

Effets de l'intrusion de l'eau de mer et de l'expansion de l'urbanisation sur la qualité des eaux souterraines dans la bande côtière allant de Choueifat jusqu'à Rmaileh / C. Saliby ; sous la direction de Dr M. el Moujabber. — Extrait de : Annales de recherche scientifique. — N° 5 (2004), pp. 341-355.

Bibliographie. Figures.

I. Eau salée — Empiètement — Liban (Sud). II. Puits — Liban (Sud). III. Salinité — Liban. IV. Eau souterraine — Liban.

Moujabber, M. el

PER L1049 / FA193886P

EFFETS DE L'INTRUSION DE L'EAU DE MER ET DE L'EXPANSION DE L'URBANISATION SUR LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DANS LA BANDE CÔTIÈRE ALLANT DE CHOUEIFAT JUSQU'À RMAILEH

C. SALIBY

Sous la direction de Dr M. EL MOUJABBER

Université Saint- Esprit de Kaslik

Faculté des Sciences Agronomiques

B. P. 446 Jounieh, Liban

RÉSUMÉ

Dans le but d'évaluer les effets de l'intrusion de l'eau de mer et de l'expansion urbaine sur la qualité des eaux souterraines, la bande côtière libanaise allant de Choueifat jusqu'à Rmaileh a été choisie pour étude. Six puits ont été sélectionnés. Le prélèvement de l'eau a été fait pendant 10 mois à partir de juillet 2001 jusqu'en avril 2002. L'échantillonnage a été effectué régulièrement une fois par mois. Des analyses physico-chimiques complètes ont été faites afin de mesurer l'augmentation de la salinité ainsi que ses effets sur les récoltes, aussi bien que l'évolution de nitrates dans les eaux souterraines. En outre, ces analyses seront combinées avec l'évolution des précipitations pendant cette période afin d'évaluer la vulnérabilité du système. Une analyse bactériologique a été faite pour les échantillons prélevés des puits afin de quantifier la qualité de l'eau dans cette région. Les résultats ont montré que les puits sont sujets à l'intrusion de l'eau de mer. L'eau de ces puits est, en effet, saline, ceci étant détecté par les analyses chimiques de laboratoires qui ont montré que les valeurs de la salinité des puits sont comprises entre 0.61 dS/m et 4.99 dS/m. Tandis que du point de vue microbiologique, la qualité de ces eaux est considérée en bon état. La surexploitation des puits a accentué le problème de salinisation des eaux souterraines et a eu des répercussions sur le niveau piézométrique.

Mots clés : intrusion de l'eau de mer, état microbiologique, niveau piézométrique, salinité, qualité de l'eau.

ABSTRACT

In order to assess the effects of the sea water intrusion and the urban expansion on the groundwater quality, the coastal region from Choueifat to Rmaileh had been chosen to be studied. Six wells have been selected. Water samples had been collected within 10 months from July 2001 to April 2002, on a regular basis, once a month. A complete physico-chemical analysis had been done in order to measure the increase of salinity, its effects on the harvest and the nitrate development nitrate in the underground water. Moreover, such analysis will be combined to the pattern of precipitations during this period, in order to evaluate the vulnerability of the system. A microbiological analysis had been made for the samples taken from the wells in order to characterize the water quality in that region. Results have confirmed that the wells were exposed to seawater intrusion. The water of those wells had a high salinity rate which was a fact detected by the chemical analysis undertaken at the laboratories that had shown that the values of the wells salinity ranged between 0.61 dS/m and 4.99 dS/m. However from the microbiological point of view, the quality of this water was considered to be in a good state, except that the sea water and according to the microbiological tests, contained highly concentrations of "coliformes totaux". The long pumping period had increased the problem of the underground water salinity and had affected the piezometric level.

Key words: seawater intrusion, microbiological state, piezometric level, salinity, water quality.

INTRODUCTION

Le Liban a repris sa vie normale et la reconstruction a démarré après une longue période d'instabilité. Ce parcours est caractérisé par une pression démographique et un développement économique assez rapide sans quelque fois suivre une planification bien claire, d'où les problèmes de quantité et de qualité d'eau qui commencent à apparaître (El Fadel, 2002). Cette source, limitée et aléatoire est de 8 600 Mm³/an, dont 50% sont perdues par évapotranspiration, 8% par écoulement aux pays voisins, 12% par infiltration d'eaux souterraines, laissant 2 600 Mm³ d'eau superficielle et souterraine qui sont potentiellement

disponibles, dont juste à peu près 2 000 Mm³ sont exploitables. Les demandes traditionnelles et futures en eau changent considérablement en raison des différents procédés d'évaluation, particulièrement par rapport à la croissance annuelle de la population qui est de l'ordre de 3.2%, la consommation moyenne par personne, les terres disponibles pour l'agriculture, la consommation moyenne par hectare et le potentiel futur de l'industrialisation. Un déficit d'eau est estimé dans les 10-15 années prochaines (El Fadel, 2002).

