

Etat actuel de l'invasion marine dans la baie d'Alger

Djoudar /Hallal Dahbia. Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique.

B.P 31 09000 Blida, Algérie. dalydz@yahoo.fr

Toubal Ahmed Chérif .Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene.toubal@hotmail.com

Abstract

The main object of the present communication is to assess the current state of the marine invasion in the bay of Algiers. First, we will define globally the geomorphologic, the hydro-climatic, the geologic and the hydro-geologic contexts of the region of study. Then, based on geophysics, hydrodynamics and hydrochemistry criteria, we will establish relevant maps using the MapInfo tool in order to establish the extent of the studied phenomenon.

Key words : marine invasion, SIG, geophysics, hydrochemistry

Résumé

L'objet principal de cette communication est de faire un constat sur l'état actuel de l'invasion marine dans la baie d'Alger.

En premier lieu, on a défini les contextes géomorphologique, hydroclimatologique, géologique et hydrogéologique de la région d'étude.

Par la suite, en se basant sur des critères géophysique, hydrodynamique et hydrochimique, on a pu établir des cartes en utilisant l'outil SIG (logiciel MapInfo 6.5) mettant en évidence l'ampleur du phénomène étudié.

Mots clés : Invasion marine, SIG, Géophysique, hydrochimie.

1- Introduction générale

L'Algérie, à l'instar de tous les pays riverains de la méditerranée, a connu une sécheresse au cours des deux dernières décennies. Ce manque d'eau a entraîné une sollicitation très accrue des nappes. La surexploitation de ces dernières, aussi bien pour l'irrigation que pour l'alimentation en eau potable et industrielle, provoquerait un rabattement important du niveau piézométrique, une inversion du sens de l'écoulement souterrain et par conséquent des problèmes d'intrusion marine vers l'aquifère côtier surtout en saisons sèches. Compte tenu du contexte socio-économique de la région d'Alger, elle est donc très touchée par le phénomène d'intrusion marine.

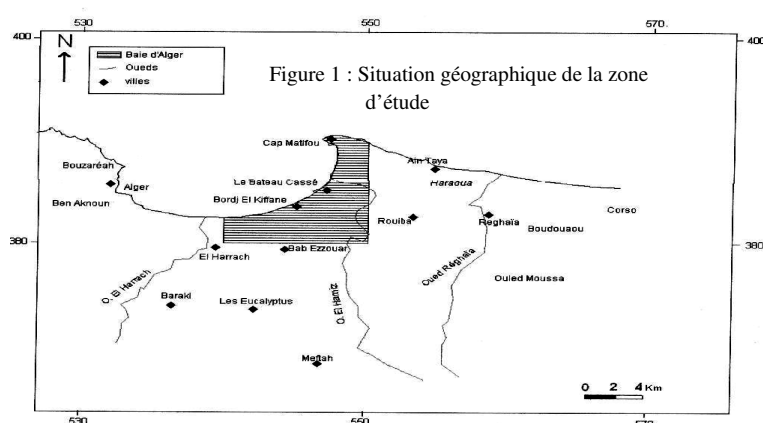
Dans la présente communication, nous allons aborder ce phénomène par différentes approches ; géophysique, hydrodynamique et Hydrochimique.

2- Etude du milieu récepteur

2-1 Aperçu géomorphologique et hydroclimatologique

La région d'étude occupe la partie septentrionale de la Mitidja Orientale, d'une superficie d'environ 1140Km². Elle est limitée par la mer méditerranée au nord, la limite géologique étanche au Nord-est, l'Oued El Harrach à l'Ouest et l'Oued El Hamiz à l'Est. Elle s'étend au Sud à quelques 15km de la côte. (Figure n°1)

L'indice de compacité de Gravellius Kc est de 1,24, il s'agit d'un bassin versant de forme allongée, indiquant un temps de concentration des eaux à l'exutoire assez lent.



Le bassin étudié présente une pente relativement faible avec un indice de pente globale $I_g = 17,79 \text{ m/Km}$, de l'ordre de 1,8%, favorisant l'infiltration au dépens du ruissellement.

Du fait de sa proximité de la mer, la zone d'étude jouit d'un climat méditerranéen, caractérisé par un été sec et chaud et un hiver doux et humide.

La température moyenne annuelle durant la période (1980-2005) a été estimée à 17,9°C.

La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 596,5mm. L'évapotranspiration

potentielle de 882,43mm est obtenue par la formule de C.W. Thornthwaite.

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, nous avons pris la moyenne arithmétique des valeurs obtenues par les méthodes de Turc, Coutagne et C.W. Thornthwaite, elle est égale à 490mm.

Le bilan hydrique de C.W Thornthwaite montre un déficit de 431mm, une lame d'eau ruisselée, donnée par la formule

de Tixeront-BerKaloff ($R = \frac{P^2}{3(ETP)^2}$), égale à 90,85mm et une lame d'eau infiltrée de l'ordre de 15,65mm.

Les résultats du bilan de la période (1980-2005) [Yahiaoui A, 2006] comparés aux résultats du bilan de la période (1971-1989) [Djouard D, Hallal D, 1993] montre une baisse de précipitations de l'ordre de 67,5mm (Tableau N°1)

Période du bilan	Précipitations (mm)	ETR (mm)	R lame d'eau ruisselée (mm)	I lame d'eau infiltrée (mm)
1971 - 1989 Djouard Hallal	664	501	109	54
1980 - 2005 Yahiaoui	596.5	490	90.85	15.65
Différence	67.5	11	18,15	38,35

Tableau n°1 : Comparaison des deux bilans hydriques de 1989 et de 2005

La plaine de la Mitidja est une région agricole très intensive de l'Algérie, en raison de sa topographie plane et de sa fertilité. Les activités agricoles les plus répandues sont l'arboriculture et les cultures maraîchères. La Mitidja couvre seulement 3% de la surface totale de l'Algérie du Nord, mais, il est estimé qu'elle représente 10% environ de ses ressources en eau de surface et près de 20% de ses ressources en eaux souterraines (Sir Mac Donald, Partners limited, 1992). Elle représente le cœur de l'agriculture régionale.

