

ETUDES

équipements pour l'eau
et l'environnement

19

PUB 0000 31 29

CEMAGREF
Documentation
Clermont Fd - RIOM

Entretien en micro-irrigation

Jean-Claude Chossat



EMA EEE 19

Cemagref
EDITIONS

CEMAGREF
DOCUMENTATION
CLERMONT-FERRAND

Entretien en micro-irrigation

Jean-Claude Chossat



GROUPEMENT DE BORDEAUX
BP 3 - 33611 Gazinet Cedex
Tél. : 57 89 08 00 - Fax : 57 89 08 01

A RECHERCHE POUR L'INGENIERIE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ENVIRONNEMENT

Photo de couverture (J.-C. Chossat) : Goutteur colmaté par un précipité de calcaire.

Entretien en micro-irrigation - Jean-Claude Chossat - © Cemagref 1995, 2^e édition, ISBN 2-85362-407-2, ISSN 1258-276X, dépôt légal 2^e trimestre 1995 - Collection *Études* du Cemagref, série *Équipements pour l'eau et l'environnement* n°19, dirigée par Rémy Pochat, chef du département - Impression et façonnage : Ateliers Cemagref Dicova, 92162 Antony Cedex - Édition et diffusion : Cemagref Dicova, BP 22, 92162 Antony Cedex, tél. (1) 40 96 61 32 et Cemagref Bordeaux, division Ouvrages et réseaux hydrauliques, BP 3, 33611 Gazinet Cedex, tél. 57 89 08 00. Diffusion aux libraires : TEC et DOC, 14 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex, tél. (1) 47 40 67 00 - Prix : 120 F TTC.

Le Cemagref, institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement, est un établissement public sous la tutelle des ministères chargés de la Recherche et de l'Agriculture.

Ses équipes conçoivent des méthodes et des outils pour l'action publique en faveur de l'agriculture et de l'environnement. Leur maîtrise des sciences et techniques de l'ingénieur contribue à la mutation des activités liées à l'agriculture, à l'agro-alimentaire et à l'environnement.

La recherche du Cemagref concerne les **eaux continentales**, ainsi que les **milieux terrestres** et **l'agriculture**. Elle a pour objectif d'élaborer des méthodes et des outils d'une part de **gestion intégrée** des milieux, d'autre part de conception et d'exploitation d'**équipements**.

Les équipes, qui rassemblent un millier de personnes réparties sur le territoire national, sont organisées en **quatre départements scientifiques** :

- **Gestion des milieux aquatiques**
- **Équipements pour l'eau et l'environnement**
- **Gestion des territoires**
- **Équipements agricoles et alimentaires**

Les recherches du département *Équipements pour l'eau et l'environnement* s'orientent vers :

- l'ingénierie et la prévention des risques naturels en montagne,
- l'ingénierie et la sécurité des barrages et des ouvrages hydrauliques,
- la maîtrise et la gestion des déchets,
- les techniques et la gestion de l'irrigation et du drainage,
- les techniques et la gestion d'équipements publics pour l'eau et les déchets,
- l'ingénierie des interactions eau-matériaux-ouvrages.

Remerciements

Ce travail est une réponse aux questions posées par ceux qui dans la profession s'interrogent sur la pérennité des installations de micro-irrigation. Il a été réalisé en liaison avec les conseillers agricoles et les responsables du CTIFL (Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes) ; qu'ils en soient ici remerciés, ainsi que l'Agence financière du Bassin Adour-Garonne (Service de Bordeaux) auprès de laquelle j'ai pu trouver les renseignements qui m'ont permis d'illustrer ce guide.

Mes remerciements vont également à Yves PENADILLE et Léopold RIEUL, mes collègues du Cemagref dont la relecture attentive a fait beaucoup pour la qualité de cet ouvrage.

Sommaire

Introduction	7
I - Comment apprécier le colmatage d'un réseau.....	9
1 - Le contrôle de l'uniformité de la distribution au champ.....	9
2 - Exemple	11
3 - Conséquences à tirer du coefficient d'uniformité.....	12
II - Origine des colmatages et des bouchages.....	13
1 - Les particules minérales	13
2 - Les matières organiques	17
3 - Les dépôts chimiques	22
4 - Les insectes	27
III - Les moyens de lutte contre les colmatages et les bouchages	29
1 - Particules en suspension dans l'eau d'irrigation.....	29
2 - Moyens de lutte contre les matières d'origine organique.....	37
IV - L'origine et la qualité des eaux utilisées en irrigation	
Les risques de colmatage.....	49
1 - Les eaux profondes.....	50
2 - Les eaux superficielles	53
Bibliographie.....	57
Annexes.....	59

Introduction

En France, les superficies couvertes par l'irrigation localisée sont estimées à environ 100 000 ha dont 7000 à 8000 dans le grand Sud-Ouest.

Parmi ces installations, combien, à l'heure actuelle, apportent les doses d'irrigation que le projecteur avait calculé à l'origine, avec l'uniformité de répartition voulue ?

Ces réseaux sont, en effet, très sensibles au colmatage et au bouchage. Or, ces phénomènes n'apparaissent pas toujours brutalement en bloquant tout le système en peu de temps. Il s'agit, le plus souvent, de colmatages lents qui, au cours des campagnes d'irrigation, provoquent une baisse des débits et entraînent une mauvaise répartition de l'eau sur la parcelle, d'où un manque à gagner important.

Il ne s'agit pas ici d'étudier les problèmes de filtration des installations de micro-irrigation, mais de faire prendre conscience d'un phénomène insidieux et d'apporter quelques solutions pour prévenir et corriger les modifications qui interviennent durant l'utilisation d'un réseau d'irrigation localisée.

Ces risques de colmatage ou de bouchage dépendent des eaux utilisées. Ils sont variables selon que l'eau provient d'une nappe plus ou moins profonde, plus ou moins minéralisée, ou bien d'eaux superficielles, c'est-à-dire des eaux courantes (fleuves, rivières) et des eaux stagnantes (retenues collinaires, lacs).

Comment apprécier le colmatage d'un réseau ?

Lors de la mise en service d'un réseau d'irrigation localisée, l'homogénéité de la répartition de l'eau dépend du soin apporté à sa conception. A condition d'utiliser des distributeurs de qualité dont la variabilité de fabrication est faible, la répartition de l'eau, calculée par le projeteur, en chaque point de la parcelle arrosée doit être bonne. Elle peut se dégrader ensuite pour des causes qui seront examinées plus loin.

Au bout d'une ou de plusieurs campagnes d'irrigation, certains distributeurs s'obstruent ou se colmatent graduellement de façon, en général, aléatoire. Il est important de connaître chaque année, à la mise en eau du réseau, l'uniformité de la distribution, c'est-à-dire l'efficacité hydraulique que l'on peut attendre. La détermination du coefficient d'uniformité réalisée avant la mise en route de l'irrigation n'exclut pas la nécessité d'une inspection régulière du réseau.

C'est dans ce but qu'a été mis au point un test simple de contrôle.

1 - Le contrôle de l'uniformité de la distribution au champ

Le test de contrôle prend en compte l'écart relatif entre la moyenne des quatre plus faibles valeurs de débit et la moyenne des débits des distributeurs.

1-1 Mesure

Il faut mesurer les débits de seize distributeurs au moins, pris sur quatre rampes différentes :

- Première rampe et dernière rampe, puis rampe située au tiers et rampe située aux deux tiers.

- Sur chaque rampe, on choisit pour la mesure, le premier et le dernier distributeur, puis celui situé au tiers et celui situé aux deux tiers de la rampe.

1-2 Calcul

Le coefficient d'uniformité au champ (CU) correspond au rapport, exprimé en %, de la moyenne des quatre plus faibles valeurs de débit (quartile inférieur) mesurées, à la moyenne de l'ensemble des mesures.

Il se calcule par la formule :

$$CU = \frac{\bar{q}_{\min}}{\bar{q}} \cdot 100$$

\bar{q} = moyenne de l'ensemble des n mesures,

\bar{q}_{\min} = moyenne des quatre plus faibles valeurs des débits.

Pour que l'homogénéité de répartition de l'eau soit bonne, il faut que la valeur du CU calculé soit aussi proche que possible de 100.


Le matériel nécessaire pour cette mesure est le suivant :

- une éprouvette graduée de 250 cc,
- une montre permettant de lire les secondes.

Si le distributeur est un capillaire ou un goutteur placé en dérivation, le matériel ci-dessus est suffisant. S'il s'agit d'un distributeur en ligne ou d'une gaine perforée, il faut utiliser une coupelle de faible hauteur, d'une capacité de 100 cc environ placée sous l'orifice de sortie de l'eau, sans soulever la rampe. Ainsi, les gouttes d'eau qui perlent au point d'émission ne se déplacent pas vers le point bas de la rampe et ne faussent pas la mesure. Le contenu de la coupelle est ensuite versé dans l'éprouvette pour connaître le volume recueilli.

Avant d'aller sur la parcelle réaliser la mesure, il est fortement recommandé de tracer le plan du réseau à vérifier et de préparer les tableaux que l'on remplira sur le terrain.

2 - Exemple

				Vanne
				débit U 
60	40	20	1	a
60	39	18	1	b
60	45	20	1	c
				d
60	40	20	2	e

Plan du réseau

Les données brutes sont enregistrées dans le tableau suivant :

N°	Temps	Cm ³	l/h
1 a	90"	37	1,480
20 a	60"	28	1,680
40 a	60"	28	1,680
60 a	60"	30	1,800
1 b	60"	31	1,860
18 b	60"	25	1,500
39 b	60"	26	1,560
60 b	60"	29	1,740

N°	Temps	Cm ³	l/h
1 c	60"	26	1,560
20 c	60"	24	1,440
45 c	60"	25	1,500
60 c	60"	31	1,860
2 e	60"	25	1,500
20 e	60"	24	1,440
40 e	60"	25	1,500
60 e	60"	26	1,560

Elles sont ensuite classées par ordre de débit croissant, ce qui donne :

2	goutteurs	à 1,44 l/h	soit 2,88 l/h
1	"	à 1,48 l/h	soit 1,48 l/h
4	"	à 1,50 l/h	soit 6,00 l/h
3	"	à 1,56 l/h	soit 4,68 l/h
2	"	à 1,68 l/h	soit 3,36 l/h
1	"	à 1,74 l/h	soit 1,74 l/h
1	"	à 1,80 l/h	soit 1,80 l/h
2	"	à 1,86 l/h	soit 3,72 l/h

$$\overline{n} = 16$$

$$\overline{q} = 25,66$$

$$\overline{q}_{\min} = \frac{1,44 + 1,44 + 1,48 + 1,50}{4}$$

$$\overline{q} = \frac{25,66}{16}$$

$$\overline{q}_{\min} = 1,4651$$

$$\overline{q} = 1,6041$$

Le coefficient d'uniformité sera donc :

$$\text{CU} = \frac{1,465}{1,604} \cdot 100 = 91\%$$

3 – Conséquences à tirer du coefficient d'uniformité

Dans le cas d'un coefficient d'uniformité de l'ordre de 90 %, comme dans le cas précédemment examiné, on peut considérer que le réseau fonctionne correctement et qu'il n'est pas nécessaire d'intervenir dans l'immédiat.

Si le coefficient d'uniformité est compris entre 90 % et 70 %, la régularité de la distribution est affectée. Il faut s'interroger sur les causes et prévoir une intervention.

Si le coefficient d'uniformité est inférieur à 70 %, il est nécessaire d'agir rapidement pour rétablir le bon fonctionnement du réseau.

Origine des colmatages et des bouchages

Les principales origines de colmatage et de bouchage des distributeurs d'un réseau d'irrigation localisée peuvent être classées en trois grandes catégories :

- les particules minérales et autres,
- les dépôts d'origine chimique (précipités),
- les matières organiques présentes dans les matières en suspension ou provenant d'une activité biologique (algues et bactéries).

1 - Les particules minérales

1-1 Les particules en suspension dans l'eau

Ces particules sont les constituants du sol mis en suspension dans l'eau (sables, limons et argiles). Elles sont présentes dans toutes les eaux de surface et dans toutes les eaux de profondeur. Elles ont toutes un poids spécifique supérieur à 2,5 et sont classées en :

- sables grossiers : particules supérieures à 200 μ ,
- sables fins : particules comprises entre 200 μ et 50 μ ,
- limons grossiers : particules comprises entre 50 μ et 20 μ ,
- limons fins : particules comprises entre 20 μ et 2 μ ,
- argiles : particules de taille inférieure à 2 μ .

Les particules de dimensions supérieures à 100 μ sont, en général, arrêtées par la plupart des filtres à tamis. Les filtres à sable peuvent arrêter des éléments plus petits jusqu'à 50 μ . Les particules de tailles inférieures à cette valeur sont présentes dans

tous les réseaux d'irrigation. Il serait irréaliste d'utiliser une finesse de filtration permettant de les éliminer. Ces matières minérales se déposent aux endroits où la vitesse de l'eau est la plus faible et en particulier aux extrémités des rampes.

Le Cemagref d'Aix-en-Provence a réalisé des essais de longue durée sur la sensibilité au colmatage de différents types de distributeurs.

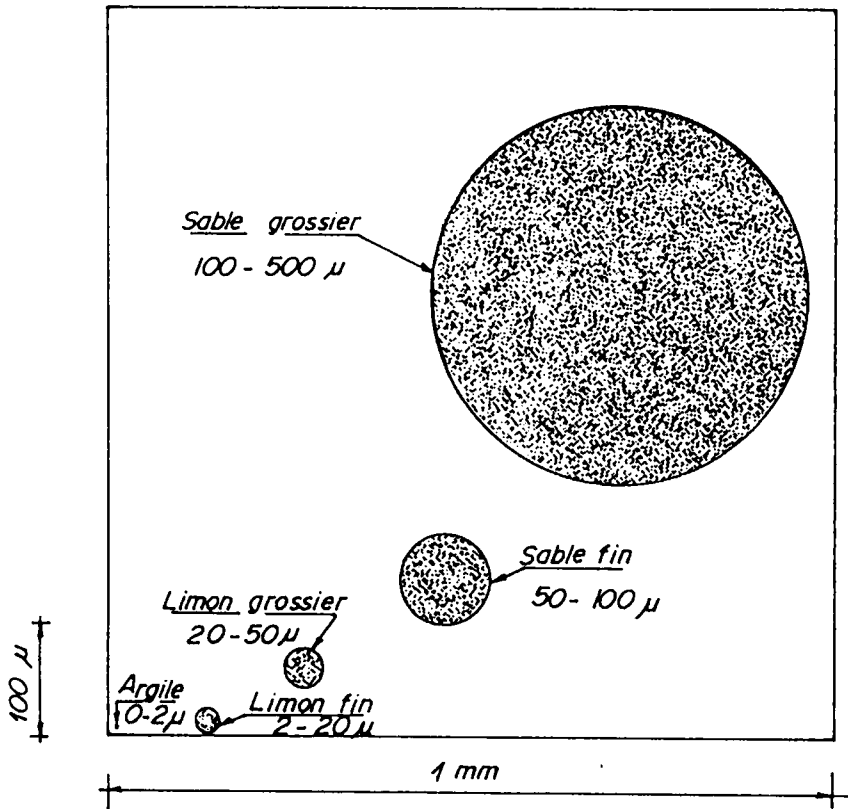


Figure 1 - Ouverture théorique d'un émetteur et taille des particules

Les considérations suivantes découlent d'observations réalisées au Cemagref.

En général, les goutteurs à cheminement long rectiligne, même équipés d'un système auto-purgeur, présentent une diminution de débit au cours du temps. Par contre, les capillaires se comportent de façon satisfaisante.

Les goutteurs à cheminement long à chicane ont un meilleur comportement. Ils peuvent toutefois se colmater pour les faibles débits (2 l/h). Les goutteurs en ligne sont plus sensibles que les goutteurs en dérivation.

Les débits des goutteurs à cheminement long restent sensiblement constants tout au long de la période de mesure, mais ils peuvent aussi varier de façon brutale. Ceci indique que, s'ils sont peu sensibles à un colmatage lent par des particules de petits diamètres, leur section de passage relativement faible est obstruée rapidement par des particules d'assez grosses dimensions ou par des dépôts de limons agglomérés.

Les distributeurs à circuit court (ajutages type BRL et mini diffuseurs) ne sont pas sensibles à un colmatage progressif. Par contre, en raison de leur faible section de passage, ils sont sensibles aux particules de grande dimension (sables ou limons agglomérés par concrétion).

Les goutteurs auto-régulants sont également sensibles au colmatage, et il est difficile d'éliminer les particules qui les bouchent en augmentant la pression. En effet, l'orifice de régulation de ces goutteurs se rétrécit, au fur et à mesure de l'augmentation de pression. Leur nettoyage est basé sur l'effet de chasse produit lorsque la pression baisse.

1-2 Colmatage par contact avec le sol

Des colmatages d'origine externe ont été observés pour des distributeurs placés sur les sols riches en limons. Cela provient, soit de projections de particules de sol sur le distributeur lors des pluies, soit du contact direct de l'orifice du distributeur avec le sol, soit de ces deux effets réunis. Ces types de bouchage affectent les rampes posées directement sur le sol.

