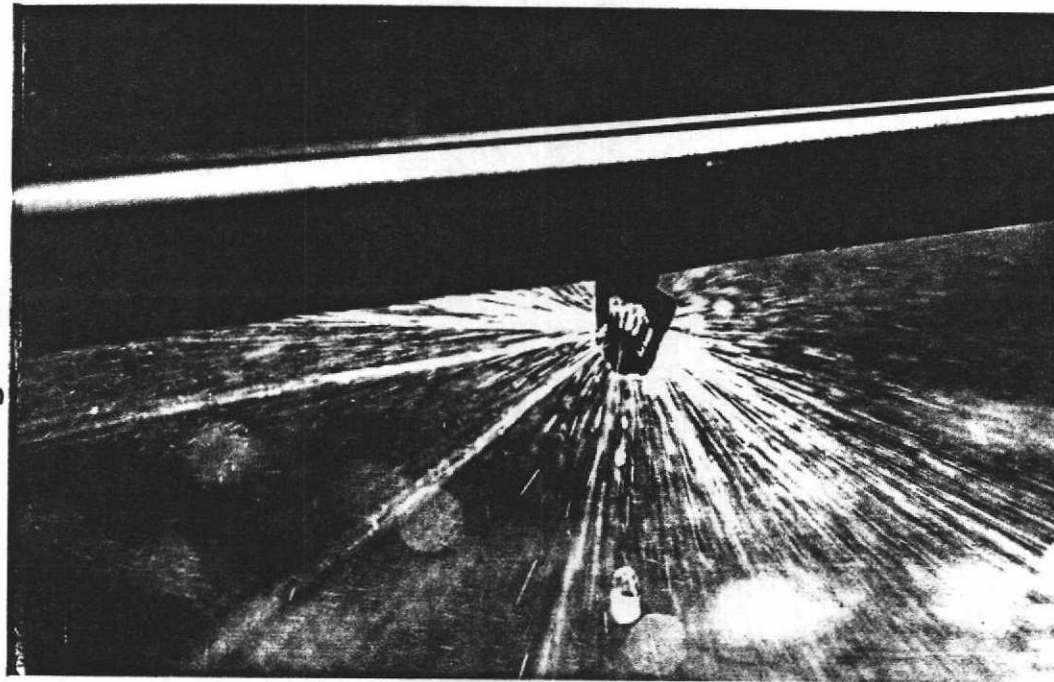


66/64745

GUIDE PRATIQUE

Entretien en micro-irrigation

entretien en micro-irrigation



Jean-Claude CHOSSAT



CEMAGREF

Bordeaux

ISBN : 2-85362-126-X
Édition CEMAGREF-DICOVA

Prix : 120 F TTC

55830

A. P. E. E.
21, rue de Madrid, 21
75008 PARIS
Tél. (1) 22 14 67

Jean-Claude CHOSSAT

1 / DEC. 1988

GUIDE PRATIQUE

Entretien en micro-irrigation

F5830



CEMAGREF

**CENTRE NATIONAL
DU MACHINISME AGRICOLE
DU GÉNIE RURAL
DES EAUX ET DES FORÊTS**

GROUPEMENT DE BORDEAUX
50, avenue de Verdun Gazinet
BP 3 33610
Tél. : 56 36 09 40 • Télex : 540 003 F
Télécopie : 56 36 75 11

Chez le même éditeur

La micro-irrigation dans le monde. Marc Decroix (CEMAGREF Aix en Provence)
1988 - 220 pages - 17 x 24 - Prix 240 F TTC Franco - Une mise au point scientifique sur cette méthode.

Irrigation localisée, choix et utilisation des équipements de micro-irrigation
Publication du RNED, Réseau National d'Expérimentation et de Démonstration
Secteur Hydraulique Agricole - Délégué de secteur : L. Rieul (CEMAGREF Montpellier) 1988 - 52 pages - 21 x 29 sous chemise en 4 fascicules - Prix 90 F TTC Franco - Eléments de choix du matériel - Nombreuses illustrations.

Le CEMAGREF est un organisme de recherches dans les domaines de l'eau, de l'équipement pour l'agriculture et l'agroalimentaire, de l'aménagement et de la mise en valeur du milieu rural et des ressources naturelles.

En contact permanent avec les agents économiques et les collectivités, il cherche à constituer des outils mieux adaptés dans différents secteurs d'activités :

- eau
- risques naturels et technologiques
- montagne et zones défavorisées
- forêts
- machinisme agricole
- équipement des industries agroalimentaires
- production et économie agricoles.

Le CEMAGREF est un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique sous la tutelle des ministères de la Recherche et de l'Agriculture.

Il emploie 970 agents dont 420 scientifiques répartis en 10 groupements : Aix-en-Provence, Antony, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Grenoble, Lyon, Montpellier, Nogent-sur-Vernisson, Outre-Mer (La Martinique), Rennes.

Son budget annuel consolidé est de 280 M. F.

"Guide pratique Entretien en micro-irrigation" 1988 — 1^{re} édition — ISBN 2.85 - 362 - 126 X — Dépôt légal 3^e trimestre 1988 — Composition : Créa 2, 63370 LEMPDES
Impression intérieure CEMAGREF - DICOVA — Impression couverture et façonnage : Imprimerie BOUDET, 61300 L'AIGLE — Diffusion aux libraires : Technique et Documentation - Lavoisier - Paris — Editeur : CEMAGREF - DICOVA - 92160 ANTONY — **Prix de vente 120 F TTC.**

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays.

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite" (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.



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.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	9
1 - COMMENT APPRECIER LE COLMATAGE D'UN RESEAU	11
2 - ORIGINE DES COLMATAGES ET BOUCHAGES	17
3 - MOYENS DE LUTTE CONTRE LES COLMATAGES ET BOUCHAGES	37
4 - ORIGINE ET QUALITE DES EAUX UTILISEES EN IRRIGATION ET LES RISQUES DE COLMATAGE	64
BIBLIOGRAPHIE	75
ANNEXES	77



INTRODUCTION

Les superficies couvertes par l'irrigation au goutte à goutte peuvent être estimées à environ 15.000 ha en France, dont 7000 à 8000 dans le grand Sud-Ouest.

Sur ce total, combien d'installations sont capables, à l'heure actuelle, de respecter l'uniformité de répartition et les doses d'irrigation que le projeteur avait calculé à l'origine ?

Ces réseaux sont, en effet, très sensibles aux colmatages et aux bouchages. Or ceux-ci, comme on pourrait le penser, n'apparaissent pas brutalement bloquant tout le système en peu de temps. Le plus souvent, il s'agit de colmatages lents qui, au cours des campagnes d'irrigation, font peu à peu baisser les débits et rendent très mauvaise la répartition de l'eau, amenant par là 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 obtenir les résultats que l'on peut attendre d'un réseau d'irrigation ou du goutte à goutte.

Ces risques de colmatage ou de bouchage dépendent des eaux qui sont 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 APPRECIER LE COLMATAGE D'UN RESEAU ?

1



- Le contrôle au champ 12
- Le calcul 13
- Exemple de mesure et de calcul 13
- Conséquences à tirer d'un mauvais CU 16

Lors de la mise en service d'un réseau, l'homogénéité de la répartition de l'eau dépend du soin apporté à sa conception.

A condition d'utiliser des émetteurs de qualité dont la variabilité de fabrication est faible, la répartition dépend uniquement de l'uniformité du débit des goutteurs sur l'ensemble des rampes.

Au bout d'une ou de plusieurs campagnes d'irrigation, certains goutteurs s'obstruent ou se colmatent graduellement de façon, en général, aléatoire. Il est important de connaître chaque année, à la mise en route du réseau, l'uniformité de la distribution, c'est-à-dire l'efficacité hydraulique que l'on peut attendre.

C'est dans ce but qu'a été mis au point un test simple qui ne demande que peu de matériel (une éprouvette graduée et une montre avec l'indication des secondes) pour le relevé sur le terrain et une petite calculatrice quatre opérations pour le calcul.

• LE CONTROLE AUX CHAMPS

Ce test tient compte de l'écart relatif entre les débits les plus faibles et le débit moyen des goutteurs.

La procédure de contrôle aux champs est la suivante (16)

a) Il faut faire, au minimum, quatre mesures par rampe et répéter la même opération sur au moins quatre rampes différentes. Les seize mesures doivent prendre en compte les goutteurs extrêmes.

b) Les rampes doivent être représentatives du réseau, c'est-à-dire qu'elles ne doivent pas être choisies toutes au même endroit mais réparties sur un secteur commandé par vanne.

c) On peut prendre sur chaque rampe, en dehors du premier et du dernier goutteur, les goutteurs qui se trouvent au tiers et aux deux tiers de la longueur.

d) Le choix des autres goutteurs doit être fait au hasard, c'est-à-dire en prévoyant sur le plan du réseau les numéros des émetteurs testés avant de les voir sur le terrain.

• LE CALCUL

Le coefficient d'uniformité au champ (CU) correspond au rapport, exprimé en %, du débit moyen des plus faibles mesures (moyenne sur le quart de l'effectif) au débit moyen de l'ensemble des mesures.

Il se calcule par la formule :

$$CU = \frac{\bar{q} \text{ min.}}{\bar{q}} \times 100$$

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

$\bar{q} \text{ min.}$ = moyenne des $\frac{n}{4}$ mesures des débits les plus faibles

Pour être bonne, la valeur du CU recherché doit être la plus proche possible de 100 %.

• EXEMPLE DE MESURE ET DE CALCUL

Il est nécessaire de posséder pour ce test :

- 1 éprouvette de 250 cc,
- 1 montre avec trotteuse pour les secondes.

Si le goutteur est un microtube ou un goutteur en dérivation, le matériel ci-dessus est suffisant. Si, par contre, il s'agit d'un goutteur en ligne ou d'une gaine perforée, il vaudra mieux utiliser une coupelle de faible hauteur et de 100 cc environ que l'on glissera sous l'orifice d'émission pour éviter de

soulever la rampe (ce qui aurait pour effet de diriger les gouttes d'eau qui perlent du point d'émission vers le point bas de la rampe faussant de ce fait la mesure).

Le contenu de la coupelle sera versé, par la suite, dans l'éprouvette pour évaluer la quantité.

Avant de réaliser la mesure sur le terrain, il est fortement recommandé de tracer le plan de la parcelle et de préparer le tableau que l'on remplira sur le terrain.

Prenons le cas du petit réseau suivant :

Le relevé se fait en ayant bien soin de repérer les émetteurs.

Le classement des débits est le suivant pour l'exemple :

- 2 goutteurs débitent 1,44 l/h
- 1 goutteur débite 1,48 l/h
- 4 goutteurs débitent 1,50 l/h
- 3 goutteurs débitent 1,56 l/h
- 2 goutteurs débitent 1,68 l/h
- 1 goutteur débite 1,74 l/h
- 1 goutteur débite 1,8 l/h
- 2 goutteurs débitent 1,86 l/h

ce qui donne :
n = 16

La moyenne des débits est égale à la somme des débits trouvés divisée par le nombre de goutteurs.

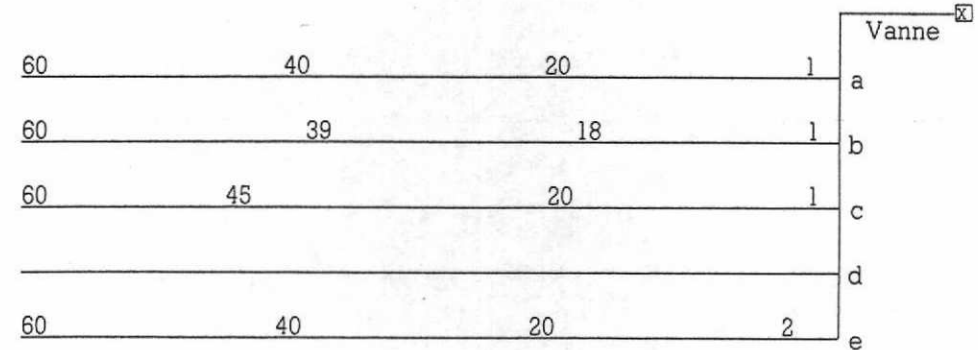
$$\bar{q} = 1,604 \text{ l/h}$$

Il faut prendre ensuite le 1/4 des valeurs dans les plus faibles débits, on aura donc :

- les deux goutteurs à 1,44 l/h
- le goutteur à 1,48 l/h
- et un goutteur à 1,50 l/h

ce qui donne, pour la moyenne de ces quatre émetteurs :

$$\bar{q}_{\text{min}} = 1,465$$



Les données brutes sont enregistrées dans un tableau :

N°	Temps	Cm³	l/h	N°	Temps	Cm³	l/h
1 a	90"	37	1,480	1 c	60"	26	1,560
20 a	60"	28	1,680	20 c	60"	24	1,440
40 a	60"	28	1,680	45 c	60"	25	1,500
60 a	60"	30	1,800	60 c	60"	31	1,860
1 b	60"	31	1,860	2 e	60"	25	1,500
18 b	60"	25	1,500	20 e	60"	24	1,440
39 b	60"	26	1,560	40 e	60"	25	1,500
60 b	60"	29	1,740	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
1 "	à 1,48 l/h	soit 1,48
4 "	à 1,50 l/h	soit 6,00
3 "	à 1,56 l/h	soit 4,68
2 "	à 1,68 l/h	soit 5,04
1 "	à 1,74 l/h	soit 1,74
1 "	à 1,80 l/h	soit 1,80
2 "	à 1,86 l/h	soit 3,72

$$n = 16 \qquad q = 25,66$$

$$\bar{q}_{\text{min}} = \frac{1,44 + 1,44 + 1,48 + 1,50}{4} \qquad \bar{q} = \frac{25,66}{16}$$

$$\bar{q}_{\text{min}} = 1,465 \text{ l} \qquad \bar{q} = 1,604 \text{ l}$$

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

Le coefficient d'uniformité sera donc :

$$CU = 100 \frac{\bar{q} \text{ min.}}{\bar{q}} = 100 \times \frac{1,465}{1,604}$$

$$CU = 91 \%$$

• CONSEQUENCES A TIRER D'UN MAUVAIS COEFFICIENT D'UNIFORMITE

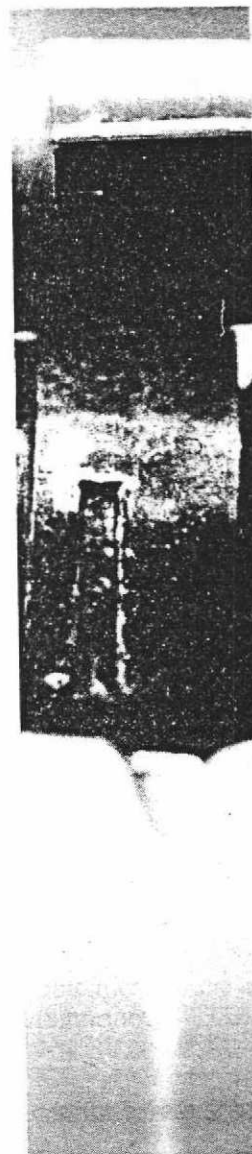
Dans le cas d'un coefficient d'uniformité, de l'ordre de 90 %, il n'est pas nécessaire d'intervenir sur le réseau sinon pour déboucher un émetteur accidentellement colmaté.

