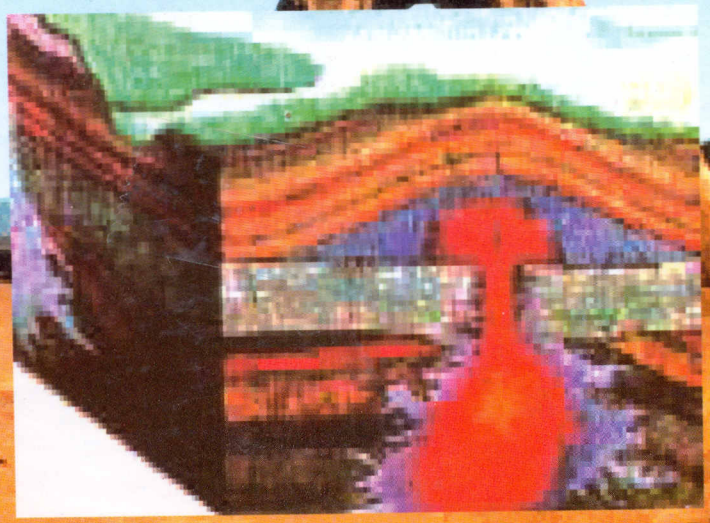
Journal Algérien des Régions Arides
Algerian Journal of Arid Areas

Revue Annuelle

Communications du Colloque International « TERRE ET EAU »

Annaba 21, 22 & 23 Novembre 2004

Numéro Spécial 2006



C.I.S.T 2004
TERRE . EAU

Editée par : le Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides

مركز البحث العلمي و التقني للمناطق الجافة
C.R.S.T.R.A
Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides

ISSN : 1112-3273

Journal Algérien sur les Régions arides

Numéro Spécial
2006

Communications du Colloque International :

« TERRE ET EAU »

Annaba 21, 22 & 23 Novembre 2004

THEMES

- Salinité: causes et effets:
  - Hydrochimie
  - Hydrologie et Hydrogéologie
  - Sols
- Hydrologie
- Environnement:
  - Pollution et périmètre de protection
  - Valorisation des eaux usées
- Ressources minérales et thermalisme
  - Pétro-géochimie
  - Stratigraphie - Paléontologie

Le présent numéro a été expertisé par
Monsieur MEDDI Mohamed professeur
au Centre Universitaire de Khemis Miliana

Sommaire

Editorial par le professeur MEDDI Mohamed *Centre Universitaire de Khemis Miliana*

Thème III : Environnement

N°	Auteurs	Titres	Page
1	**M. DADDI BOUHOUN**	Etude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigué gypso-salin: Cas d'une palmeraie de la cuvette de Ouargla.	**01**
2	**H. MESSAOUD HACINI**	Evolution des saumures (Chlore et sodium) dans les chotts en zones désertiques (Cas du chott Merouane ; dans le Sahara (septentrional Algérie	**05**
3	**A. DOUAOUI**	Cartographie de la salinité de la plaine du Bas Chéliff par la méthode de la regression-krigeage basée sur la télédétection	**09**
4	**Baelhadj HAMDI-AISSA**	Géochimie et minéralogie des sols et des saumures des sebkhas dans l'écosystème désertique. Exemple de la cuvette de Ouargla, Sahara Algérien	**14**
5	**S. AMGHAR**	Gestion de l'eau d'irrigation pour une économie d'eau au Maroc	**18**

Thème II : Hydrologie

N°	Auteurs	Titres	Page
6	**M. ACHITE**	Estimation des crues en zone semi-aride : Cas du bassin versant de l'Oued Sly (Chlef)	**22**
7	**Abdelmalik SALOUI**	Les Risques hydrologiques et techniques dans une ville côtière et pétrolière : cas de la ville de Mohammedia	**26**
8	**H. MEDDI**	Sécheresse et spatialisation des précipitations dans le Nord-ouest de l'Algérie	**31**
9	**A.ELOUISSI**	Impact des changements Climatiques sur les ressources hydriques (Cas du bassin versant de la Macta)	**35**
10	**A.GHACHI**	Analyse de l'écoulement de surface et ses formes extrêmes dans le bassin versant de la Seybouse (Nord est Algérien)	**38**
11	**Abderrazak BOUANANI**	Evolution de la concentration des sédiments en suspension et des débits liquides durant les crues : (Cas de l'oued Mouilah – Tafna, NW-Algérie)	**42**
12	**Boualem REMINI**	Les moyens techniques de lutte contre la sédimention des barrages en Algérie	**46**
13	**H. JARAR OULIDI**	Approche climatologique de la plaine de Tafilait (S.E Marocain)	**51**

