 \text{ kg/cm}^2$, cette dernière afin de diriger une partie du courant de l'eau à travers le réservoir et ce, à partir de la ligne principale, transportant sur son trajet une partie de la solution fertilisante. Ce système comporte cependant un danger qui consiste en un retour de l'eau chargée d'engrais vers la source. Pour remédier à cela on installera des clapets anti-retour sur la tête de distribution.

FILTRE.

Le principe de base dans l'irrigation goutte à goutte (livraison ponctuelle de l'eau enrichie d'engrais, nécessitant l'utilisation de petits orifices) mène tout naturellement à l'incorporation des filtres. Le filtre doit être tel qu'il soit possible d'obtenir un débit répondant aux normes de fonctionnement du système, sans que l'on soit obligé de le nettoyer au cours d'une période d'application.

L'utilisation standard se fait à l'aide de filtres à écran (acier inoxydable ou plastique), normalement la dimension des ouvertures varie entre 50 et 150 microns, mais elle doit en fait être décidée en fonction du débit du volume et de l'accumulation d'impuretés. On utilise en principe un filtre par parcelle. La filtration se fait souvent graduellement soit dans un seul, et même filtre ou en combinant 2 ou plus, en série. Dans le cas où nous avons de grandes quantités de matières organiques dans l'eau d'irrigation, il est d'usage de préférer les filtres à gravier dont les matières filtrantes permettent d'arrêter les impuretés grâce à leur volume. Alors que dans le cas des filtres à écran les impuretés étaient arrêtées à la surface de la maille, ceci impliquant l'utilisation d'une grande quantité d'eau pour le nettoyage. Par mesure de sûreté et de contrôle le filtre à écran doit toujours être placé après le filtre à gravier. Les filtres à turbulence permettent une séparation efficace des grandes particules dans la cas où l'eau contient des quantités appréciables de sable (avec chute de pression de 5 mètres).

Fréquemment, le nettoyage des filtres est un travail terne et fatigant. Les filtres commerciaux sont de plus en plus équipés de dispositifs automatiques pour le nettoyage. Le filtre étant placé entre deux manomètres, il est possible d'obtenir des informations sur le degré d'obturation, grâce à la lecture des manomètres (c'est à dire lecture de la chute de pression). Le moment où le nettoyage devra avoir lieu correspondra à une certaine valeur de la perte de pression dans le filtre.

REGULATEUR DE PRESSION.

Le régulateur de pression est sélectionné en fonction de l'écoulement et de la pression voulus dans la ligne principale. Grace à ces dispositifs on peut conserver une pression plus ou moins constante dans la ligne principale, en dépit des pertes de charge variantes dans les filtres, les goutteurs etc.

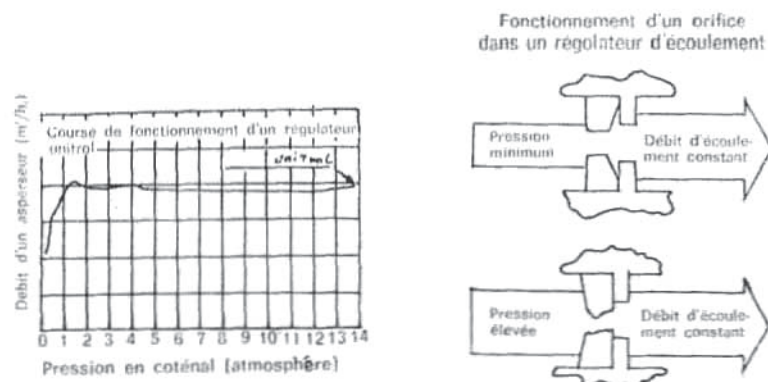
On a besoin d'une régulation dans plusieurs cas de sorte à préserver des pressions régulières et optimales. En fait, ceci devrait être un élément standard du système qui est néanmoins négligé dans le cas où des pressions extrêmement basses dominent. Les régulateurs de pression sont souvent situés sur la tête de distribution ou sur les jonctions principales du réseau. Les régulations individuelles ou latérales sont rares.

LIGNE PRINCIPALE.

Il existe une ligne principale par champ sur laquelle les latéraux sont branchés. Le diamètre de ces tubes en polyéthylène varie de 2 à 3 pouces (inch).

REGULATEUR DE L'ÉCOULEMENT.

Le régulateur de l'écoulement consiste en un dispositif compact simple et auto-nettoyant livrant un volume d'eau constant à chaque sortie. L'opération du régulateur est basée sur le principe de relations inversement proportionnelles existant entre le profil en travers de l'orifice flexible et de la pression de la ligne. Comme la figure 3 l'indique, un accroissement de la pression opératoire correspond à un décroissement du profil en travers. L'ouverture de l'orifice reste constante, alors que les pertes de charge sont proportionnelles au débit jusqu'à ce que la pression d'entrée ait atteint la pression du



re 3. - Caractéristique de fonctionnement d'un régulateur d'écoulement, à orifice flexible.

ail qui est d'environ $0,3 \text{ kg/cm}^2$. L'orifice flexible assume la déformation voulue après que la pression du seuil a été dépassée et ce afin d'éliminer tout excès d'énergie au delà de ce qui est nécessaire. Ce surplus d'énergie est utilisé pour compenser les frictions du système. De cette façon, des taux d'écoulement uniformes, dans la limite des 10%, peuvent être obtenus sur une large variété de pressions opératoires. Les régulateurs de l'écoulement sont placés sur chaque parcelle, mais rarement sur chaque latéral.

LATERAUX.

Le diamètre de ces tuyaux en polyéthylène varie de 10 à 20 mm et possède des perforations ou ajutages à travers lesquels l'eau s'égoutte. L'écartement entre les latéraux est fonction des besoins des cultures, du sol, des pratiques agrotechniques et des aspects économiques. On peut calculer les pertes de charge des latéraux en fonction du débit, de la longueur totale et du nombre d'issues. Puisque le débit d'un tuyau à ouvertures multiples décroît avec la distance on calcule d'abord les pertes de charge en supposant que

nombre d'issues	m=1.85	m=1.90	m=2.00
1.....	1.0	1.0	1.0
2.....	0.630	0.634	0.625
3.....	0.535	0.538	0.518
4.....	0.486	0.480	0.469
5.....	0.457	0.451	0.440
6.....	0.435	0.433	0.421
7.....	0.425	0.419	0.408
8.....	0.415	0.410	0.398
9.....	0.409	0.402	0.391
10.....	0.402	0.396	0.385
11.....	0.397	0.392	0.380
12.....	0.394	0.388	0.376
13.....	0.391	0.384	0.373
14.....	0.387	0.381	0.370
15.....	0.384	0.379	0.367
16.....	0.382	0.377	0.365
17.....	0.380	0.375	0.363
18.....	0.379	0.373	0.361
19.....	0.377	0.372	0.360
20.....	0.376	0.370	0.359
22.....	0.374	0.368	0.357
24.....	0.372	0.366	0.355
26.....	0.370	0.364	0.353
28.....	0.369	0.363	0.351
30.....	0.368	0.362	0.350
35.....	0.365	0.359	0.347
40.....	0.364	0.357	0.345
50.....	0.361	0.355	0.343
100.....	0.356	0.350	0.338
.....	0.351	0.345	0.333

TABLEAU 1. - Facteur de réduction (F) par lequel doit être multiplié la perte de charge du tuyau, afin d'obtenir la perte réelle dans une ligne de distribution ayant plusieurs issues (selon Christiansen).