Les demandes en eau ont été traditionnellement partagées entre trois principaux secteurs, agriculture, usage domestique et industrie, qui ne consomment pas l'eau suivant le même taux. C'est l'agriculture qui constitue le secteur prépondérant d'utilisation, en effet, presque 70% de la quantité totale d'eau a été utilisée en 1993 avec une surface irriguée de 87 500 ha soit 25% de la surface utilisable (FAO, 1996). Cette source connaît plus de contraintes et de concurrence de la part des utilisateurs et aussi certaines détériorations de sa qualité par les différentes sources de pollution. Ainsi, pour les eaux usées domestiques, la mauvaise régulation de la disposition des eaux d'égouts et de leurs réseaux est insatisfaisante ; l'utilisation excessive des ressources d'eaux souterraines pour l'approvisionnement domestique cause une contamination bactérienne des eaux de surface et souterraines. Cette utilisation excessive induit à des problèmes de santé et une intrusion d'eau salée dans les couches des aquifères côtiers. A ce problème, s'ajoutent les eaux usées industrielles, les effluents industriels contenant, (suivant le type d'industrie) des substances biodégradables qui peuvent être nocives ou toxiques, des eaux à charge minérale, à charge organique, des eaux toxiques provenant des industries chimiques causant une pollution momentanée ou permanente des eaux.

En outre, la mauvaise gestion de l'eau en agriculture, suite à l'absence des réseaux collectifs d'irrigation, mène l'agriculteur à l'utilisation de sa propre source d'eau principalement basée sur l'exploitation des nappes souterraines par l'intermédiaire des puits artésiens sans aucune restriction. Ainsi, entre 1992 et 1995, plus de 2000 puits ont été ajoutés à un total de 10000 puits surtout dans la région côtière sud du Mont Liban, au nord et dans la Békaa centrale (FAO, 1996). Ce puisement anarchique des puits a induit une pollution des nappes phréatiques par l'eau salée et une augmentation des valeurs de la salinité du sol (El Moujabber et Bou Samra, 2002; Atallah *et al.*, 1997). L'objectif de cette étude est de suivre l'évolution spatio-temporelle de la qualité de l'eau souterraine dans cette région. De plus, il s'agit de quantifier la pollution ou la contamination de ces eaux utilisées à la fois en agriculture et en usage domestique.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude a été effectuée dans la région de Choueifat-Rmaileh au sud de Beyrouth. L'irrigation est principalement assurée par des puits privés. De façon générale, 6 puits ont été choisis et le prélèvement de l'eau a été fait pendant 10 mois à partir de juillet 2001 et jusqu'en avril 2002 et ce à raison d'une fois par mois. Cette période est censée couvrir les valeurs maximales et minimales de la salinité de l'eau.

1. Région d'étude

La région d'étude s'étale de Choueifat à Rmaileh au Mont Liban. L'irrigation dans cette région est assurée par des puits.

A Choueifat, Jyieh et Rmaileh, 6 puits ont été choisis, répartis comme suit :

- trois à Choueifat, identifiés par C1P, C2P, C3P
- deux à Jyieh, identifiés par J1P, J2P
- un à Rmaileh, identifié par RP

Une détermination de la position géographique de chaque puits (Tab. 1) a été faite en utilisant le GPS (Global Position System).

Tableau 1 : Position géographique des puits.

Puits	Altitude (m)	Latitude	Longitude
C₀	23	33°49'06'' North	35°30'59'' East
C₁	31	33°48'17'' North	35°29'43'' East
C₂	49	33°48'03'' North	35°29'42'' East
J₁	55	33°41'07'' North	35°25'33'' East
J₂	50	33°39'53'' North	35°25'19'' East
R	39	33°36'22'' North	35°23'28'' East

2. Mesures au niveau des puits

La même méthode de travail et le même matériel sont appliqués pour tous les puits. De même les échantillons d'eau ont reçu le même pré traitement.

Le prélèvement des échantillons d'eau s'est effectué avec une fréquence d'une fois par mois pour chaque puits. L'échantillonnage s'est fait en prélevant, 30 minutes après le démarrage de la pompe, un volume d'environ 1 litre sans oublier de remplir les pots stériles destinés pour l'étude bactériologique (200 ml dans deux pots de 100 ml). Ces échantillons prélevés sont destinés à une analyse bactériologique, DBO5 et une mesure du pH, ECw.