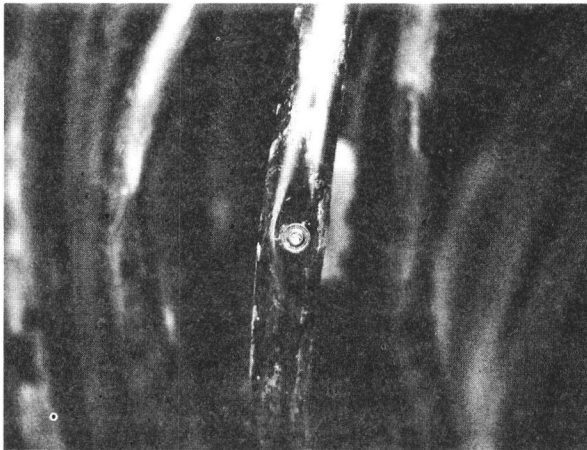


Figure 2 - Goutteur Vortex bouché par les projections

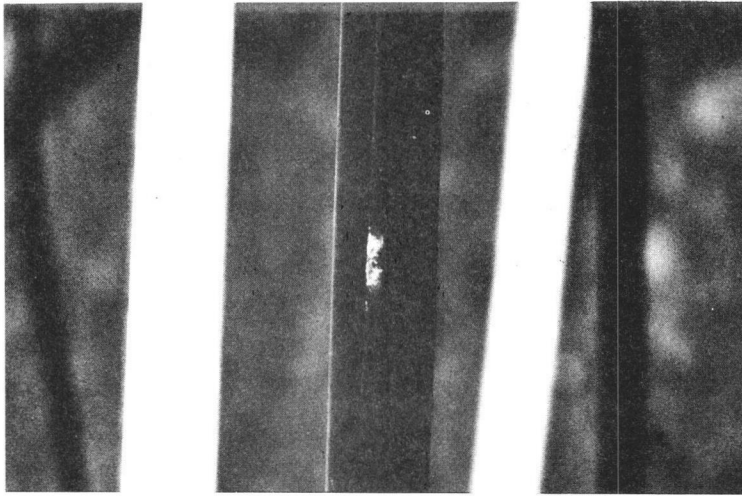


Figure 3 - Orifice de rampe biwall bouché par les projections agglomérées autour du point d'émission

Ce phénomène s'ajoute fréquemment à celui de la précipitation de produits chimiques qui en agglomérant des particules minérales à la sortie des distributeurs, diminue la section de passage.

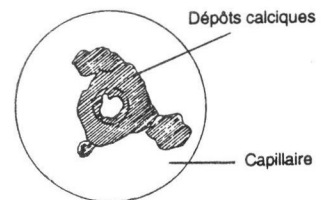
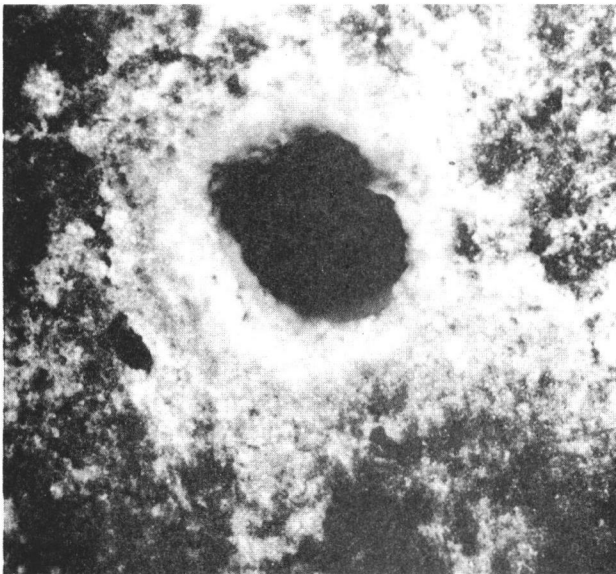


Figure 4 - Section du passage d'un capillaire de 8/10 réduit par précipitation de carbonate de calcium et agglomération avec des limons (grossissement 50 x)

1-3 Autres types de particules : copeaux plastiques et rognures métalliques

Au moment de la mise en place d'un réseau, il peut rester dans les tuyaux, des résidus de perçage en grande partie d'origine plastique mais aussi d'origine métallique. Ces résidus sont éliminés par une chasse réalisée avant la première utilisation du réseau en ouvrant les extrémités de chaque rampe. Lors de la mise en place des goutteurs, il est préférable d'utiliser des perforateurs ou des emporte-pièces plutôt que des vrilles qui donnent des copeaux.

2 - Les matières organiques

2-1 Matière organique inerte

La matière organique inerte, présente dans toutes les eaux de surface, comprend des particules de grandes dimensions provenant en général des végétaux supérieurs partiellement décomposés et des particules de faibles dimensions telles que des restes de protozoaires, de bactéries ou d'algues. Ces particules n'ont pas les mêmes effets que les particules minérales précédemment décrites car elles présentent des caractères particuliers :

- poids spécifique égal ou inférieur à un,
- pouvoir adhésif important, en particulier pour les mucus,
- produits du métabolisme riches en fer, soufre ou manganèse.

2-2 Matière organique vivante

La matière organique vivante comprend les spores d'algues, les algues elles-mêmes, les colonies de bactéries que l'on trouve couramment dans les eaux de surface, ainsi que certains champignons qui se développent dans les canalisations. En effet, ces organismes trouvent dans l'eau, les éléments nutritifs nécessaires à leur développement.

Les algues

Les algues sont des organismes qui, comme les végétaux supérieurs, ont besoin de lumière pour croître. Elles sont présentes en amont dans les eaux de surface et on les retrouve dans les filtres ou à la sortie des distributeurs.

Les renseignements sur les algues susceptibles de provoquer des bouchages dans les réseaux d'irrigation au goutte à goutte ne sont pas très abondants. Les algues les plus fréquentes se manifestent par des filaments verts visibles à la sortie des goutteurs. Il s'agit généralement de *Chlorophycées* qui ont besoin de lumière pour leur photosynthèse. Elles ne peuvent croître à l'intérieur des conduites en polyéthylène opaque et se développent donc à l'orifice de sortie des distributeurs.

Il faut signaler aussi un développement important d'algues dans certaines gaines poreuses à parois en plastique blanc opaque (essais INVUFLEC, 1978).

Pour éviter tout risque de prolifération d'algues vertes dans le réseau d'irrigation, il est indispensable que l'ensemble des canalisations soit totalement opaque à la lumière. En cas d'utilisation de gaines en plastique blanc, celles-ci doivent être enterrées en totalité.

D'autres algues peuvent se développer. Au Cemagref de Bordeaux, des *Ceratium hirundinella* ont été identifiées dans les eaux pompées dans le canal du Midi à Castelsarrasin. Ces péridiniens d'une taille supérieure à 150 μ se développaient de façon très importante dans une réserve d'eau d'irrigation. Ces algues à thèque cellulosique, bien qu'en partie arrêtées par le filtre à sable, colmataient également le filtre à tamis.

Des diatomées du genre *Melosira* (figure 5) et du genre *Synedra* (figure 6) ont été identifiées dans une installation d'irrigation en bordure du Lot. Le genre *Melosira* est caractérisé par des filaments de 120 microns de longueur et le genre *Synedra* par des cellules isolées de 180 microns environ de long. Ces diatomées sont, en règle générale, de grande dimension (taille > 100 μ) et leur squelette est en silice. Elles sont arrêtées par les filtres de l'équipement de tête. Si les analyses montrent qu'elles existent en grand nombre dans le réseau d'irrigation, le dimensionnement des filtres est à revoir.

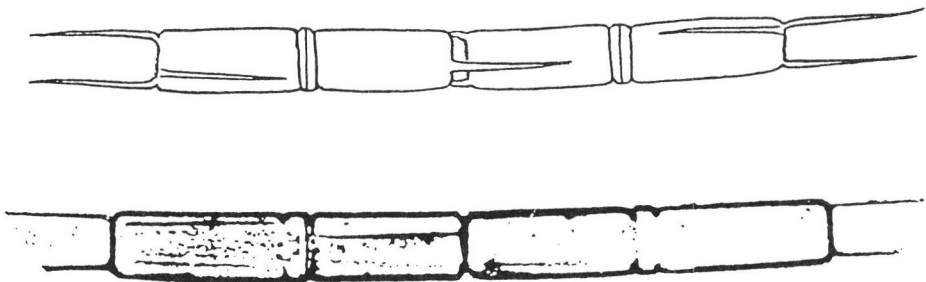


Figure 5 - Algue du genre *Melosira* identifiée dans l'eau du Lot (ordre des diatomales)

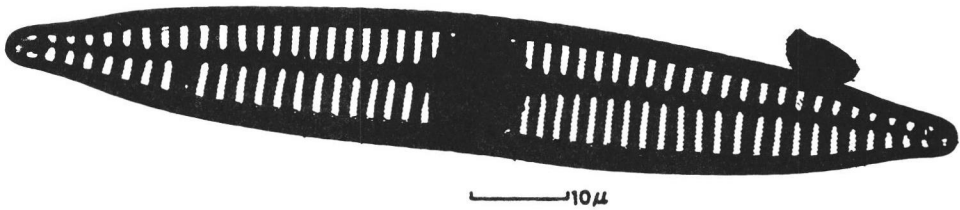


Figure 6 - Algue du genre *Synedra* rencontrée dans l'eau du Lot
(ordre des diatomales)

Les bactéries

Contrairement aux algues, les bactéries peuvent se développer dans les tuyaux en polyéthylène car elles n'ont pas besoin de lumière pour croître.

Toutes les bactéries ne sont pas gênantes pour l'irrigation localisée. Celles qui sont à redouter sont les bactéries qui produisent du mucus et des mucilages autour de leurs chaînes ou de leurs colonies. Ces mucus adhèrent plus ou moins fortement sur les parois des canalisations, réduisant le passage de l'eau et piégeant les particules en suspension (autres bactéries, matières organiques inertes ou matières minérales passées au travers des filtres).

Les bactéries les plus fréquemment trouvées dans les eaux d'irrigation sont du genre *Pseudomonas*, *Flavobacterium* et *Bacillus* (Gilbert et al, 1982). Ces bactéries bien qu'en grand nombre, ne peuvent accumuler seules une quantité de matière suffisante pour créer un colmatage. Par contre, d'autres bactéries telles que les bactéries ferriques, se développent rapidement et créent des quantités importantes de mucilage. Ce sont elles qui causent le plus de désordres dans les réseaux de microirrigation mais aussi dans les réseaux d'irrigation classique ainsi que dans les drains enterrés.

De nombreuses bactéries sont impliquées dans l'oxydation biologique du fer ferreux. Leur morphologie et leur physiologie sont très variées. On peut les classer selon trois groupes.

- Celles qui tirent leur énergie de l'oxydation des sels ferreux en sels ferriques. Ex : *Galionella*. Cette bactérie aquatique fait partie du groupe des *Eubactériales*. Elle a été observée fréquemment dans les Landes de Gascogne. Ses cellules se reproduisent rapidement en se divisant elles-mêmes et entraînent un colmatage rapide des réseaux d'irrigation localisée, et d'aspersion.

- Celles qui peuvent vivre avec des taux très faible de sels ferreux ou même en leur absence - Ex : *Leptothryx ochracea* (figure 7). Cette bactérie fait partie avec *Clonothryx* et *Crenothryx* du groupe des *Chlamydo*bactériales. Elles diffèrent du groupe précédent car elles ne peuvent vivre dans les milieux artificiels. On les trouve dans les eaux courantes ou stagnantes, contenant de la matière organique, telles que les lacs, les rivières, les canaux.
- Celles qui font partie des organismes hétérotrophes, c'est-à-dire celles qui vivent sur toutes sortes de matières organiques - Ex : *Siderocapsa*.

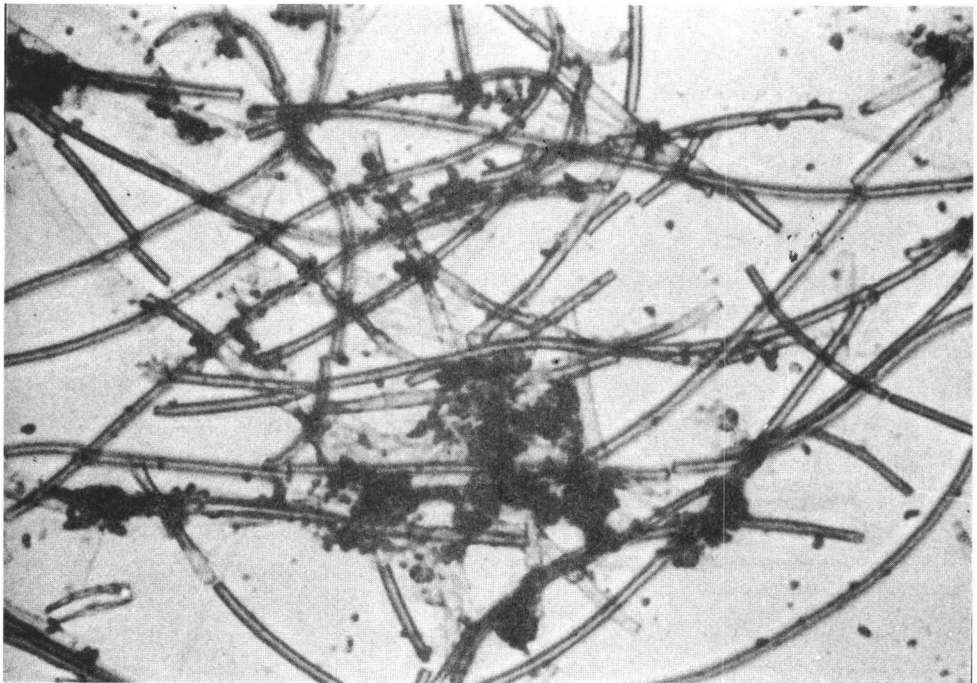


Figure 7 - Bactérie du type *Leptothryx*
(eaux de surface dans les Landes, 1982)

Leptothrix et *Gallionella* obstruent les drains et les canalisations où circule de l'eau ferrugineuse par la formation de gaines imprégnées d'hydroxyde ferrique.

Elles utilisent l'énergie d'oxydation du fer de la façon suivante :



Pour satisfaire leurs besoins en énergie, ces bactéries ferriques utilisent d'importantes quantités de sels Fe^{++} transformés en hydroxyde ferrique. Ceci explique pourquoi on trouve généralement une grande abondance de mucus associés à des eaux de coloration rouge (teneur élevée en hydroxyde ferrique).

Certaines bactéries peuvent aussi précipiter, dans une moindre mesure, des sels de manganèse. C'est le cas du genre *Metallogenium* (**figure 8**) observé dans des cultures sur substrat au CTIFL à Saint-Loubert en 1982. Elles se présentent sous forme de boules hérissées de filaments et peuvent atteindre plus de 20 microns de diamètre. Ces bactéries sont chimio-hétérotrophes.



Figure 8 - Bactérie du type métallogenium observée dans les bacs d'alimentation pour substrats (CTIFL, 1982)

Il existe aussi des bactéries qui oxydent les sulfures. Elles sont fréquemment citées aux États-Unis, mais n'ont pas été signalées comme gênantes en France.

2-3 Les racines des végétaux

Lorsque les distributeurs sont posés sur le sol ou enterrés, il arrive que les radicelles de certains végétaux pénètrent par leur ouverture et l'obstruent (**figure 9**).

Le seul moyen de lutte que l'on ait dans ce cas est d'éloigner l'orifice de sortie du sol. Ceci s'applique tout particulièrement pour les cultures sur substrat pour lesquelles les racines sont extrêmement actives.

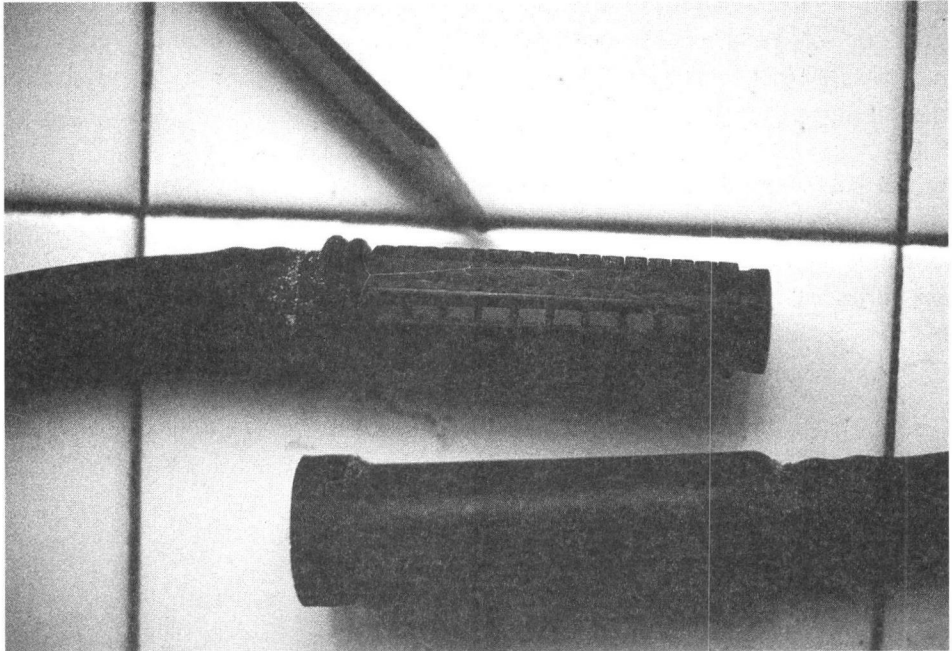


Figure 9 - Racine d'avenice pénétrant dans le conduit à partir de l'orifice d'émission

3 - Les dépôts chimiques

Certaines eaux de profondeur contiennent, en plus ou moins grande proportion, divers éléments chimiques dissous. Ces éléments sont en équilibre dans leur milieu d'origine. Lorsque ces eaux sont utilisées comme eau d'irrigation, ces équilibres peuvent être rompus et des précipités apparaissent. L'oxygénation ou l'augmentation de la température de l'eau en sont les causes les plus fréquentes (l'eau en sortie de puits a une température de l'ordre de 15°C). Ces précipités sont, la plupart du temps, dus au carbonate de calcium. On trouve également des précipités de fer sous forme ferrique (de couleur brun-rouge) et plus rarement, des précipités de sulfate.