L'eau traverse la totalité du tuyau puis on multiplie le résultat avec un facteur (F) qui est une fonction du nombre des goutteurs sur le tuyau. Le tableau 1 offre des valeurs typiques du facteur basées sur les recherches de Christiansen, voir page 13.

La perte de charge, pour ce qui est des tubes en polyéthylène, est représentée graphiquement sur la figure 1. En général une vanne à drain automatique est branchée sur le bout de chaque latéral. Lorsque le système est clos les vannes drainent automatiquement. Les vannes de drainage se ferment, lorsque la pression dans les tuyaux est faible. Le drainage des latéraux aux intervalles d'irrigation empêche le développement des algues et la précipitation des sels.

Les sels de calcium et de fer se trouvant dans l'eau ont tendance à s'oxyder et s'accumulent au niveau des ajutages, provoquent ainsi une obturation. Des essais récents ont montré qu'il était possible d'empêcher et/ou de les déplacer en injectant une solution de sodium méta-phosphate.

GOUTTEURS. (Fig. 5)

Il y en a qui sont en cours de recherche et d'autres déjà disponibles sur le marché. Ce sont les goutteurs qui livrent l'eau au champ. Leur fonction

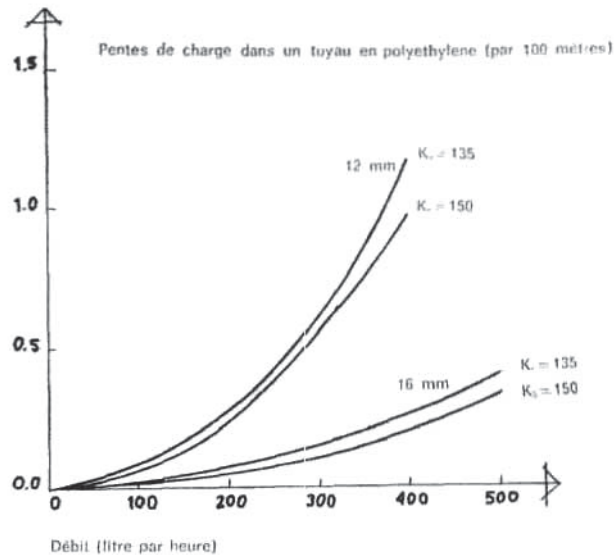
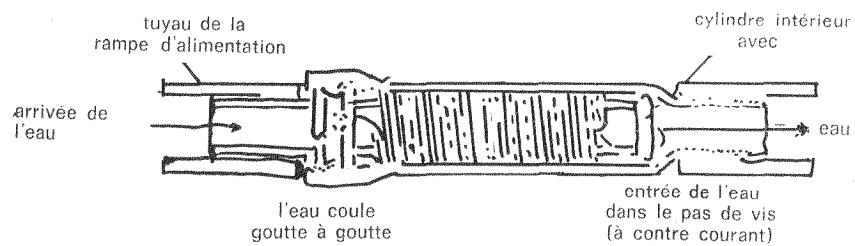


Figure 4. - Calculé avec la formule de Strickler-Manniner (diamètre intérieure: 12 x 16 m). $i = m.2^8$, avec $m = (10.3/K_s^2) \cdot D^{-5.33}$ Perte de charge en m/par m
 i : coefficient de rugosité du paroi
 (135 à 150 pour polyéthylène)
 D : diamètre intérieure en mètre
 a : débit en m^3 /seconde.



FONCTIONNEMENT D'UN GOUTTEUR NUTAFIM (non démontable)

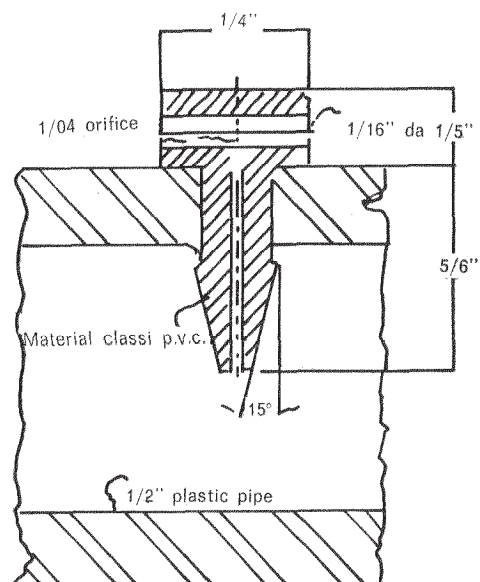
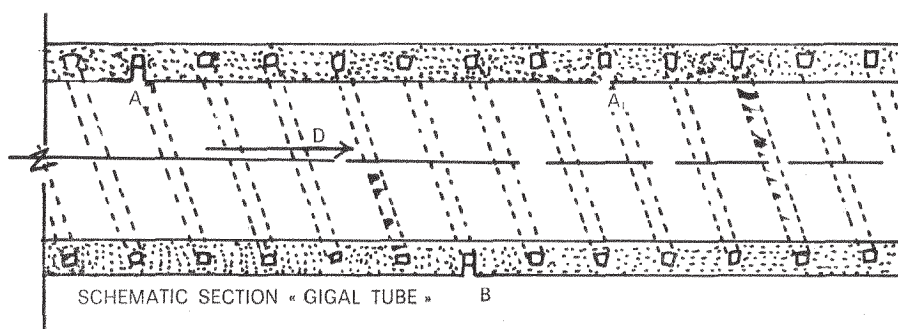


Figure 5. - Différents goutteurs utilisés.

consiste, entre autres à réduire la force de pression de 0,5 à 1,0 kg/cm², et à livrer le débit voulu de 2 à 10 litres par heure. Le débit livré par chaque goutteur sera discuté plus en détail dans les chapitres suivants.

Il est possible d'obtenir de faibles débits par l'emploi d'orifices à petit diamètre ou par l'utilisation d'une basse pression. Plus le diamètre sera petit, plus le danger d'obturation sera grand. L'augmentation de la dimension de l'orifice nécessite une pression d'opération relativement basse $\leq 0,4$ kg/cm². Ceci résulte, dans un débit non uniforme, des changements d'altitude en topographie et des différences dans des pertes de charge. Ceci est l'un des problèmes majeurs que rencontre le planificateur des systèmes d'irrigation goutte à goutte. Par conséquent la plupart des systèmes opèrent sous une pression de 0,5 à 1,2 kg/cm² et ont un diamètre d'orifice de 0,5 à 1,0 mm. On classe les goutteurs en trois types principaux selon la façon dont la charge de pression est réduite.

