

PUIG, J., Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Toulouse, France

GOUY, J.-L. et LABROUE, L., Laboratoire d'Hydrobiologie, Université Paul Sabatier, Toulouse, France

## LE COLMATAGE FERRIQUE DES DRAINS

### FERRIC CLOGGING OF DRAINS

### DIE EISEN-VEROCKERUNG VON DRÄNS

Des cas typiques de colmatage ferrique ont été étudiés dans le piémont pyrénéen. L'un est survenu à partir d'eau de nappe riche en fer ferreux mais pauvre en matière organique, par l'action de la bactérie autotrophe Gallionella ferruginea. Les autres résultent de la conjonction de colmatages mécanique (silicates) chimique (hydroxydes ferriques) et biologique. Ce dernier amorce le processus grâce à Sphaerotilus natans ou Siderococcus sp.

Une application à la détection des risques de colmatage ferrique est ébauchée.

Typical cases of iron clogging of drains have been investigated on pyrenean border. One originated with the intermediary of an autotroph bacteria, Gallionella ferruginea, from a water bed rich in ferrous iron but poor in organic matter. The others resulted from the conjunction of mechanical (silicates) chemical (iron oxides) and biological cloggings. The later is initiated by Sphaerotilus natans or Siderococcus sp.

An application to the forecasting of iron clogging risks sketched.

#### INTRODUCTION

Le colmatage ferrique des puits, des canalisations et des drains est un phénomène connu depuis l'Antiquité ; mais c'est seulement depuis 150 ans environ, que le rôle prépondérant de certaines bactéries dans le processus fut décrit. Les premiers travaux n'établirent pas de distinction entre l'oxydation biologique du fer et sa précipitation chimique et les ferrobactéries furent donc assimilées à des autotrophes, tirant leur énergie de l'oxydation du fer ferreux.

Les expériences menées à la suite de celles de MOLISCH (1892) permettent de distinguer, en fait, deux groupes de bactéries : celles qui oxydent le fer ferreux (quelques espèces) et celles qui le précipitent en dégradant le ligand organique (un grand nombre de bactéries des sols et des eaux).

Outre l'action des bactéries dans le phénomène, il ne faut pas négliger l'oxydation purement chimique du fer et, dans ce domaine, (1,2,3) apporte une importante contribution à l'étude du comportement du fer en solution et à l'évolution des eaux ferrugineuses.

Si, aujourd'hui, nous connaissons assez bien le déroulement du processus, il est pratiquement impossible de prévoir avec certitude l'apparition et l'intensité du colmatage ferrique dans un lieu donné. Les travaux menés par le CEMAGREF (4,5) montrent que le problème n'est pas simple et que les contributions à sa solution sont les bienvenues. Nos propres travaux concernent des cas typiques observés

dans le piémont pyrénéen sur le territoire des communes de CAPVERN (Hautes Pyrénées) et de LESCAR (Pyrénées atlantiques).

#### 1 - LE SITE DE LA COMMUNE DE CAPVERN

##### 1.1. Colmatage par Gallionella ferruginea

Le drain installé sur le tracé du chemin de fer empruntant l'horizon Pontico-Pliocène (argiles sableuses rouges avec lits de galets) présente d'importants dépôts de gel rouille dans sa partie terminale et dans le fossé d'évacuation. Il capte les eaux de terrains en pente, comprenant des landes, des prairies et quelques parcelles cultivées. Son débit est stable toute l'année et oscille entre 4,5 et 6 litres par minute.

L'étude des risques de colmatage, directement liés à la précipitation des composés du fer a été réalisée à partir d'analyse chimiques et biologiques effectués sur des prélèvements d'eau répartis entre octobre 82 et juin 83.

##### Analyse chimique de l'eau

Les résultats de l'analyse figurent dans le tableau 1. L'eau sortant du drain n'a pas d'odeur, n'est pas colorée mais contient, néanmoins, du fer ferreux dont la teneur moyenne en un an est de 15 mg/l.