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

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

Cette vérification du coefficient d'uniformité réalisée avant la mise en route de l'irrigation ne supprime pas l'inspection régulière du réseau.

ORIGINE DES COLMATAGES ET DES BOUCHAGES



- Les particules minérales 18
 - Les particules en suspension dans l'eau
 - Colmatage par contact avec le sol
 - Copeaux plastiques et rognures métalliques
- Les matières organiques 22
 - Matières organiques inertes
 - Matières organiques vivantes
 - Les algues
 - Les bactéries
 - Les champignons
 - Les racines des végétaux
- Les dépôts chimiques 29
 - Les sels de calcium
 - Les sels du fer
 - Précipités dus aux engrais et amendements
- Les insectes 36

Les principales causes des colmatages des systèmes goutte à goutte et des bouchages des émetteurs peuvent être classées en trois grandes catégories :

- les particules minérales,
- les dépôts d'origine chimique ou précipités,
- les matières organiques représentées dans les matières en suspension et celles provenant de l'activité biologique (algues et bactéries).

• LES PARTICULES MINÉRALES

— 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 comme de profondeur. Elles ont toutes des poids spécifiques supérieurs à 2,5 et peuvent être classées arbitrairement en :

- sables grossiers particules $>$ à 200μ ,
- sables fins particules comprises entre 200μ et 50μ ,
- limons grossiers entre 50μ et 20μ ,
- limons fins entre 20μ et 2μ ,
- argiles au-dessous de 2μ ,

Les particules supérieures à 100μ sont, en général, arrêtées par la plupart des filtres à tamis. Les filtres à sables peuvent arrêter des éléments plus petits jusqu'à 50μ . Les particules de tailles inférieures à cette valeur circulent dans tous les réseaux d'irrigation et il serait irréaliste de vouloir pousser la filtration des eaux au point de les éliminer.

Ces matières minérales vont se déposer dans les canalisations aux endroits où la vitesse de l'eau dans les rampes devient plus faible, c'est-à-dire dans les bouts de rampes.

Des essais de longue durée au banc ont été réalisés sur le colmatage des différents types de distributeurs par le CEMAGREF, Groupement d'Aix-en-Provence.

D'après cette étude, les observations suivantes ont pu être faites (cf. tableau de sensibilité des distributeurs à l'obstruction en annexe).

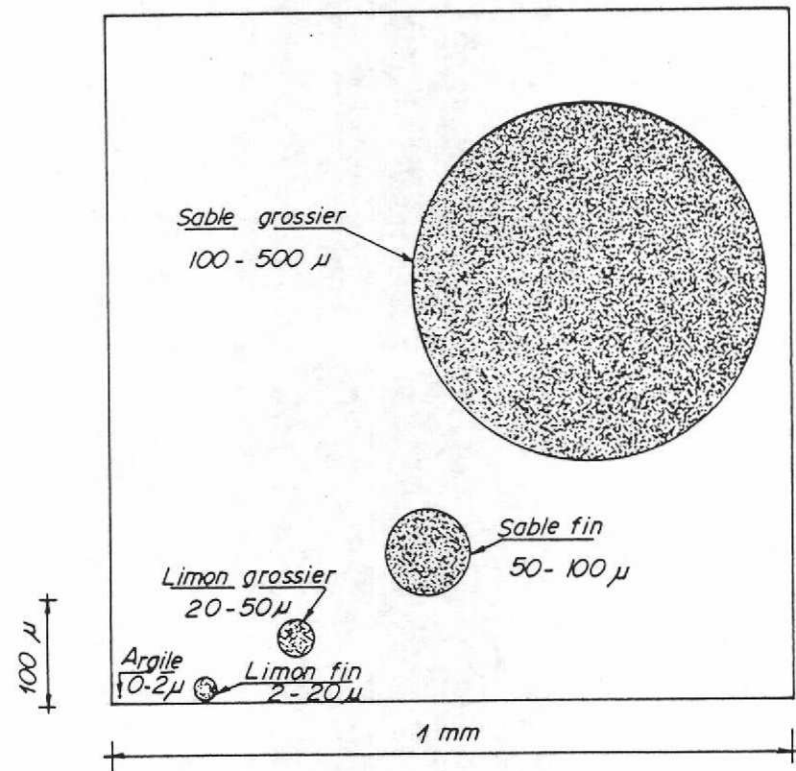


Figure 1 - Ouverture théorique d'un émetteur et taille des particules

- En général, les goutteurs à circuit long présentent une diminution du débit au cours du temps, même ceux qui sont équipés de système d'auto-purgeur. Le micro-tube ou capillaire se comporte de façon satisfaisante dans cet ensemble.

- Les goutteurs à cheminement long et à chicanes ont un comportement meilleur que les précédents. Ils peuvent toutefois se colmater pour les faibles débits. Les goutteurs en ligne sont plus sensibles que les goutteurs en dérivation.

- Pour les distributeurs à circuit long, les débits de ces goutteurs restent sensiblement constants tout au long de la période de mesures mais ils peuvent aussi varier de façon brutale, ce qui 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 des dépôts de limons consolidés.

- Les distributeurs à circuit court (goutteurs ajutages et micro-diffuseurs) ne sont pas sensibles à un colmatage progressif. Par contre, en raison de leur faible section de passage, ils le sont vis-à-vis des particules de grande dimension (sables ou limons agglomérés par concrétionnement).

- Il faut aussi signaler que les goutteurs auto-régulant peuvent aussi se colmater et qu'il est difficile d'éliminer les particules qui les bouchent en augmentant la pression, car l'orifice de régulation de ces goutteurs se rétrécit au fur et à mesure de la montée en pression. Le principe de leur nettoyage est l'effet de chasse que l'on peut produire en baissant la pression.

— Colmatage par contact avec le sol

Des colmatages d'origine externe ont été observés dans les sols riches en limons. Cela provient soit de projections de sol lors des pluies, soit du contact direct de l'orifice avec le sol, soit de ces deux facteurs réunis.

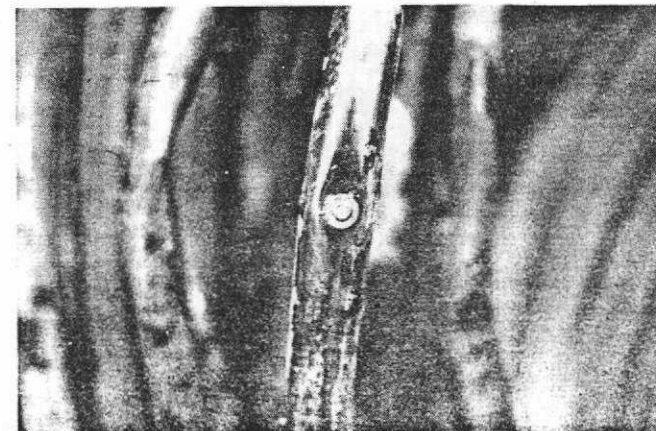


Figure 2 - Goutteur Vortex bouché par les projections

Ces bouchages affectent les rampes dont les parois sont en polyéthylène souple, mais aussi les rampes équipées de goutteurs dont l'orifice de passage est plus important, du type vortex.

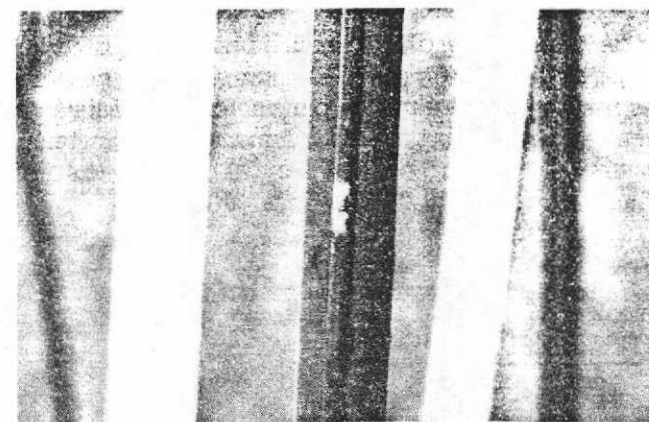


Figure 3 - Orifice de rampe biwall bouché par les projections agglomérées autour du point d'émission

Le phénomène peut aussi s'ajouter à celui de la précipitation de produits chimiques.

Lorsque la précipitation se fait à la sortie du goutteur, elle agglomère des particules minérales qui réduisent la section de passage du goutteur.

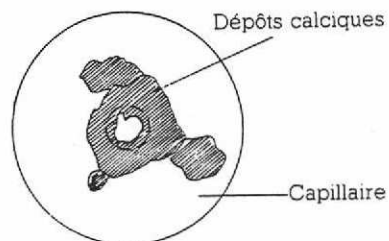
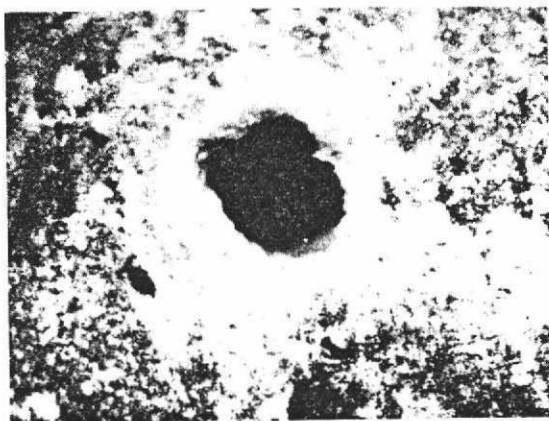


Figure 4 - Section du passage d'un capillaire de 8/10 réduit par précipitation de carbonate de calcium et agglomération avec des limons (grossissement 50 x)

— Copeaux plastiques et rognures métalliques

Au moment de la réalisation 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 seront éliminés par une chasse réalisée avant la mise en route du réseau en ouvrant les bouts de chaque ligne de goutteurs. Pour mettre en place les goutteurs, il vaudra mieux utiliser des perforateurs ou des emporte-pièces plutôt que des vrilles qui donnent des copeaux.

• LES MATIERES ORGANIQUES

— Matières organiques inertes

La matière organique, que l'on trouve dans toutes les eaux de surface, comprend des particules de grandes dimensions provenant, en général, des

végétaux supérieurs partiellement décomposés, mais aussi de restes de protozoaires, de bactéries ou d'algues.

Ces particules n'ont pas les mêmes réactions que les particules minérales décrites dans le paragraphe précédent car elles présentent des caractéristiques particulières :

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

— Les matières organiques vivantes

Nous classerons sous cette appellation les spores d'algues, les algues elles-mêmes ou les colonies de bactéries que l'on trouve couramment dans les eaux de surface, ainsi que certains champignons qui se développent dans les canalisations.

Ces organismes trouvent, en effet, dans l'eau, les éléments nutritifs nécessaires à leur développement.

Les algues

Ce sont des organismes qui, comme les végétaux supérieurs, ont besoin de lumière pour croître.

Elles se manifesteront donc en amont dans les eaux de surface et on les retrouve alors sur les filtres, ou bien à la sortie des goutteurs.

Les renseignements sur les algues qui provoquent ou sont susceptibles de provoquer des bouchages dans les réseaux d'irrigation au goutte à goutte ne sont pas très abondants.

Au groupement de Bordeaux du CEMAGREF, des *Ceratium hirundinella* ont pu être identifiées dans les eaux pompées dans le canal du Midi à Castelsarrasin. Ce sont des péridiniens de la taille supérieure à 150 μ qui se développaient de façon très importante dans une réserve. Ces algues à thèque

cellulosique résistante étaient en partie arrêtées par le filtre à sable et colmataient rapidement le filtre à tamis.

Des diatomées du genre *Melosira* et du genre *Synedra* 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 ($> 100 \mu$) 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.

D'autres algues se manifestent par des filaments verts visibles à la sortie des goutteurs. Il s'agit dans ce cas des 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 émetteurs.

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

En ce qui concerne les algues, leur taille est, en général, suffisamment importante pour que l'on puisse les arrêter par une filtration efficace.

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. Il faut en particulier bannir complètement les tubes en plastique blanc même si ceux-ci sont faits pour être enterrés.