Thème III : Environnement

No	Auteurs	Titres	Page
14	B.BEKKOUSSA	Simulation de la pollution par les solvants chlorés des eaux souterraines de la zone industrielle de Khessibia (Wilaya de Mascra) en utilisant le model Biochlor	56
15	Olivier BANTON	Simulation des pertes d'intrants agricoles (nitrates et pesticides): Application du logiciel agrifeux à différents contextes agricoles.	60
16	M. AMHARREF	Indice de vulnérabilité et évaluation des risques de pollution des eaux souterraines : Cas de la plaine du Gharb (Maroc).	64
17	Aicha FETATI	Pollution de l'eau et impact sur l'environnement Gestion intégrée: Cas de la wilaya de SIDI BEL Abbès	68
18	Abdelkader ROUABHIA	Impact de la sécheresse sur la qualité des eaux de la nappe des sables miocène de la plaine d'El MA ABIOD nord-est de l'Algérie	71
19	R. NoUACER	vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvial de Bouchegouf (Algérie). détermination des périmètres de protection des ouvrages de captage	75
20	Med Redha MENANI	Etude de la pollution de la plaine alluviale d'El Madher Par les rejets de la ville de Batna (Nord-Est Algérie)	80
21	Saïd AHKOUK	Influence des fertilisants agricoles et du mode d'irrigation sur la qualité des eaux souterraines sous climat semi-aride : Cas de la plaine des Chtouka, bassin du Souss-Massa, Maroc	85
22	Hani SERHAL	Modélisation du transfert de l'eau et des nitrates dans la zone non saturée.(Application au bassin versant de Houlle et Moulle)	89
23	F. BENSAOULA	Contribution à l'étude de la vulnérabilité à la pollution des aquifères karstiques des monts de Tlemcen	96
24	Edith KADJANGABA	Influence des rejets d'eaux usées et des décharges sauvages sur la (qualité des eaux souterraines de la ville de N'Djaména (TCHAD	101
25	Moussa HOUHAMDI	Qualité microbiologique et physico-chimique des eaux des puits et des sources de la région d'Oum-El-Bouaghi	105
26	T.BENNAMA	Caractérisation physico-chimique et bactériologique des lixiviats de la décharge publique d'El-Kerma	109
27	Abderrahmane BOUDOUKHA	Comportement des polluants naturels et urbains dans les eaux de .surface de oued Rumel	113
28	A.A. AMA	Suivi annuel de la contamination bactérienne des eaux de surface de la lagune de Grand-Lahou, Côte d'Ivoire.	116
29	L. Benaabidate	Les gaz hydrothermaux dans les eaux du bassin versant de Sebou (Maroc)	120
30	S.GUERGAZI	Qualité des eaux de consommation de la ville de Biskra conséquences sur la santé publique	124
31	Djamel ATHMANIA	Approche statistique de l'évolution spatio-temporelle des éléments majeurs d'une eau d'un barrage Algérien (w. de Souk Ahras)	128
32	M. METICHE	Modelling of variation with time of flow of membrane desalination permeators: B10 and B9cases	132
33	L. Benaabidate	Etude qualitative des eaux dans le moyen Sebou (région de Fès)	136
34	R. BOUSSAHEL	Utilisation du fer à la valence zéro pour l'élimination de certains pesticides organophosphorés présents dans les eaux de rejet	140

Thème IV : Ressources Souterraines : Identification et Développement.