Cependant, le développement agricole de la Mitidja décrit ci-dessus est préjudicié par deux facteurs spécifiques à la région :

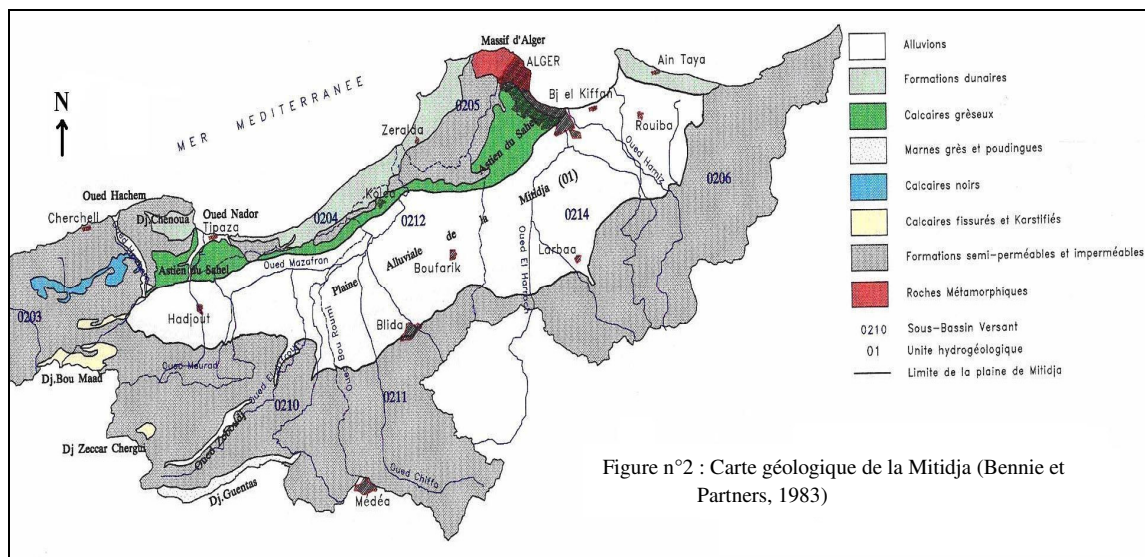
- L'urbanisation des terres agricoles. La Mitidja-Est est la plus urbanisée des trois secteurs de la plaine.
- L'insuffisance des ressources en eau. L'irrigation de la Mitidja a été basée principalement sur l'exploitation des eaux souterraines, complétée dans le périmètre du Hamiz par l'eau superficielle provenant du barrage du Hamiz et le marais de Réghaia. Cependant, l'utilisation des eaux souterraines est de plus en plus concurrencée par l'AEP, jusqu'au point où l'exploitation de la nappe de la Mitidja a effectivement atteint, sinon dépassé, la limite de son potentiel à long terme.

Les principaux oueds traversant la région d'étude sont :

- à l'Ouest, l'Oued El Harrach,
- à l'Est, l'Oued El Hamiz.

2-2 Géologie de la baie d'Alger

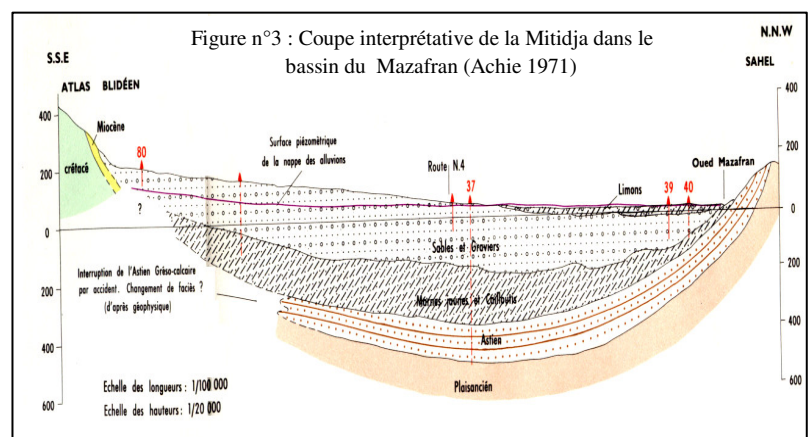
Du point de vue géologique, le secteur d'étude constitue l'extrémité orientale de la plaine de la Mitidja qui est une zone de subsidence continue (Figure n°2)



Cette dernière a donné naissance à une sédimentation active dont les éléments proviennent des reliefs de l'Atlas blidéen.

A la fin du pliocène et au quaternaire, deux réservoirs aquifères se sont individualisés. Il s'agit de l'Astien formé par des calcaires et des grès d'origine continentale. Le quaternaire alluvial constitué essentiellement de galets et de graviers.

Ces deux réservoirs sont séparés dans toute la plaine par des marnes jaunes semi-perméables de la formation d'El Harrach (Villafranchien) sauf au niveau de la poche de Rouiba où les deux aquifères sont en contact (Figure n°3). Ces deux aquifères reposent sur un substratum imperméable, généralement constitué par les marnes grises et bleues du Plaisancien.



3- Hydrogéologie de la plaine de la Mitidja

3-1 Morphologie et structure des aquifères

3-1-1 Aquifère de l'Astien

Il se trouve en charge sous les marnes jaunes semi-perméables d'El Harrach, sauf dans la partie Est où il est en contact direct avec l'aquifère de la Mitidja.

Les caractéristiques hydrodynamiques de l'Astien sont mal connues. Les estimations de la transmissivité indiquées par la société Géohydraulique (1968-1972), et le bureau d'étude Bennie & Partners (1979-1980) varient de 90 à 2000m²/jour.

Le coefficient d'emmagasinement, estimé à partir des essais de pompage de courte durée (Bennie & Partners 1979-1980) est compris entre 5.10⁻⁶ et 5.10⁻³.

3-1-2 Aquifère quaternaire

Cette unité est séparée de l'aquifère Astien par une couche épaisse de marnes jaunes, sauf à l'Est du Hamiz (« poche de Rouiba ») où ils sont en contact direct.

La nappe libre s'étend sur l'ensemble du bassin de la Mitidja (Figure n°3). Cet aquifère se situe dans des graviers et des sables plus ou moins consolidés et inter stratifiés d'argile, il est alimenté par :

- Les pluies ; l'infiltration à partir des Oueds (El Harrach et Hamiz) ;
- L'aquifère astien par drainage

3-2 Aperçu de la surexploitation des aquifères (Tableau N°2)

La prolifération des forages et de la sécheresse persistante de ces deux dernières décennies ont entraîné des rabattements importants dans certaines régions qui ont pour conséquence la diminution des débits dans les forages.

Usages	Nombre d'ouvrages inventoriés		Débits (m ³ /an)	
	Forages	Puits	Forages	Puits
AEP	578	10	144585350,68	25511,58
Irrigation	3172	157	124438806,1	2616907,8
Industrie	162	5	872532,4	17928
Non utilisé	281	/	/	/
Total par type d'ouvrage	4193	172	269896689,18	2660347,38
total	4365		272557036,56	

Tableau N° 2 : Tableau récapitulatif des points d'eau et des débits extraits réalisés en 1997
Complété en 2001/2002 dans la plaine de la Mitidja (ANRH)

4-Critère de reconnaissance du biseau salé

L'exploitation importante et le fort déficit pluviométrique enregistré depuis plus d'une décennie ont provoqué une baisse généralisée du niveau piézométrique et une avancée de l'intrusion marine.

Afin de pouvoir faire un constat sur l'état de l'invasion marine dans la baie d'Alger, nous nous sommes basé sur différentes approches :

4.1- L'inversion de l'écoulement souterrain

A partir des données des campagnes piézométriques (Annexe A) récentes au niveau de la baie d'Alger, fournies par l'ANRH, nous avons tracé les cartes piézométriques pour les différentes campagnes, mais nous avons présenté juste celle des basses eaux 2002 (Figure n°4) et hautes eaux 2005 (Figure n°5) et basses eaux 2005 (Figure n°6) car le changement de la surface piézométrique n'est pas très significatif entre 2002 et 2005, l'allure générale est presque la même.