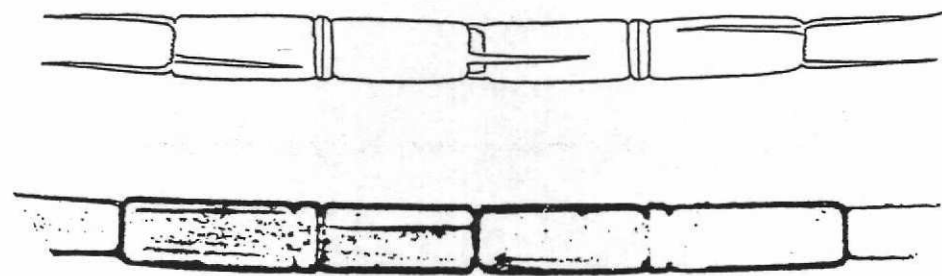


Figure 5 - Algue du genre *Melosira* identifiée dans l'eau du Lot (ordre des diatomales)

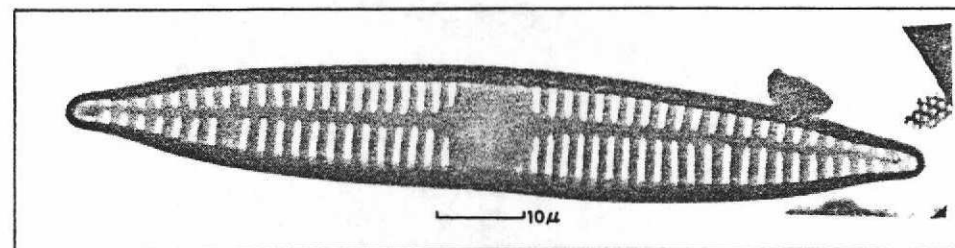


Figure 6 - Algue du genre *Synedra* rencontrée dans l'eau du Lot (ordre des diatomales)

Les bactéries

Contrairement aux algues, ces micro-organismes 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 dans le cadre de l'irrigation au goutte à goutte. Celles qui sont à redouter sont les bactéries qui produisent du mucus et des mucillages 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 fréquentes qui ont été repérées dans les eaux d'irrigation sont du genre *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Micrococcus* et *Bacillus* (Gilbert et al., 1982). Ces bactéries sont présentes en nombre mais elles ne peuvent accumuler seules une quantité de matière suffisante pour créer un colmatage. Par contre, d'autres bactéries telles que les bactéries ferriques dont la cellule s'entoure de mucillage, se développent rapidement en créant de grosses quantités de matière.

Ce sont celles qui sont les plus fréquentes et qui causent le plus de problèmes.

On peut les diviser en trois classes :

- celles qui retirent leur énergie de l'oxydation des sels ferreux en sels ferriques. *Galionella* en est un exemple.

- celles qui peuvent vivre en l'absence de sels ferreux comme le fait la variété *Leptothryx ochracea*.

- celles qui font partie des organismes hétérotrophes, c'est-à-dire celles qui vivent sur toutes sortes de productions organiques comme, par exemple, *Siderocapsa*.

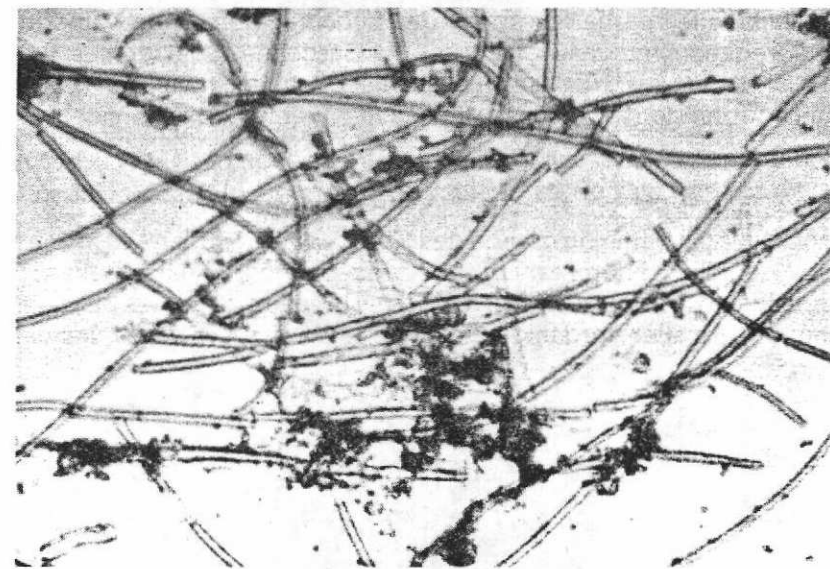


Figure 7 - Bactérie du type *Leptothryx*
(eaux de surface dans les Landes, 1982)

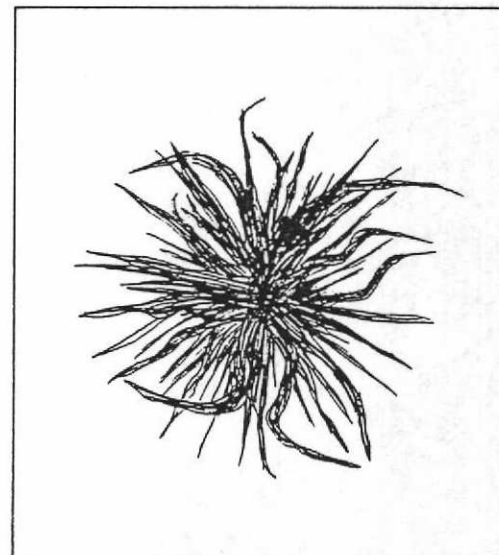
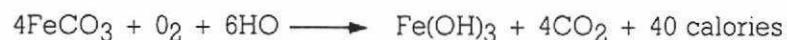


Figure 8 - Bactérie du type
Metallogenium observée dans les
bacs d'alimentation pour substrats
(C.T.I.F.L., 1982)

- *Gallionella* fait partie du groupe des *Eubactériales*. Cette bactérie a été observée fréquemment dans les Landes de Gascogne. Ces cellules se reproduisent rapidement en se divisant elles-mêmes. Cette multiplication est la cause du colmatage rapide des réseaux d'irrigation (même par aspersion).

- *Leptothryx* fait partie du groupe des *Chlamydo-bactériales* avec *Clonothryx* et *Crenothryx*. 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 tels que les lacs, les rivières, les canaux.

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



Pour satisfaire leurs besoins, ces bactéries ferriques doivent précipiter de très grandes quantités de fer tel que l'hydroxyde ferrique. Ceci explique la coloration intense que l'on trouve dans les eaux associées à des masses volumineuses du mucus. Elles affectent aussi les réseaux de drainage.

La croissance optimale de ces organismes se situe au-dessous de 20° centigrades.

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

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

— Les racines des végétaux

Lorsque les goutteurs sont posés sur le sol ou en partie enfoncés dans celui-ci, il arrive que les radicelles de certains végétaux remontent par leur ouverture et bouchent celle-ci (figure 10). 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.

• LES DEPOTS 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 eaux 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 précipitations sont, la plupart du temps, dues au carbonate de calcium mais l'on trouve aussi des précipités de fer sous sa forme ferrique (de couleur brun-rouge) et, plus rarement, de sulfates.

— Les sels de calcium

La mise à l'air libre de ces eaux, en particulier celles qui sont riches en gaz carbonique et en calcium, provoque le dégazage du CO₂ et le dépôt localisé du CaCO₃ (comme cela se produit dans les sources dites pétifiantes) au niveau des sorties des émetteurs. Mais on peut observer des dépôts en fines couches sur les parois des tubes ou le long du circuit de l'émetteur.

Il n'y a pas de méthodes pratiques pour prévoir les précipitations des sels de calcium en micro-irrigation. On peut toutefois apprécier les risques en utilisant la méthode de l'indice de saturation de Langelier, proposée par

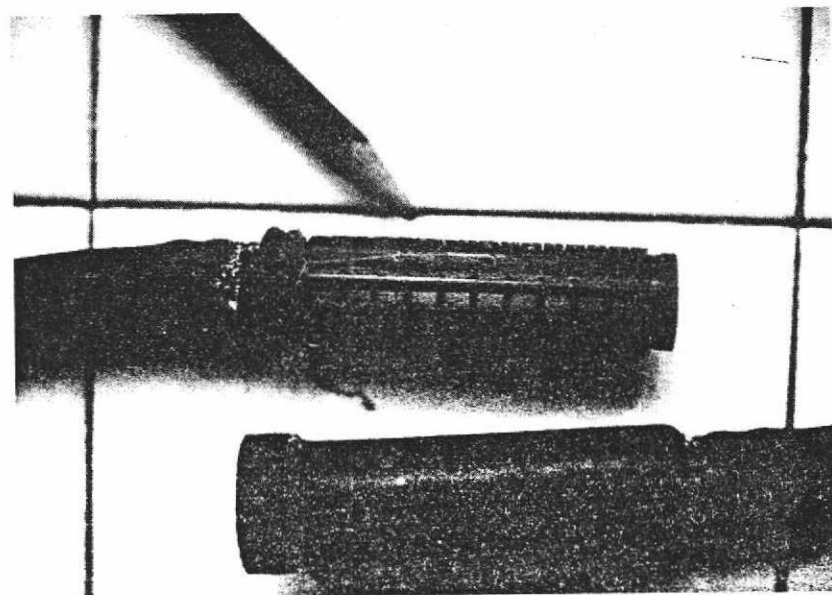


Figure 9 - Racine d'avitice pénétrant dans le conduit à partir de l'orifice d'émission

Nakayama (1982) et citée dans Water Quality for Agriculture, sans que sa valeur ait été testée en France. Il est toutefois intéressant d'en examiner la démarche.

L'indice de saturation est défini comme le pH de l'eau d'irrigation avant son utilisation diminué du pH que cette même eau atteindrait à l'équilibre avec le carbonate de calcium. Indice de saturation = $pK_2 - pKc$.

pHc est le pH théorique qui est calculé par la procédure suivante :
 $pHc = (pK_2 - pKc) + pCa + p(\text{base})$

Tableau 1 - Méthode de calcul du pHc

Concentration (me/l)	$pK_2 - pKc$	pCa	p (bases)
0,05	2,0	4,6	4,3
0,10	2,0	4,3	4,0
0,15	2,0	4,1	3,8
0,20	2,0	4,0	3,7
0,25	2,0	3,9	3,6
0,30	2,0	3,8	3,5
0,40	2,0	3,7	3,4
0,50	2,1	3,6	3,3
0,75	2,1	3,4	3,1
1,00	2,1	3,3	3,0
1,25	2,1	3,2	2,9
1,50	2,1	3,1	2,8
2,00	2,2	3,0	2,7
2,50	2,2	2,9	2,6
3,00	2,2	2,8	2,5
4,00	2,2	2,7	2,4
5,00	2,2	2,6	2,3
6,00	2,2	2,5	2,2
8,00	2,3	2,4	2,1
10,00	2,3	2,3	2,0
12,50	2,3	2,2	1,9
15,00	2,3	2,1	1,8
20,00	2,4	2,0	1,7
30,00	2,4	1,8	1,5
50,00	2,5	1,6	1,3
80,00	2,5	1,4	1,1

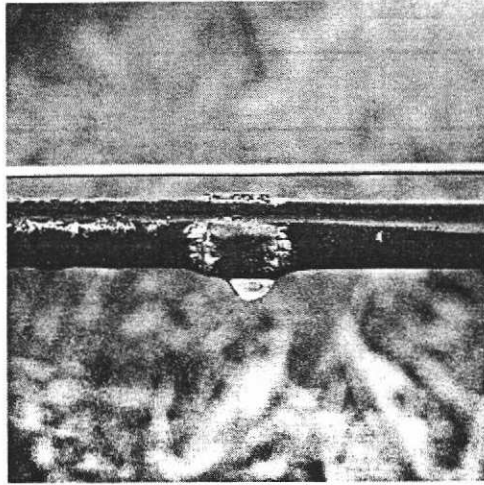


Figure 10 - Coupe longitudinale d'un capillaire de 8/10 près de l'orifice

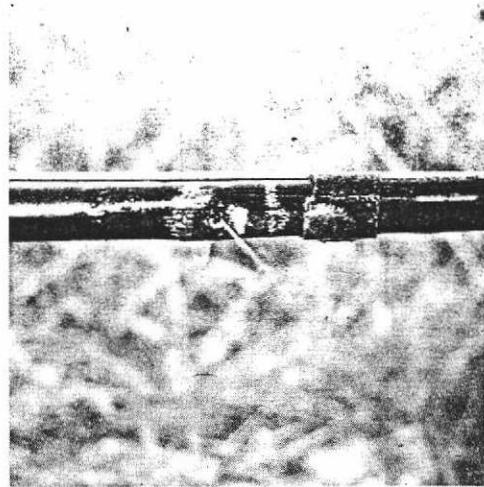


Figure 11 - Orifice de sortie d'un capillaire de 8/10, montrant l'accumulation de particules liquides et de carbonate de calcium

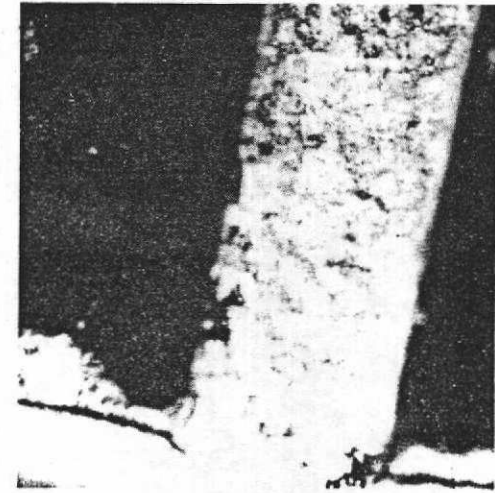


Figure 12 - Dépôt de carbonate de calcium autour de la bague de protection du goutteur

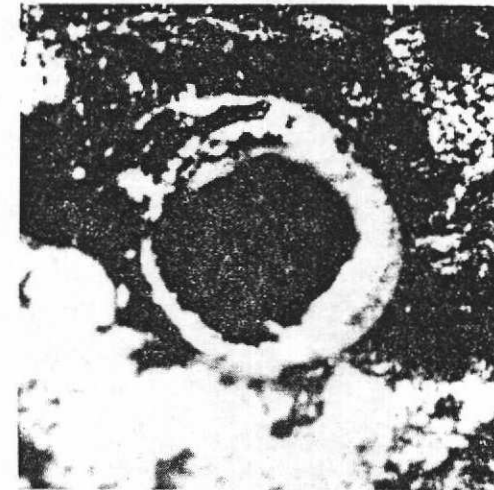


Figure 13 - Le goutteur dégagé de sa bague de protection, est en partie colmaté par le carbonate de calcium

Le terme $(pK_2 - pKc)$ est calculé à partir de la mesure des concentrations en $Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+$ en meq/l.