No	Auteurs	Titres	Page
35	**Mohamed Benbrahim**	Etude Métallogénique du gisement aurifère dIourirne (Boutonnière de Tagragra dAkka, Anti-Atlas occidental, Maroc)	**144**
36	**Slimane BOUREGAA**	Le crétacé supérieur de la terminaison occidentale du plateau de Tademaït (Sahara Algérien): Biostratigraphie, Sédimentologie et paléoenvironnement.	**148**
37	**Samir KAMEL**	Caractéristiques Hydrodynamiques et géochimiques des eaux souterraines du Djérid (Sud ouest tunisien)	**153**
38	**K. SEGHIR**	Perspectives de développement de la réalimentation artificielle des nappes souterraines dans les régions semi-arides : cas de la nappe alluviale Ain-Chabro _ Tébessa (Est Algérien)	**157**
39	**Moussa Antoine Lumu**	Les potentialités en eau souterraine dans les formations du Sous – groupe des Mines. Cas des mines de K.O.V et de Dikuluwe Kolwezi – Katanga – R.D.Congo.	**163**
40	**Khalid AMROUCH**	Etude hydrogéologique de la vallée dAit Bouguemez (Haut Atlas dAzilal, Maroc)	**167**
41	**N. BOUCHAHM**	Le fluor dans les eaux souterraines des aquifères de la région orientale du Sahara septentrional algérien.	**170**
42	**Karima BOUKHARI**	Caractérisation du mode de fonctionnement des exutoires de la vallée de loued Chichaoua(Haouz occidental, Maroc)	**174**
43	**Seifu KEBEDE**	Groundwater recharge, circulation and geochemical evolution in the source region of the Blue Nile River, Ethiopia	**179**
44	**O.SAIGHI**	La nappe de l'Albien et les problèmes techniques posés par son exploitation à Touggourt	**184**
45	**Rim MHAMDI**	Impact de la recharge artificielle et de l'exploitation sur le système aquifère de Mornag	**188**
46	**O.GUEFAIFIA**	Approche à l'étude d'un aquifère karstique dans la région de .Tebessa. Cas de la zone de Youkkous	**192**
47	**A.S. MOULLA**	Caractéristiques hydrogéochimiques et isotopiques de la nappe du complexe terminal en Algérie.	**196**
48	**A. MAOUI.**	Effet de la sebkha sur le chimisme des eaux de l'aquifère superficiel de Zaafrane(Djelfa).	**200**
49	**Lassaad DASSI**	Use of isotopes to identify saline groundwater recharge in the Merguellil river basin (Tunisia): implication of dam reservoir water	**206**
50	**Michel LACROIX**	Genèse et évolution d'une nappe endoréique côtière : l'Aquifère du Continental Terminal du Trarza (Mauritanie)	**210**
51	**Jean-Michel PUIG**	Minéralisation de l'eau de la zone non-saturée du karst : résultats de prélèvements dans des cavités du plateau d'Albion (Vaucluse et Alpes de Haute Provence, Sud-Est de la France)	**214**

N°	Auteurs	Titres	Page
52	**Frédéric BARREZ**	Qualité des eaux de la nappe de la craie dans une ancienne zone minière	**219**
53	**Claude Y. GERBAULET**	Caractéristiques hydrogéologiques des eaux minérales françaises. Incidences sur la diurèse.	**223**
54	**A.GUENDOUZ**	Estimation du taux recharge et d'évaporation à travers la zone non saturée en zone aride : Application des techniques nucléaires et hydrogéochimiques	**230**
55	**Serigne FAYE**	Apport des outils chimiques à l'identification des sources de salinité et des processus géochimiques dans la nappe du Saloum (Sénégal)	**234**
56	**Mohammed-El-Hocine CHERCHALI**	Les eaux du Continental Intercalaire du Tidikelt (Région d'In-Salah) : Aperçu hydrochimique et isotopique.	**238**
57	**Nafaâ Brinis**	La salinité des eaux souterraines de la région Est de la plaine dEl-Outaya(Biskra) Algérie.	**242**
58	**Mounira DJEBBAR**	Hydrogéochimie de laquifère karstique Constantine-Hamma Bouziane dans le constantinois Nord occidental (Algérie Nord-oriental)	**247**
59	**H.M. DJELLOULI**	salinité des eaux de consommation du sud algérien : l'hydrogéologie est-elle la seule en cause	**251**
60	**M. MAHBOUBI**	Découverte des premières empreintes digitales de dinosauriens crétacés dans la région dEl Bayadh	**255**
61	**Frédéric BARREZ**	Identification du réservoir crayeux par sismique réflexion de haute résolution en zones affaissées minières (Nord de la France)	**259**

