

## MOYEN DE LUTTE CONTRE LE COLMATAGE CHIMIQUE DES DISTRIBUTEURS D'EAUX D'IRRIGATION LOCALISÉE DANS LE CAP BON

A. GHORBEL \*, M. BEN AMOR \*, R. ROSSET \*\*

\* *Laboratoire de Génie des Procédés, Institut National de Recherche Scientifique et Technique,  
BP 95, 2050 Hammam-Lif, Tunisie*

\*\* *Laboratoire de Chimie Analytique des Processus Industriels,  
Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielles de la ville de Paris,  
10, rue Vauquelin, 75005 Paris, France*

(Soumis en avril 1998, accepté en décembre 1998)

**RESUME:** Les techniques d'irrigation localisée sont compromises par le colmatage chimique des distributeurs. Ce phénomène est dû essentiellement à la précipitation du carbonate de calcium. Deux techniques ont été utilisées pour évaluer l'efficacité d'un traitement chimique spécifique (addition en concentrations croissantes de deux produits phosphatés), appliqué aux eaux d'un puits de surface localisé dans la région du Cap Bon. Il s'agit de la : « chronoélectrogravimétrie » et de « la méthode du pH critique ».

**mots clés :** irrigation localisée / colmatage chimique / pouvoir entartrant / inhibiteurs phosphatés d'entartrage / chronoélectrogravimétrie / pH critique

**ABSTRACT:** Chemical plugging by scale precipitation is a major problem with localised irrigation techniques due to the precipitation of the calcium carbonate. In the case of a surface well water, localised in the Cap Bon region, tow methods were applied to evaluate the efficiency of tow phosphorus inhibitors. This study was done by « chrono-electrogravimetric » and « the method of the critical pH ».

**Key words** localised irrigation techniques / chemical plugging / scaling tendency / antiscaling phosphorus inhibitors / chrono-electrogravimetry / critical pH

### INTRODUCTION

Pour les pays en voie de développement, la lutte pour l'autosuffisance alimentaire est capitale. Cependant le secteur agricole dans ces pays se trouve confronter à divers problèmes parmi lesquels deux nous paraissent essentiel : la rareté de l'eau et l'indisponibilité des terrains cultivables à proximité des sources d'eau.

Ainsi pour l'épanouissement du secteur agricole tunisien, divers systèmes d'irrigation ont été testé et mis en place. La technique d'irrigation localisée a retenu notre attention puisqu'elle permet d'une part l'apport de l'eau et des engrais aux plantes en quantité nécessaire et suffisante et d'autre part l'optimisation du rendement agronomique. Toutefois l'introduction de ce système d'irrigation

(goutte à goutte) a révélé un grave problème d'obstruction des distributeurs qui réduit sérieusement l'efficacité de l'irrigation. Nous nous sommes intéressés dans notre étude au phénomène de colmatage chimique qui se manifeste au niveau des gouteurs. L'analyse chimique et la diffraction aux rayons X du colmatant (tartre) ont montré que ce dernier est formé en majeure partie de carbonate de calcium, accompagné d'un faible pourcentage de sulfate de calcium.

Les techniques de prévention de la précipitation du carbonate de calcium dans les installations ne cessent de se développer, aussi notre étude, consiste à tester deux produits antitartres en vue de quantifier leur effet inhibiteur. A cet effet deux méthodes d'entartrage accélérées, ont été choisies : « la chronoélectrogravimétrie », et la « méthode du pH critique ».

### **CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU CHOISIE**

La technique d'irrigation localisée est confrontée au problème de colmatage. On distingue trois types d'obstructions[1] :

- Physique par des particules minérales ou organiques en suspension dans l'eau (sable, limon, argile, matières organiques, ...).
- Biologique par des accumulations d'algues, de protozoaires, de dépôts bactériens, développement de champignons.
- Chimique due à la précipitation de substances dissoutes contenues dans l'eau d'irrigation (carbonate, oxyde de fer et de manganèse, sulfures, ...).

Il a été montré qu'il est possible de remédier au colmatage physique et au colmatage biologique en s'appuyant respectivement sur la filtration monté en amont du réseau et l'injection des biocides (eau de Javel).

Le colmatage chimique continue à poser des problèmes malgré ces tentatives antérieures qui préconisent l'injection de solutions acides [2].

#### **1. Choix de l'eau pour l'étude de la lutte contre le colmatage chimique**

Les eaux utilisées en micro-irrigation dans le Cap Bon (Tunisie) se classent en trois familles:

- Eaux de surface : eaux de barrage et eaux du canal Madjerda .
- Eaux de la nappe phréatique : eaux des puits de surface.
- Eaux de la nappe profonde : eaux des sondages.

Une étude préliminaire [3] a été effectuée par la méthode chronoélectrogravimétrie pour comparer les eaux utilisées en micro-irrigation selon leur pouvoir entartrant. Cette étude a montré que le pouvoir incrustant dépend de l'origine de l'eau, en effet, les eaux de puits de surface

présentent un pouvoir entartrant très élevé par rapport à celui des autres types d'eau. Aussi nous avons choisi une eau qui capte de la nappe phréatique située dans le périmètre de l'I.N.R.S.T\*, en vue de faciliter l'échantillonnage et le contrôle du phénomène de colmatage de l'installation au niveau des gouteurs.

## 2. Caractérisation chimique de l'eau étudiée

L'analyse chimique de l'eau choisie a été effectuée au Laboratoire de Génie des Procédés de l'I.N.R.S.T\*. Les résultats de cette analyse sont regroupés dans les tableaux I et II.