1) *Chute de pression devant former resistance (goutteurs).*

Le goutteur est essentiellement une construction au bout du tuyau qui convertit l'énergie de la pression en une énergie cinétique. Le jet à grande vitesse est brisé afin que l'eau soit livrée goutte à goutte. Les diamètres intérieurs des goutteurs varient de 0,5 à 1,0 mm. Les goutteurs peuvent être caractérisés par la relation perte de charge — taux d'écoulement (fig. 8). Les différences mutuelles entre des goutteurs semblables peuvent être élevées, il est normal d'avoir des coefficients de variation de 15 à 20%. Quelquefois les lignes sont simplement perforées pour la livraison de l'eau. Les orifices doivent avoir un diamètre inférieur à 0,5 mm de sorte à obtenir un bas débit. De tels petits diamètres comportent un danger d'obturation qui suppose une distribution non-uniforme de l'eau d'irrigation présentant un danger pour la culture. Le fait que le nettoyage des orifices exige une main d'oeuvre supplémentaire fait que l'équipement est moins apprécié. Le débit est plutôt élevé.

2) *Chute de pression due à la perte de charge (perte dans les tuyaux).*

La dissipation de l'énergie résultant d'une friction longitudinale a lieu graduellement dans les tubes ayant un petit diamètre. Ces derniers, branchés à la rampe d'alimentation, fournissent un long passage à l'écoulement (droit ou en spirale). Le débit est fonction du diamètre (1 à 3 mm) de la pression de la rampe d'alimentation (0,5 à 1,2 kg/cm²) et de la longueur du microtube. Afin de connaître la relation entre diamètre intérieur - débit - pression - longueur de tube, on teste les microtubes dans un laboratoire. Les données sont interprétées à l'aide d'un ordinateur afin de trouver la meilleure équation de régression.

Les équations ont la forme suivante:

a) relation entre perte de charge et débit

$\log [\text{perte de charge kg/cm}^2]$

$a + b \log [\text{diamètre intérieur mm}] +$

$c \log [\text{débit (litro/heure)}]$

b) longueurs des microtubes pour différents débits et pressions (voir figure 3)

$\log [\text{longueur du microtube (cm)}] \leftarrow a + b \cdot \log [\text{pression (kg/cm}^2)]$

$c \log [\text{débit (litro/heure)}] +$

$d \log [\text{débit (litre/heure)}]^2.$

Les microtubes peuvent être posés sur la surface, enroulés, autour des latéraux, ou construits dans la paroi du tube. Le problème qu'on rencontre avec les microtubes externes, réside dans le fait que les écureuils, les souris et autres rongeurs, risquent de les déplacer. On en ignore la raison. Les microtubes leur sont probablement utiles pour la construction des nids. Les travaux effectués dans les vergers, peuvent être la cause d'un déplacement de microtubes. Les microtubes étant insérés dans la rampe par simple friction tout changement de température risque de les détacher. Par contre, l'équipement mécanique utilisé pour la récolte, ne cause pratiquement pas de problèmes aux microtubes.

La terre peut pénétrer dans les microtubes à des altitudes élevées, car le système se draine automatiquement. Il est possible d'y remédier en attachant un petit morceau de tube d'un demi-pouce à la sortie des microtubes. La longueur de ce tube doit être égale à 1 pouce au moins, car de morceaux plus petits risqueraient de rester dans le sol. De plus, il permet de diminuer la vitesse de l'eau, d'éviter le déplacement des microtubes, empêchant ainsi les oiseaux ou autres animaux de les déplacer. On peut résoudre un certain nombre de problèmes en couvrant le microtube. Il est possible, par exemple, de fixer le microtube autour du latéral et ce, à l'aide d'un manchon facilement déplaçable.

Tous les problèmes sont pratiquement résolus en construisant les microtubes dans la paroi même du tube. L'inconvénient de ce système est que, lorsqu'il est obstrué, il n'y a guère de possibilité de remplacer individuellement les microtubes.

Même au stade de la fabrication, on rencontre de nouveaux problèmes avec les microtubes. Il peut se trouver que le diamètre intérieur et/ou extérieur soit incorrect et/ou variable. Certains sont aplatis du fait des températures trop élevées.

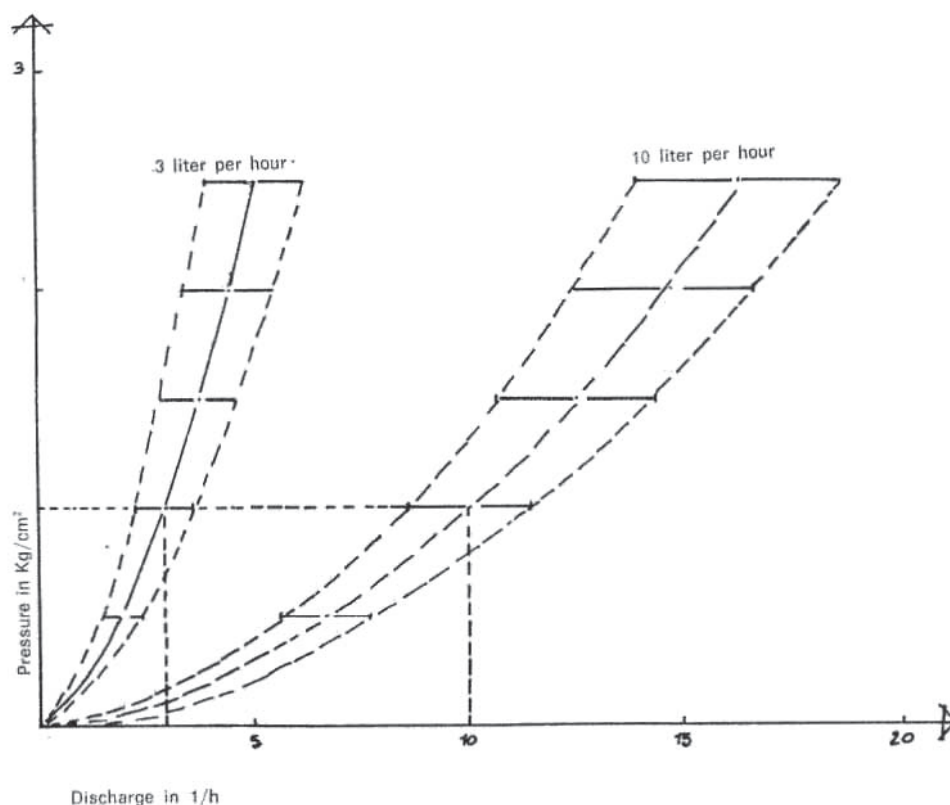


Figure 6. - Représentation caractéristique pour tubes avec un débit de 3 et 10 litres par heure. Les lignes hachurées sont à une distance majeure ou mineure de la deviation standard.

Le microtube représente le goutteur le plus susceptible de fournir des débits de 1 à 10 litres/heure, avec les caractéristiques suivantes:

- diamètres inférieurs à 0,5 1,5 mm
- longueur du microtube 0 à 120 cm
- pression 0,5 1,0 kg/cm².

3) Tubes poreux et dispositifs poreux (portube).

Les forces capillaires sont responsables de la dissipation d'énergie. Le portube est un tuyau poreux en polyéthylène que l'on a préalablement chauffé

puis étiré. Les parois poreuses de 4 mm d'épaisseur laissent passer l'eau goutte à goutte sous une pression de 1 à 2 kg/cm².