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS
GUIDELINES FOR AUTHORS

EDITORIAL

"*L'accès aux ressources en eau est considéré comme un droit fondamental de la personne humaine, mais ya-t-il (et y aura-t-il) suffisamment d'eau pour que ce droit puisse être pleinement exercé à l'avenir? L'eau douce peut-elle être considérée comme une denrée accessible librement et en quantité illimitée? La reponse ne peut être que non* (Federico Mayor)". L'accès à l'eau est un droit humain (Pacte international relatif aux droits économiques sociaux et culturels des Nations Unies). L'eau a été fixée comme une priorité du millénaire lors de l'Assemblée Générale des Nations Unies en 2000. Cet objectif a été rennouvelé durant le Sommet du dévéloppement durable tenu à Johannesburg en septembre 2002.

L'eau est indispensable à la vie de plusieurs façons: eau salubre pour boire, eau en quantité suffisante pour assurer une production alimentaire et industrielle.
La demande d'eau augmente à un rytme soutenu et le développement de nouveaux systèmes d'approvisionnements engendre des coûts importants. En même tempts, la pollution accrue des eaux accentue le déséquilibre entre l'offre et la demande d'où un contrôle des pollutions de l'eau est urgent. Il doit se faire sur la base de règles de protection de l'environnement relatives aux modes de production industriels et agricoles.

L'utilisation durable des ressources naturelles et la protection de l'environnement constituent une préoccupation majeure dans rous les pays du monde. Dans ce large éventail, les sujets abordés dans ce numéro sont directement liés à la gestion des ressources naturelles et à la sauvegarde de l'environnement qui représentent un patrimoine de l'humanité.

Le colloque de Annaba a contribué à faire le point sur les impacts des changements climatiques, des phénomènes extrêmes (crues et sécheresse) sur les populations et les écosystèmes, et à l'étude de différents phénomènes géologiques liés aux ressources naturelles. Les thèmes suivants sont traités par les articles sélectionnés dans ce numéro du Journal des zones arides:

- Géologie
- Hydrogéologie
- Hydrochimie
- Hydrologie
- Environnement

Professeur Mohamed MEDDI
Centre Universitaire de Khemis Miliana

Gestion de l'eau d'irrigation pour une économie d'eau au Maroc

[1]AMGHAR S et [2]JELLAL J.
[1] professeur assistant, département des sciences de la vie, laboratoire de biotechnologie, faculté des sciences et techniques de Settat, Km 3, Route de casa. B.P : 577, Settat, Maroc.
Tel : 21223400736, Fax : 21223400969. E Mail : eamghar@hotmail.com (auteur correspondant, receveur des tirés à part)
[2] professeur de l'enseignement supérieur, département de génie civile, laboratoire de l'eau. Ecole Mohammedia des Ingénieurs, Avenue Ibn Sina, B.P : 765, Rabat, Maroc.
Tel : 21237775129, Fax : 21237778853. E Mail : jellal@emi.ac.ma

INTRODUCTION

Considérées comme la première des priorités par la stratégie nationale de protection de l'environnement, les ressources en eau au Maroc sont confrontées à des problèmes de quantité et de qualité. Ces ressources sont limitées, en raison du climat semi-aride à aride dans la majeure partie du territoire, avec des sécheresses épisodiques, et subissent une détérioration de leur qualité par les différents rejets polluants, telles les eaux usées domestiques et industrielles.