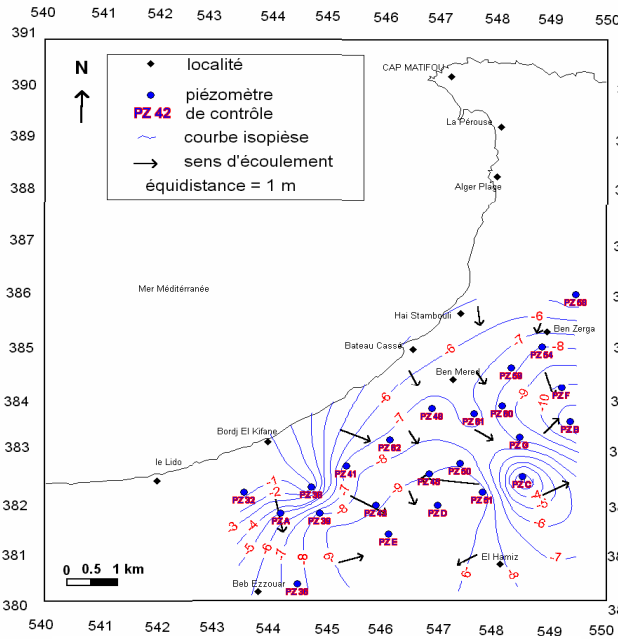


Figure N°4 : Carte piézométrique (Novembre 2002)

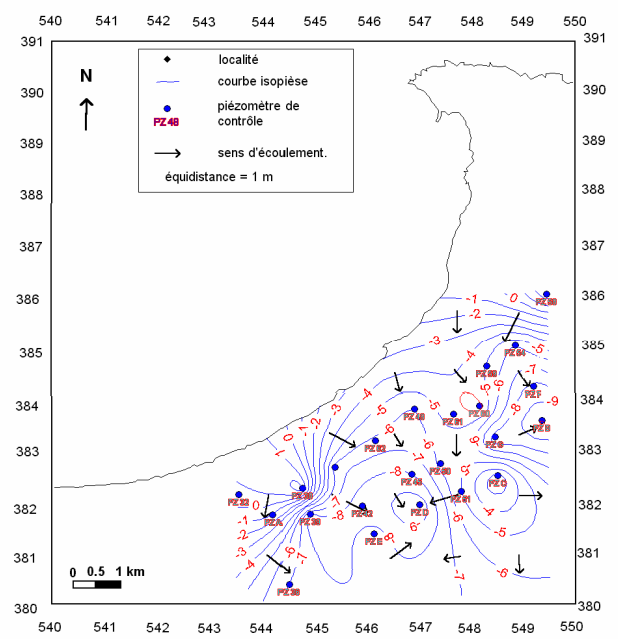


Figure N°5 : Carte piézométrique (Avril 2005)

L'examen de ces cartes montre :

- Une inversion du sens de l'écoulement. En atteste les valeurs des courbes hydro-isohypses qui augmentent du sud vers le Nord reflétant le déplacement du front Eau douce / eau salée de la mer vers le continent.
- Un dôme piézométrique au Sud-Est situé entre El Hamiz et Benzerga due au pompage intensif des champs captant (Bouriah et Hamiz). Nous remarquons que les valeurs négatives en dessous du niveau référence 0 de la mer s'étalent jusqu'à plus de 3km à l'intérieur du continent. Donc, l'ANRH doit installer un nouveau réseau de piézomètres de surveillance de la nappe parallèlement à l'ancien.
- Le cordon dunaire et le léger soulèvement du substratum semblent freiner l'extension de l'invasion marine à l'Ouest, jouant ainsi le rôle de barrière hydraulique.

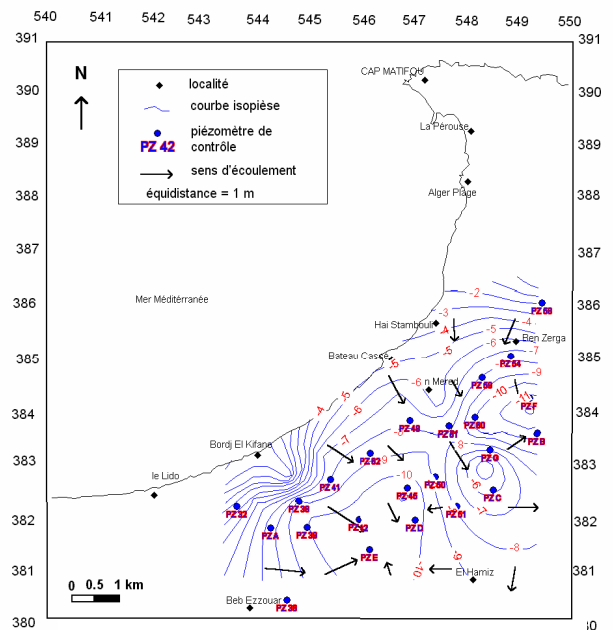


Figure N°6 : Carte piézométrique (Septembre 2005)

Figure n°6 : Carte piezometrique (septembre 2005)

4.2-Approche Hydrochimique de l'invasion marine

La caractérisation des faciès chimiques d'une eau requiert l'obtention de données physico-chimiques diverses obtenues à partir des résultats d'analyses d'échantillons prélevés dans la baie d'Alger, par les techniciens de l'ANRH.

L'évaluation chimique des eaux souterraines de la baie d'Alger s'est basée sur les données hydrochimiques de la campagne du mois de mai 2006 effectuée sur 28 points d'eau seulement, que nous avons confronté aux résultats de campagnes anciennes de 1983 et 1992.

Notons que le calcul des quantités en réaction en %, selon la classification de Stabler permet d'établir la formule caractéristique de l'eau.

Les faciès chimiques des eaux de la Baie d'Alger se rapportent aux types suivants (Annexe B) :

- Bicarbonaté calcique,
- Chloruré-calcique,
- Sulfaté-calcique,
- Chloruré-sodique,
- Bicarbonaté-magnésienne,
- Bicarbonaté- sodique

4.2.1- Résidu sec, conductivité électrique

En 1983 puis en 1992, les travaux de AC .Toubal ont permis la délimitation de deux zones contaminées par l'eau de mer.