La parois extérieure est traitée de sorte à résister à l'infiltration des racines ou des minéraux, aux détériorations produites par des insectes. Le polyéthylène est coupé à des intervalles réguliers, longitudinalement, de façon à obtenir un débit de 2 litres par mètre et par heure, et ce, tout le long du tube. Ces portubes peuvent être utilisés seuls ou alternés avec des tubes normaux (imperméables).

On enterre les tubes à une profondeur qui ne portera aucun préjudice au déroulement normal des activités agricoles. Grâce au système de drainage automatique et aux caractéristiques élastiques, les tubes ne sont pas affectés par des températures au dessous de zéro. La profondeur et l'écartement dépendent du type de sol et de la culture. Le tableau 2 offre des profondeurs d'installation et des écartements communément employés en fonction de l'utilisation de la terre.

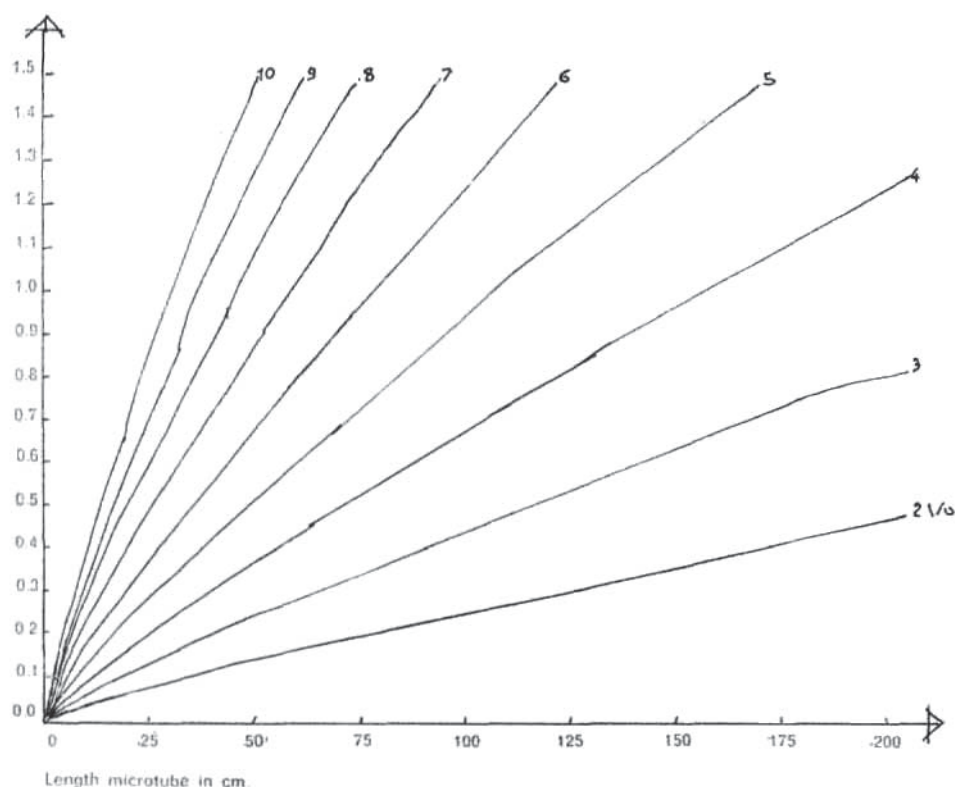


Figure 7. - Représentation caractéristique de microtubes p.v.c. (diamètre intérieur=1 mm).

TABLEAU 2 - Profondeur d'installation et écartement préférables pour des tubes poreux (portube).

<i>utilisation de la terre</i>	<i>profondeur</i>	<i>écartement</i>
— pelouses	0,15 0,25 m	1,00 1,20 m
— horticulture et pâturages	0,30 0,40 m	2,00 m
— vergers	0,30 0,60 m	un tube/rangée

L'avantage principal de ce système est qu'il délivre un faible débit qui peut être néanmoins maintenu par des pressions relativement élevées, afin que les pertes de charge et les différences d'altitude soient moins décisives. Le fait que les tubes soient enterrés les empêche d'avoir une influence sur l'action se déroulant à la surface. De plus le risque d'une précipitation de sel est moindre pour ces mêmes tubes comparé à celui des tubes installés à la surface, vu que les changements de températures sont moins grands.

L'absence d'entretien et de réglage implique qu'une fois installé le système peut être mis en marche au printemps et arrêté en automne. L'un des plus grands avantages est que le tube peut livrer un débit homogène sur toute sa longueur. Une bonne utilisation du système exige une filtration parfaite avec des filtres chers et fins. Il faut toutefois noter que le système est très cher.

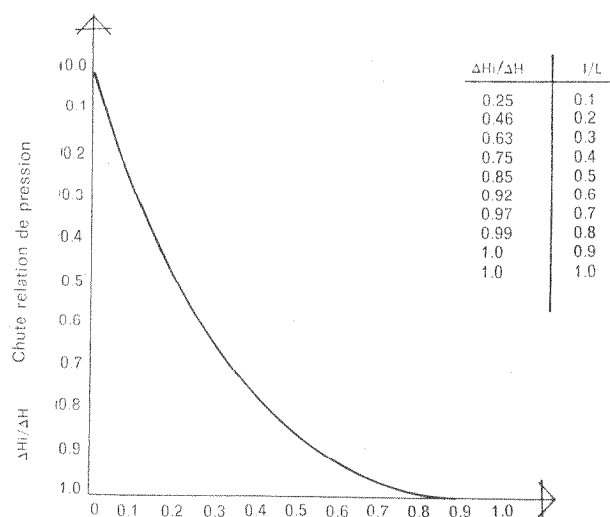


Figure 8. - Perte de charge relative en tant que fonction de la longueur relative du latéral.

Parmi les trois méthodes discutées, la plus souple est celle du microtube. En dépit des différences d'altitude et des pertes de charge, il est possible d'obtenir avec une pareille technique un débit semblable pour chaque arbre. On peut corriger les différences de débit en ajustant la longueur du microtube. La longueur exacte de chaque microtube peut être calculée avant l'installation en fonction du débit voulu, des caractéristiques d'emploi des latéraux et des microtubes, de la chute de pression dans les accessoires (tels les vannes, les régulateurs de pression, les mètres d'eau etc.) et de la carte topographique. C'est un travail qui demande beaucoup de temps, mais toutefois nécessaire, car, si quelques moments plus tard aucun changement n'a lieu par obturation, nous avons la certitude d'une distribution uniforme.

Les meilleurs terrains convenant aux goutteurs non-ajustables (nozzles) sont les terrains plats. Pour obtenir l'uniformité nécessaire, avec pareils goutteurs, la longueur de latéraux doit rester inférieure à 60 m, car les pertes de charge sont négligeables pour de telles longueurs.

3 TECHNIQUES D'OPERATION ET D'AUTOMATISATION

— *Aménagement du goutte à goutte programmé sur l'évaporation d'une surface d'eau libre.*

L'évaporation nette d'un réservoir est déterminée ou estimée d'une façon journalière ou hebdomadaire. Cette valeur corrigée par un facteur de culture fournit la dose d'irrigation. Une fois les débits connus, le dispositif le plus simple pour faire démarrer le système consiste en un chronomètreur électrique qui ferme la pompe à un moment voulu. Le même système peut être utilisé pour ouvrir la pompe bien qu'il soit recommandé de le superviser et de vérifier. L'utilisation d'hydromètres est meilleure car une fois qu'un certain volume prédéterminé d'eau est passé les vannes se ferment automatiquement.