3-1 Les sels de calcium

La mise à l'air libre des eaux riches en gaz carbonique et en calcium provoque, au niveau des sorties des distributeurs, le dégazage du CO_2 et le dépôt localisé du CaCO_3 (c'est le même phénomène qui se produit dans les sources dites pétifiantes). On peut également observer des dépôts en fines couches sur les parois des tubes ou le

long du circuit du distributeur. Ces dépôts sont provoqués par l'oxygénation de l'eau mais d'autres facteurs interviennent : la température, l'acidité ou la basicité du milieu.

Il n'existe pas de méthodes pratiques pour prévoir les risques de précipitations des sels de calcium, on peut toutefois les apprécier en utilisant la méthode de l'indice de saturation de Langelier. Cette méthode, proposée par Nakayama (1982) et citée dans *Water Quality for Agriculture*, n'a pas été testée en France. Les résultats d'analyse de l'eau d'irrigation permettent de calculer le risque encouru.

D'après le **tableau 4** proposé par Bucks et Nakayama (1980), on considère que les eaux qui contiennent plus de 50 à 100 mg/l de CaCO_3 , peuvent poser des problèmes de colmatage et nécessitent, a priori, un traitement préventif (voir chapitre suivant).

La précipitation des sels de calcium peut, même si elle est discrète, entraîner des désordres notables dans la distribution de l'eau. En cimentant les petites particules de limon en suspension dans l'eau, ce carbonate de calcium crée lentement des obstructions (**figures 10 et 11**). Ces colmatages mixtes sont fréquents. Ils se manifestent peu à l'intérieur du distributeur mais les dépôts sont importants à l'extérieur ou dans la zone proche de l'orifice de sortie (**figures 12 et 13**).

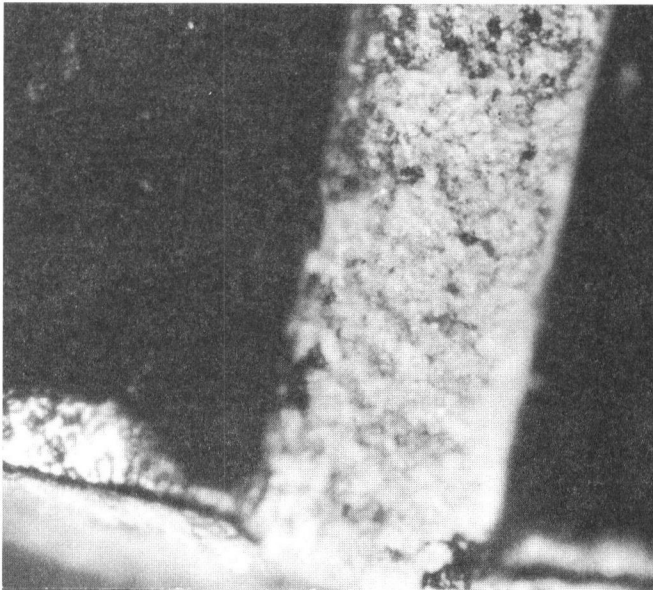


Figure 10 - Coupe longitudinale d'un capillaire de 8/10 de millimètres près de l'orifice

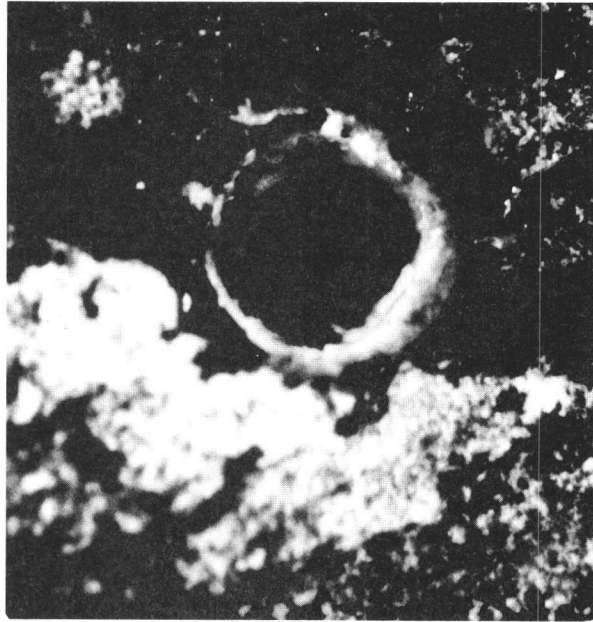


Figure 11 - Orifice de sortie d'un capillaire de 8/10 de mm, montrant l'accumulation de carbonate de calcium

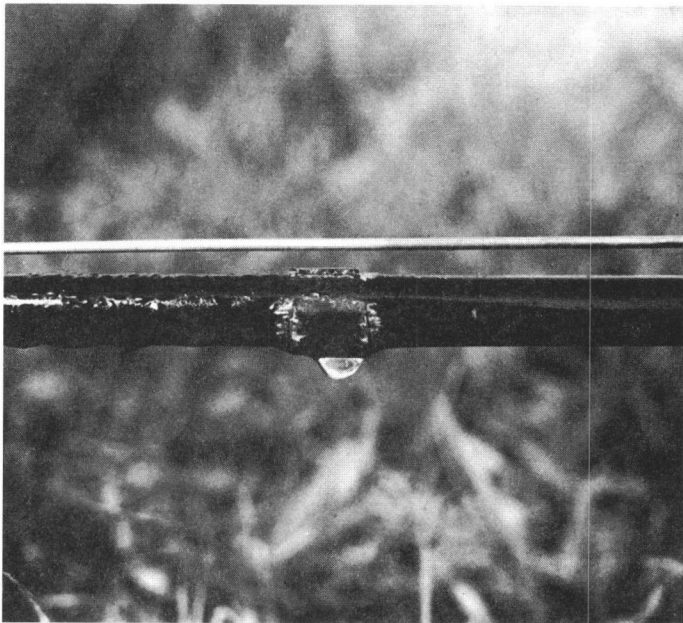


Figure 12 - Dépôt de carbonate de calcium autour de la bague de protection du goutteur

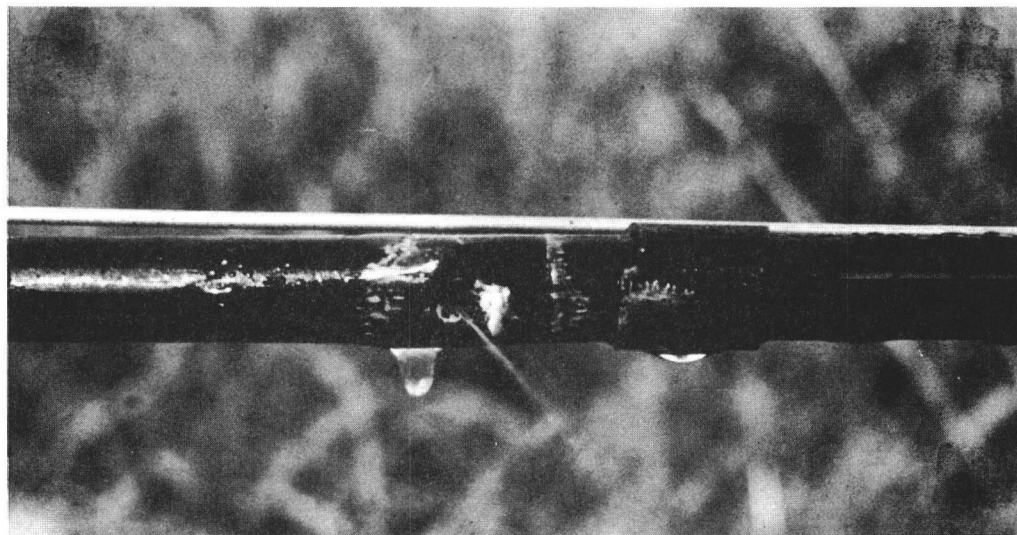


Figure 13 - Le goutteur délogé de sa bague de protection est en partie colmaté par le carbonate de calcium

3-2 Les sels de fer

Dans le sol, l'eau des nappes profondes contient des quantités plus ou moins importantes de fer dissous sous forme de composés ferreux. Ceux-ci ne sont pas colorés. Lorsqu'ils sont mis en présence de l'oxygène de l'air, ces composés sont oxydés en composés ferriques. Ils prennent alors des couleurs vives allant du jaune au noir en passant par le rouge.

D'un point de vue strictement chimique, le fer ferreux est stable en solution au-dessous de pH 5 même en présence d'oxygène. Au-dessus de pH 5, le fer ferreux s'oxyde spontanément en fer ferrique. Dans les eaux dont le pH est supérieur à 8,3 environ, c'est l'ion FeOH^+ qui devient prédominant. La formation de tels précipités de fer ferrique peut être appréciée par des dosages de fer réalisés sur l'eau de la nappe, et par des mesures du potentiel Redox (Eh)¹ et du pH. Le graphique de la **figure 14**, établi en laboratoire, situe les plages de précipitations des divers composés du fer.

Dans la plupart des forages profonds, le fer ne pose pas de problème particulier. Toutefois, dans certaines régions (Val de Loire, Centre,...), certains forages, riches en composés ferreux, posent des problèmes dans les réseaux de micro-irrigation.

(1) Le potentiel REDOX exprime la possibilité d'une substance chimique d'être oxydée ou réduite suivant la faculté relative de cette substance à subir ces réactions. Il s'exprime en volts.

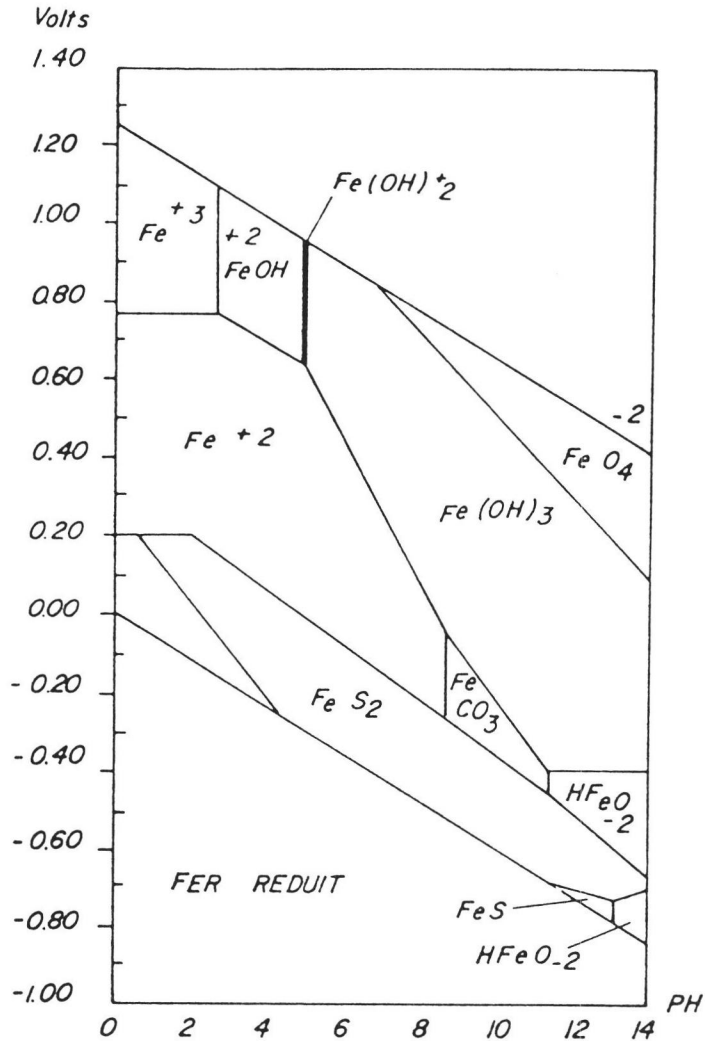


Figure 14 - Domaine de stabilité des différentes formes de fer dissous pour des pH et des potentiels d'électrode différents (à 25°) et à la pression atmosphérique (le cercle limite le domaine dans lequel agissent les bactéries ferriques)

Il vaut mieux éviter d'utiliser des eaux trop riches en fer dissous, car il n'est pas économiquement possible en agriculture, de défériser ces eaux comme on le ferait pour de l'eau potable. Bucks et Nakayama (tableau 4) fixent la limite où un risque moyen apparaît entre 0,1 et 1,5 mg/l de fer ferreux.

Cette imprécision traduit la difficulté que l'on éprouve sur le terrain à connaître l'ensemble des critères qui influencent la précipitation des sels ferreux.

Comme nous l'avons vu précédemment, les bactéries peuvent déplacer les équilibres chimiques et provoquer des précipités de fer ferriques pour des teneurs bien inférieures à 0,5 ppm de fer ferreux et dans les zones de potentiel Redox et de pH où le fer est normalement stable. Nous verrons au chapitre suivant qu'il est plus facile de contrôler ce type de colmatage.

3-3 Précipités dus aux engrais et aux amendements

L'apport d'éléments fertilisants doit toujours être réalisé avec circonspection. En effet, certains produits tels que les composés du phosphore, l'ammoniaque liquide, certains oligo-éléments (zinc, cuivre, manganèse) contribuent au colmatage des réseaux.

Certains amendements, tels que le carbonate et le sulfate de calcium, sont à proscrire en injection dans le réseau. Les composés obtenus, en particulier avec l'ion sulfate, sont particulièrement insolubles et résistants, même à l'action des acides (annexe 6 - Engrais pouvant être ou non mélangés).

Quels que soient les produits chimiques utilisés (fertilisants ou autres), il faut absolument éviter de les injecter ensemble. Cette pratique peut provoquer des précipitations de composés insolubles (lire attentivement les notices d'utilisation des produits, consulter les tableaux en annexes 6 et 7).

4 - Les insectes

Les distributeurs possédant un orifice de grande dimension (du type microjet, en particulier) sont fréquemment colonisés par des insectes microscopiques. Certaines petites araignées tissent une toile dans la cage qui protège l'orifice pendant l'arrêt hivernal des réseaux et provoquent le colmatage des distributeurs.

Il est difficile d'éviter ce type d'obstruction. Le traitement consiste à vérifier chaque émetteur au moment de la mise en route, à les nettoyer un par un ou à les remplacer, si nécessaire.

Les moyens de lutte contre les colmatages et les bouchages

Les colmatages et bouchages sont rarement un phénomène simple dû à une seule des catégories de risques décrits dans le chapitre précédent. En général, il s'agit d'une association entre particules physiques et dépôts chimiques, particules physiques et matières organiques, ou des trois ensemble.

Des moyens de lutte sont proposés pour des colmatages insidieux ou pour des bouchages dus à des incidents ou des accidents qui peuvent intervenir lors de l'utilisation normale d'un réseau et non à des problèmes consécutifs à de mauvaises conceptions de projets telles que :

- filtration absente ou sous-dimensionnée par rapport à la qualité de l'eau utilisée,
- utilisation de vieilles tuyauteries,...

1 - Particules en suspension dans l'eau d'irrigation

Il est important de signaler qu'un réseau d'irrigation localisée ne peut fonctionner qu'avec un système de filtration efficace.

1-1 Filtres à tamis

On trouve sur le marché de nombreux modèles de filtres à tamis de diverses provenances. Il n'y a pas, dans le cas des installations de micro-irrigation, de norme de dimensionnement des tamis. Il n'existe que des conseils.

Aux États-Unis, BUCKS et al (1979) recommandent de prendre une maille de tamis égale au dixième de la section de passage de l'eau à travers le distributeur. D'autres pays choisissent de façon standard une maille de 100 micromètres ou 125 micromètres.

Un tamis est caractérisé par :

- Son armature qui est le mode d'entrecroisement des fils de chaîne et de trame.
- Son ouverture nominale qui est différente si la maille est carrée ou triangulaire.
- Son numéro représenté par le nombre de mailles pour une longueur de référence. Dans la normalisation américaine, cette longueur est égale à 1 pouce. Dans le Standard International, la toile n'est plus désignée par son numéro mais par son ouverture nominale en millimètres.
- Sa transparence T qui est le rapport de la surface des ouvertures à la surface totale (exprimée en pourcentage).