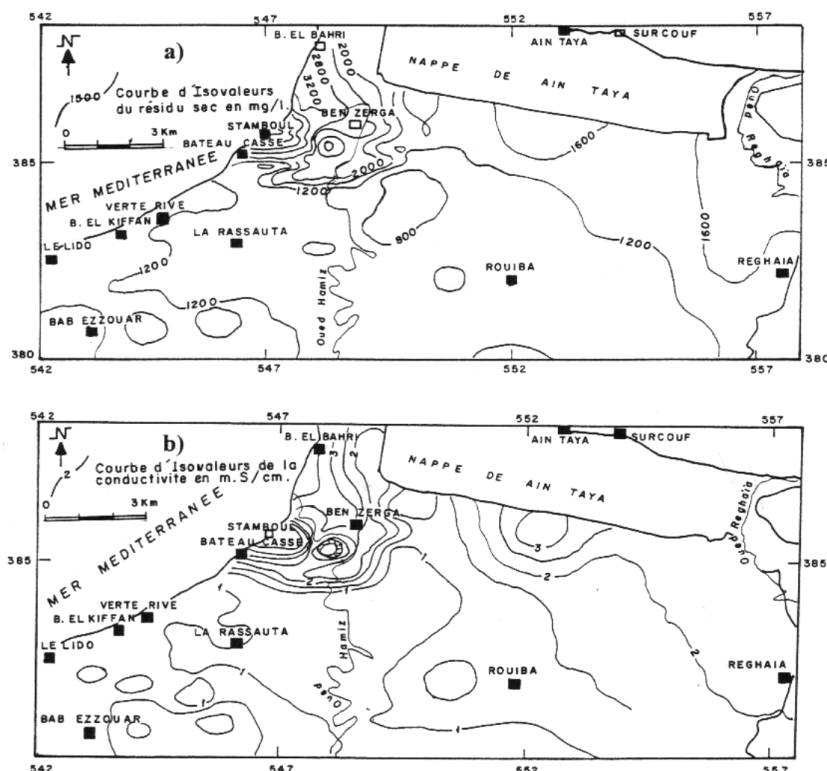


Figure N°7 : Carte de répartition a) du résidu sec (mg/l),
b) de la conductivité électrolytique [mS/cm],
nov 1983 : in Toubal 1998

- la première dans le secteur compris entre Bordj El Bahri, Ben Zerga et Bateau cassé ou le résidu sec atteint 15 g/l, alors qu'en 1983 il oscillait entre 800 et 6800 mg/l, en corrélation avec une conductivité électrique relativement élevée oscillant entre 1,5 et 6m.S/cm (Figure n°7)

- la deuxième dans la région centrale situé entre le Lido et Verte Rive, la progression du front salé en direction de Dar El Beida se confirme vue l'existence d'une anomalie à 1400 mg/l.

Au Nord Est et Sud Est de la région, les valeurs élevées sont respectivement dues à l'évaporation des eaux souterraines au niveau des marécages de Réghaia et au lessivage des grès calcaires de l'Astien au niveau du Sahel et des formations marno-calcaires de l'Atlas blidéen.

En 2006, le même schéma se dessine, les mêmes régions sont affectées par l'intrusion marine.

Du côté des champs de captage de Boureah et du Hamiz les courbes se resserrent et le résidu sec a atteint 2578mg/l ; la langue d'eau salée a progressé à l'intérieur de la terre et menace les deux champs de captage cités précédemment (Figure N°8) en corrélation avec une conductivité électrique élevée (Figure N°9) respectivement au Nord Est du côté de Benzerga, le champ de captage de Boureah et sur toute la zone comprise entre Bordj El Kiffan et Bordj El Bahri.