Sur des mesures d'évapotranspiration l'automatisation est possible, comme suit. On place deux électrodes ayant une certaine différence d'altitude, juste au dessus d'une surface d'eau libre. La différence d'altitude entre les deux électrodes doit correspondre au nombre de mm d'eau devant être évaporée au cours d'un intervalle d'irrigation. Le système doit être mis en marche dès que l'eau du réservoir d'évaporation tombe plus bas que l'électrode située au niveau inférieur. Le réservoir d'évaporation est de nouveau rempli lors du cycle d'irrigation, avec un débit dépendant de la dose d'irrigation à utiliser. Si le taux d'application est bas (respectivement grand) l'eau contenue dans le réservoir devrait s'élever lentement (respectivement rapide) atteignant ainsi l'électrode supérieure après un long intervalle (respectivement court). Le système est fermé à partir du moment où l'eau atteint l'électrode supérieure. Le problème majeur pour chacun des vergers consiste à trouver la différence

d'altitude adéquate entre les deux électrodes et le taux de recharge adapté au réservoir d'évaporation.

— *Aménagement du goutte à goutte, programmé sur les lectures de potentiel matriciel.*

Comme cela a déjà été mentionné plus haut, on peut mesurer le potentiel matriciel aussi bien dans le sol que dans le tissu de la plante. Le système doit être mis en marche lorsque les lectures d'une série de tensiomètres ou de bloc de résistance utilisé pour mesurer l'humidité du sol situé dans la zone racinaire active se rapprochent du potentiel matriciel auquel on doit irriguer pour obtenir des productions maximales. Ceci signifie que dès que la succion matricielle croît en direction d'une valeur pré-déterminée la limite supérieure de l'épuisement de l'eau varie par exemple entre 30 et 700 centibars.

Les commandes peuvent mettre en marche aussi bien un chronometreur, une vanne ajustable de mesure automatique qu'une vanne électromagnétique, celle-ci devant arrêter le système lorsque la succion matricielle dans la zone racinaire décroît vers une limite inférieure par exemple 10 à 20 centibars.

L'application d'une telle méthode suppose que l'on prenne en considération les aspects importants suivants:

— *Emplacement des instruments de mesure de la succion matricielle (tensiomètres éléments de résistance).*

Il doivent être installés de telle sorte que, lors du cycle d'irrigation, la zone racinaire active soit réalimentée entre la limite supérieure et la limite inférieure de la zone de potentiel matriciel dans laquelle l'eau est facilement utilisable, sans qu'il y ait perte (d'eau) profonde. Ceci dépend du débit d'application du goutteur, de l'étendue du cycle d'irrigation, des caractéristiques hydrauliques du sol, de l'extension du système racinaire et de l'emplacement de la bougie poreuse en rapport avec l'emplacement du goutteur. Tous les facteurs précédents permettent de déterminer l'extension du volume de sol humidifié.

— *Choix d'un nombre de stations dans lesquelles les potentiels matriciels du sol doivent être mesurés.*

Pour toute région devant être traitée comme une unité il est utile de faire des enregistrements de potentiel matriciel du sol dans trois ou quatre stations. Ces stations doivent être sélectionnées de façon à représenter des conditions moyennes de culture et de sol. Pour éviter le piétinement des cultures, les stations doivent être situées pres des chemins fréquemment empruntés. Elles ne doivent cependant pas se trouver sur les chemins mêmes, auquel cas, la circulation risquerait d'influencer le taux d'infiltration de l'eau ainsi

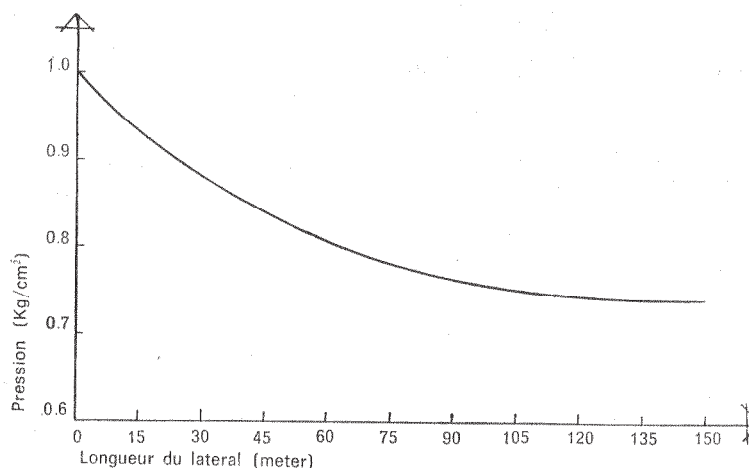


Figure 9. - Relation pression - Longueurs - Pour un latéral horizontal (diamètre intérieur 12 mm, long. 150 m, débit d'ouverture 300 litres/heure, 60 issues).

que les relations potentielles du sol à cet endroit. Le problème consiste à savoir si oui ou non les contacts dans toutes les stations doivent être arrêtés avant que le système soit en marche. La meilleure solution serait que la pompe soit mise en marche lorsque le contact est arrêté dans trois des cinq stations de mesure.

— Choix de la quantité d'eau nécessaire pour chaque cycle d'irrigation devant être utilisée pour la zone racinaire active (dépend de la caractéristique de rétention de l'eau du sol et du modèle d'enracinement) ou choix de l'intervalle différentiel de succion matricielle, entre la valeur acceptable la plus élevée et la plus basse de la succion matricielle.

4 EVALUATION DE L'IRRIGATION GOUTTE A GOUTTE

AVANTAGES.

— Grâce à la livraison locale de l'eau au sol (pres de la plante et à très faibles débits) les pertes d'eau du champ sont extrêmement basses. Les pertes d'évaporation de feuillage humidifié n'existent pas. Les pertes d'évaporation d'un sol humidifié sont négligeables et grâce à un système approprié, le ruissellement de surface est nul. De plus, le système peut fonctionner de telle sorte que seule la zone racinaire est irriguée, éliminant ainsi toute perte d'eau et d'engrais sous cette même zone racinaire. Une humidification partielle de la surface du sol réduit la croissance des mauvaises herbes et la nécessité des cultures.

— L'efficacité d'application est indépendante des conditions du vent.

— Le bas débit des latéraux empêche l'érosion et la formation de croûtes sur la surface du sol.

— Le succès que connaît l'irrigation goutte à goutte est dû au fait qu'il est possible d'incorporer très aisément un réservoir d'engrais dans le système. Ceci permet de maintenir en même temps de basses tensions d'humidité dans le sol ainsi qu'un niveau constant d'éléments nutritifs.

— De plus, l'utilisation d'une eau saline est rendue possible. Avec l'eau saline se développera un système racinaire dense et peu profond dans une zone ayant une salinité constante égale à celle de l'eau d'irrigation. Les accumulations de sel se produiront sur la périphérie du volume de sol humidifié, et plus spécialement à la surface. Les racines des plantes se trouvent alors dans une région aux forces osmotiques et capillaires faibles, de ce fait les plantes sont capables de produire des rendements élevés. Il est possible à l'aide de l'eau saline d'augmenter la dose d'irrigation de 20% afin de lessiver les sels vers les couches du sol se trouvant au dessous de la zone racinaire.

