

ETUDE DE L'EVOLUTION DE L'ENTARTRAGE DANS LES CONDUITES DE DISTRIBUTION D'EAU DE LA VALLEE DE L'OUED R'HIR

Tahar FARTAS (*), Djamel BOUTAOUTAOU(*) et Houari ZEGGANE

* Laboratoire Exploitation et Valorisation des Ressources Naturelles en
Zones Arides.

Université Kasdi Merbah, BP 511 Ouargla 30.000, Algérie.

E-mail : ffartass@yahoo.fr

Résumé

La qualité physico-chimique de l'eau a une influence considérable sur la durée de vie des ouvrages et les équipements hydrauliques. L'inconvénient majeur de l'utilisation de ces eaux chaudes est la précipitation du tartre dans les canalisations de distribution et les ouvrages de régulation et de refroidissement. D'ailleurs, à l'état actuel des choses, la majorité des refroidisseurs se trouvent en arrêt et des dizaines de milliers de mètres de conduites sont obstruées. Ces dépôts peuvent avoir des conséquences préjudiciables et irréversibles sur les ouvrages et conduisent inévitablement à leur détérioration.

L'analyse de l'évolution des dépôts des différentes conduites nous a permis d'établir une expression mathématique par laquelle on a déterminé une relation donnant la vitesse moyenne d'entartrage. Sur la base du résultat obtenu on peut dire en première conclusion que cette vitesse est importante pour les diamètres inférieurs à 400 mm par contre elle est relativement faible pour les diamètres supérieurs.

Mots clés : eau, nappe albiennaise, entartrage, Oued R'hir

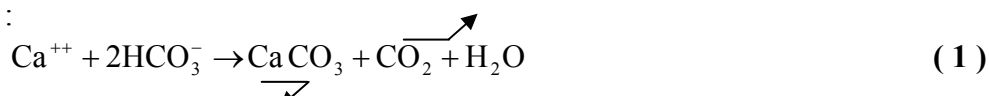
INTRODUCTION

La qualité physico-chimique de l'eau a une influence considérable sur la durée de vie des ouvrages et les équipements hydrauliques. L'inconvénient majeur de l'utilisation de ces eaux chaudes est la précipitation du tartre dans les canalisations de distribution et les ouvrages de régulation et de refroidissement. D'ailleurs, à l'état actuel des choses, la majorité des refroidisseurs se trouvent en arrêt et des dizaines de milliers de mètres de conduites sont obstruées. Ces dépôts peuvent avoir des conséquences préjudiciables et irréversibles sur les ouvrages et conduisent inévitablement à leur détérioration.

L'analyse de l'évolution des dépôts des différentes conduites nous a permis d'établir une expression mathématique par laquelle on a déterminé une relation donnant la vitesse moyenne d'entartrage. Sur la base du résultat obtenu on peut dire en première conclusion que cette vitesse est importante pour les diamètres inférieurs à 400 mm par contre elle est relativement faible pour les diamètres supérieurs.

I-2 Problèmes d'exploitation des eaux albiennes et état des installations hydrauliques

L'eau émergente des forages sous pression est transportée en haut de la tour de refroidissement mais du fait de la baisse brutale de la pression en haut de la tour et de la division de l'eau en gouttelettes fines à son entrée dans la tour, le dioxyde de carbone libre se dégage dans l'atmosphère, perturbe l'équilibre carbonique provoquant ainsi la précipitation du carbonate de calcium selon la réaction :



Un des principaux problèmes liés à l'exploitation et la gestion des eaux géothermales de la vallée de l'Oued Rhir est la précipitation du tartre au niveau des installations de refroidissement, des conduites des réseaux de distribution, des équipements et des accessoires hydrauliques, ce qui a généré de sérieux problèmes aux services techniques concernés.

La masse de tartre déposée annuellement est évaluée en moyenne à 40-50 tonnes par forage [1]. Les surcoûts de rénovation et de réfection des équipements touchés par ce phénomène nécessitent annuellement une enveloppe financière estimée à 10 milliards de centimes.