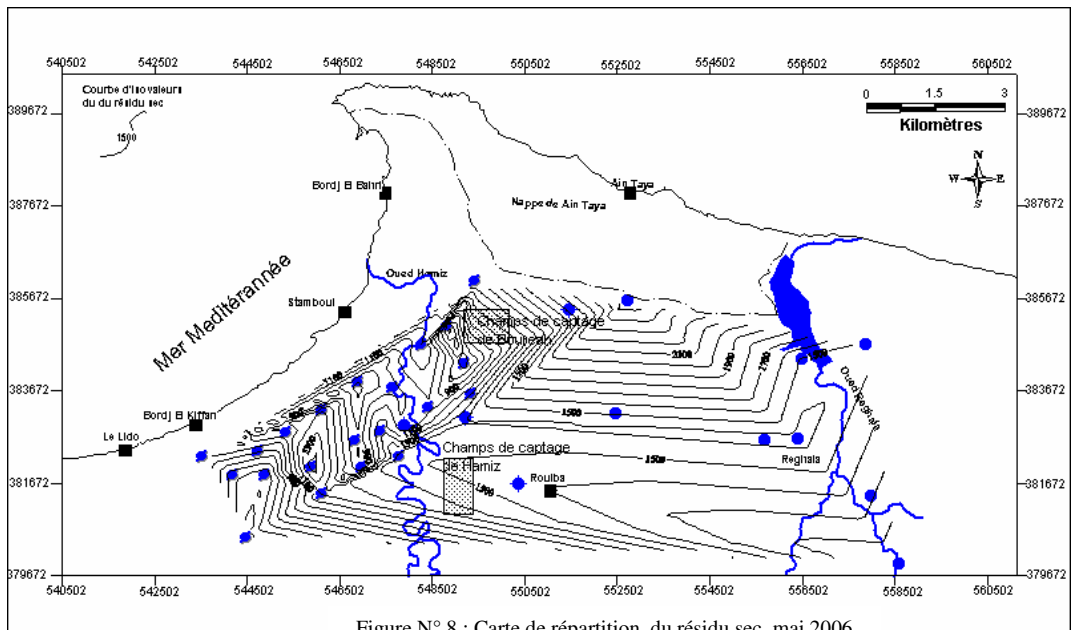


Figure N° 8 : Carte de répartition du résidu sec, mai 2006

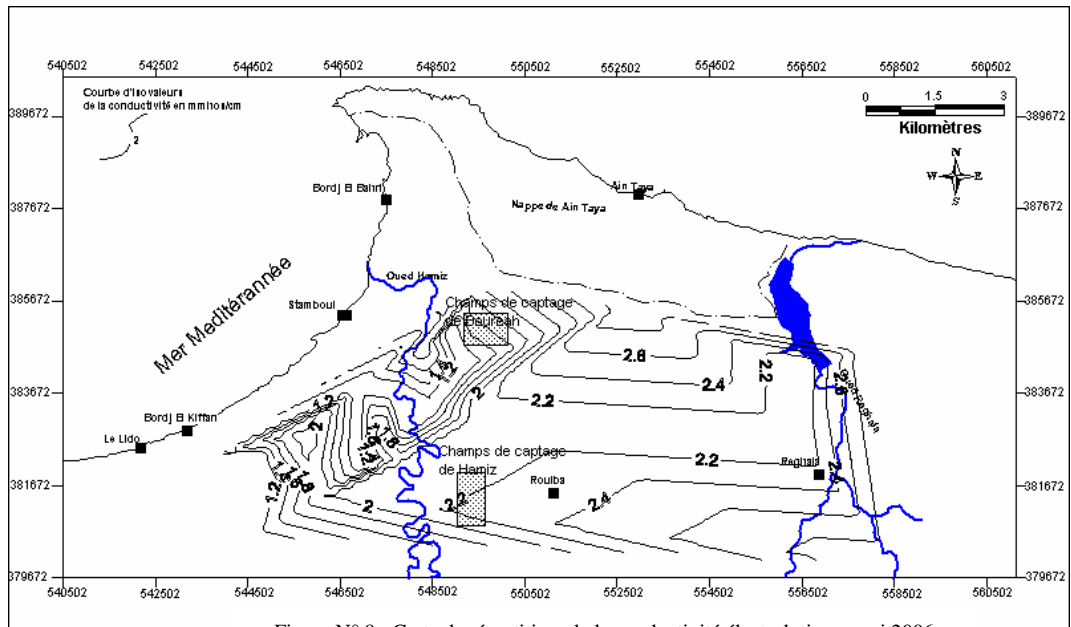


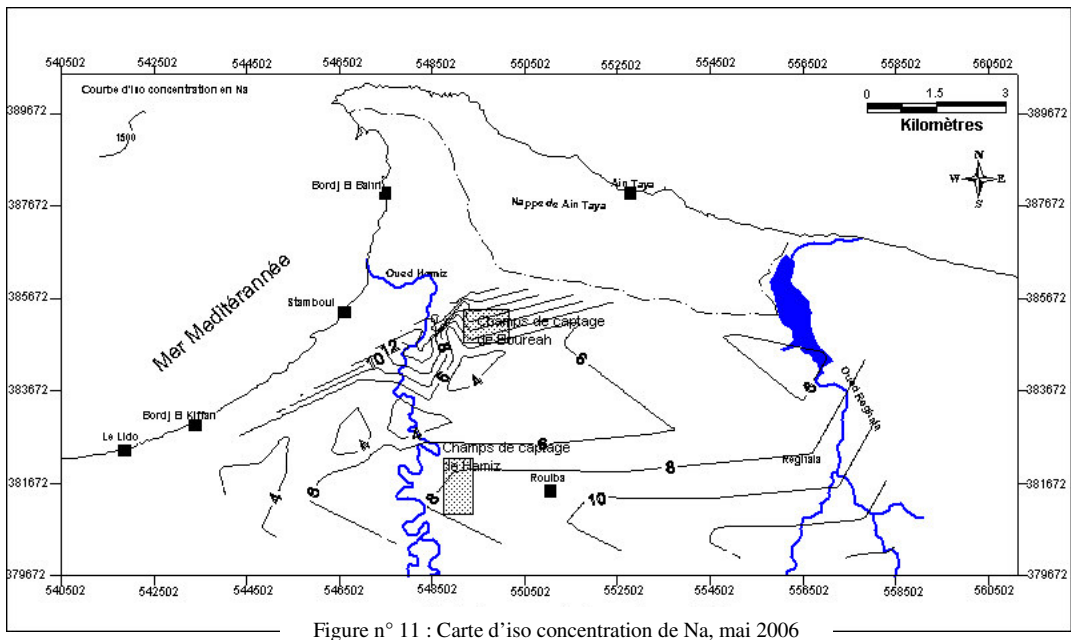
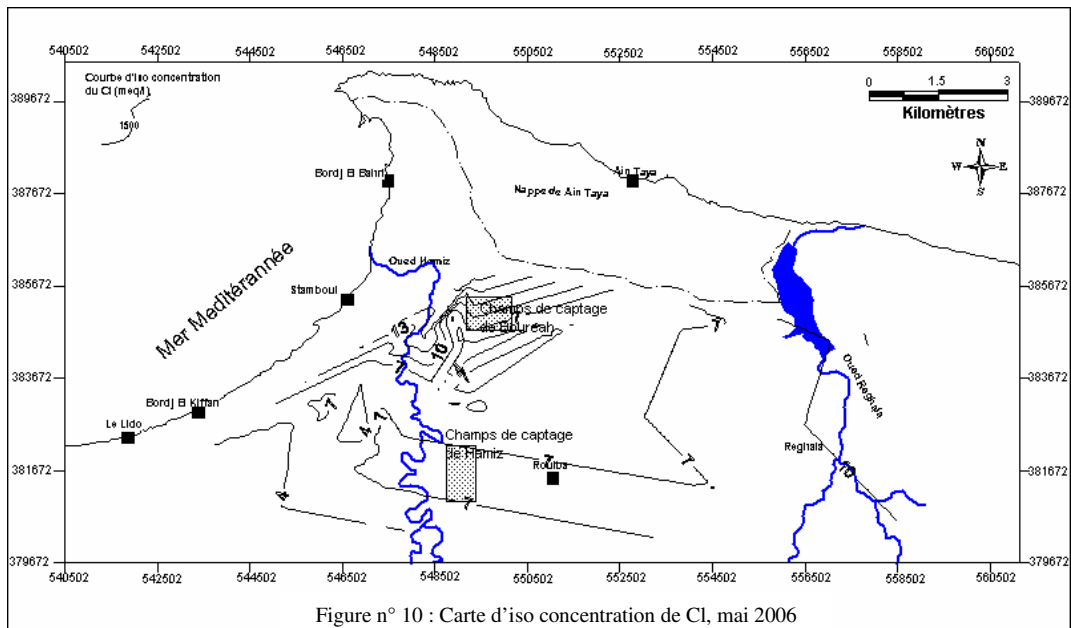
Figure N° 9 : Carte de répartition de la conductivité électrolytique, mai 2006

4.2.2- Cartes d'isoteneur en Na⁺ et Cl⁻

Ces deux cartes (Figure n°10 et n°11) révèlent les mêmes successions de zones de fortes valeurs que les cartes de conductivité et de résidu sec. Les concentrations en sodium et chlorures sont généralement comprises entre 4 et 19 meq/l.

La région de Benzerga près du champ de captage de Bouzouk accuse un accroissement des concentrations en sodium et chlorure atteignant 20meq/l.

Ces deux cartes montrent une nette contamination de presque la totalité des piézomètres de surveillance de la nappe alluviale installés par l'ANRH.



4-2.3- Rapport de Todd : $rCl/rHCO_3+rCO_3$ -

Selon Todd, ce rapport est spécifique de l'invasion marine et de la contamination, des eaux souterraines par des évaporites. La contamination est effective si le rapport est supérieur à l'unité.

La carte (Figure n°12) montre que le rapport de Todd est supérieur à l'unité au niveau de la bande littorale en allant d'Est en Ouest.

Nous constatons la progression des eaux salées sur une large bande en allant d'Est en Ouest, de Bordj El Bahri jusqu'à Bordj El Kiffan, et se prolonge à l'intérieur du continent sur une distance avoisinant les 5km.

