



## La mesure du pouvoir incrustant des eaux dures du Hamma et inhibition de l'entartrage par $\text{Na}_2\text{CO}_3$ et $\text{KH}_2\text{PO}_4$

**Souheila GHIZELLAOUI<sup>1</sup>, Samira GHIZELLAOUI<sup>2</sup>, Kotbia LABIOD<sup>3</sup>**

1. Département de Chimie Industrielle, Université de Jijel, BP 98 Ouled Aissa Jijel 18000 ALGERIE

email: ghizellaouis@yahoo.fr

2, 3. Département de Chimie, Université de Mentouri de Constantine.

Route de Ain El Bey 25000 ALGERIE

email: [gsamira@yahoo.com](mailto:gsamira@yahoo.com), Tél/Fax: 00.213.31.81.88.16,

### Abstract

In calcareous soils, groundwater Hamma supplying the city of Constantine in drinking water are responsible in large concentrations of calcium bicarbonate. These waters have a total hardness of 57 ° F. During their movement, these waters give rise to the phenomenon of scaling in systems, which can lead to serious failures (clogging pipes, sticking stop devices, loss of efficiency of heat exchangers etc ...). Various methods of decarbonization as precipitation with lime or sodium carbonate or acid vaccination are commonly used. Some chemical inhibitors are sometimes added to block the germination of crystals of calcium carbonate. Our study focuses on the evaluation and inhibition of the scaling power of hard water of Hamma with chemical and electrochemical methods in the presence of sodium carbonate and potassium dihydrogen phosphate. The study of the scaling curve gave an accelerated time scaling of 11.9min at 30°C and the increase in temperature decreases the value of time scaling. At an addition of 2 mg / L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 0.5g / L  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  the curve becomes a straight line, indicating the complete inhibition of scaling. For chemical tests the concentrations of 2.5mg/L of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  and 0.18g of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  are sufficient to reduce the total hardness of water.

*Keywords:* Scaling,  $\text{CaCO}_3$ , Inhibitions,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$

### Résumé:

Dans les sols de nature calcaire, les eaux souterraines du Hamma qui alimentent la ville de Constantine en eau potable se chargent en concentrations importantes d'hydrogénocarbonate de calcium. Ces eaux ont une dureté totale de 57°F. Lors de leur circulation, ces eaux donnent naissance au phénomène d'entartrage dans les installations, ce qui peut conduire à de sérieuses défaillances (obstruction des canalisations, grippage des dispositifs d'arrêt, perte d'efficacité des échangeurs de chaleur etc...). Diverses méthodes de décarbonatation comme la précipitation à la chaux ou au carbonate de sodium ou encore la vaccination acide sont couramment utilisées. Certains inhibiteurs chimiques sont parfois ajoutés pour bloquer la germination des cristaux de carbonate de calcium. Notre étude porte sur l'évaluation et l'inhibition du pouvoir entartrant des eaux dures du Hamma par voie chimique et électrochimique en présence de carbonate de sodium et dihydrogénophosphate de potassium. L'étude de la courbe d'entartrage accéléré a donné un temps d'entartrage de 11.9min à 30°C et l'augmentation de la température diminue la valeur du temps d'entartrage. A un ajout de 2mg/L de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 0.5g/L de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  la courbe devient une droite, ce qui traduit l'inhibition totale de l'entartrage. Pour les essais chimiques des concentrations de 2.5mg/L de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  et 0.18g/L de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sont suffisantes pour réduire la dureté totale des eaux.

Mots clés: Entartrage,  $\text{CaCO}_3$ , Inhibition,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .

### 1. Introduction :

La dureté d'une eau a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur totale en calcium et magnésium. Les eaux provenant de terrains calcaires et surtout de terrains gypseux peuvent avoir des duretés élevées et doivent être traitées avant utilisation, car elles sont chargées en hydrogénocarbonate de calcium et sont

Colloque International « Journées des Géosciences de l'Environnement »  
Oujda, 21, 22 et 23 Juin 2011 « Environnement et développement durable ».

susceptibles de déposer de grandes quantités de carbonate de calcium (entartrage).