1-3- Impact des incrustations sur les installations et les équipements hydrauliques

En effet, ce phénomène affecte l'ensemble du système d'alimentation où des dommages considérables ont été constatés notamment sur les conduites de distribution les réservoirs d'accumulation, les tours de refroidissement et la station de pompage.



a)



b)

Fig.1. a) Conduite de distribution neuve en amiante ciment de diamètre initial 500 mm
b) Entartrage de la même conduite après quatre années d'exploitation

1-4 Evolution des diamètres des canalisations au cours du temps

1-4-1 Analyse de l'évolution du dépôt de tartre dans les différentes conduites

L'analyse des résultats des différents diamètres des conduites ($\varnothing = 100...350$ mm), montrent qu'en période d'exploitation le diamètre de ces canalisations diminuent d'une manière très intense, par suite des dépôts de tartre. La représentation graphique de l'évolution du taux de réduction des différents diamètres au cours du temps est donnée en *Figure 1*

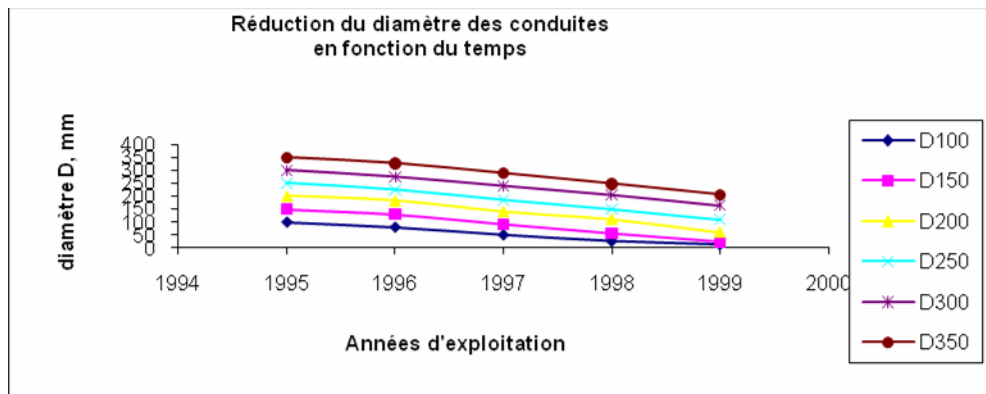


Fig.1. Représentation graphique de l'évolution des diamètres en fonction du temps d'exploitation

Le taux de bouchage dans les conduites de diamètre inférieur à 150 mm ($\varnothing \leq 150$ mm) est de l'ordre de 85 -90% ce qui fait que celles-ci ne seraient plus opérationnelles au delà de la quatrième année d'exploitation. Pour les conduites de diamètres $\varnothing = 200 - 300$ mm le taux de bouchage durant ces mêmes années varient entre 70 et 45 %. Par contre le taux de bouchage dans les diamètres égales à 300 mm se trouve en nette diminution comparativement aux autres cas et ne représente que 40% dans la conduite de diamètre $\varnothing = 350$ mm.

1-4-2 Etablissement de la formule de prévision d'entartrage

Sur la base des données d'observations de l'entartrage des conduites et quelques considérations théoriques (on considère que la couche de tartre déposée est homogènement répartie sur le périmètre de la conduite et la réduction se fait d'une manière linéaire) comme présenter en schéma de *la Figure 2*. La diminution du diamètre durant la période d'exploitation peut alors être déterminer par la relation suivante :

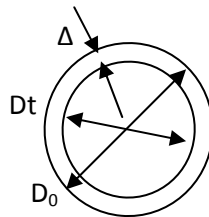


Fig.2. Schéma général de dépôt de tartre dans une conduite

$$D_t = D_0 - \Delta \quad (1)$$

Où :

D_t : le diamètre après « t » années d'exploitation en mm ;

D_0 : le diamètre initial avant exploitation en mm;

Δ : la quantité de tartre déposée après " t " années d'exploitation en mm;

$$\Delta = k \times t$$

k: l'accroissement annuelle du dépôt de tartre qui peut-être assimilée à une vitesse moyenne d'entartrage en mm/an;

t: nombre d'années d'exploitation de la conduite

Divisons les 2 membres de l'égalité (1) par D_0 , on obtient :

$$D_t/D_0 = 1 - \alpha t \quad (2)$$

$$D_t = D_0 [1 - \alpha t] \quad (3)$$

$$\alpha = k / D_0 \quad (4)$$

α – constante de vitesse

Selon les données d'observations la famille des courbes (D_t/D_0) en fonction du temps « t » *Figure 3*, est représentée par des lignes droites issues presque d'un même point ayant pour ordonné (D_t/D_0) = 1.