L'examen de ces résultats montre bien qu'il s'agit d'une eau très dure (très chargée en calcium et en magnésium). Nous remarquons par ailleurs qu'elle est très riche en bicarbonate. Nous pouvons par conséquent s'attendre à ce que cette eau présente un potentiel tartre très important compte tenu du fait que la réaction de précipitation du carbonate de calcium est directement liée aux teneurs en calcium et en bicarbonates.

TABLEAU I. Paramètres physico-chimiques de l'eau étudiée.

Paramètres physico-chimiques	
Température	30°C
pH	7,83
Résidu sec (g.l <sup>-1</sup> )	4,18
Conductivité (mS.cm <sup>-1</sup> )	4,620

TABLEAU II. Résultats d'analyse des éléments chimiques.

Cations	mg/l	°F
Ca <sup>2+</sup>	292	73
Mg <sup>2+</sup>	148,2	61
Na <sup>+</sup>	755	164,1
K <sup>+</sup>	18,7	2,40
<b>Somme des cations</b>		<b>300,5</b>
<b>Anions</b>		
Cl <sup>-</sup>	1701	240,08
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	183,5	20,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	471,9	39
<b>Somme des anions</b>		<b>299,9</b>
TAC	--	39
TH	--	134

(\*). I.N.R.S.T. = Institut National de Recherche Scientifique et Technique.

## IDENTIFICATION DU COLMATANT

Pour les besoins de cette étude, nous avons contrôlé le bouchage des gouteurs montés en dérivation de l'installation alimentée par l'eau de puits de surface décrite précédemment. A la fin de la saison de la micro-irrigation, nous avons remarqué un bouchage presque total des gouteurs (90%), provoqué par le dépôt chimique.

deux méthodes d'identification ont été utilisées pour la caractérisation du colmatant :

- analyse chimique;
- diffraction aux rayons X.

### 1. Analyse chimique du colmatant

Le solide est constitué principalement de carbonate de calcium. Les éléments chimiques ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , Al et Cl) n'ont pas pu être détectés au cours des dosages effectués. Les résultats de l'analyse chimique du dépôt sont rassemblés dans le tableau III.

TABLEAU III. Résultats de l'analyse chimique du colmatant en %

éléments	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mn}^{2+}$	$\text{Fe}^{2+}$	Al	Si	Cl	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{CO}_3^{2-}$
pourcentage (%)	-	-	4,1	36,2	-	0,1	-	2,0	-	2,2	56,0

### 3. Analyse du colmatant par diffraction des rayons X

L'analyse du diffractogramme du colmatant (figure 1) déposé au niveau des gouteurs montre que le solide étudié est formé en majeure partie de carbonate de calcium présent sous ses deux formes cristallines (Calcite et aragonite), accompagné des traces de gypse. Aussi les raies du quartz apparaissent dans le diffractogramme, cela est dû probablement à l'adhérence des grains de sable provenant du terrain irrigué. Le carbonate de calcium précipite en grande partie sous la forme cristalline " calcite " (pic intense du diffractogramme relatif à la calcite,  $d_{hkl} = 3,022$ ).

L'apparition des raies de l'aragonite peut être expliquée par l'existence de certaines impuretés, en particulier le magnésium, stabilisant cette phase à basse température [4], sachant que l'eau qui alimente l'installation d'irrigation localisée étudiée présente un rapport molaire (Mg / Ca) assez important.

Le tableau IV montre une bonne concordance entre les valeurs des distances interreticulaires ( $d_{hkl}$ ) théoriques déduites à partir de la bibliographie et celle déterminées à partir du diffractogramme du solide étudié.

TABLEAU IV. Résultats expérimentaux de diffraction aux rayons X du dépôt chimique

carbonate de calcium							
Calcite		Aragonite		Quartz		gypse	
$d_{(hkl)thé}$	$d_{(hkl)exp}$	$d_{(hkl)thé}$	$d_{(hkl)exp}$	$d_{(hkl)thé}$	$d_{(hkl)exp}$	$d_{(hkl)thé}$	$d_{(hkl)exp}$
3,860	3,840	3,397	3,392	4,257	4,267	7,56	7,58
3,035	3,022	3,274	3,268	3,342	3,334	4,27	4,267
2,495	2,489	2,702	2,701	2,282	2,276	3,059	3,022
2,285	2,270	2,481	2,483	1,817	1,815	2,080	2,085
2,095	2,085	2,373	2,370	1,371	1,376	1,898	1,903
1,913	1,903	2,342	2,334	-	-	1,879	1,868
1,875	1,868	1,977	1,975	-	-	1,812	1,815
1,604	1,598	1,815	1,815	-	-	1,621	1,620
1,525	1,518	-	-	-	-	-	-
1,440	1,433	-	-	-	-	-	-

## PROCEDES ANTITARTRES

Il existe différents procédés pour la lutte contre l'entartrage, on distingue:

- les procédés physiques,
- les procédés chimiques.

Nous nous sommes limités dans notre étude au premier type de procédés pour la lutte contre le colmatage chimique rencontré au niveau des gouteurs des installations d'irrigation localisée. En effet, deux produits phosphatés ont été utilisés pour cette étude:

- l'hexamétaphosphate de sodium soluble (HMPS : produit SIGMA) : c'est un polyphosphate cyclique,
- le tripolyphosphate de sodium (STPP: produit tunisien): c'est un polyphosphate linéaire.