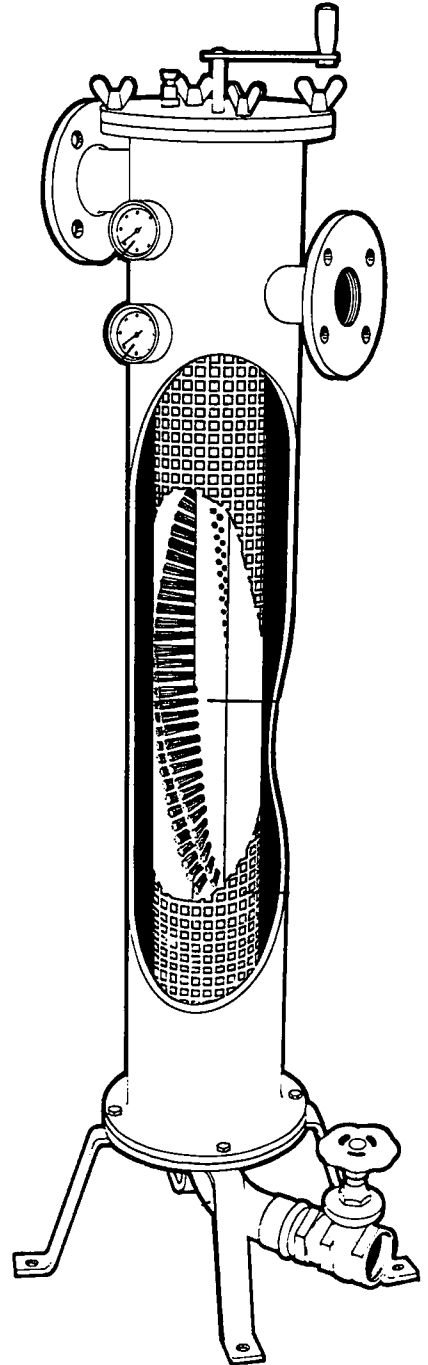
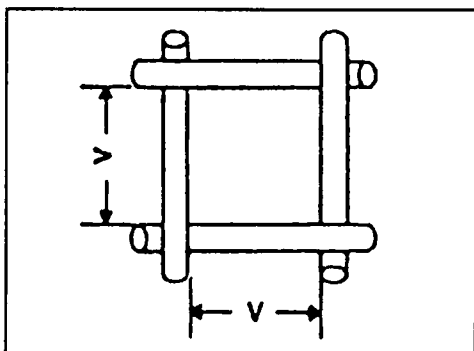


Figure 15 - Filtre à tamis
(société Eurofiltre)

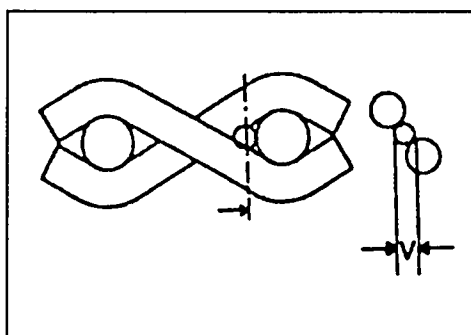


← **Maille carrée**

C'est la distance respective entre deux fils de chaîne et deux fils de trame consécutifs

Maille triangulaire →

C'est le diamètre de la sphère tangente dans la maille.



L'Association française de normalisation (AFNOR) a créé la norme AF 11510 pour les toiles industrielles et la norme AF 11501 pour les toiles de contrôle et de précision. On trouve aussi des toiles à la norme ASTM F 11.70.

Le **tableau 1** indique les correspondances d'ouverture de maille entre les États-Unis (série TYLER), l'Allemagne (série DIN 4188), l'Angleterre (série BS 410), l'Italie (série UNI 2332), le Japon (série JIS Z 8801) et la France (série NFX 11501). La série ISO/R 565 est la norme internationale.

Dans la plupart des filtres, les toiles sont montées sur des armatures pour résister à la pression. Dans certains cas, deux toiles de finesse différente sont utilisées.

Les systèmes de nettoyage des filtres sont manuels ou automatiques : il en existe de nombreux types (AMIAD, BERMAD,...) que nous ne détaillerons pas ici.

ISO/ R 565	NFX 11-501	ASTM E 11-70		TYLER STANDARD SCREEN SCALE		DIN 4188	BS 410	UNI 2332	JIS Z 8801
		Désigna- tion (N°)	V en mm	Désigna- tion (N°)	V en mm				
V en mm	V en mm	Désigna- tion (N°)	V en mm	Désigna- tion (N°)	V en mm	Des. et V en mm	V en mm	V en mm	V en mm
0,045	0,040	400	0,038	400	0,038	0,040	0,038	0,040	0,037
0,063	0,045	325	0,045	325	0,045	0,045	0,045	0,050	0,044
0,090	0,050	270	0,053	270	0,053	0,050	0,050	0,063	0,053
0,125	0,056	230	0,063	250	0,051	0,056	0,063	0,075	0,063
0,180	0,063	200	0,075	200	0,075	0,063	0,075	0,080	0,074
0,250	0,71	170	0,090	170	0,098	0,071	0,090	0,090	0,088
0,355	0,080	140	0,106	150	0,106	0,080	0,106	0,100	0,105
0,500	0,090	120	0,125	115	0,125	0,090	0,125	0,106	0,125
0,710	0,100	100	0,150	100	0,150	0,100	0,150	0,125	0,149
1,000	0,112	80	0,180	80	0,180	0,112	0,180	0,150	0,177
1,400	0,125	70	0,212	65	0,212	0,125	0,212	0,160	0,210
2,000	0,140	60	0,250	60	0,250	0,140	0,250	0,180	0,250
2,800	0,160	50	0,300	48	0,300	0,160	0,300	0,200	0,297
4,000	0,180	45	0,355	42	0,355	0,180	0,355	0,212	0,350
5,600	0,200	40	0,425	35	0,425	0,200	0,425	0,250	0,420
8,000	0,224	35	0,500	32	0,500	0,224	0,500	0,300	0,500
11,200	0,250	30	0,600	28	0,600	0,250	0,600	0,315	0,590
16,000	0,280	25	0,710	24	0,700	0,280	0,710	0,355	0,710
22,400	0,315	20	0,850	20	0,850	0,315	0,850	0,400	0,840
31,500	0,355	18	1,000	16	1,000	0,355	1,000	0,425	1,000
45,000	0,400	16	1,180	14	1,180	0,400	1,180	0,500	1,190
63,000	0,450	14	1,400	12	1,400	0,450	1,400	0,600	1,410
90,000	0,500	12	1,700	10	1,700	0,500	1,700	0,630	1,680
125,000	0,560	10	2,000	9	2,000	0,560	2,000	0,710	2,000
	0,630	8	2,400	8	2,400	0,630	2,800	0,750	2,830
	0,710	7	2,800	7	2,800	0,710	3,350	0,800	3,360
	0,800	6	3,350	6	3,350	0,800	4,000	0,850	4,000
	0,900	5	4,000	5	4,000	0,900	4,750	1,000	4,760
	1,000	4	4,750	4	4,750	1,000	5,600	1,180	5,660
	1,250	3,5	5,600	3,5	5,600	1,250	6,700	1,250	6,730
	1,600			3	6,700	1,600	8,000	1,400	7,930
	2,000			2,5	8,000	2,000	9,500	1,600	9,520
	2,500					2,500	11,200	1,700	11,100
	3,150					3,150	13,200	2,000	12,700
	4,000						16,000	2,500	
	5,000								

Tableau 1 - Correspondances d'ouverture de maille (v = côté maille carrée)

1-2 Les crépines flottantes et auto-nettoyantes

Les crépines flottantes sont des filtres à tamis munis de flotteurs.

Elles se nettoient automatiquement grâce à un bras qui, placé à l'intérieur du tamis, tourne en projetant de l'eau filtrée sous pression. Cette eau expulse les déchets et les particules collées contre le tamis.

Ces filtres s'utilisent de préférence en préfiltration en rivière ou dans les lacs collinaires. Leur surface est fragile. Ils doivent être protégés contre les risques de perforation par des corps flottants tels que branchages ou troncs d'arbres.

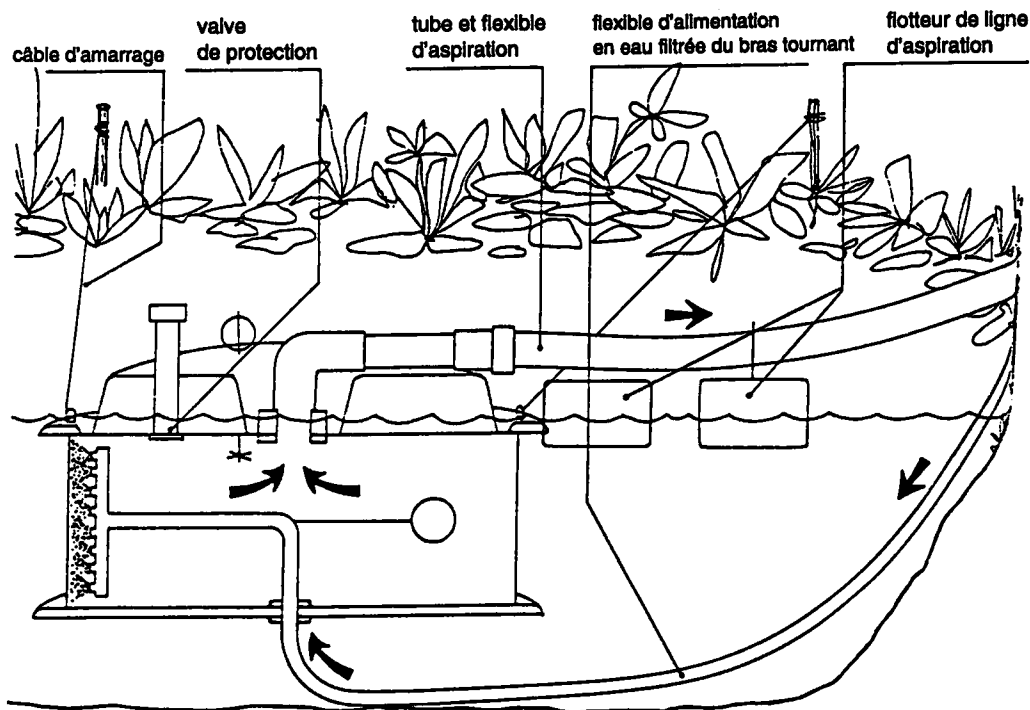


Figure 16 - Crépine flottante
(société Eurofiltre)

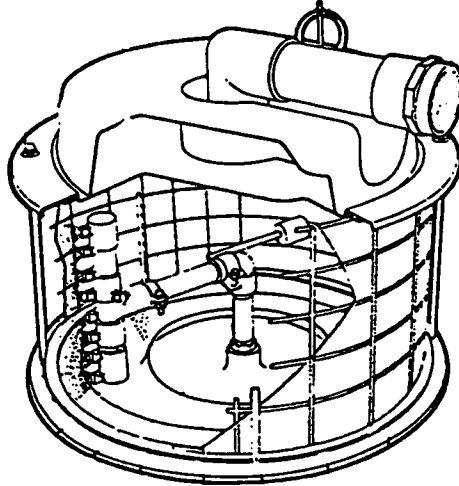


Figure 17 - **Détail d'une crépine flottante**
(société Eurofiltre)

1-3 Hydrocyclones et séparateurs

Lorsque la quantité de sable contenue dans l'eau d'irrigation, sables fins en particulier, est importante, il est utile de placer un hydrocyclone en amont de la station de tête.

Le rôle de ces appareils est de provoquer une rotation de l'eau de façon à centrifuger les particules les plus lourdes.

L'eau arrive de façon tangentielle dans la partie supérieure cylindrique de l'hydrocyclone. Le mouvement ainsi créé entraîne les particules lourdes vers la paroi ; comme la vitesse de l'eau est moins importante à ce niveau, les particules tombent vers le fond du cône.

Dans le cas du séparateur, l'appareil est à double paroi. La différence de vitesse est plus sensible et les particules sédimentent dans la partie basse de l'appareil d'où elles seront expulsées.

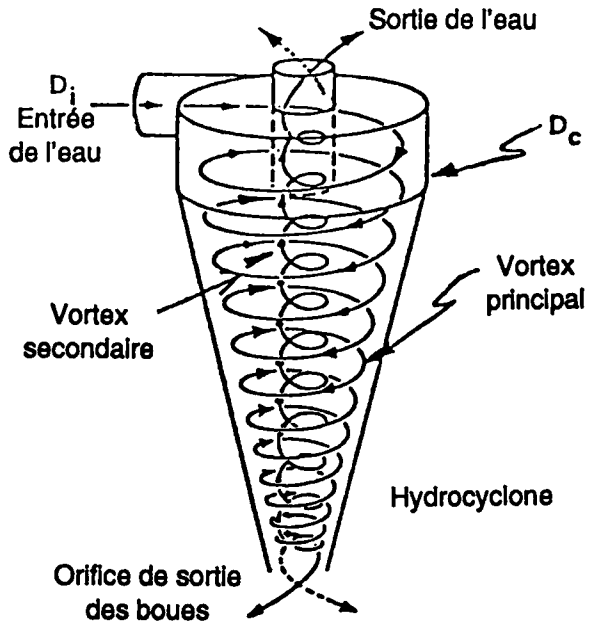


Figure 18 - Hydrocyclone (Netafim)

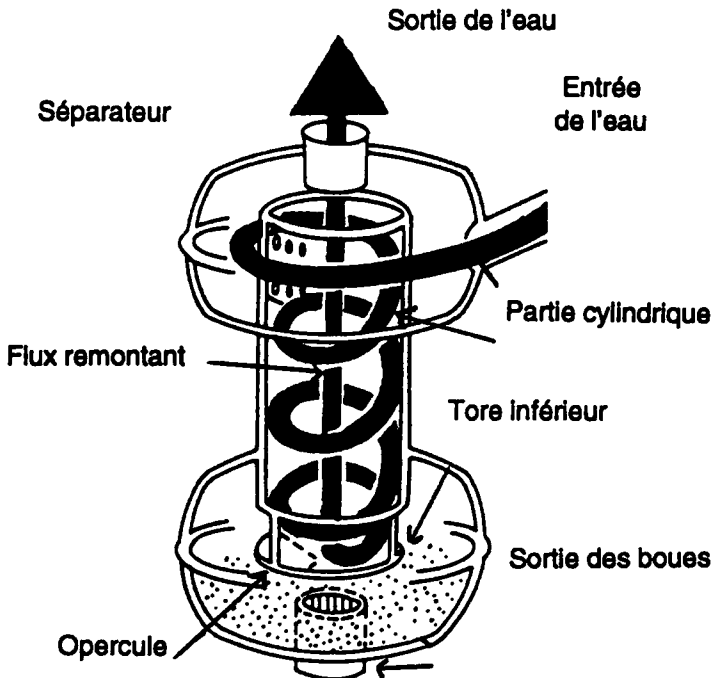


Figure 19 - Séparateur (Lakos)

Ces appareils ne peuvent éliminer que des particules de densité supérieure ou proche de un et de dimension supérieure à 75 micromètres. Une grande partie de la matière organique dangereuse pour la pérennité des réseaux dont les résidus végétaux de grande taille, les algues ou les colonies de bactéries, n'est pas arrêtée. Ces appareils ne fonctionnent bien que pour les débits nominaux pour lesquels ils ont été conçus.

Dans les vergers le long de la vallée du Lot, le type hydrocyclone a été employé pour éviter la surcharge du filtre à sable car celui-ci était rapidement colmaté et devait être nettoyé plusieurs fois par jour.

Ce type d'appareil qui peut, dans certains cas d'eaux très chargées en particules sableuses, alléger le travail du filtre à tamis, ne peut, en aucun cas, être considéré comme un filtre. Il ne doit jamais être employé seul. Ses sections de passage sont beaucoup trop importantes, et à la moindre erreur de manipulation, il laissera passer dans le réseau des particules qui pourront provoquer le bouchage des goutteurs.

1-4 Vannes automatiques de vidange

Les argiles et les limons passent en totalité dans le réseau. Ces particules ont tendance à se déposer sur le fond des antennes d'aménées ou en bout des rampes et à former un encroûtement par accumulations successives.

Pour éviter cela, il existe des vannes de vidange automatique ou "flushing valves" (figure 20a) qui se montent aux extrémités de rampe à condition que celles-ci soient au point le plus bas.

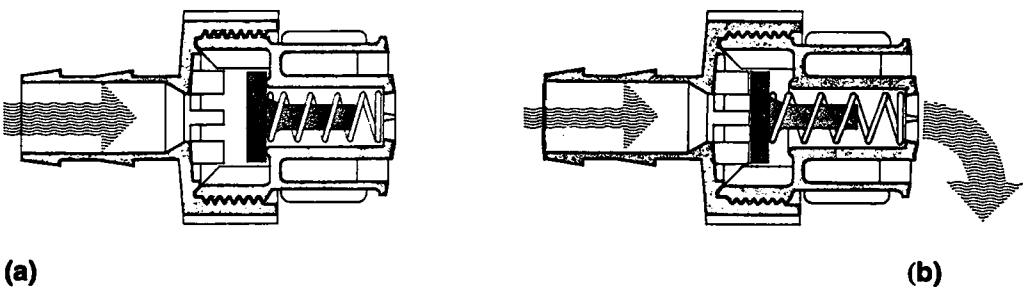


Figure 20 - Vanne automatique de vidange

Ces vannes s'ouvrent lorsque la pression dans le réseau est tombée (figure 20b). L'extrémité de la rampe se vide alors par gravité et les particules sont entraînées. Une vitesse de 0,3 m/s est nécessaire pour assurer une purge efficace des rampes.