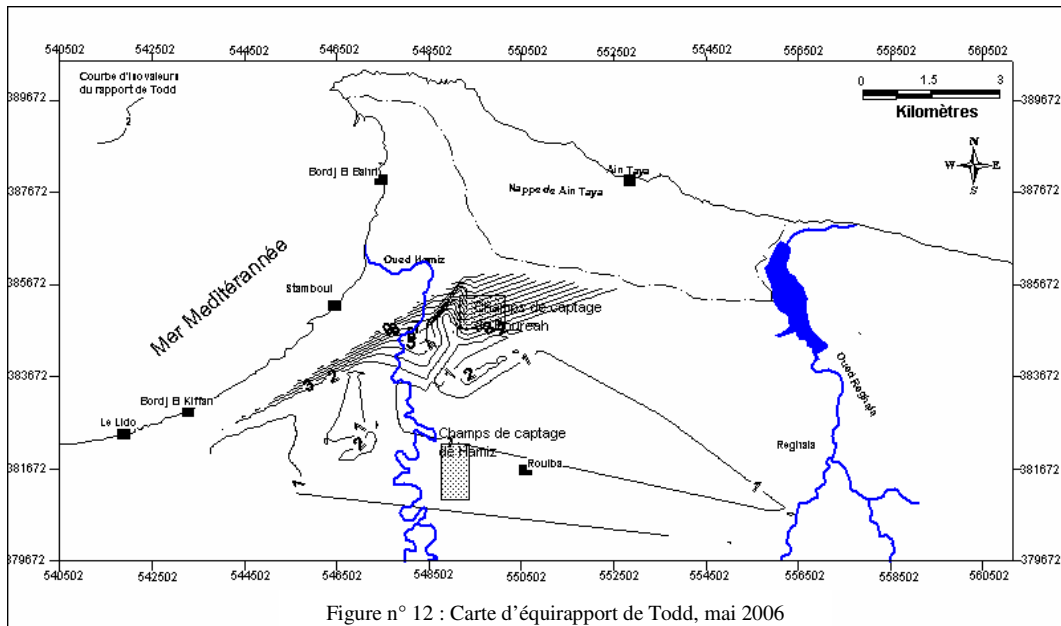


Figure n° 12 : Carte d'équirapport de Todd, mai 2006

4-2-4-Faciès chimiques

Selon le diagramme de PIPER (Figure n° 13) on obtient deux classes d'eau :

- chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne représentée par 71,43% des échantillons.

- chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique et carbonatée sodique et potassique représentée par 28,57% des échantillons.

Cette classification confirme la persistance de l'invasion saline de la nappe apparue dans les années 80 et aggravée en 90 au niveau des puits côtiers.

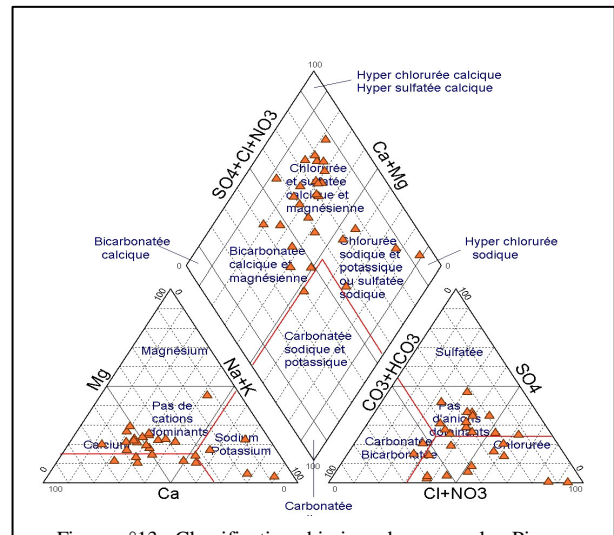


Figure n° 13 : Classification chimique des eaux selon Piper, mai 2006

4.3 - L'argumentation géophysique

a) cartes de résistivité apparente

- Par les travaux anciens

L'étude a porté sur l'interprétation de sondages électriques verticaux (SEV), dispositif Schlumberger, réalisés au cours de trois campagnes de terrain (Figure n° 14) :

- Campagne ENAGEO (1978)
- Campagne Toubal, Kara, Mati, ANRH (juin 1991)
- Campagne Toubal (mars à septembre 1992)

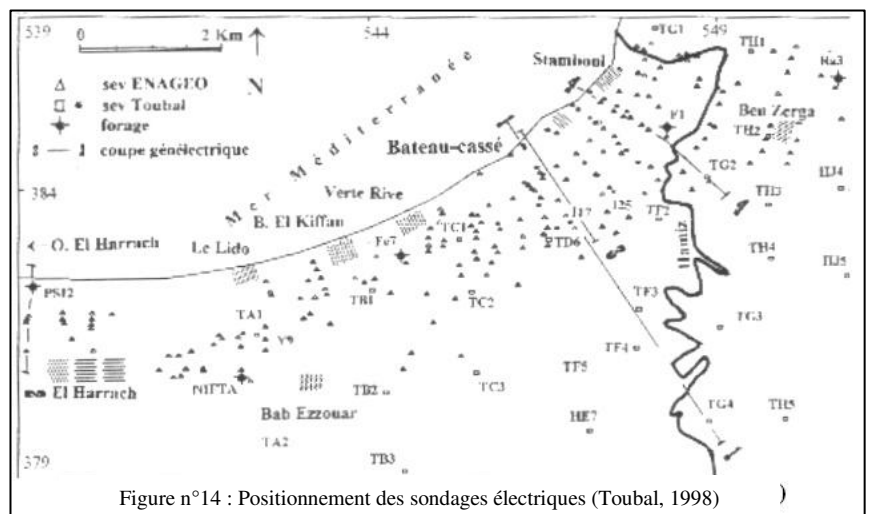


Figure n° 14 : Positionnement des sondages électriques (Toubal, 1998)

Les cartes de la figure 15 en AB=40m et AB=80m reproduisent fidèlement la morphologie dunaire de la région. Les courbes à fortes valeurs (200 à 320Ωm) représentent les amoncellements dunaires. L'horizon superficiel sec est particulièrement bien développé au sud de Bordj El Kiffan, au niveau de la Rassauta- Sidi Moussa, au nord de Bab Ezzouar et dans la région de Benzerga.

Les courbes de résistivité apparente faible situées entre Stamboul et Verte Rive seraient dues soit à une forte minéralisation des eaux souterraines, soit à un redressement du substratum marneux qui, à cet endroit serait quasi-affleurant.

Pour limiter l'ambiguïté à laquelle est confrontée l'interprétation des SEV, Toubal A.C. (1998) a utilisé la technique de krigeage afin de reconstituer les mesures incertaines situées à proximité du littoral, à partir d'un réseau fiable.

La figure n°16 représente un extrait détaillé de la carte du substratum « krigé » élaborée à partir d'un réseau irrégulier de 477 valeurs obtenues par forages et SEV.

Cette carte montre l'image d'une structure monoclinale irrégulière, de direction ENE-WSW, très inclinée côté continent où elle peut atteindre la côte 300m. A proximité du littoral et à l'exception d'une zone située au sud de Bordj El Kiffan.

Les zones particulièrement vulnérables où le substratum érodé offre des voies possibles de pénétration de l'eau salée, sont :

- L'embouchure de l'Oued El Harrach ;
- Le secteur du Lido ;
- Tout le secteur situé à l'Est de Verte Rive, en relation avec une gouttière qui semble se dessiner au niveau de la Rassauta ;
- Le secteur Bateau Cassé-Dunes.

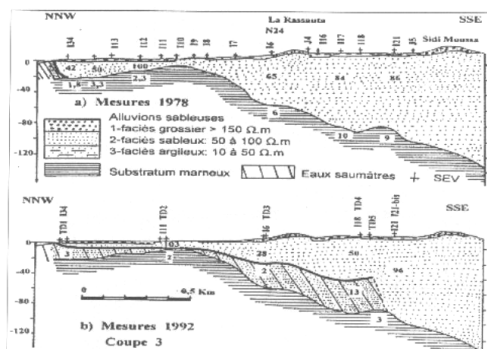


Figure n°17 : Coupes géo-électriques illustrant l'invasion de l'aquifère par les eaux marines depuis Bateau-Cassée jusqu'à l'aval de Sidi Moussa (Toubal, 1998)

b) cartes de la résistance transversale

La résistance transversale est un excellent indicateur de l'intrusion saline. Des cartes de RT, établies à des périodes différentes, permettent de situer l'évolution dans le temps du front salé. Tout changement de la position de la courbe limite de RT enregistrée entre deux campagnes successives, témoigne de la variation de la conductivité électrique de l'aquifère et d'un changement dans le processus de minéralisation des eaux.