L'analyse spectrophotométrique par la méthode du Dr LANGUE, nous a permis de déterminer les pourcentages en phosphate libre et en phosphate total exprimés en  $P_2O_5$  dans les produits antitartres (inhibiteurs) phosphatés utilisés dans cette étude. Cette analyse spectrophotométrique montre que l'hexamétaphosphate de sodium est plus riche en phosphate total que le tripolyphosphate de sodium. Les résultats de cette analyse sont regroupés dans le tableau V.

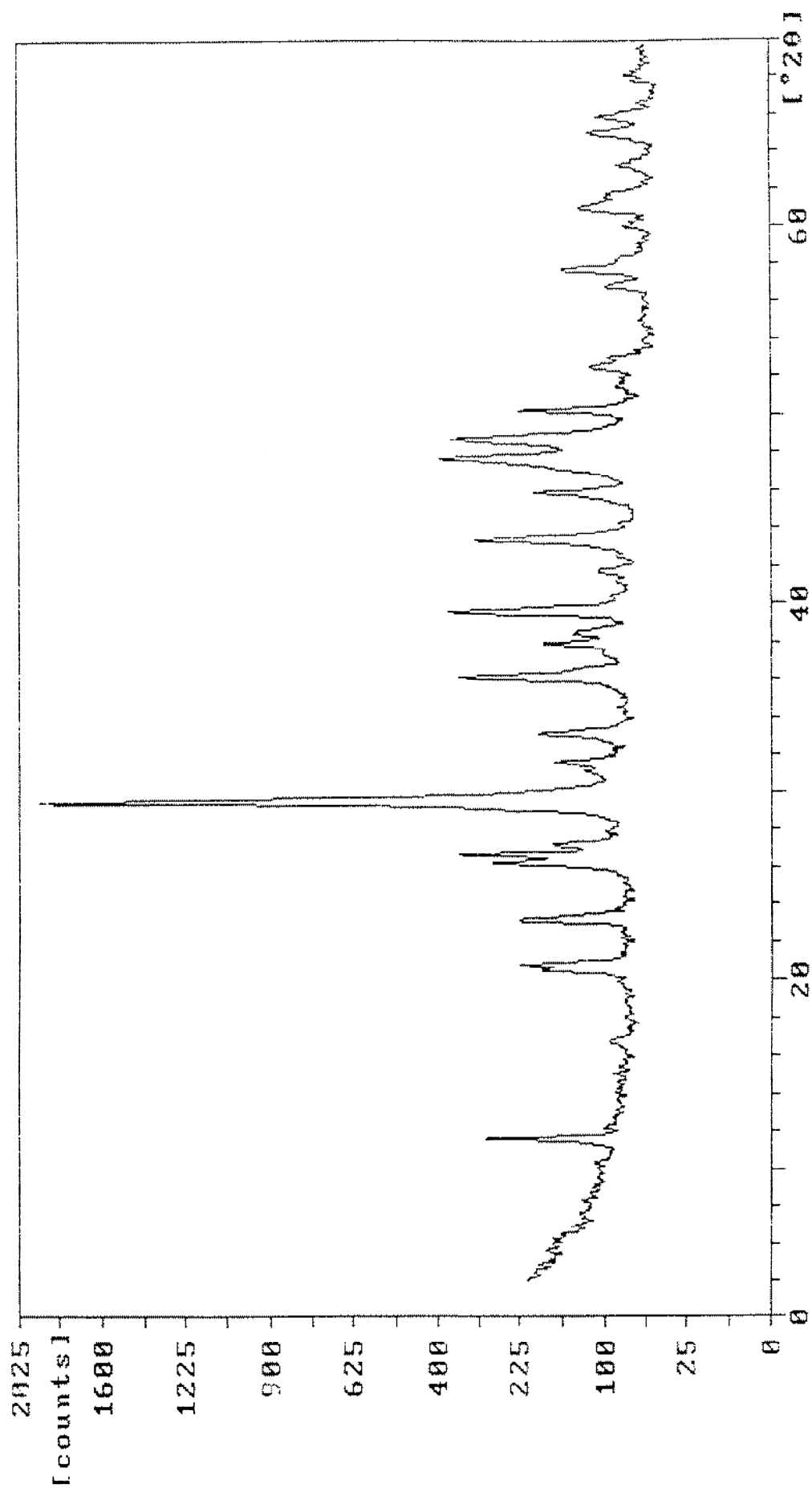


figure 1. Diffractogramme du solide déposé dans les gouteurs de l'installation de l'irrigation localisée.

TABLEAU V. Résultats expérimentaux de l'analyse spectrophotométrique des inhibiteurs.

inhibiteurs	HMPS (soluble)	STPP
%( $\text{PO}_4^{3-}$ )libre	8,53	14,9
%( $\text{PO}_4^{3-}$ )total	62,8	55,8

## METHODES D'EVALUATION DE L'EFFICACITE DES INHIBITEURS UTILISES

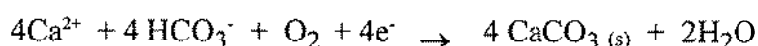
Plusieurs méthodes ont été développées depuis une quinzaine d'années pour l'évaluation du pouvoir entartrant des eaux. Pour notre étude nous avons choisi deux méthodes pour l'optimisation de la concentration efficace des inhibiteurs:

- la méthode électrochimique « la chronoélectrogravimétrie »;
- la méthode de saturation par l'ajout d'une solution basique « méthode du pH critique »