- pCa est la concentration en Ca^+ en meq/l

- p (base) est obtenu en calculant la somme des concentrations en $CO_3 + HCO_3$ en meq/l.

Ces trois termes sont calculés à partir de l'analyse de l'eau.

Les valeurs positives de l'index (pour $pH_2 > pHc$) montrent une tendance à la précipitation du carbonate de calcium.

Les valeurs négatives indiquent que l'eau a plutôt tendance à dissoudre le carbonate de calcium.

On doit considérer que les eaux qui contiennent plus de 200 mg/l de $CaCO_3$, et dont l'indice de saturation de Langelier présente des valeurs négatives, peuvent poser des problèmes de colmatage et nécessitent, à 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. Le carbonate de calcium peut cimenter les petites particules de limon en suspension dans l'eau et créer lentement des obstructions (figures 12 et 13). Ces colmatages mixtes sont fréquents. Comme le montrent les figures 10 et 11, ils se manifestent peu à l'intérieur de l'émetteur. Les dépôts sont importants à l'extérieur ou dans la zone proche de l'orifice de sortie.

— Les sels de fer

Le fer peut aussi précipiter en tant qu'élément chimique dans les réseaux d'irrigation. Ce dépôt dépend étroitement des conditions du potentiel Redox (Eh) et du pH de l'eau comme le montre la figure 14.

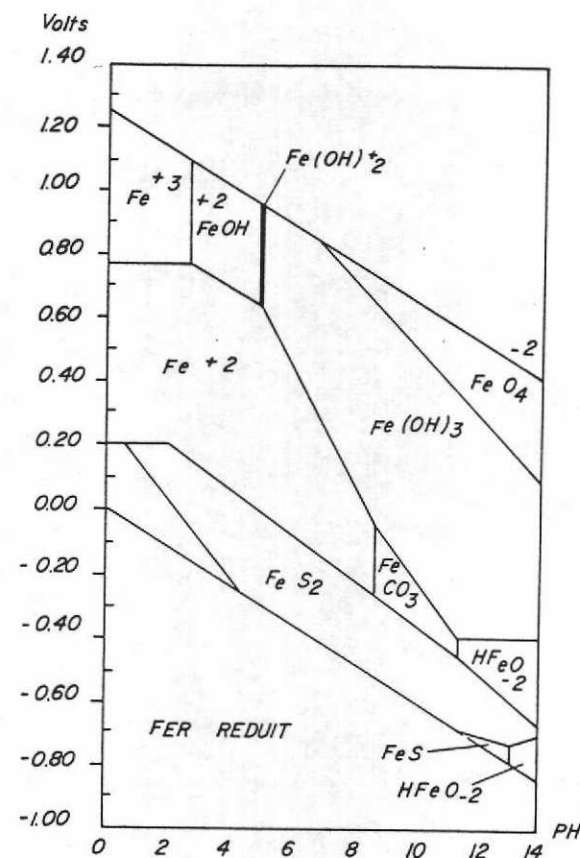


Figure 14 - Domaine de stabilité des différentes formes de fer dissous pour des pH et des ER différents (à 25°) et à la pression atmosphérique

Le fer peut précipiter pour des teneurs supérieures à 1,5 ppm dans l'eau d'irrigation. Les bactéries, comme nous l'avons vu précédemment, peuvent le faire précipiter à des teneurs bien inférieures et dans des zones de (Eh) et de pH où le fer est normalement stable (*Gallionella*).

— Précipités dus aux engrais et aux amendements

L'apport d'éléments fertilisants doit toujours être réalisé avec circonspection. En effet, certaines molécules, comme les composés du phosphore, l'ammoniaque liquide, certains oligo-éléments (zinc, cuivre, manganèse) peuvent contribuer au colmatage des réseaux.

Certains amendements, par ailleurs, utilisés en agriculture comme les carbonates de calcium et le sulfate de calcium, sont à proscrire en injection dans le réseau, les composés obtenus, en particulier avec l'ion sulfate, étant particulièrement insolubles et résistants, même à l'action des acides (cf. tableau des compatibilités en annexe 7).

Il faut préciser que, quels que soient les produits chimiques utilisés, fertilisants, herbicides, insecticides ou biocides, il faut **absolument** éviter, pour gagner du temps, de les injecter ensemble. Cette façon de pratiquer peut amener des réactions violentes entre différents produits incompatibles entre eux, avec formation de composés insolubles et même quelquefois de vapeurs toxiques.

• LES INSECTES

Il faut signaler que certains émetteurs qui ont une ouverture de grande dimension (du type microjet en particulier) sont fréquemment habités par des insectes microscopiques qui y établissent leur nid. Certaines petites araignées y tissent une toile pendant l'arrêt hivernal des réseaux.

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

MOYENS DE LUTTE CONTRE LES COLMATAGES ET BOUCHAGES



• Particules en suspension dans l'eau d'irrigation	38
– Filtres à tamis	
– Les crépines flottantes	
– Hydrocyclones et séparateurs	
– Vannes automatiques de vidange	
– Effet du stockage hivernal	
• Moyens de lutte contre les matières d'origine organique	47
– Les filtres à sables ou à graviers	
– La lutte chimique contre les algues, les bactéries et les champignons	
- Généralités	
- Le chlore	
. Mode d'action	
. Doses utilisées	
. Limite d'utilisation du chlore	
- L'eau oxygénée H ₂ O ₂	
- Le permanganate de potassium	
- Les composés de l'ammonium	
- Le cuivre et ses composés	
- Le fer et ses composés	
- Injections de produits chimiques dans les réseaux	
• Moyens de lutte contre les colmatages chimiques	59
– Les dépôts calciques	
– Les dépôts ferriques	
• Conclusion	62

Les colmatages et bouchages que l'on peut observer se présentent rarement comme un phénomène simple dû à une des catégories de risques décrites dans le chapitre précédent. En général, il s'agit d'une association entre particules physiques et dépôts chimiques ou particules physiques et matières organiques, ou des trois types ensemble.

Des moyens de lutte sont proposés pour des colmatages insidieux ou pour des bouchages dus à des incidents ou accidents qui peuvent intervenir dans le courant normal de l'utilisation du réseau et non à des problèmes correspondants à de mauvais projets tels que :

- filtration non prévue ou ne correspondant pas à l'eau utilisée,
- utilisation de vieilles tuyauteries, etc.

• PARTICULES EN SUSPENSION DANS L'EAU D'IRRIGATION

Il est important de signaler que les réseaux d'irrigation au goutte à goutte ne peuvent fonctionner qu'avec un système de filtration efficace.

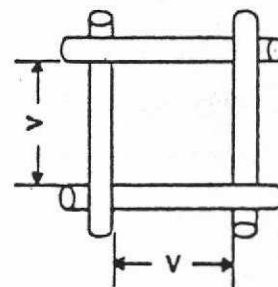
Il n'y a pas à proprement parler de norme de dimensionnement des tamis. Il n'existe que des conseils tels que ceux que proposent les américains (Bucks et al. 1979) qui recommandent que la maille du tamis soit le dixième du diamètre de la plus petite dimension de passage de l'émetteur. Pour d'autres pays, la maille de 100 micromètres ou 125 micromètres est celle qui est choisie de façon standard.

— Filtres à tamis

On trouve sur le marché de nombreux modèles de filtres à tamis de diverses provenances.

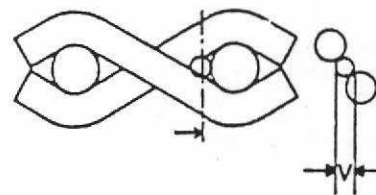
Un tamis est caractérisé par :

- * son armature qui est le mode d'entrecroisement des fils de chaîne et de trame,
- * son ouverture nominale qui sera différente si la maille est carrée ou triangulaire.



• 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.

* Son numéro

Il est représenté par le nombre de mailles dans une longueur de référence prise égale à un pouce pour la normalisation américaine. Dans la standardisation internationale, la toile n'est plus désignée par son numéro mais par son ouverture nominale en millimètres.

* Sa transparence T

C'est le rapport de la surface des ouvertures à la surface totale exprimée en pourcentage.

$$T = \frac{V^2}{P^2} \times 100$$

V^2 surface totale des ouvertures
 P^2 surface totale du tamis

En France, l'Association Française de Normalisation (AFNOR) a créé la norme AF 11510 pour les toiles industrielles et la norme AF 11501 et I SO 565 pour les toiles de contrôle et de précision. On trouve aussi des toiles à la norme ASTM F 11 70.

Les toiles des tamis utilisés pour les filtres peuvent provenir d'autres pays. Le tableau suivant rassemble les correspondances d'ouverture de maille pour les USA (série TYLER), l'Allemagne (série DIN 4188), l'Angleterre (série BS 410), l'Italie (série UNI 2332) et le Japon (série JIS Z 8801), la France (série NFX 11501). La série ISO/R 565 est la norme internationale.

Tableau 2 - Ouvertures du tamis utilisés dans différents pays

ISO/R 565	NF X 11 501	ASTM E 11 70		TYLER STANDARD SCREEN SCALE		DIN 4188	BS 410	UNI 2332	JIS Z 8801
OUVERTURES	OUVERTURES	DESIGNATION	OUVERTURES	DESIGNATION	OUVERTURES	DES et OUV	OUVERTURES	OUVERTURES	OUVERTURES
mm	mm	N°	mm	mesh	mm	N° et mm	mm	mm	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								

Les toiles sont montées sur des armatures qui leur permettent de résister à la pression. Dans certains cas, deux séries de toiles sont superposées (NETAFIM par exemple) dans d'autres, il existe des systèmes manuels ou automatiques de nettoyages par mise en rotation d'une brosse qui va arracher les particules collées sur les filtres et les évacuer vers une sortie.

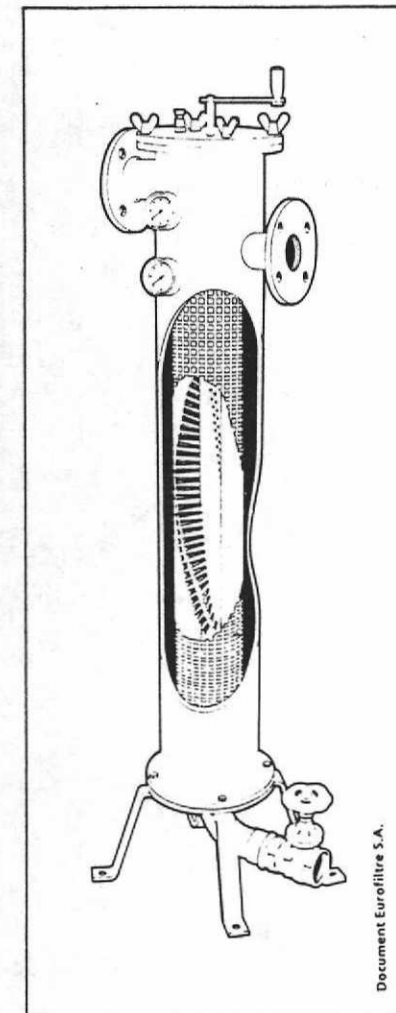


Figure 15 - Filtre à tamis
(Société Eurofiltre)

— Les crépines flottantes et auto-nettoyantes

Ce sont des filtres à tamis munis de flotteur. Leur particularité vient de ce qu'elles possèdent un bras à l'intérieur du tamis qui tourne en propulsant de l'eau filtrée sous pression.