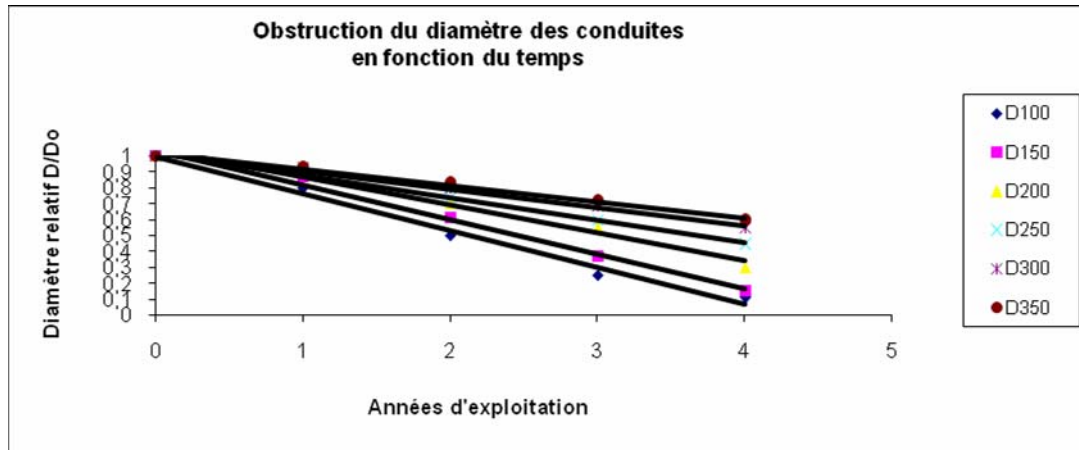


Fig.3. Obstruction du diamètre des conduites en fonction du temps

L'expression mathématique de toutes ces courbes est donnée par les relations ci-dessous:

- Pour $D_0 = 100$ mm $D_t/D_0 = 0.988 - 0.233 t$ avec $R^2 = 0.988$ **(5)**
- Pour $D_0 = 150$ mm $D_t/D_0 = 1.0387 - 0.2187 t$ avec $R^2 = 0.9917$ **(6)**
- Pour $D_0 = 200$ mm $D_t/D_0 = 1.044 - 0.176 t$ avec $R^2 = 0.9794$ **(7)**
- Pour $D_0 = 250$ mm $D_t/D_0 = 1.0208 - 0.142 t$ avec $R^2 = 0.9945$ **(8)**
- Pour $D_0 = 300$ mm $D_t/D_0 = 1.0173 - 0.114 t$ avec $R^2 = 0.9933$ **(9)**
- Pour $D_0 = 350$ mm $D_t/D_0 = 1.0217 - 0.1034 t$ avec $R^2 = 0.9888$ **(10)**

La relation (2) donnée ci-dessus est confirmée par les droites de régression représentées en *Figure 3*. Il est intéressant de comparer les valeurs calculées par la relation (3) à celles observées. Le résultat de calcul est récapitulé dans le *Tableau 2* :

Tableau.2. Les résultats de calcul de la constante de vitesse en fonction du diamètre initial