### 1. La chronoélectrogravimétrie

#### 1.1. Principe de la chronoélectrogravimétrie

Cette technique consiste à appliquer un potentiel suffisamment négatif (-1V) entre l'électrode de travail (électrode en Quartz recouverte d'une couche d'or) et l'électrode de référence (électrode au calomel saturée en chlorure de potassium). L'oxygène dissous dans l'eau se réduit en ion hydroxyde engendrant la formation des ions carbonates à partir des hydrogénocarbonates dissous dans l'eau. Ainsi le produit ionique ( $\text{Ca}^{2+}$ ).(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) augmente, et la précipitation du carbonate de calcium aura lieu sur l'électrode indicatrice selon la réaction :



La mesure de la masse de carbonate de calcium au moyen d'une microbalance en fonction du temps permet de tracer la courbe chronoélectrogravimétrie, qui nous permet de déduire les paramètres cinétiques suivants [5]:

- temps de germination ( $t_g$ ) : c'est le point d'intersection de la partie linéaire de la courbe avec l'axe de l'abscisse;
- temps d'entartrage ( $t_e$ ) : c'est l'abscisse du point d'intersection de la partie linéaire avec le palier;
- vitesse d'entartrage ( $V_e$ ) : c'est la pente de la partie linéaire.

#### 1.2. Résultats de la chronoélectrogravimétrie (CEG)

L'étude de la cinétique de précipitation des carbonates de calcium par CEG nous permet de

déterminer le temps de germination ( $t_g$ ), la vitesse de précipitation ( $V_E$ ) et le temps d'entartrage ( $t_E$ ).

Les paramètres cinétiques de l'eau brute étudiée sont résumés dans le tableau V :

**Tableau V.** Paramètres cinétiques de l'eau brute étudiée par CEG.

Paramètres cinétiques	$t_g$ (mn)	$V_E$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ )	$t_E$ (mn)
eau de puits de surface de l'I.N.R.S.T	4	0,367	84

L'analyse des paramètres cinétiques de l'eau de puits de surface étudiée montre que cette eau est fortement entartrante (temps de germination faible). En effet à la fin de la saison de la micro-irrigation, nous avons remarqué que le colmatage chimique a touché un nombre très élevé des gouteurs montés en dérivation de l'installation (90%).

Les résultats expérimentaux du traitement chimique appliqué à cette eau ont montré que les produits tartrifuges utilisés agissent par effet seuil (figures 2 et 3) en effet:

- l'hexamétophosphate de sodium soluble est efficace à une concentration de  $0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;
- la concentration efficace du tripolyphosphate de sodium est de l'ordre de  $1.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

L'étude par chronoélectrogravimétrie nous a permis de mettre en évidence l'effet inhibiteur des produits phosphatés utilisés pour le traitement chimique. Aussi cette technique a montré que les phosphates cycliques (HMPS) sont plus efficaces que les phosphates linéaires (STPP).

## 2. Méthode du pH critique

### 2.1. Principe

Considérons une eau à laquelle on apporte des ions  $\text{OH}^-$  par un ajout continu de NaOH. Si on relève la variation du pH en fonction de la quantité de soude ajoutée, on obtient une courbe qui a l'allure représentée sur la figure 4. Cette dernière montre que le pH s'élève régulièrement de sa valeur initiale  $\text{pH}_i$ , en passant par un point d'inflexion si  $\text{pH}_i$  est inférieur à  $(K_1 + K_2)/2$  ( $8.42$  à  $20^\circ\text{C}$ ) [6], jusqu'à une valeur maximale  $\text{pH}_c$  à laquelle on observe une chute brutale de pH correspondant à l'amorçage d'une précipitation de  $\text{CaCO}_3$ . La valeur maximale de pH, atteinte, est appelée « pH critique ».

L'explication théorique du maximum de pH puis sa baisse brutale est la suivante: lorsqu'on ajoute une base forte à la solution, on a neutralisation des ions hydrogénocarbonates selon:



Les germes de carbonates de calcium se forment lorsque le produit de solubilité est atteint :