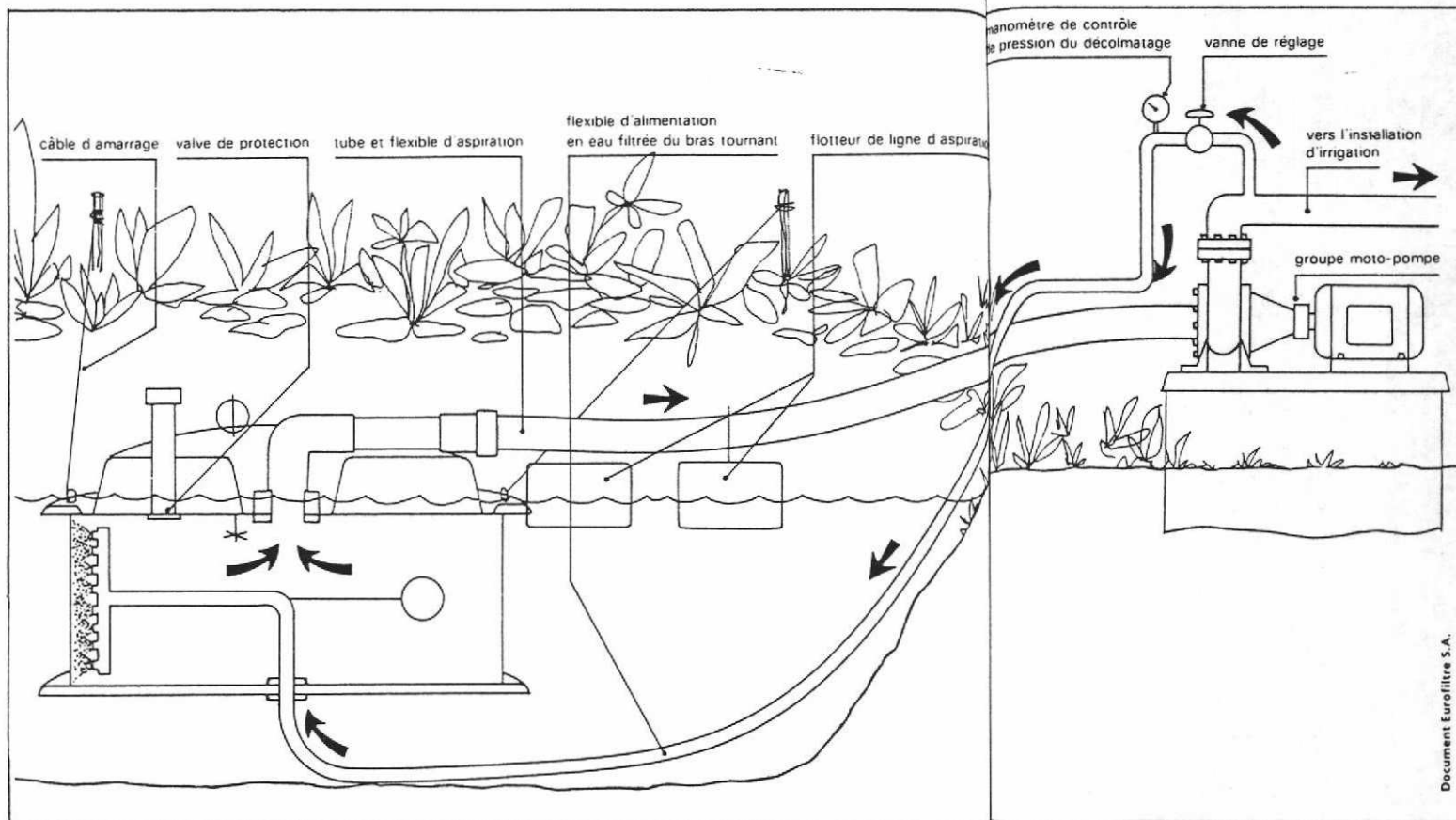


Figure 16 - Crépine flottante (Société Eurofiltres)

Cette eau expulse les déchets et les particules qui peuvent se coller contre le tamis. Ces filtres sont à utiliser de préférence en préfiltration en rivière ou sur les lacs collinaires. Leur surface filtrante est fragile et ils doivent être protégés contre les risques de perforation des corps flottants tels que les branches ou les troncs d'arbres.

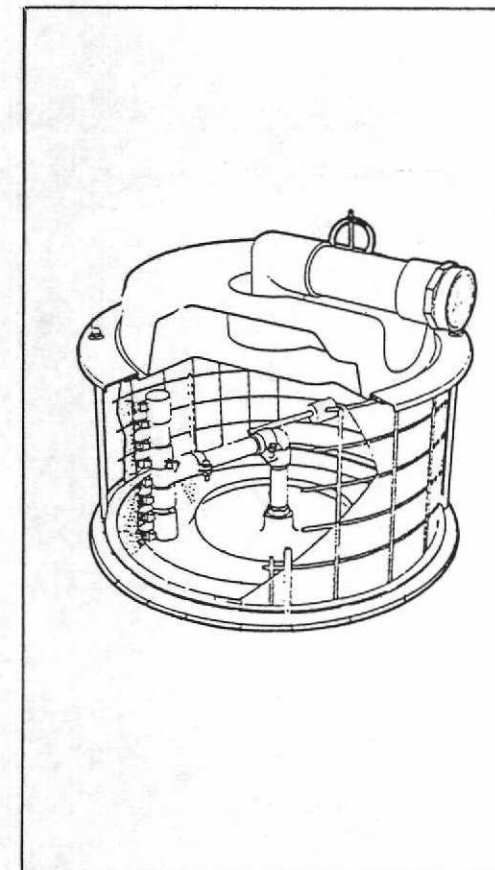


Figure 17 - Détail d'une crépine flottante (Société Eurofiltres)

— Hydrocyclones et séparateurs

Lorsque la masse des sables et, en particulier, des sables fins est importante dans l'eau d'irrigation, il est utile de placer de tels appareils à l'entrée de l'équipement de tête.

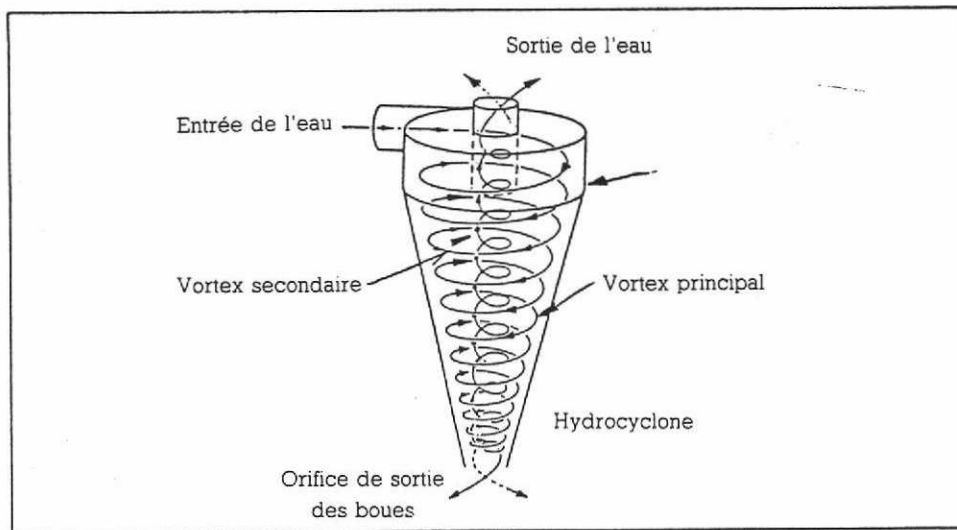


Figure 18 - Hydrocyclone (Netafim)

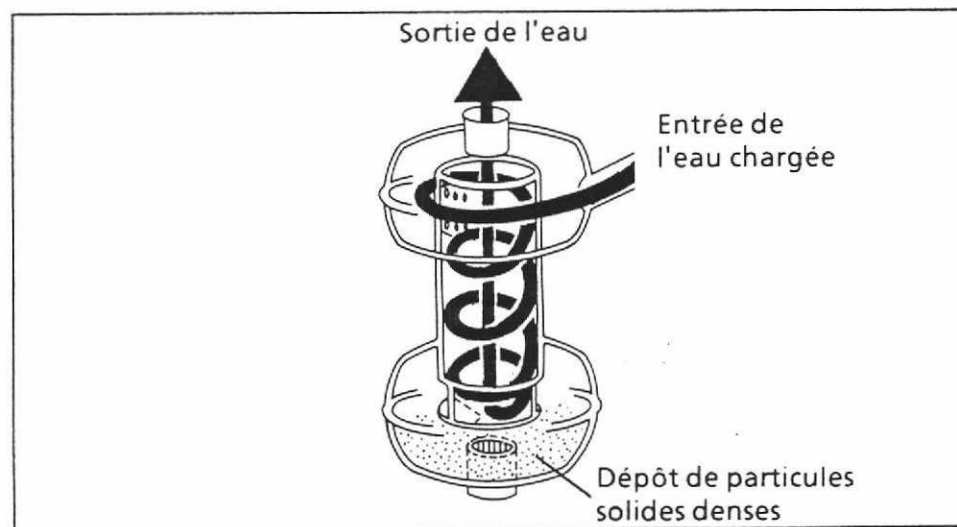


Figure 19 - Séparateur (Lakos)

Le rôle de ces appareils est de provoquer un mouvement rotatif de l'eau sur les parois de façon à centrifuger les particules les plus lourdes.

L'eau arrive de façon tangentielle dans la partie supérieure cylindrique. 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 pour l'hydrocyclone.

Pour l'hydrocyclone, l'eau arrive de façon tangentielle dans la partie supérieure cylindrique. 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.

Ces appareils ne peuvent éliminer que des particules de densité supérieure à l'unité ou proche de l'unité et de dimension supérieure à 75 micromètres. Une grande partie de la matière organique, dont les résidus végétaux de grande taille, les algues ou les colonies de bactéries, dangereuses pour la pérennité des réseaux, n'est pas arrêtée.

Ces appareils ne fonctionnent bien que pour les débits nominaux pour lesquels ils ont été conçus.

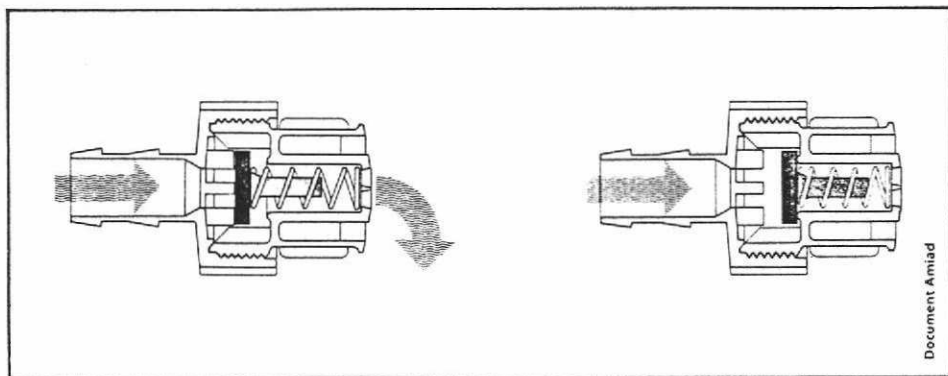
Dans les vergers le long de la vallée du Lot, le type hydrocyclone a été employé pour éviter la surcharge du filtre à sable car celui-ci était rapidement colmaté et devait être nettoyé plusieurs fois par jour.

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 étant beaucoup trop importantes, à la moindre erreur de manipulation, il laissera passer dans le réseau des particules qui pourront provoquer le bouchage des goutteurs.

— Vannes automatiques de vidange

Lorsque les argiles et les limons constituent la plus grande partie des matières en suspension, nous avons vu qu'ils passaient en totalité dans le réseau. Ces particules ont alors 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 automatiques ou "flushing valves" qui se montent en extrémité de rampe à condition que celle-ci soit au point le plus bas.



Vanne ouverte

Vanne fermée

Figure 20 - Vanne automatique de vidange

Leur rôle est de s'ouvrir lorsque la pression est tombée dans le réseau. 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 la purge efficace des rampes.

Ces vannes doivent, toutefois, être contrôlées fréquemment, car les particules entraînées peuvent rester sur les joints de la valve, altérant son étanchéité et réduisant par là la pression à l'intérieur du réseau.

Il existe des vannes de purge dont l'ouverture et la fermeture sont programmées automatiquement.

— Effet du stockage 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 fait 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 stockage et à une purge importante au début de la campagne suivante de façon à éliminer les résidus qui se sont décollés durant l'hiver des parois des rampes et des goutteurs.

• MOYENS DE LUTTE CONTRE LES MATIERES D'ORIGINE ORGANIQUE

— Les filtres à sables ou à graviers

Ce type de filtre est indispensable sur toutes les installations utilisant des eaux de surface.

Ces filtres sont, en effet, utilisés surtout pour arrêter les débris végétaux, les gels bactériens et les algues, qui sont nombreux dans les eaux courantes ou stagnantes. 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 contenants à sables ou à graviers. 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.

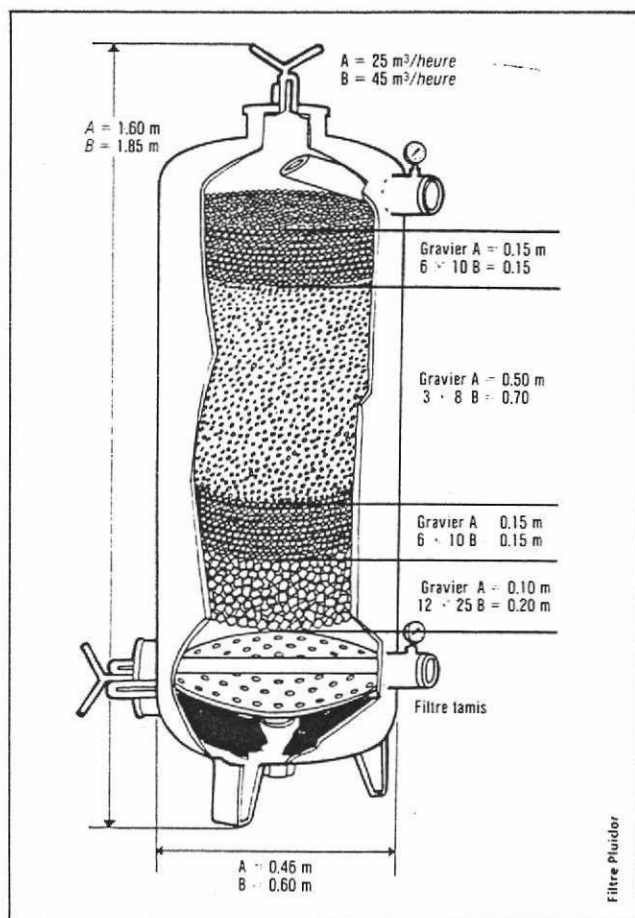


Figure 21 - Filtre à sable à couches superposées (Société Pluidor)

Pour nettoyer de tels filtres, il est nécessaire d'envoyer, lorsque le filtre n'est pas en fonctionnement, un contre-courant avec de l'eau propre (du bas vers le haut) qui soulèvera légèrement le massif et évacuera les déchets. Les installations de ce type sont réalisées, en général, avec deux filtres qui fonctionnent en parallèles. Pour le nettoyage, un des filtres est inversé et envoie de l'eau propre pour contre-laver l'autre filtre. L'opération est inversée lorsque le premier filtre est propre.

Des filtres de conception plus récente permettent le passage d'un débit important avec un volume de produit filtrant moindre. Ces filtres ne nécessitent pas d'être doublés pour être nettoyés car l'eau qui sert au contre-lavage passe au travers d'un petit filtre à tamis (figure 22).