Les trois paramètres qui influent le plus sur la solubilité du fer sont le pH, l'Eh et la teneur en  $O_2$  ; celle-ci étant relativement faible (0,5 mg/l), il est difficile d'apprécier l'action du pH ou de l'Eh en utilisant

Tableau n°1 - Analyse de l'eau du drain de la voie ferrée de CAPVERN (septembre 82 à juin 83) Concentrations en mg/l

	29.9.82	24.10.82	14.11.82	11.12.82	15.1.83	19.2.83	20.3.83	24.4.83	15.5.83	12.6.83	26.6.83
T°	14,5	13,8	13,1	13,0	12,5	12,0	11,5	11,0	11,4	11,8	12,0
pH	6,20	6,30	6,10	5,90	6,20	6,10	6,15	6,30	6,15	6,30	6,20
Eh	+ 65	+ 68	+ 64	+ 65	+ 70	+ 72	+ 70	+ 68	+ 70	+ 60	+ 90
Fe <sup>2-</sup>	11,0	9,60	11,70	12,0	12,20	19,60	19,20	18,60	13,60	14,60	11,40
Fe <sup>tot</sup>	11,60	10,60	12,30	12,50	12,90	22,0	21,0	19,60	15,60	15,10	12,20
Mn	0,55	0,59	0,58	0,63	0,58	0,46	0,52	0,48	0,50	0,50	0,52
Ca <sup>++</sup>	20,50		23,20		27,2	27	24,5	25,0	21,5	18,2	15,20
Mg <sup>++</sup>	1,58		1,70		1,95	1,75	1,70	2,0	1,45	1,50	1,30
Na <sup>+</sup>	4,0		5,10		6,50	4,90	4,10	4,0	3,65	3,40	3,30
K <sup>+</sup>	0,52		0,50		0,72	0,36	0,34	0,38	0,50	0,34	0,54
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,33		1,60		2,0	2,40	2,50	1,50	3,50	3,80	2,40
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,71		0,45		0,35	0,24	0,15	0,10	0,08	0,05	0,09
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	64,40		92,50		102,60	107,60	105,5	102,5	97,57	95,35	74,74
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	10,40		15,0		17,0	18,80	10,5	6,25	3,75	1,73	7,76
Cl <sup>-</sup>	17,80		16,0		15,0	15,24	15,7	15,95	12,40	8,85	7,10

les courbes théoriques calculées par (1). Pour voir l'action du pH sur le maintien du fer en solution, nous avons anodifié plusieurs échantillons d'eau ; nous avons ensuite suivi l'oxydation du fer (l'eau était aérée par agitation magnétique). La figure 1 donne le résultat de cette expérience (le pH moyen des sols est de 4,9).

Pour des pH 5,5, l'oxydation est faible pendant les premières heures, voire nulle pour le pH de 4,5. Pour des pH proches de la neutralité, une différence de 0,1 unité de pH conduit à des vitesses d'oxydation très différentes. Dans le système étudié, le pH est en grande partie gouverné par l'équilibre CO<sub>2</sub>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ; il est dès lors facile de voir l'action des microorganismes (producteurs de CO<sub>2</sub> par la respiration) ou de l'agitation de l'eau qui provoque un départ de CO<sub>2</sub>. Cependant, les facteurs physicochimiques et les composés minéraux ne sont pas les seuls à agir sur la solubilité du fer. Les composés organiques présentent, eux aussi, une action directe (complexation) et indirecte (développement bactérien) conduisant à l'augmentation ou à la restriction de la solubilité du fer.

L'étude de l'oxydabilité de l'eau (KMnO<sub>4</sub>) et le dosage du carbone (2,4 mg/l) ont montré que l'eau était relativement pauvre en matière organique. Toutefois, qualitativement, les composés organiques peuvent être intéressants. Les analyses menées en plusieurs étapes et portent sur quatre groupes de composés : les sucres, les acides aminés, les acides organiques et les composés phénoliques : - les sucres ne sont pas détectés dans les échantillons, ce qui indique qu'ils ont été rapidement assimilés au niveau du sol.