Ces vannes doivent toutefois être contrôlées fréquemment car des particules peuvent rester sur le clapet, altérer son étanchéité et provoquer des fuites importantes sur le réseau.

1-5 Effet de l'arrêt hivernal

Les goutteurs à circuit court ont généralement tendance à se colmater légèrement en cours de saison. Après le stockage hivernal, on peut obtenir en début de saison, un retour au débit initial (Cemagref, 1981). Cet effet particulier, qui a été noté pour les capillaires mais aussi pour quelques goutteurs à circuit long, provient sans doute du séchage des dépôts accumulés en cours de campagne, de leur décollement de la paroi et de leur désintégration par l'action de la rétraction du plastique sous l'effet du froid.

Cet effet est intéressant à exploiter mais il est subordonné à un bon entretien du système et, en particulier, à un nettoyage du réseau avant arrêt en fin de campagne et à une purge importante au début de la campagne suivante de façon à éliminer les résidus décollés des parois des rampes et des goutteurs pendant l'hiver.

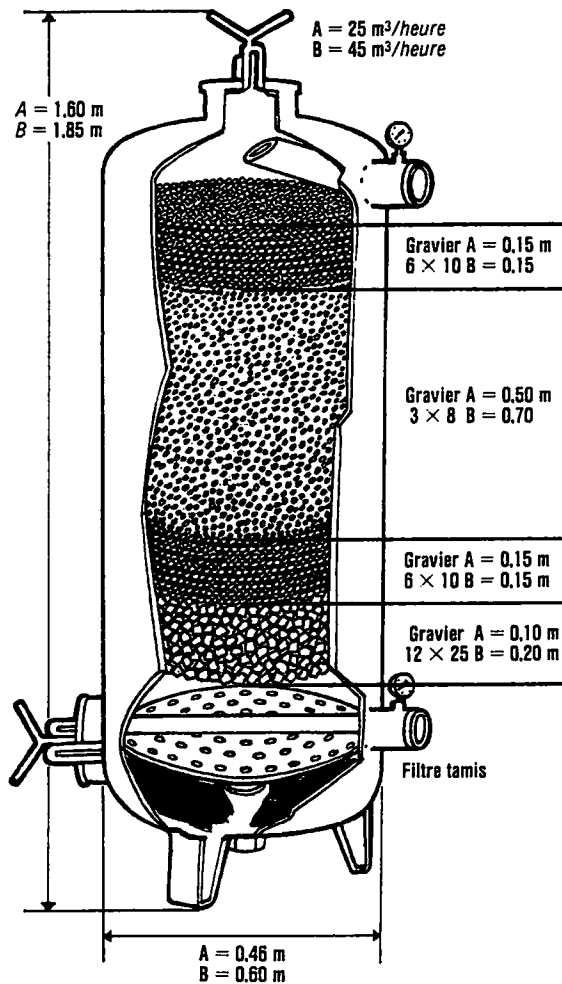
2 - Moyens de lutte contre les matières d'origine organique

2-1 Les filtres à sable

Les filtres à sable (**figure 21**) sont indispensables sur toutes les installations utilisant des eaux de surface car ils permettent d'arrêter les algues, les débris végétaux et les gels bactériens. Leur rôle dans l'arrêt des particules physiques n'est pas négligeable mais n'est pas prépondérant.

Ces filtres ont été conçus dans les années 1970 comme de simples cuves contenant du sable ou du gravier. Avec l'extension des superficies irriguées au goutte à goutte, leur conception s'est améliorée en se basant sur les appareils de filtration industrielle des eaux.

Pour nettoyer ces filtres, il est nécessaire d'envoyer un contre-courant avec de l'eau propre (du bas vers le haut) qui soulèvera légèrement le massif filtrant et évacuera les déchets. Les installations de ce type sont réalisées, en général, avec deux filtres qui fonctionnent en parallèle. Lors du nettoyage, l'un des filtres envoie de l'eau propre pour contre-laver l'autre filtre.



**Figure 21 - Filtre à sable
à couches superposées
(société Pluidor)**

Des filtres de conception plus récente permettent le passage d'un débit important avec un volume filtrant moindre. Ils sont équipés d'un petit filtre à tamis qui filtre l'eau de contre-lavage (**figure 22**).

Lorsque la charge en matières organiques ou minérales est importante, comme cela a été noté dans de nombreux cas d'eau provenant de rivières (Lot), les filtres doivent être contre-lavés plusieurs fois par jour. Dans ces conditions, l'automatisation de cette opération devient nécessaire.

Ceci est possible en utilisant des vannes électriques et un programmeur. On peut :

- soit programmer un nettoyage systématique une ou deux fois par jour,
- soit asservir le déclenchement du nettoyage au signe d'encrassement du filtre en mesurant par un manostat la perte de charge entre l'entrée et la sortie du filtre.

Cette dernière solution est un peu plus compliquée et plus coûteuse mais elle permet un meilleur nettoyage des filtres.

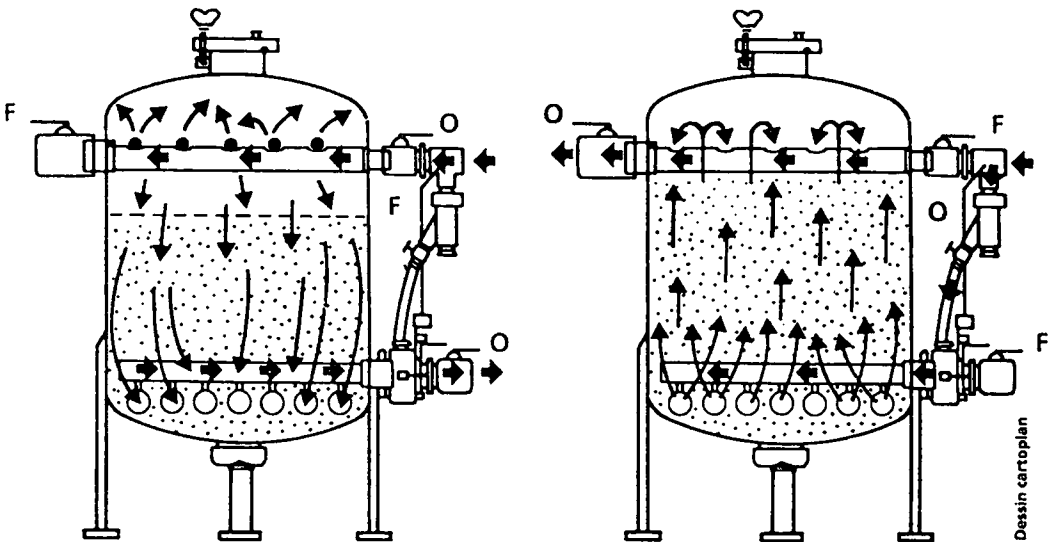


Figure 22 - Schéma d'un filtre à sable avec système automatique de nettoyage par inversion de flux (société Eurofiltres)

2-2 La lutte chimique contre les algues, les bactéries et les champignons

Généralités

En règle générale, une bonne filtration doit arrêter les algues dont les dimensions sont souvent supérieures aux sections de passage des tamis couramment utilisés, ainsi que les gels bactériens. Mais ces micro-organismes se présentent aussi sous différentes formes telles que spores ou kystes dont les dimensions sont inférieures à la maille la plus fine des tamis. Sous ces formes, ils circulent librement dans les canalisations.

Les algues vertes, comme nous l'avons vu, ne se développent pas dans l'obscurité. Par contre, les bactéries évoluent et se multiplient dans les tuyaux et peuvent, si les conditions sont favorables, envahir le réseau. Leur évacuation par purge est difficile car les mucilages dont elles s'entourent adhèrent aux parois des canalisations, accumulant des particules fines (argiles, limons). Pour contrôler ces micro-organismes, il faut utiliser des produits qui réduisent ou empêchent leur développement.

Dans le cas du nettoyage et du débouchage d'un réseau de plein champ, l'apport de biocides dans l'eau d'irrigation ne pose pas de problème particulier si l'on respecte les doses et les consignes de sécurité. Les quantités de produits actifs mises en jeu sont très faibles et leur action est de durée très limitée. Mais avant d'utiliser un produit, il est indispensable de réaliser une analyse de l'eau (annexe 10) pour connaître :

- le pH,
- la conductivité,
- les différents anions et cations présents.

D'autre part, si l'on veut effectuer un traitement, il est nécessaire que le réseau ne comporte pas de pièces métalliques (fer, acier galvanisé,...) après le point d'injection car les solutions employées sont agressives.

Diverses unités sont utilisées dans le texte. Elles sont toutes reliées entre elles :

$$1\text{mg/l} = 1\text{ g/m}^3 = 1\text{ppm}$$

Pour passer des grammes aux milligrammes par litre : $1\text{g/l} = 1000\text{ mg/l}$.

Le chlore

Le chlore est le produit le plus utilisé pour la désinfection de l'eau. Son pouvoir oxydant permet de détruire les matières organiques en agissant sur les enzymes indispensables à la vie des algues et des bactéries contenues dans l'eau. En règle générale, le chlore agit :

- comme bactéricide à faible concentration (1 à 8 ppm),
- comme oxydant à forte concentration (100 à 1000 ppm) pour nettoyer les tuyaux des débris organiques.

Le chlore est utilisé sous différentes formes :

- chlore gazeux,
- chlorite de sodium,
- hypochlorite de sodium,
- dioxyde de chlore.

Le chlore gazeux et le dioxyde de chlore sont utilisés pour le traitement des eaux mais leur manipulation est délicate. Par contre, l'hypochlorite de sodium ou eau de javel est d'utilisation plus facile. C'est le traitement le plus efficace et le moins cher contre le développement des micro-organismes. Les sels de calcium tels que l'hypochlorite de calcium ne doivent pas être utilisés car les produits de décomposition peuvent se déposer dans les tuyaux.

Mode d'action

L'eau de javel, ajoutée à des eaux de pH différents et compris entre 6 et 8, provoque un mélange d'acide hypochloreux (ClOH) et d'ion hypochlorite (ClO⁻) en proportions variables.

- 96 % de ClOH se forme à pH 6,
- 75 % de ClOH se forme à pH 7,
- 22 % de ClOH se forme à pH 8,
- 3 % de ClOH se forme à pH 9.

C'est sous la forme non dissociée (ClOH) que l'effet bactéricide est le plus important. C'est donc en milieu acide que l'eau de javel sera la plus efficace. Son action augmente avec le temps de contact. Un contact de faible durée sera compensé par une dose plus importante de réactif.

1 degré chlorométrique = 3,17 g de Cl₂ par kg

Lorsque l'eau de javel est ajoutée à l'eau d'irrigation, une certaine proportion de chlore se fixe sur les matières organiques présentes. Cette quantité est appelée "la demande en chlore". Pour être efficace, le traitement doit dépasser légèrement cette demande.

Lors d'un traitement, la mesure de la quantité de chlore libre doit être effectuée fréquemment pour surveiller sa répartition dans le réseau. Les trousse de détermination vendues par les installateurs de piscines ne conviennent généralement pas. L'utilisation des tests distribués par les sociétés de produits de laboratoire est préférable. Le plus adapté est celui utilisant le N-N diéthyl-P-phényléthylène-diamine ou D.P.D.

L'hypochlorite de sodium est un produit instable et lorsqu'il est dilué son efficacité est de courte durée. La chaleur et le soleil augmentent son instabilité jusqu'à le décomposer complètement.

Les quantités de chlore libre et de produits additionnels données ci-après sont le résultat d'essais réalisés par des chercheurs dans différents pays.

L'action de l'eau de javel dans le décolmatage des réseaux d'irrigation est assez complexe. Elle peut être différente suivant les conditions climatiques et si elle se situe en début ou en fin de saison d'irrigation. Un ajustement aux conditions locales est à réaliser.

Doses utilisées

L'injection de l'eau de javel dans les réseaux peut être préventive si l'on a de fortes présomptions, ou curative dans les cas de colmatage avérés.

- L'utilisation préventive de l'eau de javel

Peu d'essais ont été réalisés en France. Dans le monde, de nombreux chercheurs ont étudié ce procédé :

Ford (1979) a montré le rôle des bactéries du fer dans les colmatages des tuyaux en injectant divers produits biocides dans un réseau expérimental. Il a montré l'efficacité de l'eau de javel utilisée en continu à la dose de 5 ppm de chlore libre dans un milieu ramené à pH 6,5.

A Hawaï, Mac Eloe et Hilton (1976) ont montré que le taux de bouchage était extrêmement réduit en traitant l'eau en continu avec 1 ppm de chlore libre ou par intermittence à raison de vingt minutes par jour avec 20 ppm de chlore libre.

En Australie, Moriss et Black (1975) recommandent des traitements réguliers de 5 à 10 ppm à la fin de chaque arrosage pour maintenir un débit régulier aux distributeurs. Généralement, quand il y a risque de colmatage, il convient d'injecter de l'eau de javel à la fin de chaque arrosage pour obtenir une teneur résiduelle en chlore de 1 à 2 ppm.

Comme Mac Eloe et Hilton, Nakayama et al (1976) recommandent un traitement de 1 ppm de chlore à chaque arrosage. Ces auteurs montrent qu'un traitement avec un acide seul (HCl ou HNO₃) en maintenant le pH à 7 est aussi efficace que la combinaison acide plus hypochlorite.

Parchomchuck (1979) montre que des traitements à l'eau de javel à faible concentration (10 ppm) durant quatre heures sont plus efficaces que des traitements à forte concentration (50 ppm) pendant deux heures quand ce traitement est répété toutes les semaines. D'autre part, l'auteur obtient en fractionnant les apports d'eau d'irrigation, même sans traitement chimique, une réduction des bouchages. Ceci serait dû à l'air, qui pénétrant dans les canalisations à chaque arrêt, gêne la croissance des bactéries.

- L'utilisation curative de l'eau de javel

Le chlore utilisé à forte dose permet de déboucher les canalisations d'irrigation. Dans le cas de colmatages importants, telle que l'association de gels bactériens agglomérés avec des particules minérales passées au travers des filtres, Morris et Black ont obtenu des résultats satisfaisants en utilisant en une seule fois une dose de 500 ppm de chlore libre.

Nakayama et al (1976), pour obtenir une meilleure efficacité de l'effet du chlore, utilisent une dose de 10 ppm d'eau de javel (en chlore libre) pendant vingt-quatre heures avec une quantité d'acide sulfurique suffisante pour abaisser le pH à 2. Grâce à ce traitement, on a récupéré jusqu'à 99% des débits initiaux. Par la suite, une injection en continu de 1 mg/l d'eau de javel a permis de maintenir le système opérationnel pendant les cinq années d'observation.

Au Canada, Parchomchuck (1979) montre que les traitements fortement dosés en eau de javel en mélange avec un acide, donnent d'excellents résultats pour le débouchage des goutteurs mais qu'ils sont plus efficaces en fin qu'en début de saison.

S'il est possible d'enlever les goutteurs pour les traiter séparément (cas des goutteurs en dérivation), le décolmatage peut être effectué en les trempant dans une solution plus concentrée.

Limites d'utilisation du chlore

Les résultats obtenus aux États-Unis indiquent qu'il n'y a aucun risque pour la culture à employer des solutions dont la teneur est de 60 mg/l de chlore résiduel.

Les concentrations supérieures ont des effets variables :

- De 100 à 150 mg/l, les plantes réagissent différemment : certaines sont retardées dans leur croissance et d'autres ne sont pas affectées.
- De 200 à 300 mg/l, les parties aériennes des plantes sont touchées mais pas leurs racines.
- De 500 à 1000 mg/l, le démarrage des semis est retardé. Les organes aériens et souterrains des plantes adultes sont détruits.

Les racines des plants de tomates ne sont pas affectées jusqu'à 5 mg/l mais leur croissance peut être retardée à 10 mg/l.

L'eau oxygénée H₂ O₂

L'eau oxygénée a sensiblement les mêmes effets que l'eau de javel mais n'est pas utilisée de la même façon. C'est un bon bactéricide pour les bactéries du fer, mais son action est moins importante sur les bactéries des sulfures si elles ne contiennent pas de fer.

Le permanganate de potassium

Le permanganate de potassium est utilisé pour rendre l'eau potable. A forte dose, c'est un produit toxique, relativement coûteux. Dans le traitement industriel des eaux, il sert à précipiter le manganèse en solution et, lors de la remise en état des canalisations, à désinfecter celles-ci.

Le permanganate de potassium a une action efficace surtout sur les bactéries putréfiantes et, dans une moindre mesure, sur les algues.