Selon [1], [2], [3] les dépôts de carbonate de calcium (tartre) qui s'observent dans les innombrables installations industrielles et domestiques où l'on véhicule des eaux naturelles ou de distribution ont de graves conséquences techniques et économiques :

- désactivation des lessives et savons par formation de complexes avec les ions calcium.
- bouchage partiel ou total des canalisations avec affaiblissement des débits.
- diminution des échanges thermiques dans le cas des chaudières.
- grippage des dispositifs d'arrêt (vannes, robinets).
- formation de dépôts sur les appareils ménagers.

Dans le but de suivre la cinétique de formation du carbonate de calcium, la technique d'entartrage accéléré a été mise au point par [4].

Son principe consiste à recouvrir de carbonate de calcium une surface métallique portée à un potentiel négatif fixe de (-1V) par rapport à une électrode de référence saturée en KCl.

Les essais réalisés par voie électrochimique et chimique sur les eaux du Hamma en présence de  $(\text{KH}_2\text{PO}_4, \text{Na}_2\text{CO}_3)$  sont nécessaires pour inhiber le pouvoir entartrant de ces eaux et résoudre le problème d'entartrage.

## 2. Partie expérimentale:

### 2.1. Matériel et méthodes

#### 2.1.1. Evaluation de la qualité des eaux du Hamma

Les résultats d'analyse physico-chimiques obtenus sur l'eau souterraine du Hamma sont rassemblés dans le Tableau 1.

Paramètre	L'eau du Hamma
T, °C	30
pH	7.2
CE, mS/cm	1.06
O <sub>2</sub> dissous, mg/L	7.55
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/L	512
TH, mg/L CaCO <sub>3</sub>	570
Ca <sup>2+</sup> , mg/L	156
Mg <sup>2+</sup> , mg/L	43.2
Cl <sup>-</sup> , mg/L	125
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/L	278

Tableau 1 : Analyse de l'eau du Hamma

Il est à noter que l'eau du Hamma est bien minéralisée et naturellement riche en calcium et magnésium. Donc, elle est de dureté très élevée.

#### 2.1.2. Essais d'adoucissement chimique des eaux

Le dispositif expérimental est décrit sur la Figure 1. Il s'agit de béciers austénitiques d'acier inoxydable avec des couvercles. L'agitation est assurée par un barreau aimanté tournant à 600 tr/min sur des agitateurs magnétiques.

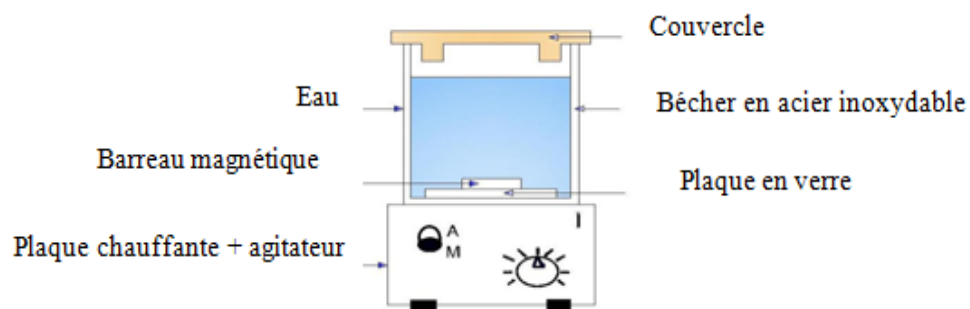
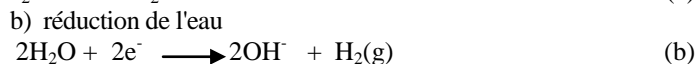


Figure 1 : Dispositif utilisé

Colloque International « Journées des Géosciences de l'Environnement »  
Oujda, 21, 22 et 23 Juin 2011 « Environnement et développement durable ».

2.1.3. Essai d'entartrage accéléré

L'électrodéposition consiste à déposer du carbonate de calcium à la surface d'une électrode inattaquable d'or ou de platine portée à un potentiel suffisamment réducteur auquel on observe les réactions électrochimiques suivantes :



Le dépôt de carbonate de calcium recouvre peu à peu la surface métallique et ce dépôt isole progressivement le métal de l'eau Figure (2).