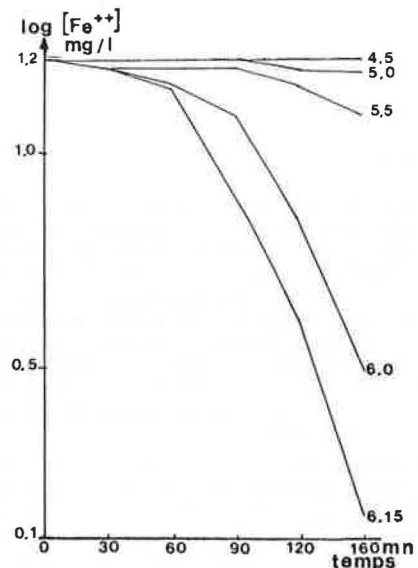


Fig. 1.- Evolution de la vitesse d'oxydation du fer d'une eau naturelle en fonction du pH.

L'analyse des acides aminés montre, à la sortie du drain, un mélange appauvri quantitativement et qualitativement par rapport à l'eau de drainage de l'horizon A du sol.

Au niveau des acides organiques le seul composé décelé est de nature phénolique et correspond à de l'acide gallique, ce qui n'est pas étonnant, ce dernier provenant de la dégradation des lignines.

L'analyse des composés organiques de l'eau de drainage montre essentiellement que :  
- la matière organique pouvant servir d'aliment aux microorganismes hétérotrophes est principalement constituée d'acides aminés ;  
- cette matière organique, compte tenu de sa quantité, ne peut pas jouer de rôle fondamental dans le transport du fer en solution.  
Cependant, étant donné la nature des composés rencontrés (acides aminés soufrés, acide gallique), il est permis de penser que ces solutés peuvent participer à la réduction du fer.

Analyse chimique de "l'ochre"

Les sédiments ont été prélevés dans la partie terminale du drain (tableau 2) ont une teneur en silice faible et une teneur en fer très importante ce qui est dû à la présence de Gallionella (6). Cette valeur est proche des valeurs maximales relevés chez différents auteurs soit 65,9 % (7). On note par contre l'absence de Calcium et Magnésium.

Enfin le C/N bas confirme l'idée que le milieu est pauvre en composés résultant de la dégradation des plantes (C/N élevé) ; ce rapport est proche de celui de la composition des cellules bactériennes.

Tableau 2

Analyse chimique du dépôt du drain de CAPVERN

SiO <sub>2</sub>	16,5 %	K <sub>2</sub> O	0,5 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	59,6 %	Na <sub>2</sub> O	0,2 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,4 %	OH <sub>2</sub>	15 %
FeO	-	C	1,98%
TiO <sub>2</sub>	0,2 %	N	0,17%
CaO	-	C/N	11,6
MgO	-		

Analyse microbiologique de "l'ochre"

\* Les bactéries hétérotrophes

Elles ont été isolées à partir des sédiments de la partie terminale du drain. Deux milieux ont été utilisés pour leur culture :  
- un milieu au citrate-ferrique-ammoniacal (8)  
- un milieu au glucose-peptone utilisé lors de la culture de Sphaerotilus natans.  
On note, parmi la population microbienne étudiée, le grand nombre de bactéries chromogènes gram négatif et l'absence de bactéries sporulées gram positif.

A partir des genres isolés, nous avons essayé de montrer l'influence qu'ils pourraient avoir sur le dépôt du fer. (Dans le drain, ils ne jouent qu'un faible rôle compte tenu de leur concentration et parce que le fer circule sous forme ionique). Pour cela l'oxydation du fer a été suivie en comparaison avec un témoin sans bactérie ; on constate que la vitesse d'oxydation du fer est moindre en présence de bactéries (la respiration endogène consomme de

l'oxygène) mais qu'à la fin de l'expérience, soit au bout de 4 heures, la précipitation du fer était plus complète. Le surnageant est limpide, ce qui signifie qu'il y a eu coprecipitation du fer et des bactéries. On note de même, qu'il n'y a pas de différence entre les germes bactériens testés. Cependant, l'action peut être indirecte : Gallionella se développe mieux en présence de Pseudomonas (9)

\* Les bactéries autotrophes

Compte tenu des caractéristiques physicochimiques du milieu, on peut avancer que le fer oxydé et précipité est en majorité le fait de bactéries autotrophes du fer. La mise en évidence de ces bactéries a été obtenue en comparant un échantillon d'eau normale et un échantillon d'eau avec addition de Thiomersal à la concentration de 0,01 %. Les résultats sont donnés sur la figure 2. Puis on a recherché les trois principales espèces : Thiobacillus ferroxidans, Metallogenium symbioticum et Gallionella ferruginea.