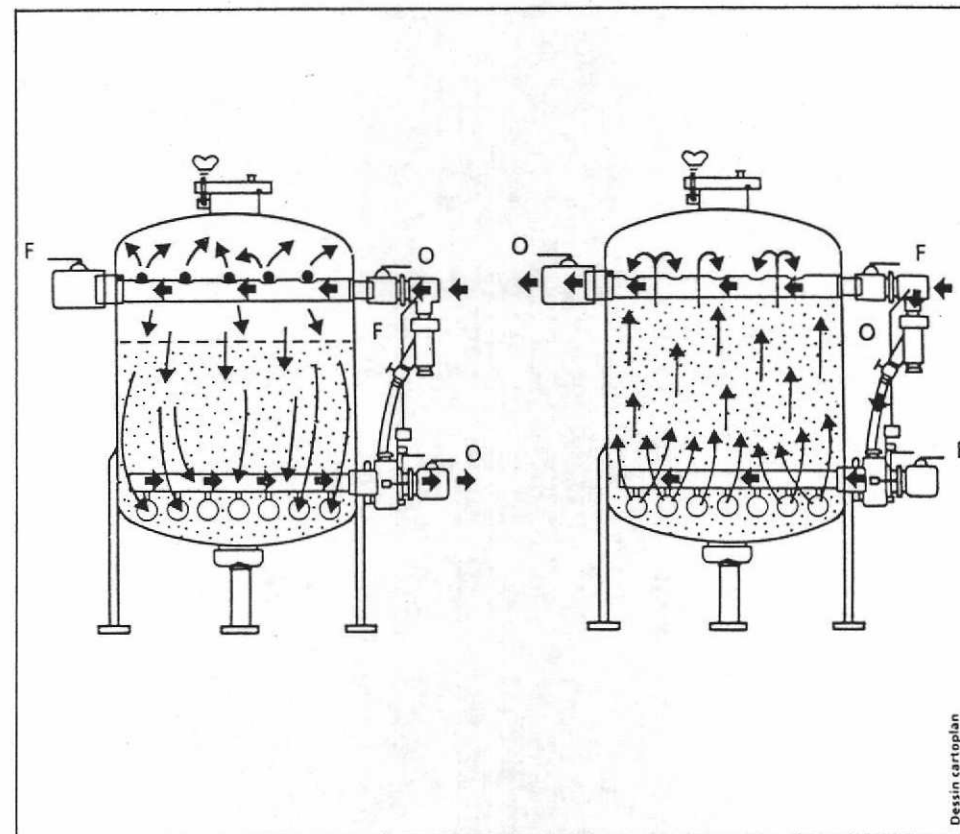


Figure 22 - Schéma d'un filtre à sable avec système automatique de nettoyage par inversion de flux (Société Eurofiltres)

Lorsque la charge en matières organiques ou minérales est trop importante comme cela a été noté dans de nombreux cas de rivières (Lot), les contre-lavages doivent être exécutés plusieurs fois par jour. Dans ces conditions, une automatisation de ces contre-lavages devient nécessaire.

Cette automatisation est possible en utilisant des vannes électriques et quelques voies d'un programmeur. On peut :

- soit programmer systématiquement le nettoyage une ou deux fois par jour,
- soit asservir le déclenchement du nettoyage à la comparaison par un manostat, entre pression avant le filtre et pression après le filtre.

Cette dernière solution est un peu plus compliquée et plus coûteuse mais plus souple que la première.

— La lutte chimique contre les algues, les bactéries et les champignons

- Généralités

En règle générale, une bonne filtration devrait arrêter les algues dont les dimensions sont souvent supérieures aux sections de passage des tamis couramment utilisés. Les gels de bactéries seront arrêtés, comme nous l'avons vu, par les filtres à sables.

Mais ces micro-organismes se présentent aussi sous différentes formes dont celles de spores ou de kystes dont les dimensions sont inférieures à la maille la plus fine des tamis et ils peuvent, sous cette forme, circuler librement dans les canalisations et s'y développer ultérieurement. Les algues vertes comme nous l'avons vu ne peuvent se développer dans l'obscurité. Par contre, les bactéries évoluent et se développent dans les tuyaux et peuvent, si les conditions leur conviennent, envahir le réseau. Leur chasse est difficile car les mucillages dont elles s'entourent adhèrent aux parois des tubes, accumulant d'autres particules fines (argiles, limons). Il faut alors, pour contrôler ces micro-organismes, utiliser des produits qui réduisent ou annihilent 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 étant très faibles et de durée très limitée.

Mais avant d'utiliser un quelconque produit, il est indispensable de réaliser une analyse de l'eau pour en connaître les caractéristiques (annexe 10) et, en particulier :

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

Il faut préciser que si l'on veut effectuer un quelconque traitement, il est nécessaire que le système ne comporte plus, après le point d'injection, de pièces en fer ou même en galvanisé car les solutions employées sont, la plupart du temps, agressives.

- Le chlore

C'est le produit le plus utilisé pour la désinfection de l'eau. Son pouvoir oxydant lui confère la possibilité de détruire les matières organiques. C'est en détruisant les enzymes indispensables à la vie des algues et bactéries contenues dans l'eau qu'il agit.

Le chlore est utilisé sous différentes formes :

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

Le chlore gazeux et le dioxyde sont utilisés dans le traitement des eaux mais leur manipulation est délicate. Par contre, l'hypochlorite de sodium ou eau de javel est d'utilisation relativement simple. C'est le plus efficace et le moins cher des traitements 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

Lorsqu'on ajoute de l'eau de javel à l'eau d'irrigation dont le pH varie entre 6 et 8, on trouve 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 qu'il sera le plus efficace.

Son action augmente avec le temps de contact avec l'eau. Une faible durée de contact sera compensée par une dose plus importante de réactif.

Le chlore actif de l'hypochlorite de sodium ou "eau de javel" s'évalue en degrés chlorométriques.

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

C'est la quantité de chlore libre par litre dans les conditions normales ayant le même pouvoir oxydant que 1 kg de produit.

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

La mesure de la quantité de chlore libre doit être effectuée fréquemment pour surveiller sa répartition dans le réseau. Il existe dans le commerce des trousse de détermination. Celles vendues par les installateurs de piscines ne conviennent généralement pas. Il faut utiliser, de préférence, les tests distribués par les sociétés de produits de laboratoire : celui qui semble le plus adapté est celui utilisant le N-N diéthyl-P-phényléthylénédiamine ou D.P.D.

Il faut noter que l'hypochlorite de sodium est un produit instable : lorsqu'il est dilué son efficacité sera 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 qui sont donnés ci-après sont le résultat d'essais réalisés par des chercheurs et par les différents

pays du monde. L'action de l'eau de javel dans le décolmatage des réseaux d'irrigation est assez complexe, cette action peut être différente suivant les conditions climatiques et suivant qu'elle se situe en début ou en fin de saison d'irrigation.

Un ajustement aux conditions locales est à réaliser.

• Doses utilisées

L'eau de javel est utilisée pour détruire les bactéries qui peuvent proliférer dans les réseaux d'irrigation au goutte à goutte. Son injection dans les systèmes peut être préventive si l'on a de fortes présomptions mais ce produit agit aussi dans les cas de colmatage avérés. En règle générale :

- à faible concentration, (1 à 5 ppm) le chlore agit comme bactéricide,
- à forte concentration, (100 à 1000 ppm) il agit comme oxydant et peut servir à nettoyer les tuyaux des débris organiques.

- 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 des biocides dans un réseau expérimental. Il a utilisé de l'eau de javel en continu à la dose de 5 ppm dans un milieu ramené à pH 6,5.

- A Hawaï, Mac Eloe et Hilton, en 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, Morris et Black (1975) recommandent des traitements réguliers de 5 à 10 ppm à la fin de chaque arrosage pour maintenir un débit régulier aux émetteurs. Ce qui est recommandé en règle générale quand il y a risque de colmatage est d'injecter de l'eau de javel à la fin de chaque arrosage de façon à obtenir une teneur résiduelle en chlore de 1 à 2 ppm.

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

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

- Utilisation curative de l'eau de javel

Le chlore a aussi été utilisé à forte dose pour déboucher des installations d'irrigation. Dans le cas de colmatage important il s'agit, en général, d'une association de gels bactériens encombrant les circuits agglomérés avec des particules minérales passées au travers des filtres ; dans ce cas, les mêmes auteurs cités précédemment (Morris et Black) ont obtenu des résultats 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, utilise une dose de 10 ppm d'eau de javel (en chlore libre) pendant 24 heures avec une quantité d'acide sulfurique suffisante pour abaisser le pH à 2. Ce traitement a permis de récupérer jusqu'à 99 % des anciens débits. 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.

- Parchomchuck (Canada, 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 critères utilisés aux USA indiquent qu'il n'y a aucun risque en agriculture à employer des solutions allant jusqu'à 50 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 et, pour les plantes adultes, les organes aériens et souterrains 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

Elle a à peu près les mêmes effets que l'eau de javel mais n'est pas utilisée comme elle. 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

Ce produit est utilisé pour la désinfection des eaux potables. 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 doivent être de l'ordre de 10 à 30 grammes par mètre cube d'eau traitée. À ces doses, il agit sur les infusoires, les larves d'insectes, les diatomées. Son efficacité est néanmoins très limitée.

- Les composés de l'ammonium

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

Ils sont toxiques vis-à-vis des micro-organismes mais à des doses relativement importantes, de l'ordre de 100 mg/l (Meink et al., 1977).

Par contre, les détergents cationiques du type Ammonium Quaternaire agissent à des doses bien inférieures allant de 1 à 10 mg/l (Bucks et al., 1979). Ils sont en général chers.

Le Cétylpyridinium a une action toxique sur les bactéries à partir de 0,05 mg/l.

L'effet des Ammonium Quaternaires sur les végétaux s'est montré stimulant sur des germes d'orge et d'avoine lorsque la concentration en tensioactif de la solution était de quelques mg/l.

On peut citer aussi des associations entre détergents et produits actifs. En particulier l'action du D.D.T. lié à l'hexachlorocyclohexane semble avoir un effet toxique multiple.

- Le cuivre et ses composés

L'action bactériostatique et algicide du cuivre et de ses composés est connue depuis longtemps.

Il peut être utilisé, sans risque pour les plantes, jusqu'à 0,2 mg/l en permanence. 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 allant de 0,1 à 0,5 mg/l. Ces doses sont 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.

En ce qui concerne les algues, le sulfate de cuivre agit de façon sélective. Les doses appliquées peuvent être de l'ordre de 4 mg/l de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Mais il faut savoir que, dans les eaux contenant des carbonates et bicarbonates de calcium en solution, le sulfate de cuivre précipite sous forme de carbonate de cuivre ; ce composé n'est pas toxique vis-à-vis des algues.

De façon générale, pour accélérer l'action du cuivre, il faut se trouver en milieu acide (pH inférieur à 7).

En conclusion, il ne suffit pas de mettre un sac contenant du sulfate de cuivre dans le filtre d'un réseau d'irrigation localisée pour résoudre les problèmes d'algues ou de bactéries.

- Le fer et ses composés

Les sels de fer (chlorure ou sulfate) subissent dans l'eau une hydrolyse et une oxydation.

Ils sont relativement peu toxiques vis-à-vis des végétaux supérieurs mais ils gênent la prolifération des algues.

Les doses d'utilisation sont pour :

- FeCl_3 de l'ordre de 10 à 20 mg/l
- FeSO_4 de l'ordre de 50 à 150 mg/l.

Les sels de fer sont généralement utilisés dans les exploitations équipées de retenues collinaires. Le chlorure de fer est alors répandu sur toute la surface de la retenue. Les résultats ne sont pas toujours bons et l'opération doit être renouvelée.

Le chlore libre dans l'eau peut oxyder instantanément les sels ferreux en oxydes ferriques qui peuvent précipiter. Le pourcentage de fer présent doit être connu par analyse et le chlore injecté doit l'être à la concentration de 1 mg/l pour chaque 0,7 mg/l de fer.

- Injections 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 seront préparés à partir de solutions stockées séparément dans des conteneurs en plastiques.

Les mélanges se feront toujours à partir du produit que l'on introduira en petites quantités dans l'eau et non l'inverse. Ceci est tout particulièrement valable pour les mélanges acide-eau.

• MOYENS DE LUTTE CONTRE LES COLMATAGES CHIMIQUES

Nous avons vu précédemment que sous certaines conditions les éléments chimiques contenus dans l'eau précipitent dans les organes des systèmes de micro-irrigation. Les précipités observés le plus fréquemment sont ceux des sels de calcium et de fer.

Dans la plupart des cas, les colmatages chimiques sont associés à des colmatages produits par des bactéries. Il faut alors examiner les dépôts obtenus afin d'en trouver le remède.

- Les dépôts calciques

Lors d'une modification de l'équilibre (augmentation du pH, ou ajout d'éléments chimiques incompatibles), le gaz carbonique dissous dans l'eau se dégage et les bicarbonates se transforment en carbonates moins solubles qui précipitent. Le carbonate de calcium est souvent associé au carbonate de magnésium.

Ces carbonates peuvent être solubilisés facilement par des acides forts. Pour obtenir un résultat correct, il faut que le colmatage soit partiel. En cas d'obstruction totale, le traitement sera inefficace.

Pour traiter ces colmatages partiels dus à une précipitation de carbonate de calcium, il suffira d'injecter les solutions d'acides (nitrique ou chlorhydrique) du commerce. Une concentration de 0,2 à 0,5 % en volume suffira à résoudre ce problème dans la plupart des cas.

Des concentrations supérieures ont été essayées et ne donnent pas de meilleurs résultats. L'efficacité de ce traitement est immédiate puisque dans les dix minutes qui suivent l'injection, les goutteurs bouchés ont retrouvé leur débit normal.