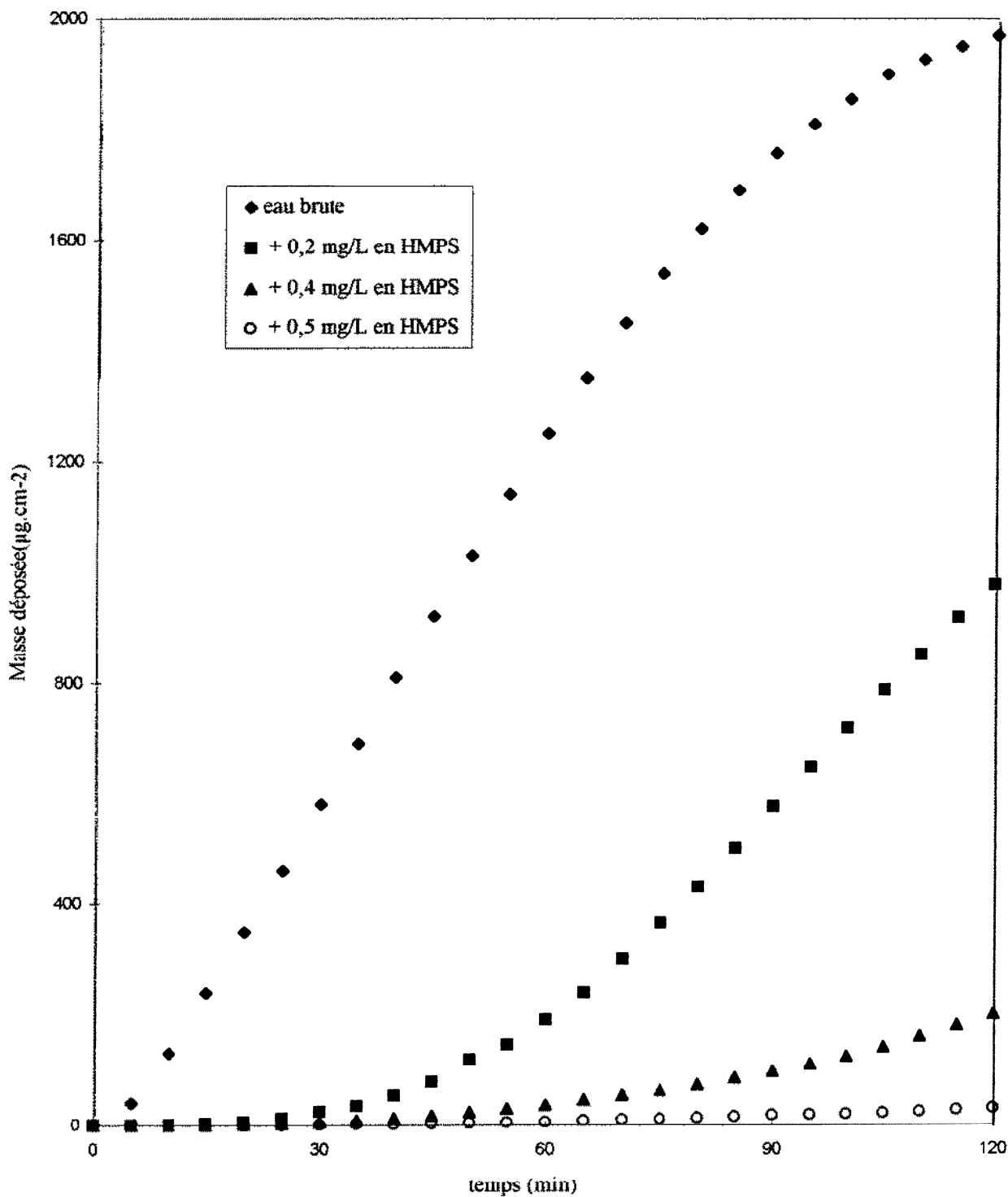


figure 2. Courbes chronoélectrogravimétriques de l'eau de puits de surface de l'I.N.R.S.T additionnée de concentrations croissantes en HMPS à 25°C

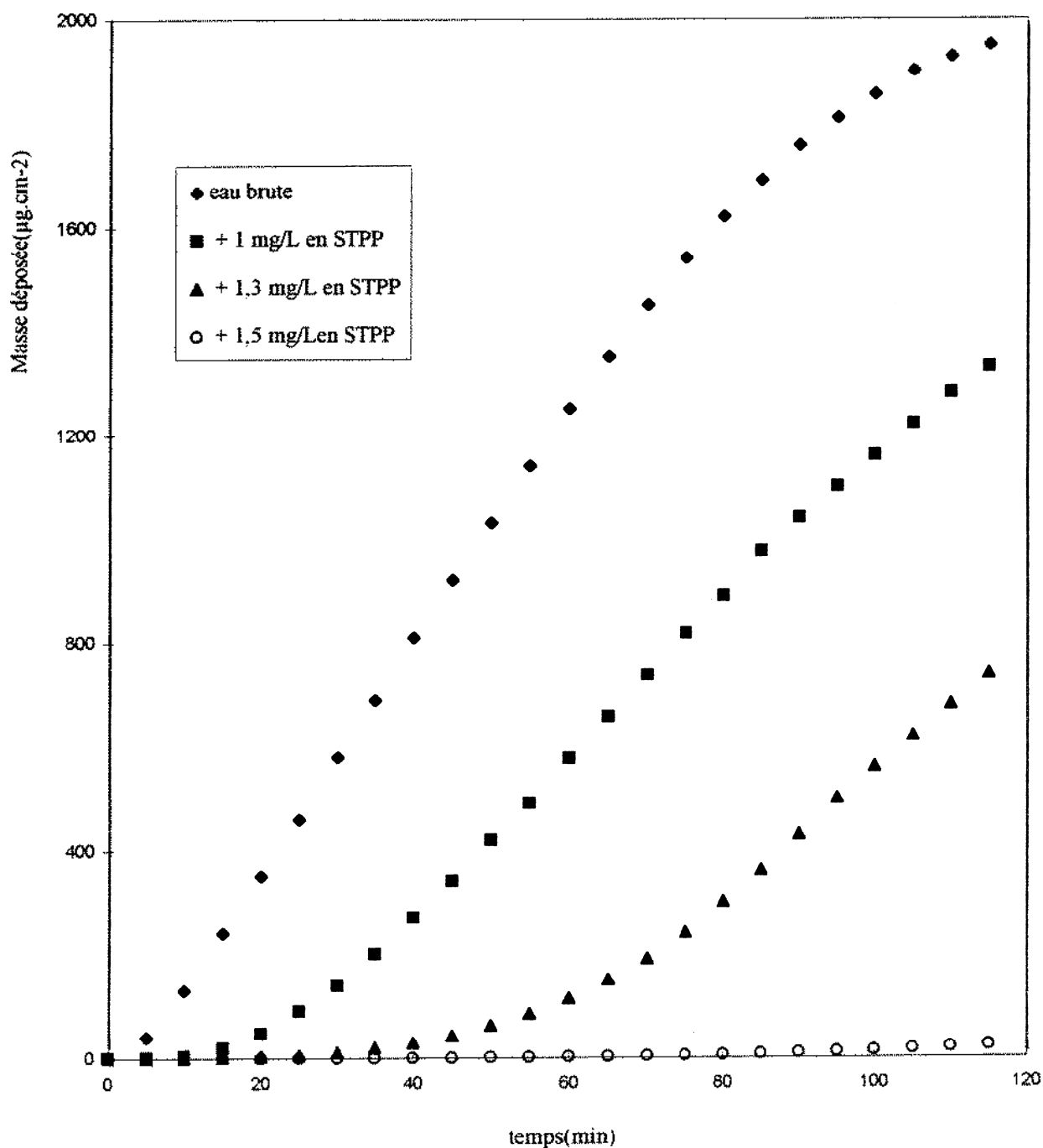
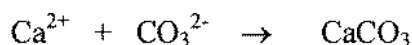
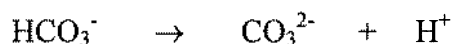