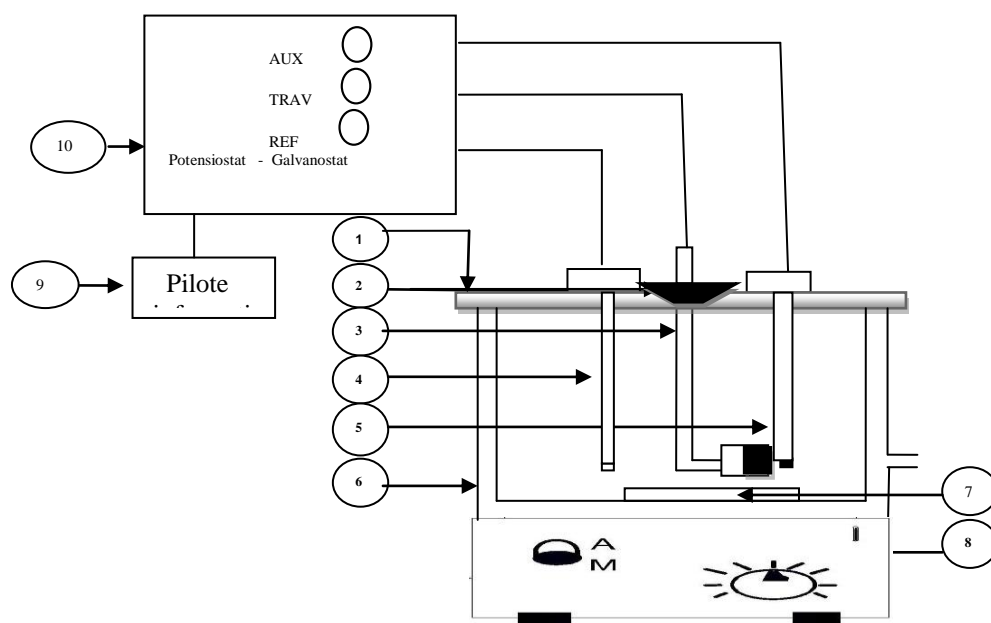


Figure 2: Dispositif expérimental utilisé pour les essais d'entartrage accéléré

- 1- Couvercle porte-électrode
- 2- Bouchon porte-échantillon
- 3- Electrode de travail: pastille en acier XC10 (diamètre 11,3 mm) noyée dans une résine chimiquement inerte.
- 4- Electrode de référence au calomel, saturée en KCl
- 5- Electrode de platine
- 6- Cellule thermostatée en verre de contenance 500ml
- 7- Barreau aimanté
- 8- Agitateur magnétique
- 9- Pilote informatisé muni d'un logiciel
- 10- Potentiostat-galvanostat

### 3. Résultats et discussion:

#### 3.1. Adoucissement des eaux dures par voie chimique

##### 3.1.1. Adoucissement de l'eau au carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) :

Les résultats d'analyse chimique des essais réalisés sur l'eau du Hamma en présence de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sont donnés dans le Tableau 2.

Nous avons remarqué que l'abattement du calcium augmente avec l'ajout du carbonate de sodium. Par contre, la concentration de Mg reste relativement constante.

Colloque International « Journées des Géosciences de l'Environnement »  
Oujda, 21, 22 et 23 Juin 2011 « Environnement et développement durable ».

		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/L)									
28/03/2010	Hamma	0.04	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.3	0.4
pH	7.20	7.21	7.21	7.23	7.22	7.24	7.23	7.25	7.30	7.34	7.50
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	512	511	510	509	508	507	506	504	500	495	492
Dureté (mg/L)	570	555	538	530	508	504	498	420	393	382	327
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	156	152	146	144	136	134	132	101	91	86	66
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	43.2	42.0	41.47	40.8	40.5	40.6	40.4	40.2	40.0	39.6	38.9

**Tableau 2** : Adoucissement des eaux du Hamma par Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> à 30°C et pour 1 heure d'agitation

3.1.2. Adoucissement de l'eau au dihydrogénophosphate de potassium (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) :

Avec le procédé utilisant l'ajout de l'inhibiteur chimique KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> sur les eaux dures du Hamma. Les résultats sont rassemblés dans le Tableau 3.

		KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (mg/L)									
29/03/2010	Hamma	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.5	2	2.5
pH	7.2	7.2	7.3	7.2	7.4	7.4	7.5	7.5	7.5	7.5	7.6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	512	429	427	419	415	415	415	415	413	409	392
Dureté (mg/L)	570	550	544	544	532	516	506	499	498	470	358
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	156	150	148	148	145	140	136	133	133	127	80
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	43.2	42.0	41.8	42.0	40.8	40.0	40.0	40.0	40.0	39.0	38.0

**Tableau 3** : Adoucissement des eaux du Hamma par addition de (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) à 30°C et pour 3 heures d'agitation

Il est à constater un abattement de la dureté temporaire calcique. Par contre, il est à observer un faible abattement du Magnésium. Et cela, peut être représenté par les réactions :



3.2. Evaluation du taux d'abattement des eaux du Hamma

On peut déterminer l'efficacité de l'adoucissement grâce au calcul du taux d'abattement des (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) qui est donné par la relation :

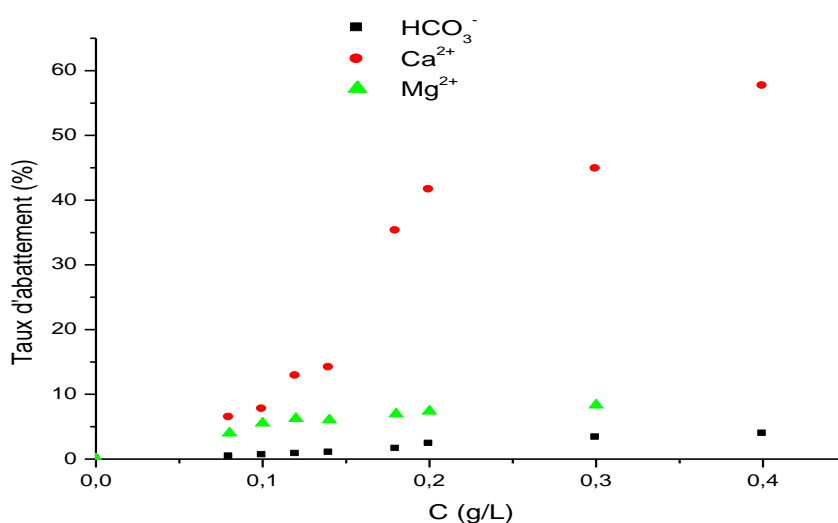
$$\text{Taux d'abattement (\%)} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

C<sub>i</sub> : concentration initiale, C<sub>f</sub> : concentration finale.

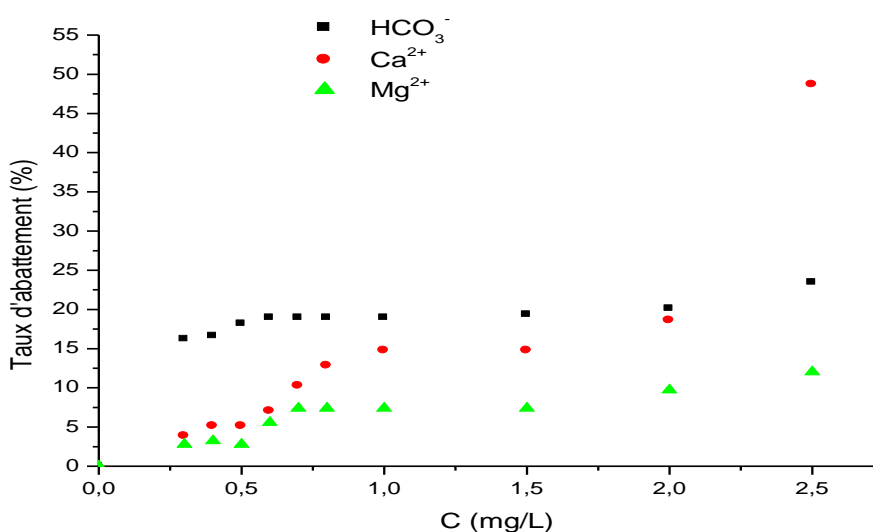
Les essais menés en présence de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> pour les eaux dures du Hamma révèlent une évolution du taux d'abattement des (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup>) en fonction de la quantité ajoutée de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Figure (3).

Lors des essais réalisés en présence de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, nous avons noté que le taux d'abattement pour (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) augmente aussi avec l'ajout de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Figure (4).

Colloque International « Journées des Géosciences de l'Environnement »  
 Oujda, 21, 22 et 23 Juin 2011 « Environnement et développement durable ».