Année d'exploitation	Diamètre initial	100	150	200	250	300	350
	D_0 (mm)						
	α (1/t)	0,233	0,2187	0,176	0,142	0,114	0,1034
1 ^{er} année (t=1 an)	D_t calculé (mm)	77	117	165	215	266	314
	D_t observé (mm)	80	130	182	225	275	328
2 ^{ème} année (t=2 ans)	D_t calculé (mm)	53	84	130	179	232	278
	D_t observé (mm)	50	92	140	186	240	290
3 ^{ème} année (t=3 ans)	D_t calculé (mm)	30	52	94	144	197	241
	D_t observé (mm)	25	66	110	150	205	250
4 ^{ème} année (t=4 ans)	D_t calculé (mm)	7	19	59	108	163	205
	D_t observé (mm)	11	23	60	110	164	208

Comme le montre le *Tableau 2*, les valeurs calculées sont proches à celle observées et les petits écarts sont dus au remplacement des paramètres (0.988, 1.0387, 1.044, 1.0208, 1.0173 et 1.0217) dans les droites de régression par la valeur 1.

1-4-3 Prédiction de l'entartrage des conduites

La vitesse d'entartrage des conduites est un paramètre très important pour la prédiction de la réduction du diamètre des conduites pendant l'exploitation. Cette vitesse dépend de plusieurs paramètres (résidu sec, natures des conduites, caractéristiques physico - chimiques de l'eau, régime d'écoulement, débit, pression, section etc...).

La quantité réduite de données en notre possession ne nous permettent pas d'établir un modèle de simulation de la vitesse d'entartrage dans les conduites en fonction de ces paramètres. Néanmoins, une tentative de relier la vitesse d'entartrage en fonction du diamètre, paramètre très important, a été faite sur les données d'observation des quatre années en notre possession.

D'après la formule (4) la vitesse moyenne d'entartrage est égale à :

$$k = \alpha D_0 \quad \text{mm/an}$$

Les différentes valeurs de la constante de vitesse α en fonction du diamètre initial D_0 sont les suivantes:

$\alpha(1/t)$	0,233	0,2187	0,176	0.142	0.114	0,1034
D_0 (mm)	100	150	200	250	300	350

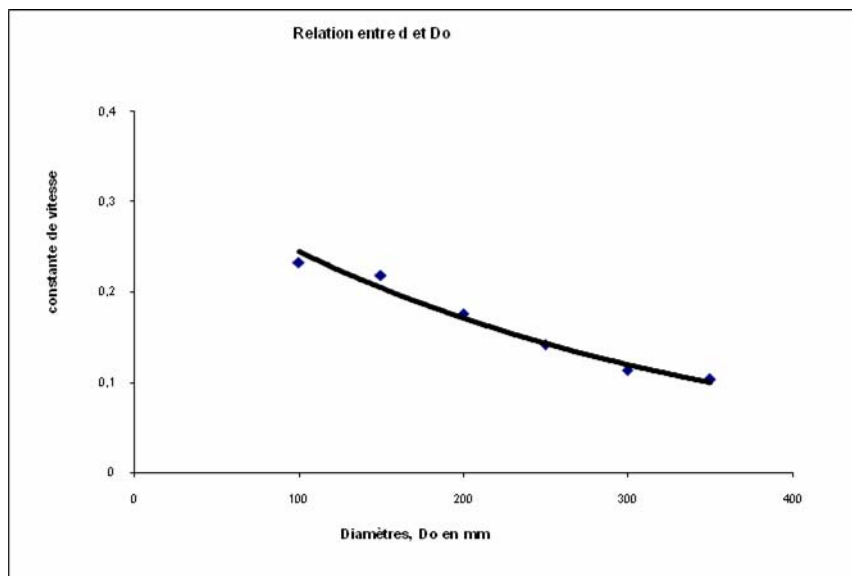


Fig.4. Représentation graphique de la relation entre α et D_0

la relation $\alpha = \text{fonct}(D_0)$ est la suivante:

$$\alpha = 0.35 \exp[-0.0036 D_0] \quad (11)$$

Le coefficient de corrélation R^2 est égal à 0.9805 ce qui prouve que le lien entre α et D_0 est très élevé. Pour prévoir l'évolution du dépôt de tartre dans les conduites à diamètre supérieur à 350 mm durant l'exploitation, nous utilisons la relation (3) :

$$D_t = D_0 [1 - \alpha t] \quad (12)$$

La constante de vitesse α est déterminée par la relation suivante:

$$\alpha = 0.35 \exp[-0.0036 D_0] \quad (11)$$

Pour le calcul du dépôt nous utilisons la formule (1)

$$\Delta = D_0 - D_t$$

Tableau .3. Estimation des dépôts dans les conduites de diamètre supérieur à 350 mm