En outre, une mesure du niveau piézométrique a été effectuée lorsque la pompe est éteinte à l'aide d'un fil électrique lançant un signal lorsqu'il rentre en contact avec l'eau (court circuit).

3. L'analyse au laboratoire

Les analyses ont été effectuées dans les laboratoires suivants : Université Saint Esprit de Kaslik (USEK) pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques, et à la Lebanese American University (LAU) pour l'analyse du DBO5.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Evolution de la salinité et du niveau piézométrique

Dans le puits C0 (Fig. 1) la valeur de l'ECw oscille entre deux valeurs 0,86 dS/m au mois de juillet et 4,03 dS/m au mois de décembre. Ces deux valeurs correspondent à un niveau piézométrique de 33,34 et 24,86 m. Donc la relation semble inversement proportionnelle et l'ECw augmente avec la diminution du niveau piézométrique.

Pour C1 (Fig. 2) l'ECw présente un maximum au mois de mars et a une valeur de 2.98 dS/m et un minimum au mois de juillet avec une valeur de 0.75 dS/m. Tandis que le niveau piézométrique présente un pic au mois d'août avec une valeur de 22.71 m et un minimum au mois de février avec une valeur de 10.71 m. Ce qui est remarquable dans ce puits est l'élévation brusque de la nappe au mois de janvier de 8.8 m et puis sa chute de 6.49 m au mois de mars.

L'ECw du C2 (Fig. 3) présente un maximum au mois d'avril avec une valeur de 2.35 dS/m et un minimum au mois de juillet avec une valeur de 0.61

dS/m. Dans ce puits, la valeur du niveau piézométrique n'a pas remarquablement variée avec un maximum au mois d'octobre de 40.7 m et un minimum au mois de septembre de 38.4 m, donc le niveau de la nappe s'est maintenu stable.

Dans le puits J1 (Fig. 4), la valeur de l'ECw présente un pic au mois d'avril avec une valeur de 4.99 dS/m et un minimum au mois d'octobre avec une valeur de 1.8 dS/m. Les valeurs du niveau piézométrique présentent un pic au mois d'août avec une valeur de 39 m et un minimum au mois de juillet avec une valeur de 38 m donc relativement stable.

Les valeurs de l'ECw pour J2 (Fig. 5) présentent un pic au mois de d'octobre avec une valeur de 4.47 dS/m et un minimum au mois de septembre avec une valeur de 1.16 dS/m. Le niveau piézométrique oscille entre deux valeurs, un maximum au mois de juillet de 23.37 m et un minimum au mois de novembre 20.8 m.

La valeur de l'ECw de R (Fig. 6) présente un pic au mois d'octobre et a une valeur de 4.6 dS/m et un minimum au mois de juillet et a une valeur de 0.65 dS/m. Le niveau piézométrique présente un maximum au mois d'avril avec une valeur de 13.7 m et un minimum au mois de novembre et a une valeur de 12 m.

2. Qualité microbiologique

La qualité microbiologique a été déterminée simultanément dans les puits et dans l'eau de mer prise juste en face du puits.

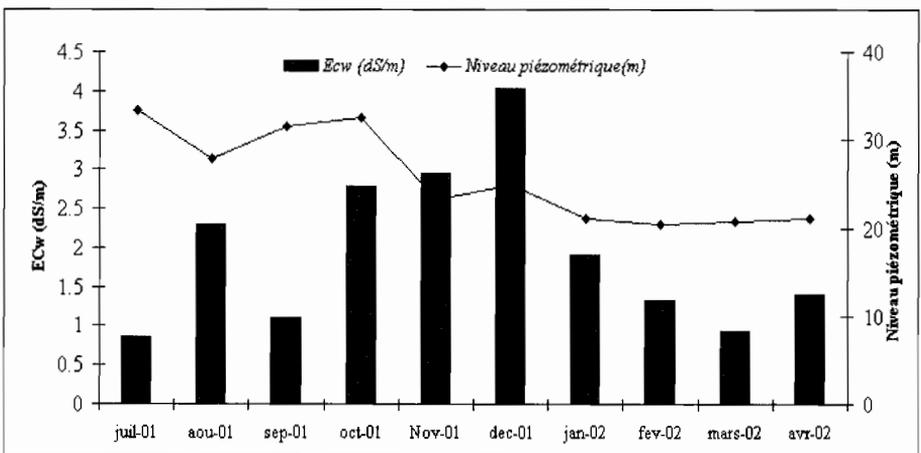


Figure 1. Evolution de la salinité et du niveau piézométrique pour C0.