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

Dans le cas où l'eau utilisée est riche en sels de calcium, il est possible de faire fonctionner une installation du type goutte à goutte sans risquer un bouchage des émetteurs. Le système consiste à injecter, à des intervalles de temps dépendant de la quantité de carbonates présents dans l'eau (en général une fois par semaine) une dose de l'ordre de 1 % d'acide nitrique ou chlorhydrique du commerce (ne pas aller au delà de 2 %).

Cette solution doit être introduite à basse pression dans le circuit et avec un très faible débit, de façon à laisser l'acide en contact pendant au moins une demi-heure dans les canalisations. Au bout de ce temps, en remontant la pression, on chasse le résidu. Le débit normal du réseau reprend au bout de quelques minutes. Ce type de traitement a l'inconvénient de ne pas distribuer également dans le réseau la solution d'acide. Les points hauts auront un temps de contact plus court que les points bas du réseau.

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.

— Les dépôts ferriques

La présence du fer dans les eaux doit être déterminée avant la mise en route d'un réseau.

Nous avons vu l'action des bactéries du fer et les moyens de la combattre. Il s'agit ici du fer dissous dans certaines nappes d'eaux profondes.

Si la quantité de fer dissous est importante, supérieure à 1,5 ppm, il sera préférable de ne pas utiliser cette eau. S'il n'y a pas d'autre possibilité, la technique pour éliminer le fer consiste à l'oxyder et de le faire précipiter. Pour cela, il faut que l'eau barbote (au contact avec l'oxygène de l'air) avant d'être pompée dans un bac de reprise. Le précipité de fer se présente, en général, dans les tuyaux en fines couches dont l'épaisseur augmente chaque année. Ce précipité est pratiquement impossible à éliminer dans des conditions normales.

A. F. E. E.

21, rue de Madrid, 21

75008 PARIS

Tél. (1) 22 14 67

• CONCLUSION

Les tableaux 3 et 4 ci-après résument les solutions proposées en fonction des risques rencontrés.

Tableau 3 - Risques les plus fréquents de colmatage et leur solution pour différentes origines de l'eau

ORIGINE DE L'EAU		ELEMENTS COLMATANTS RENCONTRES LE PLUS FREQUEMMENT	TYPE DE FILTRATION	TRAITEMENTS SUPPLEMENTAIRES
Souterraine	Puits	Sables, carbonate de calcium	Filtre à tamis	Acide pour éliminer les dépôts de calcaire
	Forages	Sables, calcaire, Fer	Filtre à Séparateur ou hydrocyclone	
Eau de surface	Fleuves, rivières	Matières organiques, algues, bactéries	Filtre décolmatant filtre à sables 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 sables Filtre à tamis	
	Retenues collinaires	Algues, bactéries, matières organiques	Filtre flottant Filtre à sables Filtre à tamis	

Tableau 4 - Niveaux de risques et traitements des principaux cas de colmatages chimiques et bactériens

TYPE DE COLMATAGE	IMPORTANCE	TYPE D'INJECTION	DOSE	PERIODICITE DU TRAITEMENT	DUREE DU TRAITEMENT	PRODUIT UTILISE
Précipités de Carbonate de Calcium suivant son importance dans l'eau d'irrigation	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	volumétrique	0,5 %	1 fois tous les 15 jours	1/2 heure	Acide fort
	fort > 200 mg/l	volumétrique	1 %	Selon importance 1 fois toutes les semaines ou +	1/2 heure en début d'irrigation	Acide fort + NaOCl
Bactéries du fer	Présence faible	venturi	1 à 2 ppm	1 fois par semaine	au cours d'une irrigation	NaOCl
	Présence importante	volumétrique	5 ppm	en continue		Na OCl + acide à pH 6
Algues	Dans l'eau utilisée	voir filtration				
	A la sortie des émetteurs	volumétrique	1 ppm	1 fois par quinzaine	au cours d'une irrigation	NaOCl

ORIGINE ET QUALITE DES EAUX UTILISEES EN IRRIGATION ET LES RISQUES DE COLMATAGE

4



- Les eaux profondes 66
 - La nappe phréatique de la Garonne
 - La nappe phréatique de la Dordogne
 - Les nappes de la vallée du Lot
 - Les nappes de la Lande sableuse
- Les eaux superficielles 69
 - Les eaux des fleuves et des rivières
 - La Garonne
 - La Dordogne
 - Le Lot
 - Le Tarn
 - L'Aveyron

Dans ce dernier chapitre sont présentées des analyses réalisées par l'agence de Bassin Adour Garonne, le Bureau de recherches Géologiques et Minières et le CEMAGREF sur les eaux superficielles ou profondes. Ces résultats devraient permettre de porter un premier jugement sur la qualité des eaux utilisées en travaillant sur les minimas et les maximas observés pendant la saison d'irrigation.

Les prélèvements d'eaux pour irrigation se font, dans le Sud-Ouest, dans les eaux profondes (eaux de nappes phréatiques et géologiques) ou dans les eaux superficielles (eaux de retenue collinaire et de fleuves ou rivières).

Nous allons faire un tour d'horizon rapide des différentes provenances. Les analyses communiquées ci-après n'apparaissent malheureusement pas sous forme de bilan ionique, de nombreux laboratoires ne présentent pas encore leurs résultats de cette façon. D'autre part, n'ayant pas réalisé en France d'étude statistique pour chaque niveau de risque des différents types de colmatage nous prendrons comme base les proportions données par Bucks et Nakayama (cf. tableau ci-dessous).

**Tableau 5 - Critères d'utilisation des eaux en micro-irrigations
d'après Bucks et Nakayama (1980)**

TYPE DE PROBLEMES	RISQUES DE COLMATAGE		
	FAIBLE	MOYEN	IMPORTANT
Physiques			
Matières en suspension	50 mg/l	50-100 mg/l	> 100 mg/l
Chimiques			
- pH	7	7 à 8	> 8
- produits solubilisés	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

• LES EAUX PROFONDES

Ce sont les eaux provenant de puits ou de forages. Elles sont prélevées dans les nappes phréatiques des fleuves et rivières, dans les sources sur les coteaux et dans la nappe superficielle des terrains sableux des landes de Gascogne.

La qualité de ces eaux varie beaucoup d'un point à un autre suivant les faciès géologiques. Nous étudierons quelques cas dans différentes situations afin de montrer la diversité des résultats et la nécessité de réaliser une analyse avant de mettre en place une irrigation au goutte à goutte.

— Nappe phréatique de la Garonne

Cette nappe est celle qui se trouve dans les alluvions perméables du lit majeur du fleuve.

L'analyse qui suit a été réalisée à Castets-en-Dorthe. Les résultats sont les suivants :

- Température de l'eau	12°8
- Concentration en calcium (Ca ⁺⁺)	136 mg/l
- Concentration en bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	427 mg/l
- Concentration en sulfate (SO ₄ ⁻)	39 mg/l
- pH	7,62

Cette eau a une teneur élevée en calcium et en bicarbonates. Le calcium a toute chance de se déposer et de provoquer des colmatages.

En un autre point proche d'Aiguillon, en rive gauche, (commune de Montheurt), 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

L'analyse est insuffisante car il y manque les valeurs en Ca⁺⁺. Dans une exploitation utilisant cette eau, les goutteurs ont été obstrués partiellement en une année. Une touche avec un acide fort a montré qu'il s'agissait bien en l'occurrence de colmatage par les sels de calcium.

— Nappe phréatique de la Dordogne

Trois analyses montrent la diversité des résultats que l'on peut avoir sur la nappe phréatique d'un même fleuve à une dizaine de kilomètres de distance.

Tableau 6 - Concentration de la nappe phréatique en différents ions et ph sur 3 sites de la Dordogne

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

Les concentrations en calcium et bicarbonates sont très fortes à Arveyres où il faudra prendre des précautions importantes pour éliminer les précipités qui pourraient se former.

— Nappe phréatique de la vallée du Lot

Les nappes phréatiques exploitées sont celles des rives du Lot et celles situées en bordure des coteaux. C'est sur ces dernières que les observations qui suivent ont été réalisées.

Les résultats de l'analyse de l'eau de puits de cette zone ont donné :

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

Au bout de quelques mois d'utilisation de cette eau, les colmatages sont apparus comme des dépôts grisâtres qui obturaient progressivement les orifices de sortie des goutteurs (voir figures 10 et 11). Il manque, dans ce cas aussi, le taux de calcium, mais le degré hydrotimétrique indique que celui-ci doit être élevé.

— Les nappes de la Lande sableuse

C'est la nappe superficielle que l'on trouve dans la grande lande sableuse. C'est dans cette nappe que sont réalisés en grande partie des prélèvements pour l'irrigation.

Tableau 7 - Concentration de la nappe superficielle de la grande lande sableuse aux différents ions et pH

CONCENTRATION	LAVAZAN	CABANAC	SAINT-JEAN D'ILLAC
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

Il y a une grande variabilité d'un point à un autre. En règle générale, la concentration en calcium est faible à moyenne. Par contre, le fer, qui est présent partout, se dépose avec plus ou moins d'importance (à Saint-Jean d'Ilac, les dépôts de fer, observés sur les appareils d'irrigation, sont très importants).

Il est à noter qu'à certains endroits les matières en suspension sont présentes en grande quantité et peuvent être gênantes. La présence de fer et de matières organiques avec un pH inférieur à la neutralité peut aussi entraîner le développement de bactéries du fer.

• LES EAUX SUPERFICIELLES

Ce sont, dans la majorité des cas, des eaux provenant des fleuves, rivières et ruisseaux ainsi que celles des retenues collinaires utilisées pour l'irrigation.

— Les eaux des fleuves et rivières

Nous ne pouvons ici étudier l'ensemble des fleuves et rivières de France. Nous n'aborderons que les principaux cours d'eau du Sud-Ouest et parmi eux ceux qui ont fait l'objet d'une étude et d'un suivi, soit par l'agence du bassin Adour Garonne, soit par la section Qualité des Eaux du Groupement de Bordeaux du CEMAGREF.

- La Garonne

Tout au long du cours de la Garonne sont établis de nombreux points de pompage fixes ou mobiles dont une partie sert à l'alimentation des réseaux de micro-irrigation.

La qualité de ces eaux 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 sont réunis quelques données relevées en plusieurs points de ce fleuve au cours de dix années (de 1971 à 1980).

On peut remarquer :

— que le pH est toujours alcalin avec des valeurs pouvant aller jusqu'à 8,9. Avant toute injection d'engrais, il serait utile de mesurer le pH et de le corriger dans tous les cas où celui-ci s'avère plus élevé que 8.

— le calcium est présent partout dans des quantités non négligeables. Les analyses ne font pas apparaître les éléments chimiques qui peuvent lui être associés, comme par exemple le magnésium, et qui précipitent, toutes proportions gardées, dans les mêmes conditions.

— en ce qui concerne les carbonates, leur présence est, en règle générale, modérée. La valeur moyenne se situe autour de 130 mg/l en aval de Montauban et de 150 mg/l au confluent avec le Lot.

— les matières en suspension sont extrêmement variables. Elles sont, en règle générale, inférieures à 100 mg/l mais les analyses présentées dans le tableau en annexe ne portent pas sur les arrivées d'eaux d'orage qui sont fortement chargées (705 mg/l en 1975 en aval de Toulouse).

D'autre part, les valeurs élevées trouvées systématiquement en amont de Bordeaux traduisent les remontées de "bouchons vaseux" lors de chaque marée. Cet effet est ressenti jusqu'en aval de Langon.

— les chlorures sont présents en quantité relativement faible.

— l'ion sulfate est présent en quantité relativement faible ; il a peu d'importance dans le cas présent.

— la faune microbienne et la flore algale que l'on trouve est très importante et se développe rapidement dès que la température s'élève. Pour la plupart des pompages en Garonne les crépines des pompes sont installées dans un bassin de réception en liaison avec le fleuve. Ce bassin est, en début de campagne d'irrigation, un bouillon de culture dans lequel on trouve en grande quantité des gels de bactéries et des algues. Ces gels persistent assez longtemps et sont susceptibles de colmater les filtres des installations de tête au premier arrosage.

En règle générale, sur cette rivière l'équipement de tête devra comprendre un filtre à graviers ou à sables et un filtre à tamis.

L'injection systématique d'acide n'est pas utile mais il vaudra mieux, avant chaque injection d'engrais, mesurer le pH de l'eau. Si celui-ci est supérieur à 8, il faudra l'abaisser par adjonction d'acide de façon à éviter la précipitation de certains des engrais dans les canalisations et les goutteurs.

- La Dordogne

Les renseignements donnés par ces enquêtes montrent que :

— le pH varie le long du fleuve. Il se situe entre 6,7 et 8,7. Il dépasse assez souvent 9 après Libourne.

— la teneur en calcium augmente régulièrement de l'amont vers l'aval du fleuve mais ne dépasse pas la valeur maximum de 81 mg/l.

— en ce qui concerne les matières en suspension, celles-ci sont présentes en faible quantité à Trémolat avec tout de même des pics allant jusqu'à 155 mg/l en 1981. 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 plus argiles) représente près de 60 % de la MES.

— les chlorures augmentent régulièrement de l'amont vers l'aval. Les valeurs élevées enregistrées à Libourne doivent provenir des 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 pic, en 1974, à 180 mg/l.

Sur ce fleuve, des installations de filtration doivent être normalement dimensionnées. Pour les réseaux prévus dans la zone où agit la marée, il faudra augmenter la surface des filtres à sables ou à graviers, et prévoir des vannes automatiques de vidange en bout de ligne.

La quantité importante de carbonates présente entre Tremolat et Bergerac fait penser à un risque de colmatage par le carbonate de calcium. Une installation d'injection d'acide est à priori nécessaire.