Les doses d'utilisation de ce produit sont de l'ordre de 10 à 30 grammes par mètre cube d'eau traitée. A ces doses, il agit sur les infusoires, les larves d'insectes, les diatomées, et son efficacité reste limitée à l'effet bactéricide.

Les composés de l'ammonium

Les sels d'ammonium se dissocient au contact de l'eau. Le degré de dissociation en ion ammonium et en ammoniac libre dépend du pH et de la température de l'eau.

Ces sels sont toxiques vis-à-vis des micro-organismes à des doses de l'ordre de 100 mg/l (Meinck et al, 1977). Par contre, les détergents cationiques ammonium quaternaire agissent à des doses inférieures allant de 1 à 10 mg/l (Bucks et al, 1979) et sont, en général chers.

Les ammonium quaternaires ont montré un effet stimulant sur des germes d'orge et d'avoine, lorsque la concentration en produit tensioactif de la solution était de quelques mg/l.

Le cuivre et ses composés

L'action bactéricide et algicide du cuivre et de ses composés est connue depuis longtemps. Le cuivre peut être utilisé en permanence sans risque pour les plantes, jusqu'à 0,2 mg/l. Des doses allant jusqu'à 5 mg/l ont été utilisées sur des sols à texture fine ayant un pH compris entre 6 et 8,5.

Dans certains pays, les services des eaux utilisent des doses de 0,1 à 0,5 mg/l, généralement suffisantes pour limiter le développement des micro-organismes dans les canalisations. Pour les bactéries (genre *Escherichia Coli*) la dose létale se situe autour de 0,08 mg de Cu⁺⁺ par litre.

Le sulfate de cuivre agit de façon sélective sur les algues. Les doses appliquées peuvent être de l'ordre de 4 mg/l de CuSO₄ hydraté. Dans les eaux contenant du carbonate et des bicarbonates de calcium, le sulfate de cuivre forme, avec ces produits, des précipités de carbonate de cuivre non toxique vis-à-vis des algues.

L'action du cuivre est accélérée en milieu acide.

Le fer et ses composés

Le fer et ses composés sont peu toxiques vis-à-vis des végétaux supérieurs mais ils ont la propriété de gêner la prolifération des algues. Pour cet effet, ils sont utilisés dans les exploitations agricoles possédant des retenues collinaires en épandage à la surface de celles-ci. Dans la pratique, les doses d'utilisation sont les suivantes :

- chlorure de fer (FeCl₃) de 10 à 20 mg/l,
- sulfate de fer (FeSO₄) de 50 à 150 mg/l.

Ce traitement n'est pas toujours efficace et l'opération doit être renouvelée.

Injection de produits chimiques dans les réseaux

Tous les produits solubles (bactéricides, algicides, acides) doivent être injectés dans les systèmes d'irrigation au moyen de pompes doseuses. Les mélanges sont préparés à partir de solutions stockées séparément dans des cuves en plastique. Ils se font toujours à partir du produit que l'on introduit dans l'eau en petites quantités et non l'inverse, et tout particulièrement pour les mélanges acide-eau.

2-3 Moyens de lutte contre les colmatages

Sous certaines conditions, des éléments chimiques contenus dans l'eau précipitent dans les réseaux d'irrigation localisée. Les précipités le plus fréquemment observés sont formés à partir des sels de calcium ou de fer. Dans la plupart des cas, les colmatages chimiques sont associés à des colmatages biologiques (bactéries). Seul l'examen des dépôts formés permet d'en trouver le remède.

Les dépôts calciques

Lors d'une modification de l'équilibre (augmentation du pH, ajout d'éléments chimiques incompatibles), le gaz carbonique dissous dans l'eau se dégage. Les bicarbonates se transforment en carbonates qui, moins solubles, précipitent. Le carbonate de calcium est souvent associé au carbonate de magnésium. Ces carbonates peuvent être solubilisés facilement par l'injection de solutions acides dans le cas de colmatage partiel. En cas d'obstruction totale, ce traitement est inefficace.

En injectant des solutions d'acides (nitrique ou chlorhydrique) du commerce à une concentration de 0,2 à 0,5 % en volume, l'efficacité de ce traitement est immédiate puisque dans les dix minutes qui suivent l'injection, les goutteurs bouchés ont retrouvé leur débit initial. L'utilisation de concentrations supérieures a été essayée sans donner de meilleurs résultats.

Si le colmatage est important, il est préférable, dans le cas de goutteurs en dérivation, de les enlever et de les traiter à part avec des solutions plus concentrées.

Lorsque l'eau utilisée a une teneur élevée en sels de calcium, il est possible de faire fonctionner une installation d'irrigation localisée sans risque de bouchage des distributeurs. On injecte, à des intervalles de temps dépendant de la quantité de carbonates présents dans l'eau (en général, une fois par semaine), une solution d'acide nitrique ou chlorhydrique du commerce (ne pas aller au-delà de 2 %). Cette solution est introduite dans le réseau à basse pression et à très faible débit, pour laisser l'acide en contact dans les canalisations pendant au moins une demi-heure. Au bout de ce temps, en augmentant la pression, on chasse le résidu et, au bout de quelques minutes, le réseau reprend son débit initial. Ce traitement a l'inconvénient de ne pas distribuer également dans le réseau la solution d'acide car les points hauts auront un temps de contact plus court que les points bas.

L'utilisation d'un complexant du calcium, du type Hexametaphosphate de sodium (nom commercial, Calgon) peut être utilisé à la dose de 2 ppm dans l'eau d'irrigation pendant tout un cycle ; ceci correspond à 2 g par m³ d'eau d'irrigation.

Les dépôts ferriques

La quantité de fer dissous dans les eaux de nappes profondes doit être connue avant même la mise en place d'un réseau d'irrigation. Pour éliminer le fer ferreux dissous dans les eaux profondes, le traitement traditionnel comporte deux étapes :

- Une oxydation du fer ferreux Fe⁺⁺ soluble en fer ferrique Fe⁺⁺⁺ insoluble. En général, l'oxygène atmosphérique suffit pour parvenir à ce résultat. Cette opération consiste en une mise en contact étroite de l'eau et de l'air en

réalisant un barbotage par cascades successives ou une aspersion dans un bassin.

- Une décantation suivie d'une filtration pour laisser déposer le fer trivalent et arrêter les particules encore en solution.

Ce dispositif exige un pompage supplémentaire et un entretien important des systèmes de décantation et de filtration. Il est de ce fait relativement lourd et ne doit être envisagé en exploitation agricole que si aucune autre solution n'est envisageable.

2-4 Conclusion

Les tableaux 2 et 3 résument les solutions proposées en fonction des risques rencontrés.

Origine de l'eau		Éléments colmatants rencontrés le plus fréquemment	Type de filtration	Traitements supplémentaires
<i>Souterraine</i>	Puits	Sables, carbonate de calcium	Filtre à tamis	Acide pour éliminer les dépôts de calcaire Bac de reprise pour oxydation
	Forages	Sable, calcaire Fer	Filtre à séparateur ou hydrocyclone	
<i>Eau de surface</i>	Fleuves, rivières	Matières organiques, algues, bactéries	Filtre décolmant, filtre à sable, filtre à tamis séparateur ou hydrocyclone	Prévoir des injections d'eau de javel et d'un acide suivant l'importance du colmatage
	Canaux	Algues, bactéries, matières organiques	Filtre à sable, filtre à tamis	
	Retenues collinaires	Algues, bactéries, matières organiques	Filtre flottant, filtre à sable, filtre à tamis	

Tableau 2 - Risques les plus fréquents de colmatage et leur solution pour différentes origines de l'eau

Type de colmatage	Importance	Type d'Injection*	Dose	Périodicité du traitement	Durée du traitement	Produit utilisé
<i>Précipités de carbonate de calcium suivant son importance dans l'eau d'irrigation</i>	faible < 100 mg/l	venturi	0,2 %	2 à 3 fois dans la saison	1/2 heure	acide fort
	moyen 100 à 200 mg/l	volu- métrique	0,5 %	1 fois tous les 15 jours	1/2 heure	acide fort
	fort > 200 mg/l	volu- métrique	1 % + 1 à 2 ppm de Cl ⁻	selon l'im- portance 1 fois toutes les semaines ou +	1/2 en début d'irrigation	acide fort + NaOCl
<i>Bactéries du fer</i>	présence faible	venturi	1 à 2 ppm de Cl ⁻	1 fois par semaine	au cours d'une irrigation	NaOCl
	présence importante	volu- métrique	5 ppm de Cl ⁻	en continu		NaOCl + acide à pH 6
<i>Algues</i>	dans l'eau utilisée	voir filtration				
	à la sortie des émetteurs	volu- métrique	1 ppm de Cl ⁻	1 fois par quinzaine	au cours d'une irrigation	NaOCl

Tableau 3 - Niveaux de risques et traitements des principaux cas de colmatages chimiques et bactériens

(1) Il y a deux façons d'injecter un produit dans un réseau d'irrigation. Soit en plaçant toute la quantité à répartir dans un bac fertiliseur, en réglant le débit distribué au moyen d'un venturi (ou d'un jeu de vannes), soit en injectant au moyen d'une pompe asservie au débit du réseau, à partir d'une solution mère, la dose de produit à distribuer. Le premier système est simple et rustique, mais peu précis. Le second est plus complexe, il permet un contrôle très précis de la dose apportée.

L'origine et la qualité des eaux utilisées en irrigation - Les risques de colmatage

Dans ce dernier chapitre sont présentées des analyses réalisées sur des eaux superficielles ou profondes par l'agence du Bassin Adour Garonne, le Bureau de recherches géologiques et minières et le Cemagref. Ces résultats devraient permettre de porter un premier jugement sur la qualité des eaux utilisées dans le Sud-Ouest de la France en travaillant sur les minima et les maxima observés pendant la saison d'irrigation.

Les prélèvements pour l'irrigation se font dans les eaux profondes (eaux de nappes phréatiques et géologiques) ou dans les eaux superficielles (de retenues collinaires et de fleuves ou rivières).

Type de problèmes	Risques de colmatage		
	<i>Faible</i>	<i>Moyen</i>	<i>Important</i>
Physiques			
Matières en suspension	50 mg/l	50-100 mg/l	> 100 mg/l
Chimiques			
- pH	7	7 à 8	> 8
- produits solubilisés dont :	500 mg/l	500 à 2000 mg/l	> 2000 mg/l
- fer	0,1 mg/l	0,1 à 1,5 mg/l	> 1,5 mg/l
- manganèse	0,1 mg/l	0,1 à 1,5 mg/l	> 1,5 mg/l
- calcium	10 mg/l	10 à 50 mg/l	> 50 mg/l
- carbonates	100 mg/l	100 à 200 mg/l	> 200 mg/l
Biologiques			
- Population bactérienne par cm ³	10.000	10.000 à 50.000	> 50.000

Tableau 4 - Critères d'utilisation des eaux en micro-irrigation (d'après Bucks et Nakayama - 1980)

1 - Les eaux profondes

Les eaux profondes proviennent de puits ou de forages. Elles sont prélevées dans les nappes phréatiques des fleuves et des rivières, dans les captages de sources sur les côteaux et dans la nappe superficielle des régions sableuses (landes de Gascogne). La qualité de ces eaux varie beaucoup d'un point à un autre suivant les faciès géologiques.

Nous étudierons ci-après quelques cas dans différentes situations pour montrer la nécessité de réaliser, a priori, une analyse avant la mise en place d'une installation d'irrigation localisée et l'insuffisance, a posteriori, des résultats d'analyses pour pratiquer un diagnostic.

1-1 Nappe phréatique de la Garonne

La nappe phréatique de la Garonne se trouve dans les alluvions perméables du lit majeur du fleuve.

Les échantillons d'eaux prélevés à Castets-en-Dorthe ont donné les résultats suivants :

- température de l'eau : 12°8,
- concentration en calcium (Ca^{++}) : 136 mg/l,
- concentration en bicarbonate (HCO_3) : 427 mg/l,
- pH : 7,62.

La teneur en calcium et en bicarbonates est élevée. Le risque de colmatage calcique est important.

En un autre point proche d'Aiguillon, en rive gauche (commune de Montheurs), l'analyse de l'eau de la nappe a donné les résultats suivants :

- degré hydrotimétrique total : 40°,
- concentration en Cl^- : 105 mg/l,
- concentration en CaCO_3 : 400 mg/l,
- pH : 7.

Les résultats d'analyse sont disparates. Il en reste néanmoins qu'ils auraient du soulever le problème, au moment de la conception du réseau, de l'utilisation de cette eau. On constate que celle-ci a provoqué des obstructions partielles des distributeurs en une seule campagne d'irrigation. Une touche avec un acide fort a montré qu'il s'agissait d'un colmatage calcique.

1-2 Nappe phréatique de la Dordogne

Trois analyses présentées dans le **tableau 5** montrent la diversité des résultats que l'on peut avoir avec des prélèvements effectués sur la nappe phréatique d'un même fleuve à une dizaine de kilomètres de distance.

Concentration	Arveyres	Saint-Magne de Castillon	Saint-Pey d'Armens
En calcium (Ca ⁺⁺)	156,8 mg/l	58 mg/l	29 mg/l
En fer (Fe ⁺⁺)	1,8 mg/l	0,12 mg/l	1,6 mg/l
En bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	460,5 mg/l	146,4 mg/l	85,4 mg/l
En sulfate (SO ₄ ⁻)	66 mg/l	45 mg/l	24 mg/l
pH	7,1	7,2	7,2

Tableau 5 - Concentration de la nappe phréatique en différents ions et pH sur 3 sites de la Dordogne

Les concentrations en calcium et bicarbonates sont très fortes à Arveyres où il sera nécessaire de prendre des précautions importantes pour éliminer les précipités calciques qui pourraient se former. En règle générale, les eaux profondes provenant de régions à substratum calcique devront être tout particulièrement examinées pour détecter le risque de colmatage des sels de calcium.

1-3 Nappe phréatique de la vallée du Lot

Les nappes phréatiques exploitées sont celles des rives du Lot et celles situées en bordure des côteaux dans les environs de Saint-Livrade. C'est sur ces dernières que les analyses suivantes ont été réalisées. Le résultat des analyses est le suivant :

- pH : 7,5,
- degré hydrotimétrique total : 40°,

- sulfate en SO_3 : 50 mg/l,
- CaCO_3 : 300 mg/l,
- chlorure : 64,3 mg/l,
- matières organiques : 1,45 mg/l.

Dans ce cas aussi, le taux de calcium est absent mais le degré hydrotimétrique indique qu'il doit être élevé.

On constate que des colmatages sont apparus, au bout de quelques mois d'utilisation de cette eau, obstruant progressivement les orifices de sortie des distributeurs. Il faut aussi noter le taux élevé de matières organiques en suspension qui peuvent donner des indications sur le niveau de pollution du forage.

1-4 Les nappes de la Lande sableuse

Les Landes de Gascogne représentent, en bordure de l'océan Atlantique, entre Garonne et Adour, un vaste triangle boisé constitué par des sols de sables grossiers dans lesquels se situe une nappe superficielle en général très proche de la surface du sol. C'est dans cette nappe superficielle que sont réalisés les prélèvements pour l'irrigation.

La microirrigation ne représente qu'une très faible proportion des surfaces irriguées mais elle est utilisée dans certaines exploitations pour l'irrigation de vergers.

Concentration	Lavazan	Cabanac	Saint-Jean d'Ilac
En calcium (Ca^{++})	25,6 mg/l	61,6 mg/l	4,0 mg/l
En fer (Fe^{++})	0,4 mg/l	traces	1,8 mg/l
Matières en suspension	-	210 mg/l	-
En bicarbonate (HCO_3^-)	33,5 mg/l	201,3 mg/l	0 mg/l
En sulfate (SO_4^-)	22,5 mg/l	-	15,0 mg/l
pH	7,1	7,3	6,0

Tableau 6 - Concentration en différents ions et valeur du pH de la nappe superficielle de la grande lande sableuse

Il y a une grande variabilité d'un lieu de prélèvement à un autre. La concentration en calcium est faible à moyenne. Par contre, le fer est présent quasiment partout (même si certaines analyses ne font état que de traces) et se dépose avec plus ou moins d'importance. A Saint-Jean d'Illac, les dépôts de fer observés sur les grands appareils d'irrigation du type rampe pivotante, sont souvent très importants.

A certains endroits, les matières en suspension, présentes en grande quantité, peuvent être gênantes. La présence de fer et de matières organiques avec un pH inférieur à la neutralité favorise le développement de bactéries du fer.

2 - Les eaux superficielles

Les eaux superficielles proviennent des fleuves, des rivières, des ruisseaux et des retenues collinaires utilisées pour l'irrigation.

2-1 Les eaux des fleuves et rivières

Nous étudierons ici les principaux cours d'eau du Sud-Ouest qui ont fait l'objet d'une étude et d'un suivi, soit par l'agence du bassin Adour Garonne, soit par la division Qualité des Eaux du Cemagref à Bordeaux.