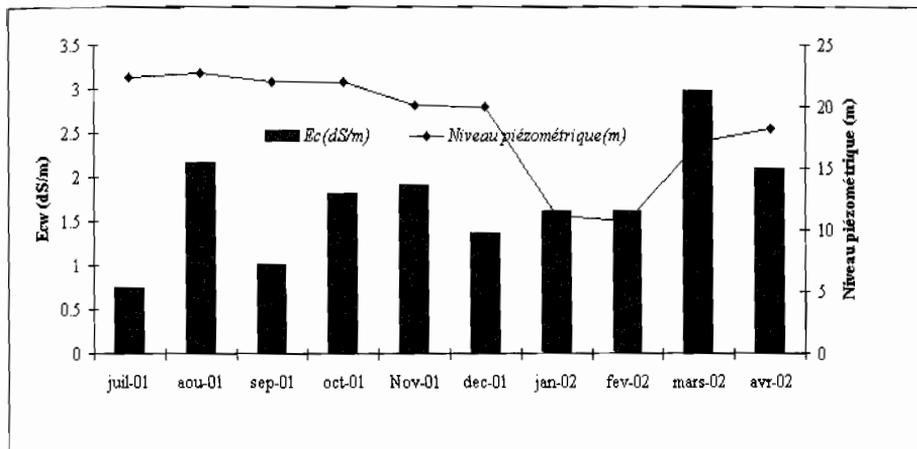


Figure 2. Evolution de la salinité et du niveau piézométrique pour C1.

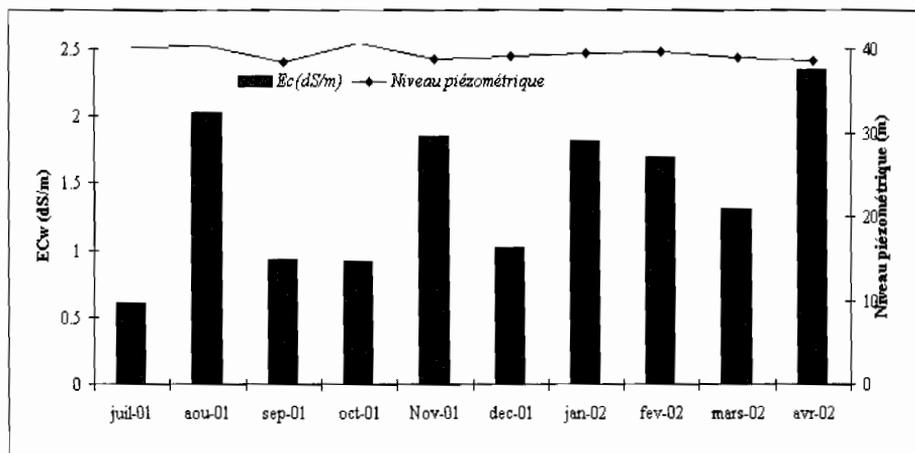


Figure 3. Evolution de la salinité et du niveau piézométrique pour C2.

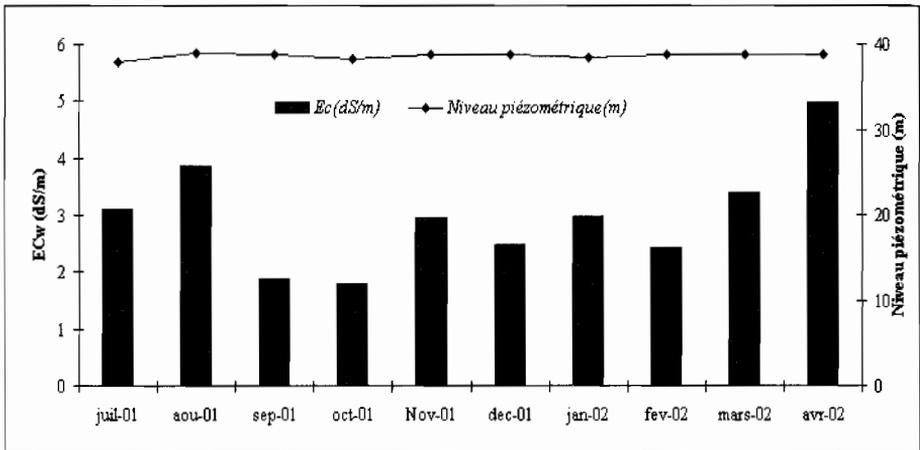


Figure 4. Evolution de la salinité et du niveau piézométrique pour J1.