Des valeurs élevées de pH (8 et 9) peuvent être observées **dans la journée** sur des eaux superficielles. Pendant les saisons où les algues se développent, l'effet de la photosynthèse déplace l'équilibre carbonates bicarbonates en assimilant le CO₂ dissous. 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. Pour l'année 1975, l'étude a été réalisée par le CEMAGREF.

— ces chiffres font apparaître que le pH s'est élevé dans le Lot depuis 1971 et qu'il faut maintenant en tenir compte lorsque l'on fait de l'irrigation fertilisante.

— les quantités de calcium sont relativement faibles.

— les matières en suspension ne sont pas très importantes mais il est difficile de juger sur un nombre de valeurs peu important.

— les chlorures sont présents en très faible quantité.

— les carbonates existent en quantité non négligeable.

— les sulfates se trouvent ici en faible quantité.

- Le Tarn

Les prélèvements et les analyses réalisées sur cette rivière l'ont été par l'agence de bassin Adour-Garonne. Deux sites ont été choisis au confluent du Tarn et de l'Agoût et en aval de Montauban.

Les analyses ont donné les résultats suivants :

— le pH est en général basique. Les valeurs observées sont souvent supérieures à 8 sur le premier site. Sur le deuxième, on peut observer une valeur, en 1979, supérieure à 9,4.

— les teneurs en calcium sont en général faibles. Aucune observation de colmatage n'a été faite sur ce fleuve.

— les quantités de matières en suspension sont faibles à moyennes mais elles ont tendance à s'élever en aval de Montauban.

— les chlorures sont présents en faible quantité. Les quantités augmentent chaque année depuis 1971.

— les quantités de carbonates sont moyennes en aval de Montauban.

— les sulfates sont présents en quantité moyenne dans ces eaux.

Sur ce fleuve, les valeurs élevées de pH indiquent que des précautions doivent être prises lors des injections d'engrais ou lors des injections de chlore lorsque celles-ci s'avèrent nécessaires.

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.

— ce fleuve véhicule peu de matières en suspension. Mais les valeurs enregistrées peuvent ne pas faire apparaître les pointes dues aux orages.

— les chlorures sont présents en faible quantité.

— la charge en carbonates est relativement importante et si on la relie au calcium et aux éléments qui lui sont associés, on peut s'attendre à des colmatages lents mais qui aboutiront à des obstructions à plus ou moins long terme.

— les sulfates sont présents en quantité importante.

Pour ce fleuve, le dimensionnement des filtres de l'équipement de tête devra être normal. Il faudra prévoir, dès la création du réseau, une injection d'acide qui servira à double fin :

- décolmater le réseau,
- abaisser le pH lors des injections de solution fertilisante.

- 1 - **BUCKS D.A., NAKAYAMA F.S., GILBERT R.G., 1979** — Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. Agricultural Water Management, pp. 149-162.
- 2 - **BUCKS D., NAKAYAMA F.S., 1980** — Injection of fertilisers and other chemicals for drip irrigation. U.S. Depart. of Agricultural, pp. 166-180.
- 3 - **CEMAGREF, 1976** — Etude des caractères physico-chimiques des eaux du Lot en 1975. Etude n° 13, Groupement de Bordeaux, p. 56.
- 4 - **CEMAGREF, 1977** — Essai d'irrigation au goutte à goutte sur culture de tomates à Marmande. Groupement de Bordeaux, 20 pages.
- 5 - **CEMAGREF, 1978** — Etude hydrobiologique de la Dordogne. Groupement de Bordeaux. Etude n° 23, Rapport intermédiaire, p. 87.
- 6 - **CEMAGREF, 1981** — Etude technologique de quelques distributeurs de micro-irrigations. 2^e édition, p. 64.
- 7 - **EDWARD Mac KEE J., WOLF H.W., 1976** — Water quality criteria. US Public Health Service.
- 8 - **FAO, 1976** — Water quality for agriculture. n° 29, Rev. 1, pp. 99-104.
- 9 - **FORD H.W., 1979** — Characteristics of slime and OCHRE In drainage and irrigations systems. Trans. of the ASAE.
- 10 - **FORD H.W., 1980** — Sulfur slimes in low pressure. Criters and vegetables magazine.
- 11 - **HILLEL D., 1982** — Advances in irrigation. Academic Press, pp. 261-272.
- 12 - **IRRIFRANCE, 1985** — Entretien et nettoyage des réseaux de micro-irrigation (goutte à goutte, microjets, gaines). Notre technique.
- 13 - **KAISER P., 1983** — Les bactéries du fer, p. 18.
- 14 - **LE BOURDELLES J., FAVREAU P., 1983** — L'irrigation fertilisante en agriculture fruitière. Bulletin de la Somivac, pp. 27-34.
- 15 - **Mac ELHOE B.A., HILTON M.W., 1976** — Chemical treatment of drip irrigation water. Trans. of the ASAE, pp. 215-220.
- 16 - **MERRIAN J.L., KELLER L., ALFARO J.F., 19** — Evaluation et perfectionnement d'un système d'irrigation.
- 17 - **MEINCK E., STOFF H., KOHLSCHUTTER H., 1977** — Les eaux résiduelles industrielles. Ed. Masson.
- 18 - **NAKAYAMA F.S., BUCKS D.A., FRENCH D.E., 1976** — Reclaming party clogged trickle emitters. Trans. of the ASAE, pp. 278-280.

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

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

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

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

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

24 - **VERMEIREN I., JOBLING G.A., 1980** — Localised irrigation. FAO Rome n° 36, p. 198.

ANNEXES

1 — Garonne

2 — Dordogne

3 — Lot

4 — Aveyron

5 — Tarn

6 — Sensibilité des distributeurs
à l'obstruction

7 — Engrais pouvant être ou non mélangés

8 — Solubilité et composition de quelques
produits fertilisants

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

10 — Analyses chimiques nécessaires pour
déterminer les risques de colmatage d'un
système d'irrigation localisé

ANNEXE 1 — Garonne

pH et concentration en ions minimum et maximum enregistrés dans trois régions du bassin de la Garonne entre 1971 et 1980

Ces résultats ont été enregistrés par l'agence du 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

ANNEXE 1 - Garonne (suite)

DATE	CONFLUENT AVEC LE TARN		CONFLUENT AVEC LE LOT		
	HCO ₃	SO ₄	HCO ₃	SO ₄	
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

ANNEXE 2 - Dordogne

Les valeurs indiquées correspondent aux périodes d'irrigation
entre le mois d'Avril et le mois de Septembre

DATE	TREMOLAT						
	pH	Ca	MES	Cl	HCO ₃	SO ₄	
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

ANNEXE 2 - Dordogne (suite)

BERGERAC						LIBOURNE					
pH	Ca	MES	Cl	HCO ₃	SO ₄	pH	Ca	MES	Cl	HCO ₃	SO ₄
7,2	19	6	5	52	6	8,3	32	24	6	106	8
7,9	39	16	11	109	19	8,7	45	60	14	149	12
7,1	24	6	6	85	0	—	—	—	—	—	—
7,9	54	22	11	149	23	—	—	—	—	—	—
6,7	25	4	7	85	6	7,3	32	8	10	122	16
7,5	81	16	21	247	29	7,5	58	1360	14	225	21
6,9	26	2	9	73	9	7,3	38	11	6	122	7
7,6	39	14	12	109	26	8	60	1510	300	183	180
7,3	22	5	7	67	7	—	—	—	—	—	—
7,9	32	57	12	100	14	—	—	—	—	—	—
6,9	31	10	7	67	14	7,7	37	257	12	119	14
7,7	45	26	20	116	36	8,1	47	3400	479	156	96
7,1	24	5	7	67	9	7,4	30	20	7	88	12
7,8	32	14	11	92	16	8,0	43	206	12	125	20
6,8	21	9	7	64	9	7,4	37	18	10	98	10
8,4	51	15	14	131	17	7,9	62	1850	14	189	24
7	22	5	7	61	8	7,4	25	34	9	79	11
7,8	45	21	12	137	15	8,2	53	1140	59	189	29
7,1	22	1	7	52	5	7,0	25	25	9	73	10
8,2	27	11	11	82	15	8,1	45	4120	18	125	25
7,3	22	3	7	64	6	7,0	29	40	7	82	8
7,8	37	22	18	119	27	8,2	53	2160	19	131	28
6,7	28	6	12	76	13	6,8	35	30	11	101	13
7,5	40	62	62	110	27	7,5	45	1730	122	153	41

ANNEXE 3 - Lot

Les valeurs indiquées correspondent aux périodes d'irrigation entre le mois d'Avril et le mois de Septembre

DATE		CAHORS					
		pH	Ca	MES	Cl	HCO ₃	SO ₄
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

ANNEXE 3 - Lot (suite)

VILLENEUVE SUR LOT						CONFLUENT					
pH	Ca	MES	Cl	HCO ₃	SO ₄	pH	Ca	MES	Cl	HCO ₃	SO ₄
7,4	18	6	2	87	1	7,3	24	8	1,4	91	2
8,3	30	40	4	119	10	7,7	31	32	43	117	12
—	—	—	—	—	—	7,5	50	14	18		
—	—	—	—	—	—						
7,4	28	2	7	122	14						
8,8	59	27	11	152	23						
7,6	30	8	4	109	5						
8,2	38	32	7	140	16						
7,6	31	13	7	134	11						
8,2	39	31	44	153	16						
7,6	32	7	6	134	17	7,7	37	0	6	131	14
8,0	53	22	9	158	33	7,9	48	10	8	159	18
4,5	22	1	4	104	18						
7,4	39	25	11	155	34						
6,8	23	3	4,6	85	3						
9,1	42	15	9	201	11						
6,7	26	4	5	86	12						
8,2	35	15	9	165	14						
7,7	18	1	4	100	12						
8,4	55	10	9	159	24						
7,8	27	4	4	115	9	8					
8,4	51	14	9	165	21	8,1					
7,5	9	2	3	164	16						
8,5	47	16	13	183	23						

ANNEXE 4 - Aveyron

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					
		pH	Ca	MES	Cl	HCO ₃	SO ₄
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

ANNEXE 5 - Tarn

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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	maxi	8,0	38	115	16			8,3	38	115	16	145	20
1981	mini							7,6	35	15	9	119	15
	maxi							8,1	41	23	13	165	30
1982	mini							7,6	40	6	10	137	8
	maxi							8,1	55	114	28	180	22

**ANNEXE 6 - Sensibilité des distributeurs à l'obstruction
(CEMAGREF)**

TYPE DE DISTRIBUTEUR	NOMBRE DE DIST.	DEBIT NOMINAL	DIAMETRE MAXIMAL DES PARTICULES PASSANT A TRAVERS LE DISTRIBUTEUR				
			0	80	100	200	500 m
Goutteurs non autorégulants		L / H					
	1	1					
à circuit long uniforme	8	2					
	6	4					
	2	8					
à circuit long à chicanes	9	2					
	16	4					
	7	8					
à circuit court type orifice	1	4					
	1	8					
	1	12					
à circuit court type vortex	6	4 à 11					
Goutteurs autorégulants							
à circuit long uniforme	1	4					
à circuit long à chicanes	7	4					
à circuit long type orifice	4	2					
	10	4					
	2	8					
Ajutages non autorégulants	10	30 à 100					
Mini diffuseurs non autorégulants	6	20 à 45					
Mini diffuseurs autorégulants	4	40 à 120					

**ANNEXE 7 - Engrais pouvant être ou non mélangés (18)
(origine : Memento goutte à goutte CTIFL - INRA)**

	(NH ₄) ₂ SO ₄	Ca NO ₃	Na NO ₃	KNO ₄	K ₂ SO ₄	Mg SO 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 8 - Solubilité et composition de quelques produits
fertilisants distribués dans le commerce ***
(origine : Memento goutte à goutte CTIFL - INRA)

Produits	Solubilité approximative en parts pour 100 parts d'eau à la température ordinaire	Pourcentage moyen de l'élément			
		N	P	K	Autres
Eléments majeurs					
— Nitrate d'ammonium	118	33,5	—	—	—
— Sulfate d'ammonium	71	20-21	—	—	—
— Nitrate de calcium	102	15,5	—	—	21 Ca
— Phosphate double d'ammonium	43	21,0	11,5	—	—
— Phosphate simple d'ammonium	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	—	9,10	—	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 13,5 Mg
Sulfate de manganèse	105	—	—	—	32 Mn
Borate de sodium	5	—	—	—	11 B
Molybdate de sodium	56	—	—	—	30 Mo
Sulfate de zinc	75	—	—	—	22 Zn

* Publié par E.J. Shaw (1961) Western Fertilizer Handbook.

ANNEXE 9 - Préparation d'une solution d'eau de javel avant injection

Si la concentration initiale de l'eau de javel du commerce est de 5 % et que l'on veuille injecter 1 ppm de chlore en continu dans un réseau d'irrigation assurant un débit de 20 m³/h. Si le réservoir de stockage fait 200 litres et la pompe d'injection 5 litres à l'heure, il faudra mélanger :

Calcul de la quantité de Cl⁻ nécessaire pour injecter la concentration

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

La pompe doseuse devra distribuer cette quantité de Cl⁻. Il faudra que le dosage à l'intérieur du tank soit :

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

200 l × 4 g/l = 800 mg pour le réservoir mais comme NaO Cl est à 5 %, il faudra :

$$\frac{800 \text{ g}}{0,005} = 16 \text{ litres de NaO Cl dans 184 litres d'eau.}$$

ANNEXE 10 - 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
- 6 — Eh

	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	1,2,3,5,6	1,2,3,4,5,6

Crédit photos

Couverture : J.C. Jacques, CEMAGREF Montpellier - p. 17 : CTIFL - p. 4, 6 : CEMAGREF Montpellier - p. 64 : CEMAGREF Antony - p. 11, 21, 22, 25, 27, 30, 32, 33, 37 : CEMAGREF Bordeaux.

CEMAGREF - DICOVA - Parc de Tourvoie - 92160 ANTONY
(1) 40 96 61 21