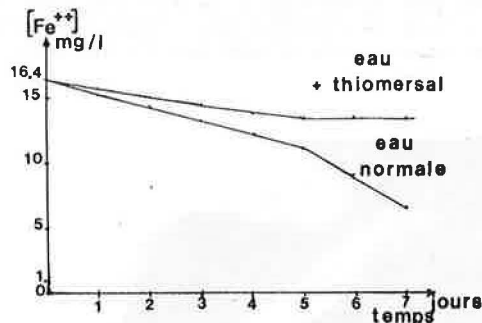


Fig. 2.- Mise en évidence de l'oxydation biologique du fer dans une eau naturelle.

Les deux premières bactéries n'ont pas été décelées dans l'eau du drain. Par contre la présence de Gallionella a été observée directement par examen microscopique ; en effet, les filaments torsadés sont suffisamment caractéristiques pour permettre l'identification de l'organisme dans des dépôts (photo 1).



Photo 1.- Gallionella ferruginea : aspect orsadé typique (microscopie optique X 2400).

De même, nous avons obtenu le développement de la bactérie sur le milieu proposé par (10) ; le microorganisme isolé correspond à Gallionella ferruginea. On dénombre la bactérie par extinction en utilisant sa propriété de réduire les nitrates en nitrites (11) à l'aide de dilutions et d'ensemencement dans le milieu de KUCERA et WOLFE (10) + nitrates (50 mg/l). Le nombre de  $4,5 \cdot 10^4$  germes par ml, est important, surtout si l'on considère qu'il s'agit d'une bactérie fixée.

### 1.2. Colmatage ferrique d'un geotextile par le genre Siderococcus.

Il s'agit d'un colmatage observé sur un drain temporaire réalisé en geotextile en bordure d'un ouvrage autoroutier. La dissolution de l'ochre déposé sur les fibres par l'acide oxalique a permis de mettre en évidence les bactéries hétérotrophes appartenant au genre Siderococcus (photo 2). Ces bactéries ne précipitent pas directement le fer sur leur cellule : c'est la colonie qui s'imprègne d'oxydes ferriques, puis d'argiles et de calcite



Photo 2.- Fibre de géotextile traitée à l'acide oxalique montrant la gaine bactérienne.

(chaulage) formant un manchon autour de la fibre dont le diamètre double ou triple. Il faut noter que la partie du drain étudiée se trouvait à l'air libre. Les concentrations moyennes en fer et en manganèse de l'eau parvenant au drain étaient respectivement de 1,22 mg/l et 0,20 mg/l.

### 2. LE SITE DE LA COMMUNE DE LESCAR : Colmatage par Sphaerotilus natans.

L'étude de ce colmatage a été faite a posteriori car nous n'avons pu nous rendre sur le site qu'après la réfection du réseau de drainage (pose d'un nouveau drain et chaulage des terrains). Toutefois, l'ancien drain étant resté en place, il a été possible de faire les observations suivantes :

Les terrains drainés correspondent à une zone de marais tourbescents qui se sont développés à la faveur d'une position topographique en gouttière.

Les eaux d'alimentation du drain circulent dans des alluvions du MINDEL où elles se chargent en fer ; au niveau de la zone tourbeuse, en même temps qu'elles s'acidifient, les eaux solubilisent de la matière organique favorisant ainsi la prolifération de microorganismes.