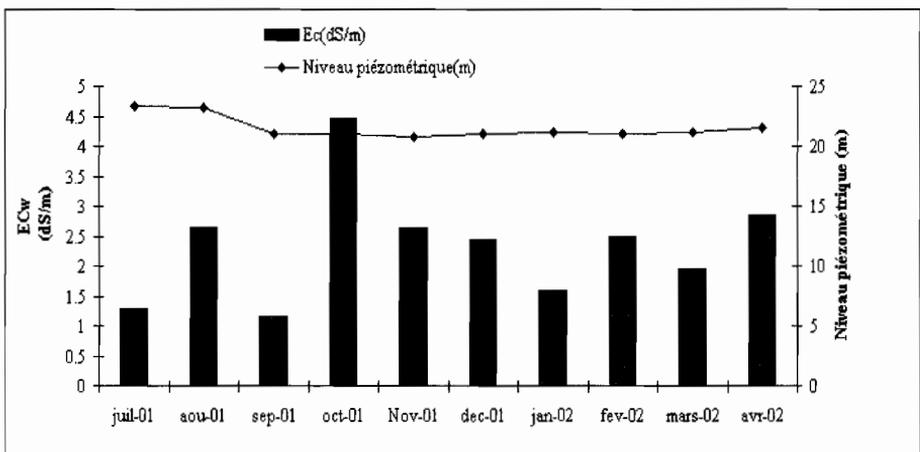


Figure 5. Evolution de la salinité et du niveau piézométrique pour J2.

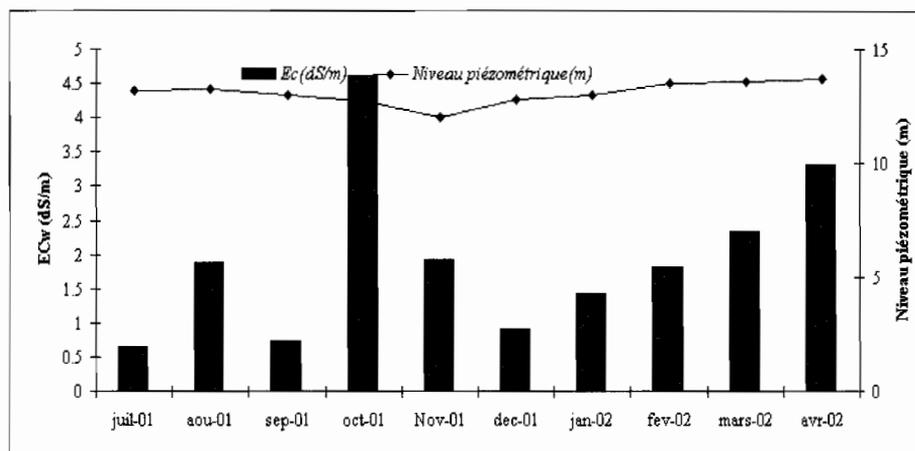


Figure 6. Evolution de la salinité et du niveau piézométrique pour R.

3. Qualité microbiologique des puits

Dans le puits C0 (Fig. 7), la contamination par les coliformes totaux par 100 ml prélevés, présente un pic de 29 au mois d'octobre, une valeur de 20 au mois de novembre, 4 au mois de février tandis que pour tous les autres mois la valeur était de 0. Il n'y a pas une présence des coliformes fécaux dans ce puits durant toute la période du prélèvement, ni d'*E. coli*.

Pour le puits C1 (Fig. 8), la présence des coliformes totaux présentent un pic de 15 au mois d'avril puis une valeur de 7 au mois de février, 4 au mois de décembre et 3 au mois d'août. Aucune présence de coliformes fécaux ni d'*E. coli* durant toute la période de prélèvement dans ce puits n'a été détectée.

Quant au puits C2 (Fig. 9), les coliformes totaux présentent un pic de 93 au mois d'octobre par 100 ml prélevés et puis une valeur de 30 au mois du novembre, des valeurs variant entre 9 et 3, 9 au mois d'avril, 4 aux mois de février et de janvier, et 3 au mois d'octobre par 100 ml prélevés et puis une valeur de 30 au mois du novembre, des valeurs variant entre 9 et 3, 9 au mois d'avril, 4 aux mois de février et de janvier, 3 au mois d'août et zéro aux mois de mars, décembre, septembre et juillet. Les *E. coli* sont absentes pendant toute la période de prélèvement.

Dans le puits J1 (Fig. 10), les coliformes présentent un pic au mois d'avril et ont une valeur de 9 par 100 ml prélevés. Aux mois d'août et de septembre, les valeurs sont de 4, tandis que dans tous les autres mois, la valeur est de 0. Les

coliformes fécaux sont présents au mois d'août et ont une valeur de 4. Aucune présence d'*E. coli* n'a été décelée.

La valeur des coliformes totaux (Fig. 11) dans le puits J2 par 100 ml prélevés oscille entre 9 et 0, 9 aux mois de septembre, janvier, février, avril, 4 au mois d'octobre, et zéro aux mois de juillet, août, novembre, décembre et mars. Les coliformes fécaux sont présents seulement au mois de février et leur valeur est de 4. *E. coli* n'est pas présente.