La Garonne

Tout au long du cours de la Garonne sont établis de nombreux points de pompage fixes ou mobiles dont certains alimentent des réseaux de micro-irrigation. La qualité des eaux de la Garonne n'est pas régulière. Elle varie suivant les années, les mois et, dans des limites plus étroites, suivant les heures de la journée. Dans les tableaux en annexe 1 sont réunis les résultats d'analyses effectuées, de 1971 à 1980, en plusieurs points de ce fleuve. On remarque que :

- Le pH est toujours alcalin avec des valeurs pouvant aller jusqu'à 8,9.
- Le calcium est présent partout de façon non négligeable. Les analyses ne font pas apparaître les éléments chimiques qui peuvent lui être associés, comme par exemple le magnésium, et qui précipitent dans les mêmes conditions.
- La teneur en carbonate est, en règle générale, modérée. Sa valeur moyenne se situe autour de 130 mg/l en aval de Montauban et de 150 mg/l au confluent de la Garonne et du Lot.

- Les teneurs en matières en suspension sont extrêmement variables. Elles sont inférieures à 100 mg/l mais les analyses ne portent pas sur les arrivées d'eaux d'orage qui sont fortement chargées (705 mg/l en 1975 en aval de Toulouse).

Les valeurs élevées trouvées systématiquement en amont de Bordeaux traduisent les remontées de "bouchons vaseux" lors de chaque marée. Ce phénomène est ressenti jusqu'en aval de Langon.

- Les ions chlorures et sulfates sont présents en quantité relativement faible.
- La faune microbienne et la flore algale sont très importantes et se développent rapidement dès que la température s'élève. Les crépines de la plupart des pompes en Garonne sont installées dans un bassin de réception en communication avec le fleuve. En début de campagne d'irrigation, ce bassin contient de grandes quantités de gels bactériens et des algues. Ces gels persistent assez longtemps et sont susceptibles de colmater les filtres des installations de tête lors du premier arrosage.

En règle générale, sur la Garonne, l'équipement de tête devra comprendre un filtre à sable et un filtre à tamis. L'injection systématique d'acide n'est pas utile mais il est préférable, avant une injection d'engrais, de mesurer le pH de l'eau. Si celui-ci est supérieur à 8, il faudra l'abaisser en ajoutant de l'acide pour éviter la précipitation de certains des engrais dans les canalisations et les distributeurs.

La Dordogne

Les renseignements donnés par les analyses (annexe 2) montrent que :

- Le pH varie le long du fleuve. Il se situe entre 6,7 et 8,7.
- La teneur en calcium augmente régulièrement de l'amont vers l'aval du fleuve mais ne dépasse pas la valeur maximale de 81 mg/l.
- Les matières en suspension sont présentes en faible quantité à Trémolat avec un maximum en 1981 égal à 155 mg/l. A Libourne, leur quantité est très élevée, car dans la zone affectée par la marée, des particules fines sont soulevées et transportées. La fraction minérale, limons très fins et argile, représente 60 % des matières en suspension.
- Les chlorures augmentent régulièrement de l'amont vers l'aval. Les valeurs élevées enregistrées à Libourne peuvent provenir de remontées d'eaux saumâtres.

- La quantité de carbonates est plus importante à Trémolat. Elle a augmenté régulièrement de 1975 à 1982.
- Les sulfates sont présents dans ces eaux de façon non négligeable, avec un maximum en 1974, égal à 180 mg/l.

Sur ce fleuve, les installations de filtration doivent être normalement dimensionnées. En aval du fleuve, près de son embouchure, pour les réseaux installés dans la zone où agit la marée, il faut augmenter la capacité des filtres et prévoir des vannes automatiques de vidange en bout de rampe.

La quantité importante de carbonate présente entre Trémolat et Bergerac fait craindre un risque de colmatage par le carbonate de calcium. L'injection d'acide est préconisée.

Des valeurs élevées de pH (8 et 9) peuvent être observées dans la journée sur des eaux superficielles. Durant la période où les algues se développent, l'effet de l'assimilation du CO₂ dissous du fait de la photosynthèse, déplace l'équilibre carbonates-bicarbonates. La nuit, le pH revient souvent à des valeurs plus basses. Les mesures correctives à prendre doivent donc être adaptées aux variations du pH.

Le Lot

Pour cette rivière, les observations sont réalisées régulièrement par l'agence de bassin Adour Garonne. En 1975, une étude a été réalisée par le Cemagref.

Les renseignements donnés par les analyses en annexe 3 et 4 montrent que :

- La valeur du pH a augmenté depuis 1971 et qu'il est nécessaire d'en tenir compte lorsque l'on fait des irrigations fertilisantes.
- Les matières en suspension ne sont pas très importantes.
- Les chlorures et les sulfates sont présents en très faible quantité.
- Les carbonates existent en quantité non négligeable.

Sur cette rivière, ces analyses font apparaître un risque modéré de colmatage calcique, ainsi que des quantités faibles de matières en suspension. Il sera nécessaire de prendre en compte les conditions locales du pompage dans certaines parties du fleuve car on a observé de forts risques de saturation des filtres.

Le Tarn

Les prélèvements et les analyses ont été réalisés sur cette rivière par l'agence de bassin Adour Garonne. Deux sites ont été choisis, le premier au confluent du Tarn et de l'Agoût, le second en aval de Montauban. Les analyses ont donné les résultats suivants (annexe 5) :

- Les teneurs en calcium sont, en général, faibles.
- Les quantités de matières en suspension sont faibles à moyennes, mais elles tendent à s'élever en aval de Montauban.
- Les chlorures sont présents en faible quantité mais leur taux augmente chaque année depuis 1971.
- Les quantités de sulfate sont moyennes.

Aucun colmatage d'installation d'irrigation localisée alimentée à partir des eaux de cette rivière n'a été signalé. Sur ce cours d'eau, les valeurs élevées du pH nécessitent de prendre des précautions lors des injections d'engrais ou de chlore.

L'Aveyron

Les analyses exécutées par l'agence financière de bassin depuis 1971 montrent que :

- Le pH est très fréquemment supérieur à 8.
- Les quantités de calcium sont relativement importantes, rarement inférieures à 40 mg/l.
- La teneur en matières en suspension est faible quoique les valeurs enregistrées ne fassent pas apparaître les pointes dues aux orages.
- Les chlorures sont présents en faible quantité.
- La charge en carbonates est relativement importante. Si on la relie au calcium et aux éléments qui lui sont associés, on peut s'attendre à des colmatages lents qui aboutiront à des obstructions à plus ou moins long terme.
- Les sulfates sont présents en quantité non négligeables.

Pour ce fleuve, le dimensionnement des filtres de l'équipement de tête pourra être conçu sans exagération. Il faudra prévoir, dès la création du réseau, une injection d'acide pour prévenir le colmatage par les sels de calcium et abaisser le pH lors des injections de solution fertilisante.

Bibliographie

BUCKS D.A., NAKAYAMA F.S., GILBERT R.G ., 1979 - Trickle Irrigation Water Quality and Preventive Maintenance. Agricultural Water Management, pp. 149-162.

BUCKS D., NAKAYAMA F.S., 1980 - Injection of fertilisers and other chemicals for drip irrigation. U.S. Depart for Agricultural, pp. 166-180.

Cemagref, 1976 - Etude des caractères physico-chimiques des eaux du Lot en 1975. Etude N° 13, Groupement de Bordeaux, p. 56.

Cemagref, 1977 - Éssai d'irrigation au goutte à goutte sur culture de tomates à Marmande. Groupement de Bordeaux, 20 pages.

Cemagref, 1978 - Etude hydrobiologique de la Dordogne. Groupement de Bordeaux. Etude N° 23. Rapport intermédiaire, p. 87.

Cemagref, 1981 - Etude technologique de quelques distributeurs de micro-irrigations. Groupement d'Aix-en-Provence, 2^e édition, p. 64.

EDWARD Mac KEE. J., WOLF H.W., 1976 - Water Quality Criteria US. Public Health Service.

FAO, 1976 - Water Quality for Agriculture, N° 29, Rev. 1, pp. 99-104.

FORD H.W., 1979 - Characteristics of slime and ochre in drainage and irrigations systems. Trans. of the ASAE.

FORD H.W., 1980 - Sulfur slimes in low pressure. Criters and vegetables magazine.

HILLEL D., 1982 - Advances in irrigation. Academic Press, pp. 261-272.

IRRIFRANCE, 1985 - Entretien et nettoyage des réseaux de micro-irrigation (goutte à goutte, microjets, gaines). Note technique.

KAISER P., 1983 - Les bactéries du fer, p. 18.

LE BOURDELLES J., FAVREAU P., 1983 - L'irrigation fertilisante en agriculture fruitière. Bulletin de la Somivac, pp. 27-34.

MAC ELHOE B.A., HILTON M.W., 1976 - Chemical treatment of drip irrigation water. Trans. of the ASAE, pp. 215-220.

MERRIAN J.L., KELLER L., ALFARO J.F.- Evaluation et perfectionnement d'un système d'irrigation.

MEINCK E., STOFF H., KOHLSCHUTTER H., 1977 - Les eaux résiduelles industrielles. Ed. Masson.

NAKAYAMA F.S., BUCKS D.A., FRENCH D.E., 1976. Reclaiming partly clogged trickle emitters. Trans. of the ASAE, pp. 278-280.

NAKAYAMA F.S., BUCKS D.A., 1985 - Temperature effect on calcium-carbonate precipitate clogging of trickle emitters. C.R. Meeting FRESNO/18-21/11/85, pp. 45-49.

PARCHOMCHUCK P., 1979 - Use of intermittent chlorine dosage to prevent emitter blockage. University of Manitoba, p. 9.

PELLEG D., 1980 - Formation of blockages in drip irrigation system, their prevention and removal. The Hebrew University of Jerusalem.

SMITH S.A., 1985 - Iron bacteria in water wells. Agricultural Engineering, vol. 66, n° 8, pp. 15-18.

VESCHAMBRE D., VAYSSE P., 1980 - Mémento goutte à goutte. CTIFL-INRA, p. 204.

VERMEIREN I., JOBLING G.A., 1980 - Localised Irrigation. FAO Rome n° 36, p. 198.

Annexes

Annexes 1 à 5 - Résultats de pH et concentration en ions minimum et maximum

Annexe 1 - Garonne

Annexe 2 - Dordogne

Annexe 3 - Lot

Annexe 4 - Aveyron

Annexe 5 - Tarn

Annexe 6 - Engrais pouvant être ou non mélangés

**Annexe 7 - Solubilité et composition de quelques produits
fertilisants distribués dans le commerce**

Annexe 8 - Préparation d'une solution d'eau de javel avant injection

**Annexe 9 - Analyses chimiques minimum nécessaires pour déterminer
les risques de colmatage d'un système d'irrigation localisée**

Ces résultats de pH et concentration en ions minimum et maximum ont été enregistrés dans trois régions du bassin de la Garonne entre 1971 et 1980 par l'Agence de Bassin Adour-Garonne. Ces chiffres n'ont valeur que comme indication. Les relevés ont été réalisés pendant les périodes d'irrigation, c'est-à-dire de mai à septembre. Ces chiffres sont donnés pour une date et une heure précise sans préjuger de ce qui peut se passer entre les périodes de mesure.

Date	Aval de Toulouse				Aval d'Agen				Amont de Bordeaux			
	pH	Ca ⁺⁺ mg/l	MES mg/l	Cl ⁻ mg/l	pH	Ca ⁺⁺ mg/l	MES mg/l	Cl ⁻ mg/l	pH	Ca ⁺⁺ mg/l	MES mg/l	Cl ⁻ mg/l
1971 mini	7,7	27	8	2,1	7,5	40	6	4,2	7,8	35,4	8	6,8
maxi	7,9	48,4	22	5,7	7,5	41	44	7,8	8,2	50,8	44	10,6
1972 mini	7,4	28,4	3	1,4	-	-	-	-	7,5	44	422	10,6
maxi	8,2	36,8	9	8	-	-	-	-	-	-	-	-
1973 mini	7,4	31,2	3	2,1	7,4	45,6	28	12	7,2	37	8	9
maxi	7,7	42,4	5	4,9	7,8	54	66	15,9	8,2	54	1320	16
1974 mini	7,2	24,8	3	0,7	7,4	32	8	8	7,3	38	11	7
maxi	8,5	38,4	7	3,5	7,8	48	22	10	7,8	55	389	15
1975 mini	7,3	19,0	4	2,1	7,1	1	20	6	7	30	28	7
maxi	8,9	37,6	705	7,5	7,5	40	27	6,5	8,2	44	388	10
1976 mini	7,3	19,0	6	2,8	6,8	33	10	10	7,6	42	1340	8
maxi	7,9	39,0	27	11,7	8	44	29	18,1	8,4	30	4	48
1977 mini	7,3	26,0	5	4	7	27	34	7,5	6,4	30	4	8
maxi	8,6	38,0	85	9,9	7,2	42	-	14,1	8	38	71	12
1978 mini	7,2	21	6	2,3	6,8	30	4	5,8	6,3	30	14	7
maxi	8,5	76	-	12	8,2	80	69	17,3	7	85	406	14
1979 mini	5,6	11	1	4	7,7	29	1	7,5	7	33	12	8
maxi	8,2	34	63	14,7	8,2	41	76	17,6	7,7	38	571	15
1980 mini	7,1	25	6	2,3	7,2	27	3	8,7	6,3	25	16	9
maxi	8,2	50	48	13,9	8,0	61	23	13,5	7,6	74	731	15

Date		Confluent avec le Tarn		Confluent avec le Lot	
		<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>
1971	mini	102	5	112	5
	maxi	163	23	139	10
1972	mini	88	14	115	18
	maxi				
1973	mini	116	-	125	18
	maxi			140	27
1974	mini	-	-	115	9
	maxi			195	30
1975	mini	-	-	-	-
	maxi	-	-	-	-
1976	mini	117	16	98	15
	maxi	118	21	149	22
1977	mini	98	9	165	10
	maxi	183	22	250	32
1978	mini	128	1	140	10
	maxi	171	33	201	26
1979	mini	80	10	128	10
	maxi	195	24	183	23
1980	mini	104	18	126	16
	maxi	134	21	171	28
1981	mini	116	15	128	15
	maxi	153	17	165	24
1982	mini	98	13	88	14
	maxi	140	21	165	31

Les valeurs indiquées correspondent aux périodes d'irrigation entre le mois d'avril et le mois de septembre.

Date		Tremolat					
		<i>pH</i>	<i>Ca</i>	<i>MES</i>	<i>Cl</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>
1971	mini	-	-	-	-	-	-
	maxi	-	-	-	-	-	-
1972	mini	-	-	-	-	-	-
	maxi	-	-	-	-	-	-
1973	mini	-	-	-	-	-	-
	maxi	-	-	-	-	-	-
1974	mini	-	-	-	-	-	-
	maxi	-	-	-	-	-	-
1975	mini	7,3	12	4	4	61	8
	maxi	7,7	26	18	8	104	10
1976	mini	7,8	24	5	11	110	17
	maxi	8,4	42	18	20	134	25
1977	mini	6,7	15	1	3	73	8
	maxi	7,9	24	5	8	122	10
1978	mini	7,2	15	2	5	85	5
	maxi	8	43	8	12	122	14
1979	mini	7,2	19	1	5	30	6
	maxi	7,9	39	5	11	238	15
1980	mini	7,1	11	2	6	45	12
	maxi	8,1	37	17	7,5	110	13
1981	mini	6,8	8	2	5	97	14
	maxi	7,2	42	155	10	317	16
1982	mini	7,7	13	2	3	117	10
	maxi	8,1	35	72	15	378	13

Date	Bergerac						Libourne					
	pH	Ca	MES	Cl	HCO ₃	SO ₄	pH	Ca	MES	Cl	HCO ₃	SO ₄
1971 mini	7,2	19	6	5	52	6	8,3	32	24	6	106	8
maxi	7,9	39	16	11	109	19	8,7	45	60	14	149	12
1972 mini	7,1	24	6	6	86	0	-	-	-	-	-	-
maxi	7,9	54	22	11	149	23	-	-	-	-	-	-
1973 mini	6,7	25	4	7	85	6	7,3	32	8	10	122	16
maxi	7,5	81	16	21	247	29	7,5	58	1360	14	225	21
1974 mini	6,9	26	2	9	73	9	7,3	38	11	6	122	7
maxi	7,6	39	14	12	109	26	8	60	1510	300	183	18 0
1975 mini	7,3	22	5	7	67	7	-	-	-	-	-	-
maxi	7,9	32	57	12	100	14	-	-	-	-	-	-
1976 mini	6,9	31	10	7	67	14	7,7	37	257	12	119	14
maxi	7,7	45	26	20	116	36	8,1	47	3400	479	156	96
1977 mini	7,1	24	5	7	67	9	7,4	30	20	7	88	12
maxi	7,8	32	14	11	92	16	8,0	43	206	12	125	20
1978 mini	6,8	21	9	7	64	9	7,4	37	18	10	98	10
maxi	8,4	51	15	14	131	17	7,9	62	1850	14	189	24
1979 mini	7	22	5	7	61	8	7,4	25	34	9	79	11
maxi	7,8	45	21	12	137	15	8,2	53	1140	59	189	29
1980 mini	7,1	22	1	7	52	5	7,0	25	25	9	73	10
maxi	8,2	27	11	11	82	15	8,1	45	4120	18	125	25
1981 mini	7,3	22	3	7	64	6	7,0	29	40	7	82	8
maxi	7,8	37	22	18	119	27	8,2	53	2160	19	131	28
1982 mini	6,7	28	6	12	76	13	6,8	35	30	11	101	13
maxi	7,5	40	62	62	110	27	7,5	45	1730	122	153	41

Les valeurs indiquées correspondent aux périodes d'irrigation entre le mois d'avril et le mois de septembre.