**Figure 3 :** Evolution du taux d'abattement des ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) pour Hamma en fonction de la concentration de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  à  $30^\circ\text{C}$  et pour 1 heure d'agitation



**Figure 4 :** Evolution du taux d'abattement des ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) pour Hamma en fonction de la concentration de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  à  $30^\circ\text{C}$  et pour 3 heures d'agitation

### 3.3. Essais d'entartrage accéléré

Parmi les méthodes utilisées pour évaluer le pouvoir entartrant des eaux du Hamma. Nous avons utilisé la chronoampérométrie à potentiel imposé à  $-1\text{V}$ .

Dans cette technique, l'eau est caractérisée par un temps d'entartrage  $t_E$ . Plus  $t_E$  est petit plus l'eau est entartrante. En outre, plus le courant résiduel ( $i_{\text{res}}$ ) est faible plus le tartre sera compact et adhérent.

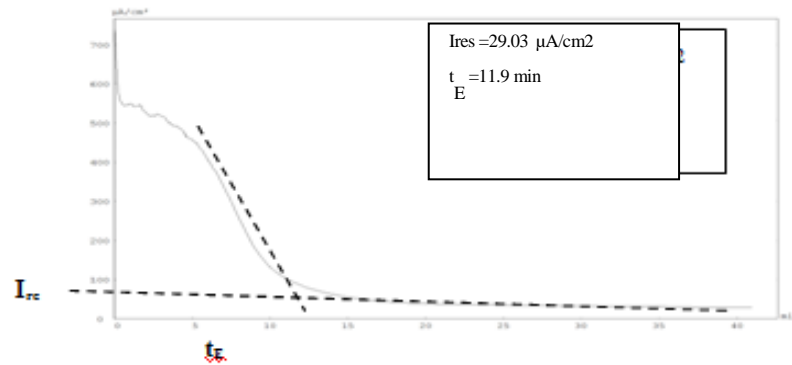
#### 3.3.1. Essais d'entartrage accéléré sur l'eau brute du Hamma

Les essais sur les eaux du Hamma ont été menés à  $30^\circ\text{C}$  sur un volume de 500ml (Figure,5)

Il est à observer pour l'eau brute du Hamma que l'allure de la courbe correspond à une eau entartrante avec  $t_E = 11,9$  min et un courant résiduel de  $29,03 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

Ce qui correspond à un précipité compact de  $\text{CaCO}_3$ .

Colloque International « Journées des Géosciences de l'Environnement »  
 Oujda, 21, 22 et 23 Juin 2011 « Environnement et développement durable ».

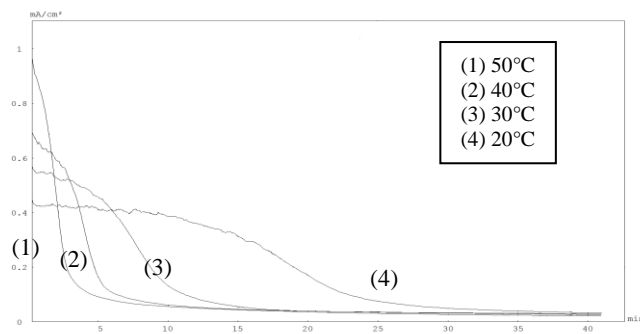


**Figure 5** : Courbe chronoampérométrique de l'eau brute du Hamma à 30°C

### 3.3.2. Influence de la température sur les eaux du Hamma

Pour vérifier l'influence de la température sur les eaux du Hamma. Plusieurs essais ont été effectués en considérant des températures croissantes de (20-50)°C (Figure,6).

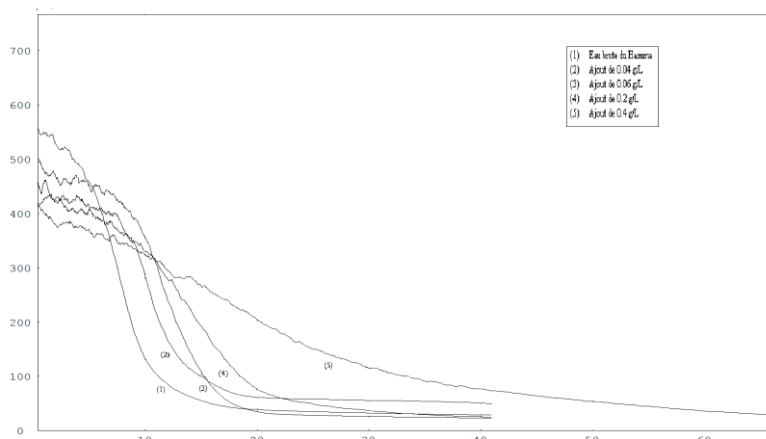
En plus, il est à noter lorsque la température augmente le temps d'entartrage devient plus court et l'eau devient plus entartrante car la réaction de réduction de l'oxygène est accélérée par une augmentation de température.