Les coliformes totaux dans le puits R par 100 ml d'eau prélevés (Fig. 12) ont une valeur maximale de 9 aux mois de décembre, et d'avril, 7 au mois de février, 4 au mois d'août tandis que pour les autres mois elles ont une valeur de 0. Dans ce puits les coliformes fécaux et les *E. coli* sont absents.

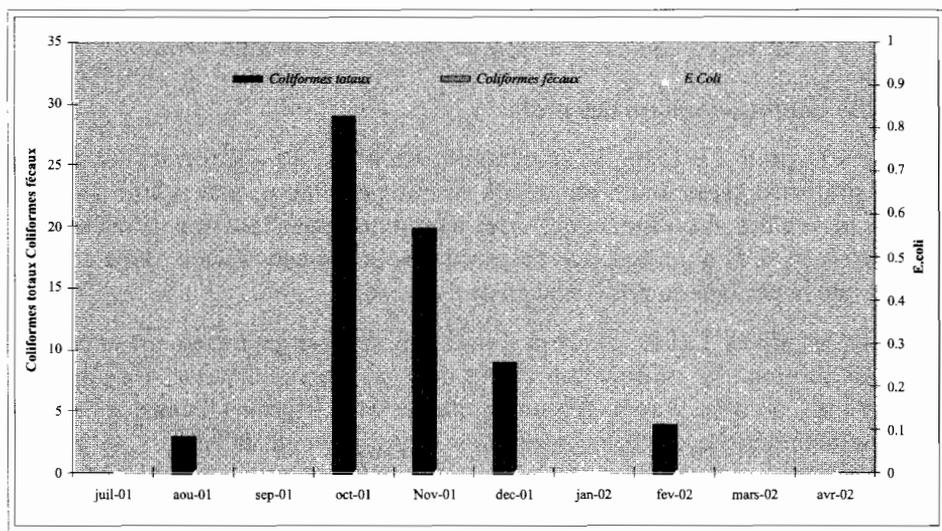


Figure 7. Résultat du nombre des coliformes totaux, fécaux, *E. coli* pour C0.

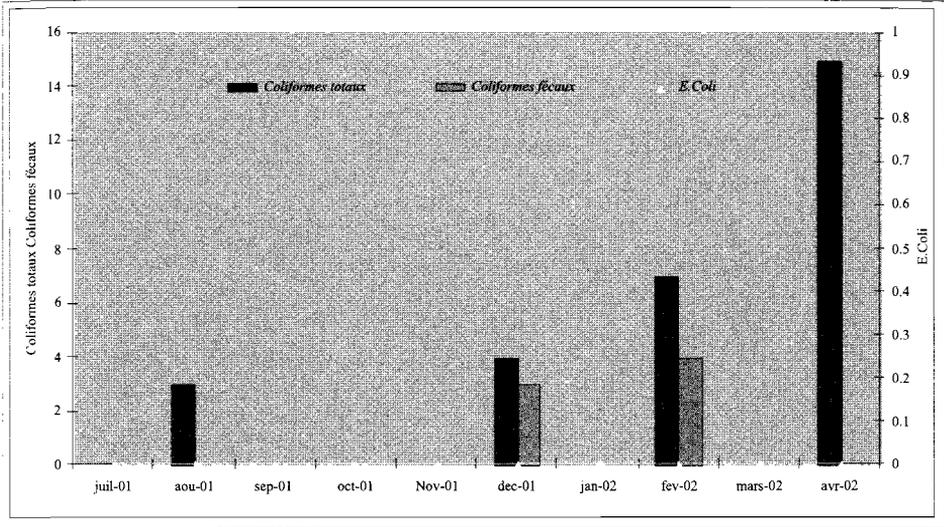


Figure 8. Résultat du nombre des coliformes totaux, fécaux, *E. Coli* pour C1.