— Le liquide pulvérisé reste sur le feuillage car ce dernier n'est pas mouillé. Les maladies favorisées par des conditions humides ne se développent pas facilement. De plus le danger de l'accumulation de sels sur les feuilles n'existe pas.

— Les cultures peuvent être poursuivies pendant l'irrigation.

— En tant que réseau permanent d'irrigation le système est très facile à automatiser. Les dépenses pour la main d'oeuvre et l'opération sont plutôt basses, ceci compense, en un sens, le coût de l'installation du système.

— Avantages techniques de la méthode:

— accessoires de capacité bas

— tube à petit diamètre facile à manier

— tubes flexibles capables de suivre les courbes de niveau ainsi que les rangées courbées du terrain.

INCONVENIENTS.

— L'inconvénient majeur de ce système est représenté par un coût initial très élevé, celui-ci dépendant de la densité des latéraux.

— Concentration de sel sur la périphérie du volume de sol humidifié. Il est nécessaire de lessiver les sels avant même de planter les futures cultures. Ceci peut se faire lors de l'absence d'abondantes précipitations, soit par

des écartements plus rapprochés des ajutages de goutte à goutte, ou par une irrigation par aspersion. Le cout du réseau d'irrigation augmente dans les deux cas.

— La principale faiblesse du système est caractérisée par la construction des ajutages. Pratiquement tous les goutteurs présentent un certain nombre de problèmes. Un goutteur sensible à la pression qui aurait un écoulement efficace, serait très avantageux.

— Le risque d'obturation est réel. Ceci produit une distribution non uniforme de l'eau d'irrigation; demande un surplus de travail pour remplacer ou pour nettoyer les orifices (travail exigeant beaucoup de temps) résulte en une dépréciation accélérée de l'équipement et en des dommages possibles de la récolte.

— Les systèmes de goutte à goutte ne peuvent en aucun cas être utilisés comme protection contre la gelée.

2ÈME PARTIE.

Principes d'un projet de système d'irrigation goutte à goutte pour vergers.

1. SÉLECTION D'UN TAUX D'APPLICATION.

Le débit du goutteur devrait être choisi en fonction du sol et du modèle d'enracinement. Il n'est pas nécessaire d'arroser tout le volume de sol enraciné. On propose généralement 25 à 30 pour cent, comme minimum. Sous des conditions normales, un microtube par arbre est satisfaisant. Le temps de travail peut être réduit de moitié, grâce à l'utilisation de 2 microtubes par arbre. Parfois, 2 microtubes (ou même plus), sont nécessaires pour assurer un bon mouvement latéral de l'eau sur des sols lourds, ou sous des cônes de verger à modèle radiculaire extensif.

Pour ce qui est des redistributions horizontale et verticale de l'eau à partir d'une certaine source on peut émettre les affirmations suivantes:

Sur un sol donné:

Des quantités égales d'eau employées à des taux différents, arrosent un même volume de sol. Le mouvement horizontal est moins important que le mouvement vertical pour de faibles débits.

De plus grands débits fournissent un modèle humidifié plus large que profond. Dans ce dernier cas, il y a une forte chance pour que le taux d'ap-

Sur des sols légers, nous obtiendrons une forme plutôt étroite et profonde (conductivité hydraulique saturée et élevée, et valeurs de diffusivité basses). Au contraire, sur des sols limoneux, le mouvement latéral sera plus grand que le mouvement vers le bas (conductivité hydraulique saturée plus basse, mais valeurs de diffusivité plus élevées). Le modèle devrait être plus large mais moins profond, sur des sols argileux que sur des sols limoneux. L'évidence expérimentale dont on dispose renforce la validité de cette conclusion générale.

La zone pouvant être irriguée par goutteur, varie selon le type de sol:

- sable à sable limoneux : 2,5 à 3,0 m²
- limon sableux à limon : 4,5 à 5,0 m²
- argile : 3,5 à 4,5 m².

Le débit permmissible de livraison varie entre deux limites; le plus bas débit technique possible (2 litres par heure) et le taux d'application, qui correspondent à la capacité d'infiltration du sol. Un débit plus élevé comporterait un danger d'érosion, et un risque de ruissellement pour les pentes raides, et produirait des inondations sur des terrains plats.

Il est possible de retrouver dans la bibliographie les valeurs directrices suivantes du débit de livraison, exprimées en litre/heure:

	sable	limon	argile
Modèle d'enracinement large et peu profond	8 - 10	6 - 8	3 - 4
Modèle d'enracinement étroit et profond	5 - 8	3 - 6	2 - 3

Un grand nombre des principes généraux contrôlant l'humidification du sol, peuvent être retrouvés en modelant le mouvement de l'eau dans le sol.

Pour pouvoir décrire mathématiquement les phénomènes, de manière à ce qu'il soit possible de les résoudre, il a été nécessaire d'émettre un certain nombre de suppositions afin de donner aux équations non linéaires et difficiles à résoudre des formes plus simples; celles-ci sont très utiles pour ce qui est de décrire les phénomènes d'écoulement, correspondant aux critères avancés par les suppositions. La plupart des expressions dérivées s'appliquent uniquement aux sols qui sont homogènes, et qui le resteront durant tout l'écoulement. De ce fait les résultats ne sont guère utiles dans la pratique.

2. FRÉQUENCE ET TEMPS D'APPLICATION.

Lorsque le taux d'application est un paramètre connu, la dimension d'une seule application dépendra simplement du temps de l'application. L'irrigation peut avoir lieu à faible intensité pendant une longue période de temps, ou même d'une manière continue, puisque le but principal des systèmes de goutte à goutte consiste à maintenir des basses tensions d'humidité dans le sol, et ce, sans fluctuations trop excessives des cycles d'assèchement et d'humidification du sol.

Pour des climats humides l'intervalle de temps entre deux irrigations successives devrait être plus long à cause de la consommation journalière moins importante de la cime (taux d'évapotranspiration)

Sous de pareilles conditions climatiques, le taux maximum d'évapotranspiration est de 4 mm/jour, que pour des climats arides ou semi-arides il est de 10 à 15 mm par jour.

Pour une irrigation journalière, le temps d'application peut être calculé comme suit:

— L'application d'un jour donné dépend du taux du bac d'évaporation du jour précédent moins le taux de précipitation enregistré ce même jour.

Supposons une perte d'eau nette de EVP (mm par jour), cette valeur doit être multipliée par un facteur culture (C/F) afin de transformer la valeur EVP en une évapotranspiration, ou en une valeur $EVP T$. ($EVP T$ (mm/jour) = $EVP \times CF$).

La valeur de CF est inférieure à l'unité parce que d'une part, l'albedo de la végétation est supérieure à celui du bac d'évapotranspiration et d'autre part, la transpiration des plantes cesse la nuit. En fonction de l'étape de croissance ce facteur se classera entre 0,6 et 0,8. On accepte souvent une valeur de 0,75 pour les vergers et ce, durant toute l'année.