**Figure 6**: Effet de la température sur l'eau du Hamma

### 3.3.3. Inhibition de l'entartrage par Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> :

Pour les essais effectués en présence de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Les courbes chronoampérométriques obtenues pour des ajouts de concentrations croissantes de (0.04, 0.06, 0.2, 0.4, 0.5) g/L à l'eau du Hamma sont représentées Figure (7).



**Figure7**: Courbes chronoampérométriques du Hamma pour un ajout de différentes concentrations de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> à 30°C.

Le temps d'entartrage devient pratiquement infini pour 0.5 g/L d'ajout de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> pour Hamma. Voir Figure (8). Le carbonate de calcium n'adhère plus à l'électrode.

Colloque International « Journées des Géosciences de l'Environnement »  
Oujda, 21, 22 et 23 Juin 2011 « Environnement et développement durable ».

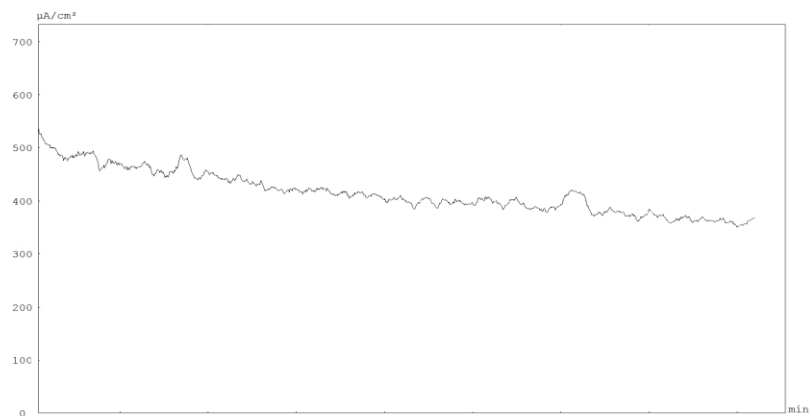


Figure 8 : Courbe chronoampérométrique du Hamma pour un ajout de 0.5 g/L de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  à  $30^\circ\text{C}$

### 3.3.4. Inhibition de l'entartrage par $\text{KH}_2\text{PO}_4$ :

L'examen des courbes chronoampérométriques montre qu'en présence de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  le temps d'entartrage croît avec la concentration et le courant diminue pour tendre vers le courant résiduel Figure (9).

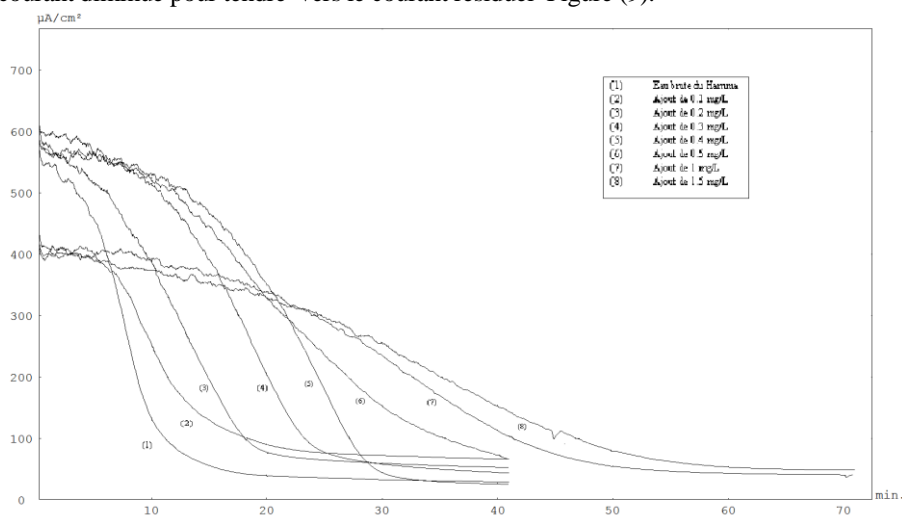


Figure 9 : Courbes chronoampérométriques du Hamma pour un ajout de différentes concentrations de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  à  $30^\circ\text{C}$ .