figure 3. Courbes chronoélectrogravimétriques de l'eau de puits de surface de l'I.N.R.S.T additionnée de concentrations croissantes en STPP à 25°C



Lorsque le carbonate de calcium précipite effectivement, la croissance rapide des cristaux de  $\text{CaCO}_3$  consomme les ions carbonates, cela entraîne le déplacement de l'équilibre :



vers la formation des ions carbonates, accompagné de la production des ions  $\text{H}^+$ , ce qui entraîne une baisse de pH.

## 2.2. Résultats expérimentaux de la méthode du pH critique

Les manipulations effectuées avec la méthode du pH critique, ont été toutes réalisées avec des prises d'essai de 25 ml et à une température de 25°C. La solution de soude utilisée pour cette étude a une concentration de 0.1M. Elle est injectée avec une vitesse de 0.5µl/s.

Deux inhibiteurs ont été testés par cette technique:

- l'hexamétophosphate de sodium (HMPS);
- le tripolyphosphate de sodium (STPP).

Cette méthode a montré que ces deux produits tartrifuges agissent par effet seuil, et une meilleure efficacité de HMPS a été remarquée, en effet la concentration efficace de HMPS est de 1.5 mg.L<sup>-1</sup> (figure 5), tandis que celle de l'STTP, elle est de 6 mg.L<sup>-1</sup> (figure 6).

## CONCLUSION

Une eau de puits de surface de l'I.N.R.S.T ayant un pouvoir entartrant fort, a été utilisée pour effectuer ce travail. Le colmatage chimique rencontré dans les gouteurs de l'installation d'irrigation localisée a posé des problèmes sérieux.

L'identification du solide(colmatant) déposé au niveau des gouteurs, par analyse chimique et par diffraction des rayons X, a montré qu'il s'agit essentiellement de carbonate de calcium présent sous les deux formes cristallines (calcite et aragonite). Des traces de sulfate de calcium ont été détectées dans la matrice calcaire.

Deux produits phosphatés ont été testés par la méthode « chronoélectrogravimétrie » la méthode du « pH critique ».

Ces deux techniques ont montré, d'une part, que les phosphates cycliques (hexamétophosphate de sodium) sont plus efficaces que les phosphates linéaires (tripolyphosphate de sodium), d'autre part que la concentration efficace du même inhibiteur, déterminée par la chronoélectrogravimétrie est différente de celle trouvée par méthode de pH critique. Cela s'explique par le fait que les mécanismes de précipitation du carbonate de calcium ne sont pas