Date		Cahors					
		<i>pH</i>	<i>Ca</i>	<i>MES</i>	<i>Cl</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>
1971	mini	6,9	18	5	2	72	2
	maxi	8,1	31	72	4	117	10
1972	mini	7,0	21	2	0	78	6
	maxi	8,3	35	10	5	109	25
1973	mini	7,5	22	4	1	82	13
	maxi	8,2	40	12	4	125	24
1974	mini	7,1	25	3	0	85	6
	maxi	8,7	49	7	6	157	18
1975	mini	7,4	22	2	1	88	14
	maxi	8,5	42	15	4	134	35
1976	mini	7,7	24	1	3	92	11
	maxi	8,8	43	34	6	135	40
1977	mini	7,3	16	6	1	70	8
	maxi	7,7	35	21	5	128	25
1978	mini	7,4	22	1	3	96	11
	maxi	8,3	39	7	5	137	28
1979	mini	7,5	22	3	3	82	9
	maxi	7,9	35	17	5	116	26
1980	mini	7,3	18	3	3	72	9
	maxi	7,9	38	15	5	121	29
1981	mini	7,5	14	7	3	58	8
	maxi	8,2	33	42	6	137	50
1982	mini	7,5	30	2	5	98	15
	maxi	8,4	48	14	9	154	30

Date	Villeneuve-sur-Lot						Confluent					
	pH	Ca	MES	Cl	HCO ₃	SO ₄	pH	Ca	MES	Cl	HCO ₃	SO ₄
1971 mini	7,4	18	6	2	87	1	7,3	24	8	1,4	91	2
1971 maxi	8,3	30	40	4	119	10	7,7	31	32	43	117	12
1972 mini	-	-	-	-	-	-	7,5	50	14	18		
1972 maxi	-	-	-	-	-	-						
1973 mini	7,4	28	2	7	122	14						
1973 maxi	8,8	59	27	11	152	23						
1974 mini	7,6	30	8	4	109	5						
1974 maxi	8,2	38	32	7	140	16						
1975 mini	7,6	31	13	7	134	11						
1975 maxi	8,2	39	31	44	153	16						
1976 mini	7,6	32	7	6	134	17	7,7	37	0	6	131	14
1976 maxi	8,0	53	22	9	158	33	7,9	48	10	8	159	18
1977 mini	4,5	22	1	4	104	18						
1977 maxi	7,4	39	25	11	155	34						
1978 mini	6,8	23	3	4,6	85	3						
1978 maxi	9,1	42	15	9	201	11						
1979 mini	6,7	26	4	5	86	12						
1979 maxi	8,2	35	15	9	165	14						
1980 mini	7,7	18	1	4	100	12						
1980 maxi	8,4	55	10	9	159	24						
1981 mini	7,8	27	4	4	115	9	8					
1981 maxi	8,4	51	14	9	165	21	8,1					
1982 mini	7,5	9	2	3	164	16						
1982 maxi	8,5	47	16	13	183	23						

pH et concentration en ions minimum et maximum enregistrés dans une région du bassin de l'Aveyron entre 1971 et 1980

Date		Pont de Coubejac					
		<i>pH</i>	<i>Ca</i>	<i>MES</i>	<i>Cl</i>	<i>HCO₃</i>	<i>SO₄</i>
1971	mini	7,6	34	6	2	147	10
	maxi	8,1	56	30	7	186	26
1972	mini	7,8	42	4	1	134	22
	maxi	8,4	62	21	14	176	64
1973	mini	8,3	50	5	3,5	139	30
	maxi	8,9	66	12	10	176	44
1974	mini	7,8	44	3	3	146	14
	maxi	8,7	65	14	9	212	30
1975	mini	8	38	5	4	142	17
	maxi	8,3	53	27	11	184	56
1976	mini	7,9	41	3	9	140	23
	maxi	8,8	70	17	16	200	75
1977	mini	7,7	41	8	18	154	18
	maxi	8	61	22	11	179	39
1978	mini	7,4	39	1	7	143	19
	maxi	7,8	51	36	12	172	41
1979	mini	8	45	6	7	138	20
	maxi	8,7	50	14	13	168	53
1980	mini	8	44	1	8	137	24
	maxi	8,7	60	21	11	198	39
1981	mini	7,7	35	14	7	113	22
	maxi	8,5	53	70	13	174	40
1982	mini	8,4	42	11	10	128	28
	maxi	8,7	60	22	22	174	69

Les valeurs indiquées correspondent aux périodes d'irrigation entre le mois d'avril et le mois de septembre.

Date	Confluent avec l'Agout						Aval de Montauban					
	pH	Ca	MES	Cl	HCO ₃	SO ₄	pH	Ca	MES	Cl	HCO ₃	SO ₄
1971 mini	7,6	35	14	2			7,5	30	4	2	119	5
1971 maxi	8	42	22	7			7,9	42	26	9	176	7
1972 mini	8,6	34	3	1			7,6	30	4	1	107	10
1972 maxi	8,5	46	24	4			8,5	46	26	12	161	24
1973 mini	7,5	37	3	2			7,5	37	3	2	135	16
1973 maxi	7,9	47	2	10			7,9	47	19	8	159	24
1974 mini	7,6	33'	2	1			7,6	34	2	1	123	10
1974 maxi	8,3	45	35	11			8,3	46	35	11	161	38
1975 mini	7,5	28	10	1			7,5	28	5	7	123	18
1975 maxi	8,4	42	38	12			8,4	42	38	13	159	25
1976 mini	7,3	28	11	7			7,3	28	5	1	104	14
1976 maxi	8,4	38	22	20			8,4	35	22	20	148	24
1977 mini	7,7	35	16	6			8,4	32	16	6	138	12
1977 maxi	8,8	40	30	10			8,8	40	30	11	180	20
1978 mini	7,7	34	9	7			7,7	34	9	6	125	11
1978 maxi	8,7	41	51	11			8,7	41	42	11	181	21
1979 mini	8,1	33	6	9			6,2	31	6	6	117	14
1979 maxi	8,2	41	22	13			9,7	41	22	13	165	22
1980 mini	7,6	29	5	6			7,6	31	9	6	110	15
1980 maxi	8,0	38	115	16			8,3	38	115	16	145	20
1981 mini							7,6	35	15	9	119	15
1981 maxi							8,1	41	23	13	165	30
1982 mini							7,6	40	6	10	137	8
1982 maxi							8,1	55	114	28	180	22

Annexe 6

Engrais pouvant être ou non mélangés

(origine : Mémento goutte à goutte CTIFL-INRA)

	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	CaNO_3	NaNO_3	KNO_4	K_2SO_4	MgSO_4
Sulfate d'ammoniaque	X	non	oui	oui	oui	oui
Nitrate de chaux	non	X	oui	oui	non	non
Nitrate de soude du Chili	oui	oui	X	oui	oui	oui
Nitrate de potasse	oui	oui	oui	X	oui	oui
Sulfate de potasse	oui	non	oui	oui	X	oui
Sulfate de magnésium	oui	non	oui	oui	oui	X
Phosphate d'ammoniaque		non				non

Annexe 7

Solubilité et composition de quelques produits fertilisants distribués dans le commerce¹

(origine : Mémento goutte à goutte CTIFL-INRA)

Produits	Solubilité approximative en gramme pour 100 millilitres d'eau à la température ordinaire ²	Pourcentage moyen de l'élément			
		N	P	K	<i>autres</i>
Eléments majeurs					
- Nitrate d'amonium	118	33,5	-	-	-
- Sulfate d'amonium	71	20-21	-	-	-
- Nitrate de calcium	102	15,5	-	-	21 Ca
- Phosphate double d'amonium	43	21,0	11,5	-	-
- Phosphate simple d'amonium	23	11	10,5		-
- Chlorure de potassium	35	-	-	15,5	-
- Nitrate de potassium	13	13	-	13,5	-
- Sulfate de potassium	12	-	-	13	18 S
- Nitrate de sodium	73	16	-	-	-
- Superphosphate simple	2	-	4,5	-	20 Ca
- Superphosphate double	4	-	9,1	-	13 Ca
- Urée	78	45-46	-	-	-
Eléments mineurs					
- Sulfate de cuivre	22	-	-	-	25 Cv
- Sulfate de fer	29	-	-	-	20 Fe
- Sulfate de magnésium	71	-	-	-	9,5
- Sulfate de manganèse	105	-	-	-	32 Mn
- Borate de sodium	5	-	-	-	11 B
- Molybdate de sodium	56	-	-	-	30 Mo
- Sulfate de zinc	75	-	-	-	22 Zn

(1) Publié par E. J. Shaw (1961), Western Fertilizer Handkook.

(2) Le produit est mis dans un récipient taré, on complète avec de l'eau jusqu'à obtenir 100 millilitres de solution.

Annexe 8

Préparation d'une solution d'eau de javel avant injection

Données initiales :

- Concentration initiale de l'eau de javel = 48 ° Chlorométrique (eau de javel concentrée du commerce),
- Débit du réseau = 20 m³/h,
- Bac de stockage de la solution = 200 l,
- Débit de la pompe doseuse = 5 l/h,
- Taux d'injection = 1 ppm.

Si la concentration initiale de l'eau de javel du commerce est de 48° Chlorométrique et que l'on veuille injecter 1 ppm de chlore actif en continu dans un réseau d'irrigation assurant un débit de 20m³/h et si le réservoir de stockage fait 200 litres et la pompe d'injection 8 litres à l'heure, il faudra mélanger :

$$20 \text{ m}^3/\text{h} \times 1 \text{ ppm} = 20 \text{ g/heure}$$

quantité de Chlore actif nécessaire pour une concentration de 1 ppm

Pour distribuer cette quantité de Cl₂, il faudra que le dosage à l'intérieur du tank soit :

$$\frac{20 \text{ g / h}}{5 \text{ l / h}} = 4 \text{ g / l Cl}$$

$$200 \text{ l} \times 4 \text{ g/l} = 800 \text{ g pour le réservoir}$$

Comme l'eau de javel est dosée à 48° Chlorométrique, cette solution contient 48 x 3,17 = 152 g/l de chlore actif . La quantité d'eau de javel à utiliser sera donc de :

$$\frac{800 \text{ g}}{0,0152} = 52 \text{ litres d'eau de javel dans 148 litres d'eau}$$

N.B. - L'eau de javel est commercialisée sous forme diluée ou sous forme concentrée. Cette concentration est exprimée en degré chlorométrique. Dans le premier cas, diluée, elle titre 16° chlorométrique soit 50 g/l de chlore actif, dans le second cas, elle titre 48 ° chlorométrique soit 152 g/l de chlore actif. Il faut multiplier le degré chlorométrique par 3,17 pour obtenir la quantité de chlore actif.

Annexe 9

Analyses chimiques minimum nécessaires pour déterminer les risques de colmatage d'un système d'irrigation localisée

1 - Principaux cations

Ca, Fe

2 - Principaux anions

CO₃, SO₄

3 - Matières en suspension

4 - Matières organiques

5 - pH

	Provenance de l'eau	
	Eau de profondeur	Eau de surface
Analyse préliminaire au projet	1, 2, 3, 5	1, 2, 3, 4, 5
Analyses nécessaires pour déterminer l'origine d'un colmatage	1, 2, 3, 5	1, 2, 3, 4, 5

Annexe 10

Correspondances entre la densité et la concentration des solutions acides

(en grammes de produit pur par litre de solution à 15°)

Densité	H ₂ SO ₄	HCL	HNO ₃
1,000	1,2	2	1,6
1,005	8,4	12	10,7
1,010	15,7	22	20,00
1,015	23	32	28
1,020	31	42	38
1,025	39	53	47
1,030	46	64	56
1,040	62	85	75
1,050	77	107	94
1,060	93	129	113
1,070	109	152	132
1,080	125	174	151
1,090	142	197	170
1,100	158	220	190
1,120	191	267	228
1,140	223	315	267
1,160	257	366	307
1,180	292	418	347
1,200	328	469	388
1,220	364		431
1,240	400		474
1,260	436		520
1,280	472		568
1,300	509		618
1,320	548		668
1,340	586		711
1,360	624		780
1,380	663		843
1,400	701		911
1,420	739		986
1,440	778		1070
1,460	818		1163
1,480	858		1270
1,500	897		1405

Les Études du Cemagref

Cette collection édite des travaux scientifiques du Cemagref, thèses, comptes rendus de recherches regroupés en quatre séries qui correspondent aux quatre nouveaux départements scientifiques du Cemagref :

- **Gestion des milieux aquatiques** (anc. série *Ressources en eau*),
- **Équipements pour l'eau et l'environnement** (anc. séries *Hydraulique agricole*, *Gestion des services publics*, *Montagne*),
- **Gestion des territoires** (anc. séries *Forêt*, *Montagne*, *Production et économie agricoles*),
- **Équipements agricoles et alimentaires** (anc. série *Équipement des IAA*).

Ces séries font suite aux publications ventilées en sept rubriques jusqu'à fin 1993.

■ Série Équipements pour l'eau et l'environnement

N°14 - *Modélisation, analyse et commande optimale LQR d'un canal d'irrigation* - 1994, 220 p. - 210 F.

N°15 - *Étude de la formation d'un lit torrentiel* - 1994, 538 p. - 345 F.

N°16 - *Instrumentation d'un site avalancheux* 1995, 220 p. - 210 F.

N°17 - *Modélisation statistique de la prévision des défaillances sur les conduites d'eau potable* - 1995, 248 p. - 210 F.

N°18 - *Conception et calcul de barrages de correction torrentielle* - 1995, 288 p. - 245 F.

N°19 - *Entretien en micro-irrigation* - 1995, 72 p. - 120 F.

N°20 - *Volatilisation de l'azote ammoniacal des lisiers après épandage* - 1995, 232 p. - 210 F.

Études déjà parues :

Hydraulique agricole (anc. série)

N°3 - *Secteurs de référence drainage. Recueil des expérimentations* - 1988, classeur 20x26, 92 fiches. - 150 F.

N°4 - *Fonctionnement hydrologique et hydraulique du drainage souterrain des sols temporaires engorgés : débits de pointe et modèle SIDRA* - 1989, 334 p. - 250 F.

N°5 - *Transferts hydriques en sols drainés par tuyaux enterrés. Compréhension des débits de pointe et essai de typologie des schémas d'écoulement* - 1989, 322 p. - 250 F.

N°6 - *Réseaux collectifs d'irrigation ramifiés sous pression. Calcul et fonctionnement* - 1989, 140 p. - 150 F.

N°7 - *Géologie des barrages et des retenues de petites dimensions* - 1992, 144 p. - 200 F.

N°8 - *Estimation de l'évapotranspiration par téledétection. Application au contrôle de l'irrigation* - 1990, 248 p. - 250 F.

N°9 - *Hydraulique à l'interface sol/drain* - 1991, 336 p. - 250 F.

N°10 - *Le fonctionnement du drainage : approche pédo-hydraulique* - 1991, 248 p. - 200 F.

N°11 - *Mise en valeur des sols difficiles. Drainage et après-drainage des argiles vertes* 1991, 140 p. - 150 F.

N°12 - *Colmatage des drains et enrobages : état des connaissances et perspectives* - 1991, 152 p. - 200 F.

N°13 - *Guide pour le diagnostic rapide des barrages anciens* - 1992, 100 p. - 150 F.

Gestion des services publics (anc. série)

N°1 - *Économie et organisation à l'échelle départementale du financement du renouvellement des réseaux d'eau potable* - 1991, 76 p. - 150 F.

Montagne (anc. série)

N°1 - *Éléments d'hydraulique torrentielle* - 1991, 280 p. - 300 F.

N°2 - *Aspects socio-économiques de la gestion des risques naturels* - 1992, 152 p. - 150 F.

N°5 - *Rhéologie des boues et laves torrentielles - Étude de dispersions et suspensions concentrées* - 1993, 416 p. - 400 F.

A commander au Cemagref - Dicova,
BP 22, 92162 ANTONY Cedex - Tél. (1) 40 96 61 32 - Télécopie (1) 40 96 61 64
joindre votre paiement à la commande

Parmi les installations d'irrigation localisée, combien, à l'heure actuelle, apportent les doses d'irrigation que le projeteur avait calculées à l'origine, avec l'uniformité de répartition voulue ?

En France, l'interrogation est réelle puisque les superficies couvertes par l'irrigation localisée sont estimées à plus de 100 000 ha. Le colmatage et le bouchage sont des phénomènes qui s'installent insidieusement au cours du temps dans les installations. Au cours des campagnes d'irrigation, les débits baissent peu à peu entraînant ainsi une mauvaise répartition de l'eau sur la parcelle, et un manque à gagner important.

Ce guide propose des solutions pratiques pour prévenir et corriger les modifications qui interviennent durant l'utilisation d'un réseau d'irrigation localisée.

ISBN 2-85362-407-2

Prix : 120 F TTC



9 782853 624077