Le drain (plastique, annelé, diamètre 100mm, posé entre 80 et 100 cm de profondeur), est colmaté (son fonctionnement était défectueux un mois après la pose). Extérieurement, il ne présente pas de dépôt ferrique ; intérieurement, il est tapissé par un gel bactérien blanchâtre. Dans sa partie terminale, le gel devient rouille en surface (sous la couche rouille persistait une couche blanchâtre) (photo 3). Les pores du drain

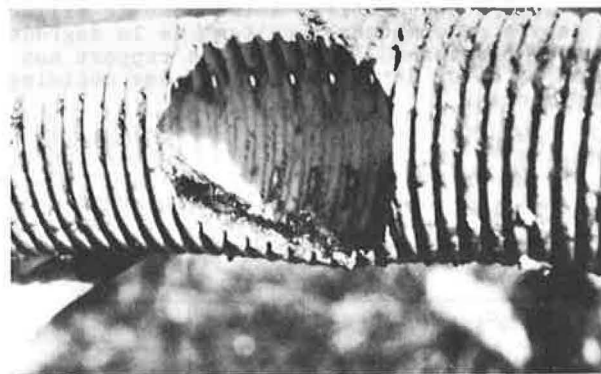


Photo 3.- Ouverture dans le drain de LESCAR montrant les différents types de dépôts.

montrent de petites excroissances d'oxydes ferriques (ces excroissances entourent les pores, mais ne les bouchent pas). La partie terminale du drain et le fossé d'évacuation présentent d'importants dépôts rouilles. Le drain ne coulant pratiquement plus, seule une analyse partielle de l'eau a été réalisée, elle a porté sur son pH : 6,05 ; son potentiel Red/Ox : + 70 mv et sa teneur en  $Fe^{2+}$  : 6,2 mg/l. Un sondage dans les terrains avoisinants pour atteindre la nappe, a permis de mesurer sa teneur en fer ferreux qui est de 18 mg/l. Certaines parties du terrain gorgées d'eau présentent des flaques où l'on peut apercevoir le fort développement de gels bactériens rouilles, composés de bactéries filamenteuses.

L'analyse du dépôt prélevé à l'intérieur du drain colmaté (tableau 3) montre l'importance de la silice (50 % contre 16,5 % dans le site de CAPVERN). Le rapport C/N (21,5 contre 11,4 à CAPVERN) est élevé : une grande partie de la matière organique provient ici de la tourbe.

On est en présence, dans ce cas, de trois types de colmatages : un colmatage biologique (gels bactériens) un colmatage mécanique (silice) et un colmatage chimique (oxydes de fer).

Tableau 3

Analyse chimique du dépôt du drain de LESCOAR

SiO <sub>2</sub>	50 %	K <sub>2</sub> O	1,0 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,2%	NO <sub>2</sub> O	0,6 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,8%	OH <sub>2</sub>	10,4 %
FeO	-	C	4,73%
TiO <sub>2</sub>	0,6%	N	0,22%
CaO	0,6%	C/N	21,5 %
MgO	0,3%		

En ce qui concerne le rôle des microorganismes, il faut, dans cette zone riche en matière organique, incriminer les hétérotrophes qui agissent d'une manière indirecte : ils dégradent la matière organique, ce qui libère le fer lié ; celui-ci s'oxyde chimiquement et précipite sur les gels bactériens. L'analyse microbiologique a montré l'existence de nombreuses bactéries comme des *Pseudomonas*, mais surtout des bactéries engainées (photo 4) appartenant au genre *Sphaerotilus* (celles-ci sont responsables des gels blanchâtres à l'intérieur du drain).

À partir de ces analyses, on peut énoncer la séquence de colmatage suivante : le développement des bactéries filamenteuses emballées dans leur capsule forme le gel bactérien la matière organique dégradée, les microorganismes libèrent le fer chélaté ; celui-ci s'oxyde chimiquement et précipite à la surface du gel. De plus, des particules minérales entraînées viennent se piéger dans la matrice bactérienne. On aboutit ainsi, au sein des dépôts, à une couche superficielle oxydée (rouille) et à une couche profonde (au contact du drain) blanchâtre, réduite, riche en particules minérales.



Photo 4.- *Sphaerotilus natans* : bactérie filamenteuse engainée (microscopie électronique X 5550).