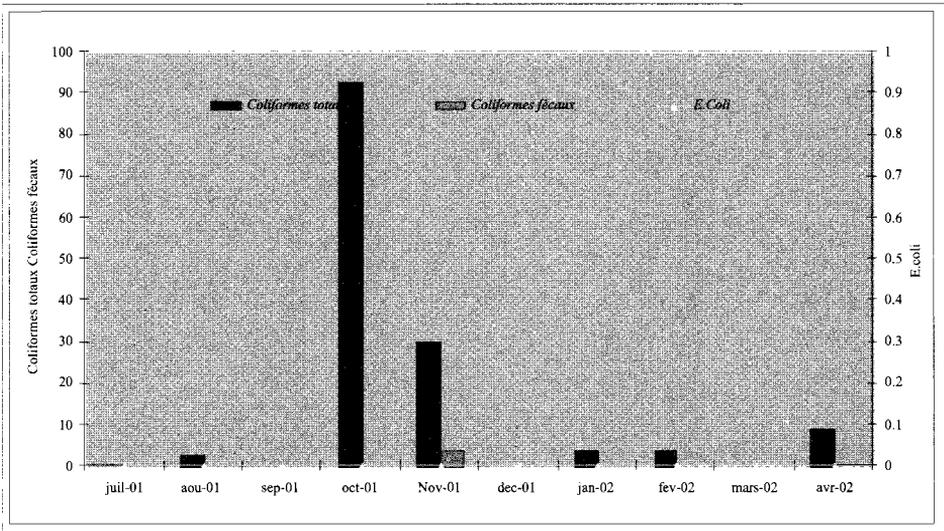


Figure 9. Résultat du nombre des coliformes totaux, fécaux, *E. Coli* pour C2.

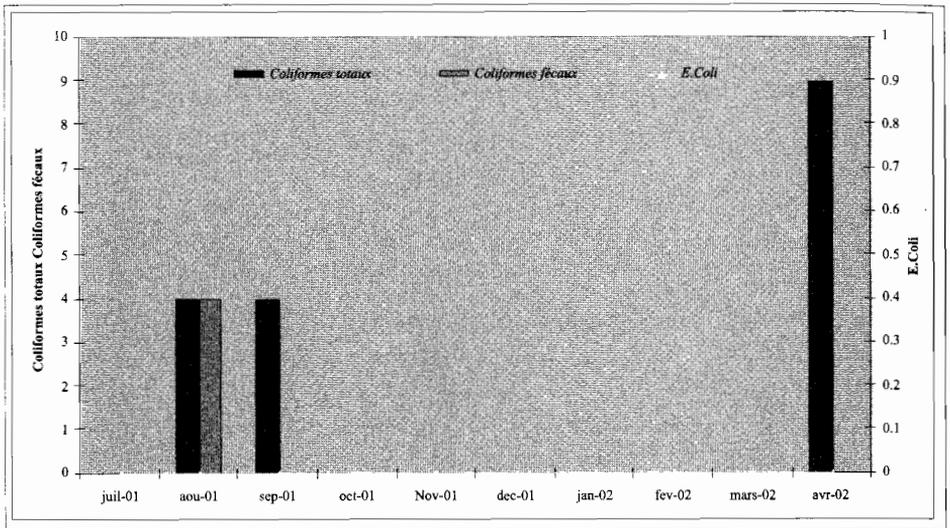


Figure 10. Résultat du nombre des coliformes totaux, fécaux, *E. Coli* pour J1.

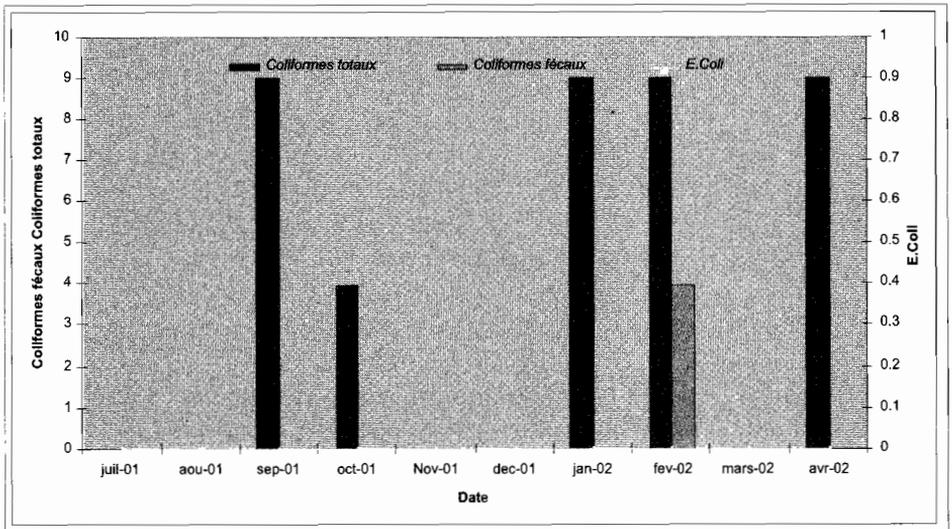


Figure 11. Résultat du nombre des coliformes totaux, fécaux, *E. Coli* pour J2.