La forme de la courbe chronoampérométrique devient une droite. Le courant résiduel augmente avec la concentration de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  car il n'y a plus entartrage (Figure, 10).

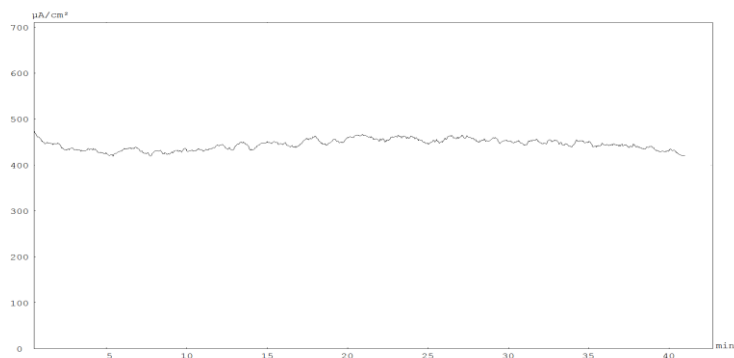


Figure 10 : Courbe chronoampérométrique du Hamma pour un ajout de 2 mg/L de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  à  $30^\circ\text{C}$ .

## Conclusion :

L'utilisation de la méthode chronoampérométrique (entartrage accéléré) a révélé que l'eau du Hamma présente un pouvoir entartrant élevé et l'ajout des inhibiteurs ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) à différentes concentrations peut apporter un adoucissement efficace à ces eaux, ce qui va avoir pour conséquence, l'augmentation notable du temps d'entartrage pour ces eaux.

Les dépôts de tartre dans les installations industrielles et domestiques où circulent des eaux naturelles ou de distribution entraînent de nombreux problèmes d'ordre techniques et économiques.

Au cours de notre travail, des méthodes électrochimiques et chimiques ont été réalisées à l'échelle du laboratoire pour évaluer et inhiber le pouvoir entartrant des eaux dures du Hamma.

Les résultats d'analyse chimique ont montré que les eaux souterraines Hamma sont très dures, avec une dureté de 57°F.

Il est à observer que les essais chronoampérométriques (entartrage accéléré) appliqués aux eaux dures du Hamma ont été réalisés à 30 °C.

L'allure de la courbe pour Hamma correspond à une eau entartrante avec  $t_E = 11.9$  min et un courant résiduel de  $29.03 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , provoquant la formation d'un précipité compact et adhérent de  $\text{CaCO}_3$ .

Il est à constater que le temps d'entartrage croît avec la concentration des inhibiteurs.

En outre, l'effet inhibiteur de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  se manifeste à partir de 0.1 mg/L.

Par contre, pour l'utilisation de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , l'effet est remarquable à partir de 0.04g/L.

Nous avons remarqué que l'inhibition totale de l'entartrage est obtenue pour un ajout de 2 mg/L de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ou pour un ajout de 0.5 g/L de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Ceci entraîne un temps d'entartrage ( $t_E$ ) infini et le carbonate de calcium n'adhère plus à l'électrode de travail.

## Références

1. Rosset R., les procédés physiques antitartre : mythe ou réalité ? L'actualité chimique, Janvier – Février 1992 ; 125-148.
2. Roques H, Fondements théoriques du traitement chimique des eaux, Vol I, Techniques et documentation LAVOISIER, PARIS 1990 519p.
3. Rosset R, Mercier D, Douville S; La mesure du pouvoir entartrant des eaux par des méthodes électrochimiques et les procédés antitartre. Ann, Fais, Chim, Janvier-Fevrier-Mars 1997, 90 N°938, 41-65.
4. Ledion J, Leroy P, Labbe J-P; Détermination du caractère incrustant d'une eau par un essai d'entartrage accéléré. TSM L'eau, Juillet–Août 1985 ; 323 -328.