— Ensuite, la valeur de $EVP T$ devra être multipliée par un coefficient de surface (OBK). L'irrigation goutte à goutte ne touche que dix à cinquante % de la surface du verger. Pour ce qui est des vergers nouvellement plantés seuls 1 à 2 % de la surface peuvent être irrigués.

— On calcule l'écoulement journalier par hectare comme suit:

$KHA = (EVP) \times (CF) \times (OBK) \times 10$ mètres cube par hectare et par jour dans lequel:

KHA = écoulement journalier par hectare en mètre cube

EVP = nombre de mm d'eau de surface évaporée à partir d'un bac

CF = coefficient de culture

OBK = superficie en % de la surface de verger irrigué

10 = facteur de conversion servant à transformer des mm d'eau de surface par jour, en mètres cubes par hectare et par jour.

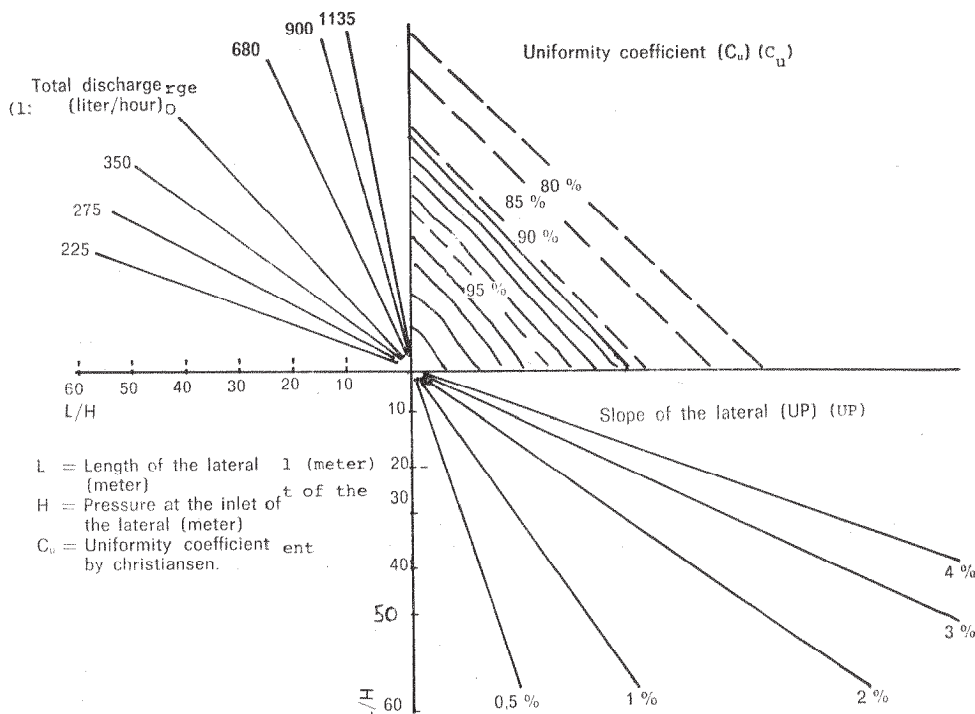


Figure 11. - Design chart of a 1/2-inch lateral line (up slope).

— Le temps d'application de (A U) K H A m³/ha jour dépend du débit par heure (D H A), du système. Celui-ci est égal à la multiplication du débit par heure du gouteur par le nombre d'arbres par hectare (lorsqu'il n'y a qu'un gouteur par arbre):

A U = (K H A) : (D H A) heures par jour et par hectare dans lequel:

A U = temps d'application en heures par jour et par hectare.

K H A = écoulement journalier par hectare en m³.

D H A = écoulement par heure, du système en m³.

Exemple 1:

— 1000 arbres par hectare; écoulement du gouteur de 4 litres par heure.

— Un gouteur par arbre.

— D H A = 1000 x 0,004 = 4 m³/heure, ha.

— E V P = 3mm/jour.

— $CF = 0,75$.

— OBK = supposons un système complet d'enracinement circulaire, ayant un mètre de rayon. La zone enracinée, par arbre, est égale à $3,14 \text{ m}^2$. Pour 1000 arbres par hectare seuls 31% de la surface du verger avaient besoin d'être irrigués.

$OBK = (1000 \times 3,14) : (1000 \times 0,004) = 1,74 \text{ heure}$.

Il n'est guère nécessaire d'entreprendre journellement tous ces calculs, il est aussi possible de calculer d'une manière hebdomadaire la perte d'eau nette, en soustrayant les mm de précipitations, des mm d'évaporation. Cette perte d'eau nette indiquera la quantité d'eau qui devra être fournie la semaine suivante. L'irrigation n'est pas nécessaire dans le cas où il n'y a pas de perte d'eau nette, ou que celle-ci exige une irrigation durant moins d'une heure par jour. Le système d'irrigation peut alors être fermé pour toute la semaine.

Du fait des variations enregistrées entre les sites et les saisons, en ce qui concerne les précipitations et l'évaporation il est recommandé à chaque cultivateur de déterminer les pertes d'évaporation. Il est possible d'obtenir d'une manière journalière ou hebdomadaire des mesures d'évaporation précises, à l'aide d'une installation non coûteuse c'est à dire:

— se procurer un réservoir en métal ou en plastique rigide, ayant un diamètre intérieur de 25 cm et une profondeur minimum de 30 cm. Sa forme conique ne doit pas être trop prononcée;

— installer ce réservoir en plein air. L'élever ou l'enfermer pour le mettre à l'abri des animaux.

Remplir d'eau ce réservoir jusqu'à 5 cm du bord. Enregistrer la profondeur à l'aide d'un règle.

Remesurer la profondeur de l'eau, chaque jour, on semaine et à un moment donné. Ajuster le niveau d'eau d'après la profondeur originale.

Dans le cas où l'irrigation goutte à goutte est basée sur les calculs d'une succion matricielle, et dans la mesure où nous ne souhaitons pas épuiser au delà d'un certain pourcentage l'accumulation totale de l'humidité du sol ce, afin de maintenir un accroissement rapide de la végétation, l'intervalle entre deux irrigations successives dépendra:

— de l'évapotranspiration cumulative,

— des précipitations, entre deux irrigations successives,

— de la succion matricielle maximum (max-ms) correspondant à la quantité d'humidité (L vol %) à laquelle on devra faire fonctionner le système,

— de la succion matricielle minimum (min-ms), correspondant à la quantité d'humidité à laquelle on devra faire fonctionner le système (H vol %),

— de la profondeur d'enracinement (en décimètres).

Graph for normal gastube.

Reduction factors for rubber pipe: 1.5 to 1.6; aluminium pipe: 0.9; P.V.C. pipe: 0.85

Diameter in mm resp inch.