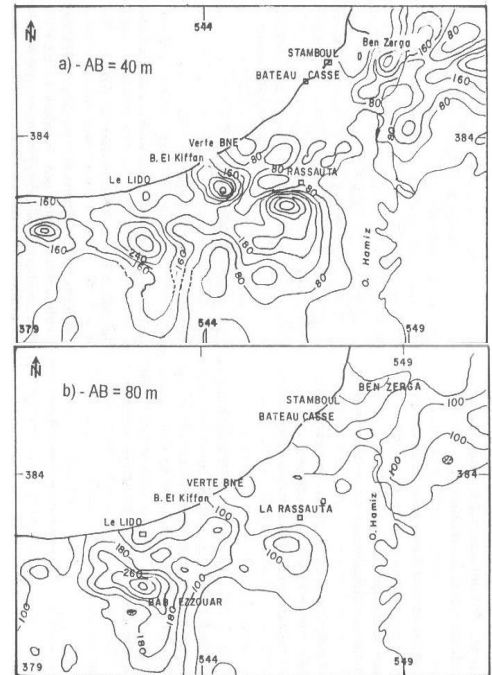


Figure n°15 : Cartes des résistivités apparentes en AB = 40m (a) ; en AB= 80m (b), Toubal, 1998)

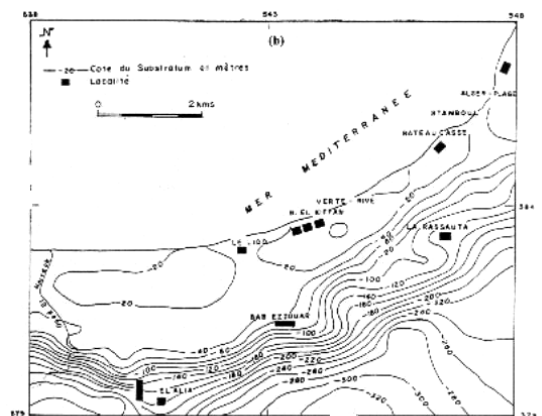


Figure n°16 : Carte en isobathes du substratum conducteur, (Toubal, 1998)

Des coupes géo-électriques ont été établies (Figure n°17) montrant un étalement de l'invasion saline jusqu'à 1,5km de la côte. Un tel processus n'a pas été mentionné sur la coupe levée par l'ENAGEO en 1978.

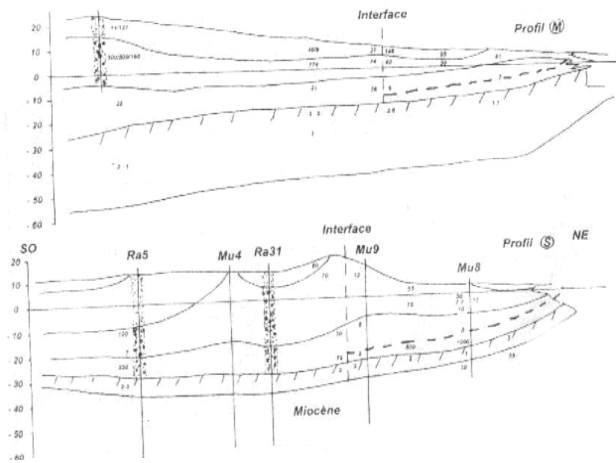


Figure n°20 : Coupes géoélectriques (profils Met S) ANRH 2002

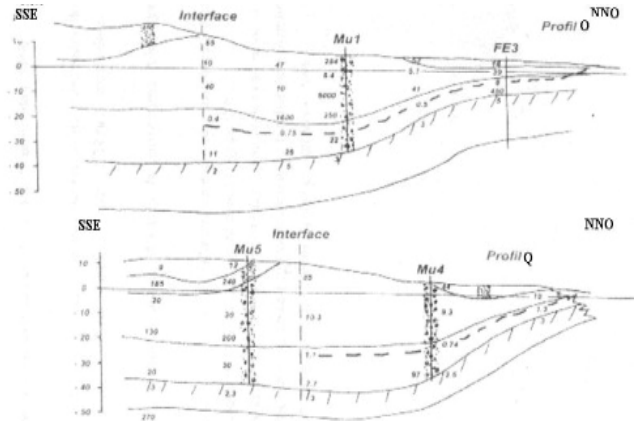


Figure n°21 : Coupes géoélectriques (profils O et Q) ANRH 2002

5- Conclusion et recommandations

L'exploitation anarchique des nappes côtières provoque une baisse importante du niveau de la nappe, engendrant ainsi l'intrusion marine. Ce phénomène est à prendre au sérieux puisqu'il affecte la santé humaine, les plantes et le sol.

La baie d'Alger est une des régions d'Algérie les plus touchées par ce phénomène.

Les cartes piézométriques font ressortir nettement l'inversion totale du sens d'écoulement des eaux de la mer vers le continent atteignant les champs de captages de Boureah et menaçant aussi le champ de captage de Hamiz où les niveaux piézométriques sont à -16m en dessous du niveau de la mer (ANRH, 2006).

Nous avons constaté par l'intermédiaire des cartes chimiques précédentes (Cl⁻, Na⁺, Conductivité électrique, Résidu sec et le rapport de Todd), que parallèlement aux trois zones sensibles apparaissant le long de la côte (Stamboul, Bordj El Kiffan et la partie Est de Verte Rive), qu'une frange contaminée par l'eau de mer a progressé depuis 1992 atteignant en 2006 les points d'eau situés à plus de 2km à l'intérieur du continent.

Pour remédier à cette problématique, il est impératif d'arrêter l'avancée de la langue d'eau salée, pour cela nous recommandons :

- l'implantation d'un nouveau réseau de piézomètres sur une étendue parallèle à l'ancien réseau initié par l'ANRH, à plus de 5 km à l'intérieur du continent ;
- effectuer des campagnes de géophysiques en réalisant des coupes géo électriques le long de la zone côtière pour déterminer de manière précise la localisation de l'interface eau douce / eau salée ;
- assurer le suivi régulier avec des campagnes piézométriques et hydrochimiques de la recharge artificielle de la nappe à partir des bassins d'infiltration, initiée par l'ANRH en amont de l'oued El Harrach ;
- recharger la nappe en utilisant les eaux traitées de la station de Baraki.