### 3. CONTRIBUTION DE NOTRE ETUDE AU DIAGNOSTIC DU COLMATAGE FERRIQUE.

Avant d'implanter au mieux un réseau de drainage, il est recommandé d'effectuer diverses études et analyses afin de déterminer si le risque de colmatage ferrique existe. En premier lieu l'examen de la carte géologique, permet de connaître le type de formation qui donne naissance aux sols. La roche mère est un facteur qui, dans de nombreux cas, peut supplanter le rôle joué par le sol et la végétation. Ainsi, près du site de CAPVERN, au contact entre la formation Pontico-Pliocène (alluvions argilo-sableuses) et la formation supérieure de LANNEMEZAN (alluvions quaternaires riches en argiles), on constate la disparition du fer ferreux en solution dans les eaux issues de la formation Pontico-Pliocène. Nous notons que la différence de composition des eaux ne tient ni aux sols (sols bruns acides dans les deux cas), ni à la végétation (qui est acidophile), ni à la topographie (la pente ne change pas quand on passe d'une formation à l'autre), ni aux pH (qui sont inférieurs à 6 dans les deux cas).

Il ne faut toutefois pas minimiser l'influence des sols et de la végétation dans le colmatage ferrique (fer autochtone). Aussi, en second lieu une analyse pédologique classique apportera-t-elle des informations intéressantes quant à la richesse en argile du sol, son acidité, son hydromorphie, sa teneur en matière organique et sa teneur en fer.

La végétation naturelle présente, elle aussi, un intérêt quand on connaît le rôle joué par les composés organiques dans la réduction et le transport du fer et par les acides organiques aliphatiques (acide citrique) dans la nutrition des bactéries hétérotrophes ; de plus, son observation permet de connaître immédiatement le degré d'hydromorphie des sols (végétation caractéristique de milieux hydromorphes).

Ces premières données peuvent être enrichies par des observations ayant pour but la mise en évidence dans les fossés ou les flaques de produits rouillés d'aspect gélatineux et d'irisations marquées dues aux voiles bactériens, signes d'une importante activité (12)

Enfin, l'analyse de l'eau de la nappe (teneur en Fe<sup>2+</sup>, matière organique, pH, Eh) permet, avec les résultats obtenus précédemment, d'établir un diagnostic sur le risque de colmatage ferrique.

À la suite de l'étude que nous avons menée à CAPVERN et à LESCOAR, nous pouvons dire qu'il existe, en fait, trois situations principales :

- les zones calcaires où les eaux sont dépourvues de fer ferreux et où les risques de colmatage sont extrêmement faibles. Toutefois, le risque n'est pas nul, compte tenu de l'hétérogénéité possible de la formation et de la matière organique qui peut former un horizon superficiel réducteur (fer autochtone) ;
- les zones non calcaires où les eaux contiennent du fer ferreux mais peu de matière organique. Le risque de colmatage existe mais passe, semble-t-il, par le développement de

bactéries autotrophes comme *Gallionella* (exemple : drain de CAPVERN). Dans ce cas, nous pouvons énoncer la séquence de colmatage suivante :

Quand l'eau pénètre dans le drain, le fer ferreux est oxydé en partie chimiquement par l'oxygène atmosphérique et en partie biologiquement par les bactéries autotrophes. Il y a alors formation d'un sol d'hydroxyde ferrique et en présence d'autres ions et de corps bactériens, il y a floculation et précipitation. L'hydroxyde ferrique, possédant une importante capacité d'échange (13), va se combiner avec divers cations et anions de l'eau. Le gel formé piège par la suite des particules minérales et organiques et devient alors un substrat favorable au développement de bactéries hétérotrophes ; on aboutira finalement à "l'ochre" : sédiment de couleur rouille et d'aspect gélatineux. Dans ce type de situation, il est intéressant de connaître la teneur en fer de l'eau et le nombre de bactéries oxydant le fer ferreux afin de pouvoir estimer la vitesse et l'amplitude du colmatage ferrique.