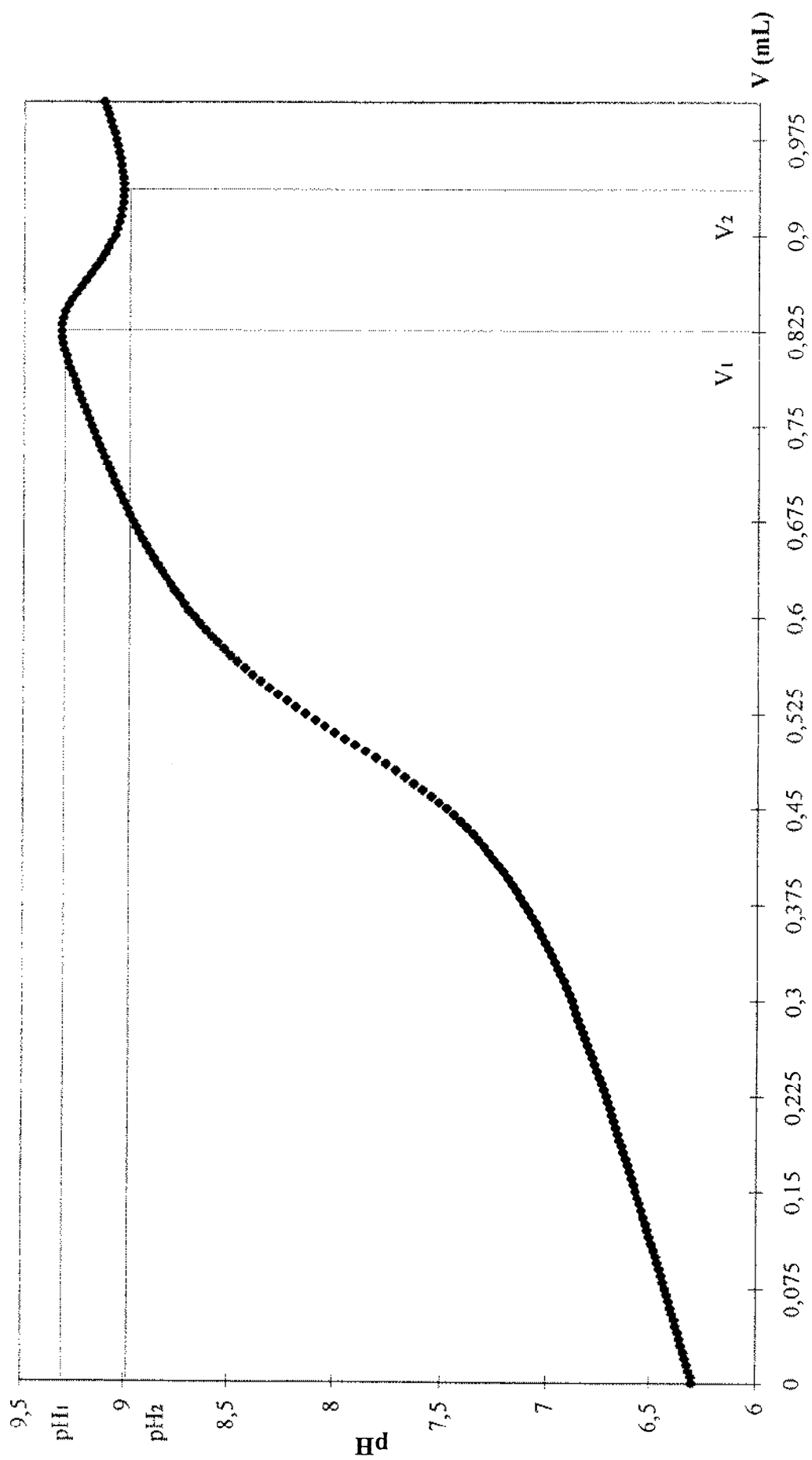


Figure 4. Courbe type de pH Critique.

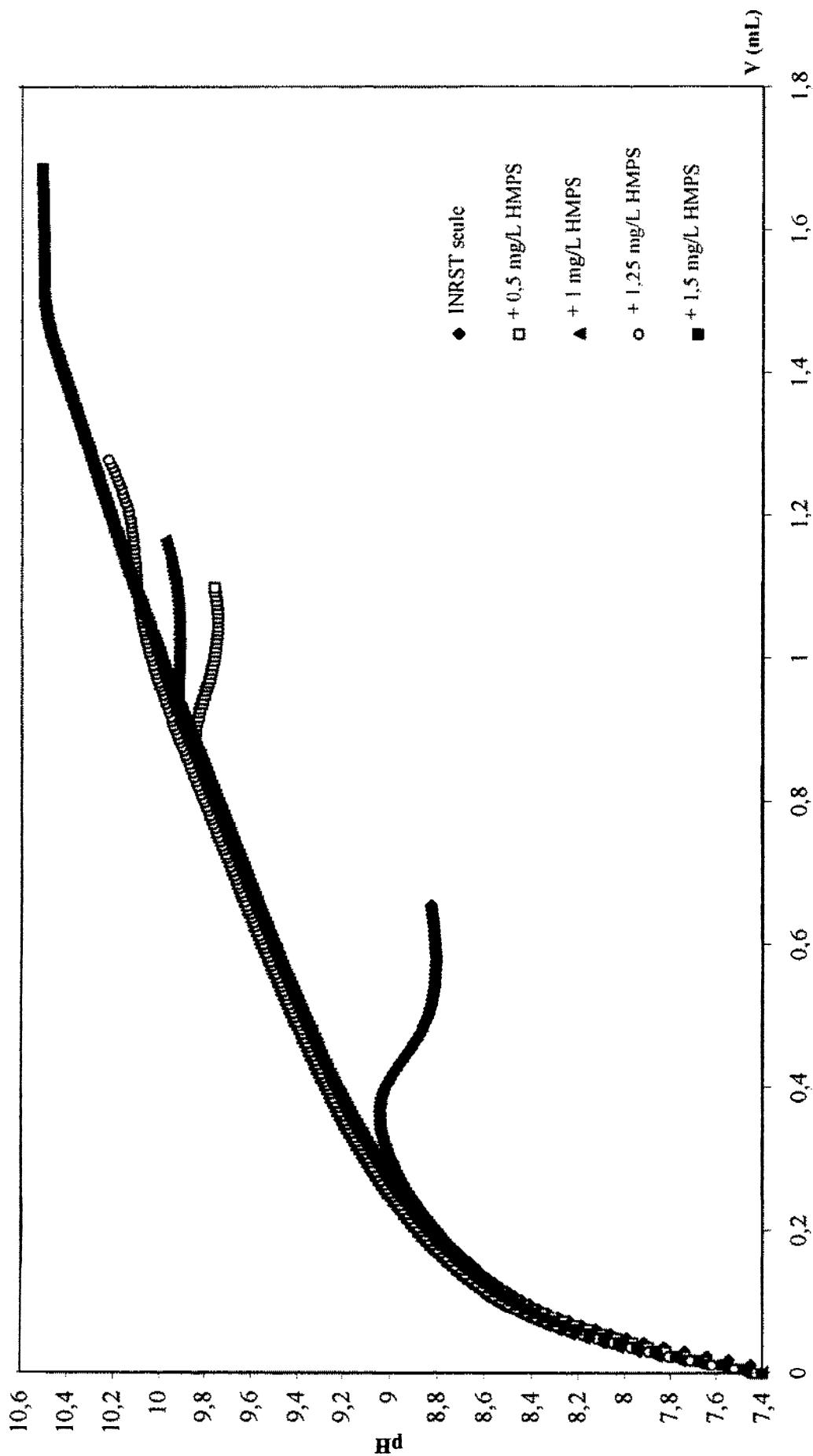


figure 5. Courbes de pH Critique de l'eau de puits de surface de l'INRST additionnée de concentrations croissantes en HMPS à 25°C.