Annexe A

Réseau de surveillance de la nappe de la Mitidja

N° PZ	X (km)	Y (km)	Compagnes piézométriques						
			Nov 2002	Mai 2003	Sep 2003	Avr 2004	Sep 2004	Avr 2005	Sep 2005
			Niveau piézométrique / niveau de la mer (C.A.E) (m)						
PZ 32	543,550	382,250	-0,49	1,31	1,48	1,81	1,11	0,49	1,66
PZ 36	544,500	380,500	-7,51	-6,43	-6,03	-7,48	-7,73	-7,03	-7,65
PZ 38	544,750	382,350	-0,20	1,55	1,40	1,75	1,55	2,55	1,80
PZ 39	544,900	381,850	-8,59	-8,09	-8,89	-8,34	-9,24	-8,49	-9,44
PZ 41	545,375	382,750	-7,62	-6,02	-6,62	-6,02	-6,92	-6,27	-6,77
PZ 42	545,900	382,000	-8,88	-7,83	-9,26	-8,43	-9,43	-8,53	-9,58
PZ 45	546,850	382,600	-9,03	-7,88	-9,38	-8,18	-9,28	-8,23	-9,29
PZ 48	546,900	383,850	-7,65	-6,20	-7,30	-6,40	-7,10	-6,15	-7,20
PZ 50	547,400	382,800	-9,04	-7,74	-6,69	-7,89	-7,49	-5,84	-9,04
PZ 51	547,800	382,250	-10,02	-4,42	-1,42	-8,17	-8,82	-5,12	-7,82
PZ 54	548,850	385,050	-8,36	-6,61	-6,51	-5,91	-5,91	-6,21	-5,71
PZ 58	549,450	386,050	-4,46	0,52	-0,28	1,42	0,82	2,62	0,72
PZ 59	548,300	384,650	-7,69	-5,92	-6,77	-5,87	-6,37	-5,07	-6,37
PZ 60	548,150	383,900	-8,59	-6,89	-8,14	-7,14	-8,19	-3,59	-7,99
PZ 61	547,650	383,750	-6,42	-4,67	-5,82	-4,80	-5,62	-4,42	-5,52
PZ 62	546,150	383,250	-7,33	-6,10	-7,20	-6,80	-7,20	-6,22	-7,20
PZ A	544,200	381,850	-5,42	-4,67	-5,37	-5,02	-5,77	-0,97	-5,17
PZ B	549,350	383,600	-11,82	-10,12	-11,62	-10,32	-12,72	-10,17	-12,32
PZ C	548,500	382,550	-1,56	-1,06	-3,41	-2,86	-3,56	-2,01	-3,96
PZ D	547,000	382,000	-9,81	-8,81	-9,61	-9,26	-9,71	-9,91	-11,11
PZ E	546,125	381,450	-9,58	-8,73	-9,73	-9,23	-10,43	-7,28	-10,53
PZ F	549,200	384,250	-10,48	-9,13	-10,23	-8,58	-9,83	-8,43	-9,18
PZ G	548,450	383,300	-8,02	-6,72	-9,42	-8,57	-10,17	-8,72	-11,07

Annexe B

Caractéristiques physico-chimiques de la baie d'Alger (ANRH, mai 2006)

Nom	X	Y	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	rCL-/RHCO3- +RCO3-	CO3H mg/l	CO3 mg/l	CE mmhos	R.Sec mg/l
W021-192	556440	382630	200	35	163	1	352	79	1.28	474	0	3.37	2 578
W021-417	558620	379920	188	34	340	0	337	365	1.13	514	0	2.56	1 456
W021-5	552750	385600	423	44	165	0	206	364	1.47	241	0	2.55	1 892
W021-890	549200	383070	181	45	95	0	132	212	0.57	397	0	2.43	1 582
W021-892	556500	384350	262	78	110	0	277	385	1.28	372	0	2.30	1 486
W021-893	547900	382900	194	35	40	6	184	141	0.80	396	0	2.30	1 485
W021-894	557900	384670	251	59	178	0	473	186	2.03	400	0	2.21	1 475
PZ 32	543550	382250	173	19	110	1	148	241	1.17	217	0	1.93	1 210
PZ 36	544500	380500	43	11	78	0	79	6	0.61	221	0	1.93	1 207
PZ 38	544750	382350	31	65	115	1	116	171	0.68	293	0	1.86	1 359
PZ 39	544900	381850	52	17	65	0	91	11	0.62	252	0	1.86	1 239
PZ 41	545375	382750	174	45	91	0	134	325	0.66	346	0	1.83	1 224
PZ42	545900	382000	264	46	124	3	212	463	1.32	275	0	1.76	1 218
PZ 45	546850	382600	126	43	52	5	64	86	0.25	436	0	1.73	1 384
PZ48	546900	383850	83	15	119	3	162	18	0.86	325	0	1.55	1 030
PZ 50	547400	382800	185	53	116	0	274	334	1.96	240	0	1.46	964
PZ 51	547800	382250	226	73	164	0	269	426	1.13	407	0	1.40	938
PZ 54	548850	385050	14	19	110	4	129	20	1.16	191	0	1.40	900
PZ 58	549450	386050	37	9	481	8	775	3	16.17	82	0	1.33	799
PZ 59	548300	384650	69	11	349	6	618	4	6.21	171	0	1.27	869
PZ 61	547650	383750	120	36	107	0	156	193	1.13	237	0	1.08	797
PZ 62	546150	383250	222	31	134	0	293	226	2.08	242	0	1.06	760
PZ A	544200	381850	72	24	75	0	92	55	0.60	265	0	0.95	652
PZ B	549350	383600	226	51	100	0	354	186	2.41	253	0	0.95	644
PZ D	547000	382000	60	24	150	0	231	69	2.55	156	0	0.76	524
PZ E	546125	381450	197	43	150	0	238	231	1.18	346	0	0.67	442
PZ F	549200	384250	113	27	65	0	77	102	0.39	338	0	0.61	405
PZ G	548450	383300	149	50	107	0	147	184	0.68	369	0	0.50	359

Références bibliographiques

- **ALGEO 1978** : Prospection géophysique, zone littorale de la baie d'Alger. Ministère de l'Hydraulique, de la mise en valeur des terres et de l'Environnement (DEMRH).
- **Belaidi M, Rabehaoui H, Sadat M, 2006**. Etat du réseau de surveillance des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja. Note Technique ANRH/ DRC Soumaa Décembre 2006
- **Bennie & Partners, 1983** : Schéma d'aménagement des ressources en eau dans la région d'Alger.
- **Djoudar D, Hallal D, 1993** : Approche du comportement hydrodynamique d'un système aquifère alluvial. Zone oued El Harrach / oued El Hamiz (Mitidja / Algérie). Mémoire d'ingénieur, IST/USTHB/Alger
- **Djoudar-Hallal D, 2003** : Vulnérabilité et protection des régions côtières. Application aux alluvions de la Mitidja Orientale. Thèse de magistère, IST/USTHB/ Alger.
- **Mania J., Imersoukène S., Braillon JM., 1985**. Pollution saline de la nappe côtière à l'est d'Alger. Revue Hydrogéologie n°3, 1985, pp 213-226.
- **Toubal, A. C., 1998** : Approche géophysique des problèmes d'hydrodynamique et d'invasion marine en milieu souterrain. Exemple des plaines d'Annaba, de la Mitidja et de la baie d'Alger. Thèse de Doctorat, USTHB/Alger.
- **Yahiaoui A, 2006** : Etude de l'impact de l'intrusion marine par cartographie assistée par le SIG, de la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur, ENSH