- les zones non calcaires à la fois riches en fer ferreux et en matière organique (LESCAR) où les bactéries hétérotrophes (*Sphaerotilus*) peuvent se développer directement, leur fixation étant de plus favorisée par la forme anellée du drain. Ici, le colmatage est très rapide, et dans ce cas, on peut se demander s'il ne faut pas renoncer à ce type de drainage. Le chaulage de la tranchée a montré son efficacité dans l'immédiat, mais il reste à observer la longévité de l'effet. Pour notre part, nous avons constaté, sur le site autoroutier de CAPVERN, que l'usage de chaux n'empêchait pas la croissance de la bactérie *Siderococcus* responsable du colmatage d'une partie du filtre de géotextile entourant le drain.

#### CONCLUSION

Les deux cas de colmatage ferrique étudiés n'ont en commun que la richesse en fer ferreux des eaux drainées. C'est là un facteur essentiel car le fer allochtone ne peut être éliminé de manière définitive par des méthodes ponctuelles, tel le chaulage. L'absence de matière organique énergétique ne met pas à l'abri du colmatage en raison des possibilités de colonisation remontante de la bactérie autotrophe *Gallionella ferruginea*. En outre, celle-ci prépare le terrain à un colmatage mécanique ou biologique hétérotrophique. Ce dernier a une ampleur et une vitesse bien supérieures (le drain de LESCAR ne coulait plus au bout d'un mois). Les présences simultanées et abondantes de fer ferreux et de matière organique dans l'eau caractérisent sans doute le cas où l'on peut s'interroger sur l'opportunité de la pose de drains (4).

#### REMERCIEMENTS

Nous remercions Monsieur Gérard ABRAVANEL, Ingénieur C.N.R.S. au Laboratoire de Physiologie végétale pour son aide précieuse lors de la réalisation des analyses biochimiques.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) Hem, J.D., Restraints on dissolved ferrous iron imposed by bicarbonate redox potential and pH. Geological survey water-supply, 1960, Paper 1459-B.
- (2) Hem, J.D., Calculation and use of iron activity. Geological survey water-supply, 1961, Paper 1535-C.
- (3) Hem, J.D., Chemical factors that influence the availability of iron and manganese in aqueous systems. Geological Society of America, 1972, bulletin 83, 443-450.
- (4) Cestre, T. A propos des moyens d'action contre le colmatage ferrique des réseaux de drainage agricole. Cemagref, 1982, BL n° 288.
- (5) Houot, S., Cestre, T., Berthelin, J.,. Origine du fer et conditions de formation du colmatage ferrique. Etude de différentes situations en France. XII<sup>e</sup> Congrès International des irrigations et du drainage, Fort Collins, 1984.
- (6) Tatnall, R.E., Fundamentals of Bacteria Induced corrosion Materials Performance. Sept. 1981, 32-38.
- (7) Petersen, L., Ochreous deposits in drain pipes. Acta Agric.Scand., 1966, vol. 16, 120-128.
- (8) Clark, F.M., Scott, R.M., Bone, E., Heterotrophic iron-precipitating bacteria. J. A.W.W.A., 1967, 1037-1042.
- (9) Hanert, H., Untersuchungen zur Isolierung, stoffwechselphysiologie und morphologie von *Gallionella ferruginea* ehrenberg. Archiv. für Mikrobiologie, 1968, vol. 60, 348-376.
- (10) Kucera, S., Wolfe, R.S., A selective enrichment method for *Gallionella ferruginea*. J. Bacteriol., 1957, vol. 74, 344-349.
- (11) Gouy, J.L., Berge, Ph., Labroue, L., *Gallionella ferruginea*, facteur de dénitrification dans les eaux pauvres en matière organique. C.R. Acad. Sc. Paris, 1984, t. 298, Série III, n° 6, 153-156.
- (12) Kuntze, H., Iron clogging : diagnosis and therapy. Transaction of the ASAE, 1979, vol. 2-17, 452-467.
- (13) Ivarson, K.C., Sojak, M., Microorganisms and ochre deposits in field drains of Ontario. Can.J.Soil Sci., 1978., vol. 50, 1-17.