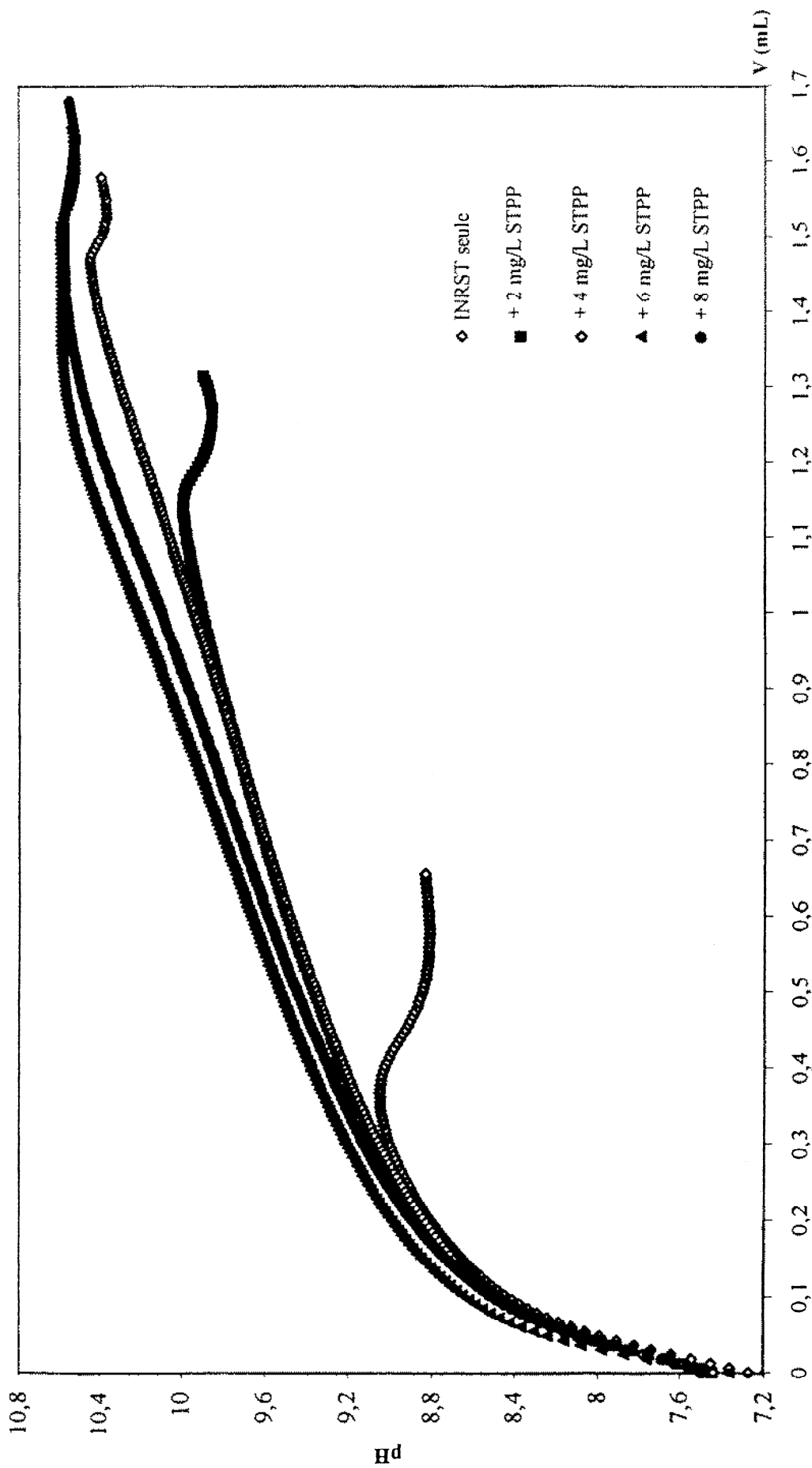


figure 6. Courbes de pH Critique de l'eau de puits de surface de l'INRST additionnée de concentrations croissantes en STPP à 25°C.

identiques dans les les deux méthodes d'évaluation. En effet, la première technique montre une précipitation hétérogène (précipitation du carbonate de calcium sur l'électrode de travail), tandis que la deuxième méthode montre une précipitation homogène (précipitation du carbonate de calcium au sein de la solution).

## REFERENCES

- [1] P. Vergniaud . *Revue Horticole*, mars **1990**, 305, 39-42.
- [2] J.C Chossat. *Entretien en micro-irrigation*, 2<sup>ème</sup> édition Cemagref **1995**, p. 46.
- [3] R. Rosset, M. Ben Amor et A.Ghorbel. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **1997 t. 325, série II b**, pp.727-732.
- [4] C.Hort. *Contribution à l'étude des mécanismes d'entartrages. influence des solides en contact avec le liquide sur la cinétique de précipitation*. thèse INSA Toulouse **1994**.
- [5] A.Khalil. *Méthodologies du pouvoir entartrant des eaux et de l'efficacité des procédés antitartre*. Thèse de Doctorat. Université Pierre et Marie Curie, Juin **1994**.
- [6] N. Couffin, L. Dedieu, A. Martin Dominguez et H. Roques. *La tribune de l'eau-* **1995**. p. 3.