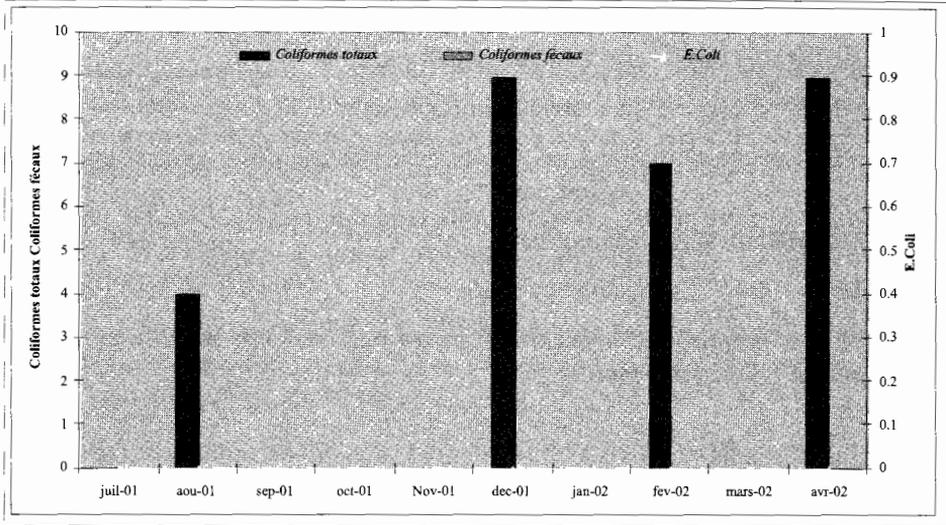


Figure 12. Résultat du nombre des coliformes totaux, fécaux, *E. Coli* pour R.

4. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

Les valeurs de DBO₅ pour tous les puits sont illustrées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Evolution de la demande biochimique en oxygène (DBO₅) des puits.

Puits	Jul01	Août 01	Sep 01	Oct 01	Nov 01	Déc 01	Jan 02	Fév 02	Mars 02	Avr 02
C ₀	0	0	0	6	4	2	0	1	0	0
C ₁	0	1	0	0	0	7	0	9	0	4
C ₂	0	0	0	5	6	0	0	0	0	0
J ₁	0	9	5	0	0	0	0	0	0	5
J ₂	0	0	5	4	0	0	5	8	0	5
R	0	4	0	0	0	5	0	4	0	5

En comparant les résultats des analyses avec les critères suivants :

$1 < \text{DBO} < 2 \text{ mg/l}$: eau de bonne qualité

$3 < \text{DBO} < 5 \text{ mg/l}$: eau moyennement bonne

$6 < \text{DBO} < 9 \text{ mg/l}$: il y a un peu de bactéries qui décomposent les matières organiques

$10 < \text{DBO} < 100$: eau polluée

$\text{DBO} > 100$: eau très polluée

On peut déduire que l'eau des puits est peu contaminée et ne présente pas généralement des soucis pour la santé.

CONCLUSION

Les résultats obtenus par cette étude ont montré que la bande côtière libanaise allant de Choueifat jusqu'à Rmaileh continue à être exposée à l'intrusion de l'eau de mer et ceci conformément aux résultats de El Moujabber et Bou Samra, (2002) et Faysal, (2001).

Ces résultats clairs et représentatifs ont montré une salinisation de l'eau souterraine par l'intrusion de l'eau de mer, grâce à la haute corrélation entre la conductibilité électrique et les ions Cl^- , K^+ , Na^+ , qui sont en principe dominants dans l'eau de mer et présents dans les eaux des puits à une quantité supérieure à la normale.

Au Liban, Choueifat est considéré parmi les plus grandes régions productrices de fraise. Cette culture est sensible à l'eau saline. En effet, une valeur de la salinité plus grande que 0.7 dS/m provoque une réduction du rendement des cultures.

L'intrusion de l'eau de mer est due aux durées excessives de pompage et à la nature pédologique et géologique de cette région.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ATTALLAH, T., DARWISH, T. and EL MOUJABBER, M., 1997. Cultural practices and soil salinity in greenhouses in Lebanon. International Conference on: Water management, salinity and pollution towards sustainable irrigation in the Mediterranean Region. Bari-Italy, 22-26 September. 115-123.
- EL FADEL, M. 2002. Water Resources In Lebanon Current Situation and Future needs. Workshop on water resources in Lebanon. Lebanese parliament/UNDP 13-02-2002.
- EL MOUJABBER, M. and BOU SAMRA, B., 2002. Assessment of Groundwater salination by Seawater Intrusion in a Typical Lebanese Horticultural Area. *Acta Horticulturae*, 573: 195-202
- FAO, 1996. Irrigation in the near east region in figures. Water reports, p 135-143.
- FAYSAL, S., 2001. Etude de l'effet de la salinisation de l'eau souterraine par l'intrusion de l'eau de mer sur la salinité du sol dans les cultures sous serre dans la zone Choueifat-Rmeylé. Mémoire de fin d'études, Faculté des Sciences Agronomiques, USEK. 90 p.