Année d'exploitation	Diamètre initial						
	D ₀ (mm)	400	500	550	600	650	700
	α (1/t)	0,083	0,0579	0,048	0,04	0,034	0,0282
1 ^{er} année (t=1 an)	D _t calculé (mm)	367	471	523	576	628	680
	Δ (mm)	33	29	27	24	22	20
2 ^{ème} année (t=2 ans)	D _t calculé (mm)	334	442	497	552	606	661
	Δ (mm)	66	58	53	48	44	39
3 ^{ème} année (t=3 ans)	D _t calculé (mm)	300	413	470	527	584	641
	Δ (mm)	100	87	80	73	66	59
4 ^{ème} année (t=4 ans)	D _t calculé (mm)	267	384	444	503	562	621
	Δ (mm)	133	116	106	97	88	79

La vitesse moyenne d'entartrage de ces conduites est calculée par la relation (4) :

$$k = \alpha D_0 \quad \text{mm/an}$$

Tableau .4. Calcul de la vitesse moyenne d'entartrage

Diamètre D ₀ (mm)	400	500	550	600	650	700
Constante de vitesse α (1/t)	0,083	0,0579	0,048	0,04	0,034	0,0282
Vitesse d'entartrage k (mm/an)	33	29	27	24	22	20

1-5 Conclusion

L'entartrage des conduites est un phénomène assez complexe et son étude nécessite un suivi ponctuel durant plusieurs années. L'accroissement des dépôts de tarte au cours du temps dépend d'un certain nombre important de paramètres:

Les caractéristiques physico - chimiques de l'eau transportée qui ont une influence considérable sur cet accroissement.

Les paramètres hydrauliques caractérisant l'écoulement: la vitesse moyenne, la pression, la section de la canalisation, le régime d'écoulement etc....

Les caractéristiques de la paroi c'est-à-dire la nature du matériau de la conduite la nature.

Tout au moins, notre tentative d'expliquer ce phénomène en fonction du diamètre est basée sur des considérations théoriques dans laquelle on a supposé que la couche de tartre déposée est homogènement répartie sur le périmètre de la conduite et que la réduction du diamètre se fait d'une manière linéaire comme il a été confirmée par des droites de régression.

Concernant les paramètres hydrauliques, dans notre analyse, nous avons utilisé les diamètres qui sont toujours des éléments en fonction des débits et des vitesses d'écoulement dans les conduites.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BOUCHEKIMA B. Prévention et lutte contre l'entartrage par les eaux géothermales du sud Algérien. Journées Techniques. Touggourt 27-29 Avril 2002, p264.
- [6] DOB M L. L'eau de l'albien et ses problèmes techniques actuels. Journées Techniques. Touggourt 29 avril 2002.
- [10] GIROU A. Etude de la cinétique de précipitations du carbonate de calcium en phase aqueuse. Thèse de 3^{ème} cycle. Toulouse 1970, n° 1015 / 191,
- [14] KHADRAOUI A. Gestion des ressources en eau souterraines au Sahara Algérien. Journées techniques et scientifiques. El Oued 19-20 mai 2003.
- [15] LEDION J. Les dossiers de la lettre du cuivre. La lutte contre l'entartrage, n° 52a. E.N.S.A.M Paris Décembre 2000.
- [28] Wafa K., BENOMAR M et ROSSET R. L'inhibition de l'entartrage des eaux géothermales du sud Tunisien. Journal de la société chimique de Tunisie. Volume IV n°2. Tunisie 1997, pp 112-113.
- [29] Wafa K., BENOMAR M et ROSSET R. La lutte contre l'entartrage des eaux d'El Mansoura. Etude sur site. Journal de la société chimique de Tunisie. Volume IV, n°4, Décembre 1998, pp 275-287