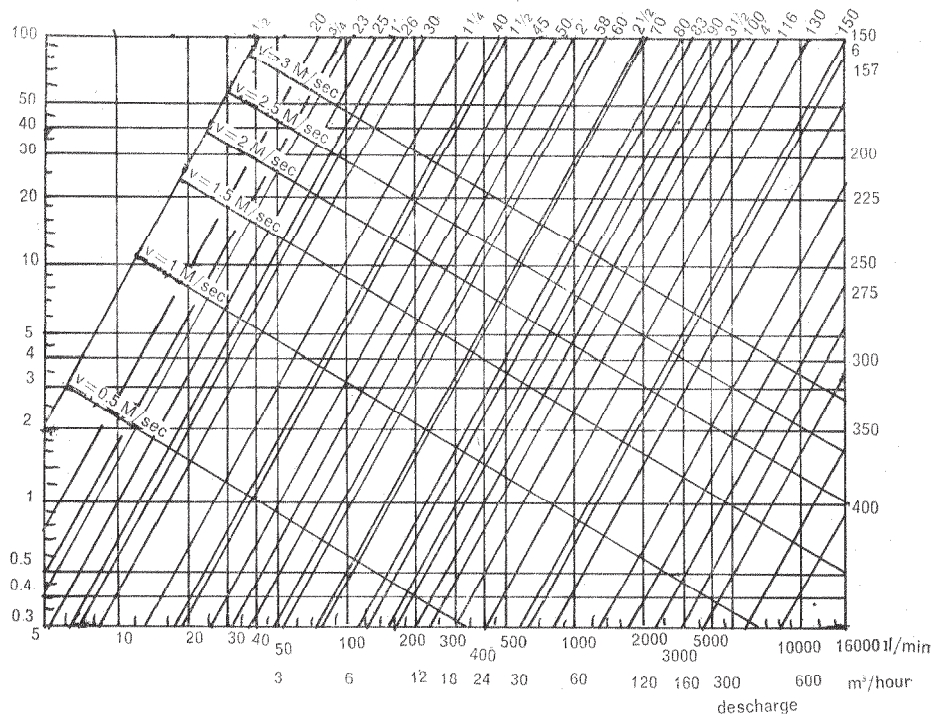


Figure 12. - Nomogram for calculating friction loss in mains and submains.

La capacité d'accumulation de l'eau disponible, de la zone racinaire activée, est calculée comme suit:

$(H - L) \text{ vol \%} \times \text{profondeur de la zone racinaire en décimètres.}$

Avec une évapotranspiration journalière moyenne de $EVT P$ mm, BK sera épuisé. BK : EVTP jours.

Exemple 2:

- $EVT P$: 4 mm/jour.
- Max, ms : 30 centibars, $L=25$ vol %.
- Min, ms : 20 centibars, $L=30$ vol %.
- Profondeur de la zone racinaire : 10 à 70 cm.
- $BK = (30 - 25) \times 6 = 30$ mm.

L'irrigation devra donc être employée après que les 30 mm d'eau aient été utilisés, (ou tous les 7,5 jours), à un débit d'utilisation maximum. Si l'on

suppose que la surface enracinée, par arbre est égale à 3 m^2 , et que l'écoulement de goutteur est de 6 litres/heure, il faudra 15 heures pour utiliser 30 mms, tous les 7 jours et demi.

La surface totale pouvant être irriguée en une seule fois dépend:

- de la capacité du puits, dans la mesure où la source est limitée;
- de l'évapotranspiration maximale attendue pour une durée donnée, avec une période moyenne de retour de 1, en 5 ou 10 ans;
- de la capacité de retention de l'eau, du sol entre les succions matricielles maximum et minimum chacun de ces facteurs devra être calculé pour chaque projet.

3. DISPOSITIF DES COMPOSANTS MÉCANIQUES.

Il est très difficile de proposer un concept universel pour un réseau de transport. Nous devons prendre en considération, la longueur des latéraux, (il n'est pas recommandé d'utiliser des longueurs de 200 m ou plus, pour des régions plates, dont le diamètre intérieur est de 16 mm), le débit voulu per hectare, ainsi que la capacité du puits.

Il est préférable d'illustrer à l'aide d'un exemple comment est conçu un système de goutte à goutte:

- région à irriguer : 3 hectares, terrain aplani de forme rectangulaire ($150 \times 200 \text{ m}$);
- utilisation de la terre : verger. L'écartement entre les rangées d'arbres est de 4 m. Dans chaque rangée, les arbres sont plantés à une distance de 2,5 m. Ceci signifie : 1000 arbres par hectare.
- taux d'application par arbre : 5 litres/heure;
- débit par hectare : $5 \text{ m}^3/\text{heure}$;
- capacité maximum du puits : $8 \text{ m}^3/\text{heure}$;
- pression dans les lignes principales : $1 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

Il est impossible d'irriguer en une fois la totalité du verger. Pour cela, le verger doit être divisé en 2 parties (voir fig. 1).

Conception des latéraux (diamètre intérieur : 12 mm).

La longueur des latéraux (tubes en polyéthylène) est de 150 m, ceci correspondant à 60 arbres par rangée. De ce fait le débit d'un latéral est de 300 litres/heure. La perte de charge du latéral, due à une friction, est calculée comme suit:

- la perte de charge par 100 m (si la totalité de l'écoulement de 300 litres/heure à travers le tuyau) est de $0,51 \text{ kg}/\text{cm}^2$ (voir fig. 4);

Régulateur de pression.

Nous devons choisir le type de régulateur de pression offrant le débit voulu par une petite perte de charge maximum de 0,5 à 1 — 2 kg/cm².

Pompe

On détermine comme suit la charge d'une pompe : La charge de pression nécessaire à l'ouverture du latéral augmente avec toutes les pertes survenant entre la sortie de la pompe et le latéral. Puisque le débit total est connu les besoins de la pompe seront totalement déterminés. Il revient au planificateurs de sélectionner un type de pompe, de manière à ce que l'intersection entre la courbe de charge de la pompe, et la courbe du système (charge statique + pertes) coïncide avec le point d'efficienne du pic des pompes.

BIBLIOGRAPHIE

- BUCKS D. A. and LLOYD E. MYERS, 1973 - *Trickle Irrigation Application Uniformity from Simple Emitters*. Transactions of the ASAE.
- Colloque National de Bordeaux, Avril 1974 - *L'Irrigation localisée (goutte à goutte)*. INUFLEC (l'Institut National de Vulgarisation pour les Fruits, Légumes et Champignons, 22 rue Bergère, 75009 Paris
- KENWORTHY A. I., 1972 - *Trickle Irrigation ... The concept and Guidelines for use*. Research Report 165. Michigan State University.
- KENWORTHY A. I., 1974 - *Trickle Irrigation ... Simplified Guidelines for Orchard Installation and use*. Research Report 248. Michigan State University.
- MAILLARD R., 1973 - *L'Irrigation au goutte à goutte. Son application à l'olivier*. Revue « l'Olivier ». Numéro spécial Septembre 1973.
- RUTTEN P., 1972 - *L'arrosage local par rampes perforées fixes*. Extrait de la Revue « Bas-Rhône-Languedoc » N. 62.
- Second international Drip Irrigation Congress 74 - Proceedings. San Diego, California U.S.A. July 7-14, 1974.
- ULRICH J., 1974 - *Les systèmes d'arrosage localisé*. Génie Rural N. 6-7. 1974.
- WHITNEY I. F. and LO K. M., 1969 - *Plastic Orifice Insets for subsurface Irrigation*. Transactions of the ASAE 1969.
- WY I. P. and GITLIN H. M., 1974 - *Drip Irrigation Design Based on Uniformity*. Transactions of the ASAE N. 3 Vol. 17-1974.