1 – les ressources hydriques au Maroc

Globalement, les apports pluviométriques sur l'ensemble du territoire sont évalués à 150 milliards de m^3 d'eau de précipitations par an. Le volume de pluie dite "utile ou efficace" est estimé à 30 milliards de m^3, dont 21 milliards de m^3 sont mobilisables dans les conditions techniques et économiques actuelles (16 milliards de m^3 d'eau de surface et 5 milliards de m^3 d'eau souterraines). Le Maroc mobilise aujourd'hui environ 13 450 millions de m^3, dont 11 170 millions de m^3 pour l'irrigation, ce qui représentent 83% des eaux mobilisées. L'irrigation est donc le premier consommateur d'eau au Maroc. (6)

2 – L'irrigation au Maroc

Les superficies cultivables sont estimées en 1997 à 9,2 millions d'hectares dont 2,5 millions d'hectares de jachère. Ainsi, et depuis toujours, les conditions climatiques du Maroc, ont fait de l'irrigation un impératif technique incontournable, qui a acquis au fil des années, des dimensions économiques et sociales indéniables. L'irrigation s'impose comme une voie privilégiée du développement agricole, et bénéficie de ce fait d'une attention particulière des pouvoirs publics. (4)

L'agriculture irriguée, qui s'étend à fin 1998 sur une superficie de près d'un million d'hectares, représente en année moyenne 45 % du produit intérieur brut agricole, bien qu'elle n'intéresse que 10% environ des terres cultivées. Cette valeur peut atteindre 75% en année sèche. En terme de production, l'agriculture irriguée représente 30% de la production nationale, 75% des exportations agricoles et un tiers des emplois en milieu rural. Dans l'ensemble, la part du secteur agricole dans le produit intérieur brut du pays, fluctue entre 10 et 20% environ, selon l'hydraulicité de l'année. (2)

3 – Gestion des grands périmètres irrigués au Maroc

Au Maroc, neufs grands périmètres irrigués ont été crée, dans les principaux bassins hydriques. Chacun de ces périmètres est géré par un Office Régional de Mise en Valeur Agricole (ORMVA). Les ORMVA sont des établissements publics, dotés de la personnalité civile et de l'autonomie financière, et sont placés sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole. Ils sont chargés, de la réalisation des aménagements hydro agricoles, l'exploitation et la maintenance des réseaux d'irrigation, et de l'encadrement des agriculteurs. (4)

4- but du travail

Afin de contribuer à l'étude de l'économie de l'eau de l'irrigation par une meilleure gestion, on a étudié le grand Périmètre irrigué des Doukkala, sur une période moyenne de 12 ans, entre 1990/1991 et 2001/2002. Les paramètres étudiés sont les suivants :

- La dotation en eau du périmètre et les quantités en eau utilisés en irrigation.
- - Les superficies cultivées.

METHODOLOGIE :

Caractéristiques de la zone d'étude

Le grand périmètre des Doukkala, géré par l' Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Doukkala (ORMVAD) sera, quand il aura atteint son plein développement, le plus vaste périmètre irrigué au Maroc, avec 125 000 ha nets irrigués en Grande Hydraulique. Le climat de cette région est de type semi-aride, à hiver tempéré et doux, et à été généralement chaud et sec, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 324 mm. Ce périmètre ne dispose d'aucune source en eau pérenne de surface, et les eaux souterraines, peu abondantes et très profondes, sont très peu exploitées. Le périmètre est donc desservi en eau d'irrigation à partir de l'oued Oum ErRbia, par le biais de deux barrages : Al Massira et Im' Fout. On distingue deux périmètres :

- Périmètre Bas-Service : dont la superficie irriguée est de l'ordre de 61 000 ha. (La mise en eau a débuté depuis 1958, et a été terminée entièrement en 1992)
- Périmètre Haut-Service : pour une superficie irriguée de l'ordre de 64 000 ha (La mise en eau n'a débuté qu'en l'an 2000 avec 16 000 ha, elle n'est toujours pas achevée pour le reste du périmètre) (5)

LES PARAMETRES D'ETUDE

- ***Les dotations en eau d'irrigation***

Le grand périmètre des Doukkala se situe dans la zone d'action de l'Agence du Bassin de l'Oum ErRbia, qui est le gestionnaire de la ressource en eau, au niveau du bassin versant. La détermination du volume d'eau, disponible pour l'irrigation, se fait dans le cadre de réunions mixtes, entre les représentant de l' ORMVA et les représentant de l'Agence du Bassin de l'Oum ErRbia. Dans les conditions normales, la dotation en eau annuelle du périmètre est de 1 100 millions de m^3 répartis équitablement entre le Bas et le Haut Service. Cette dotation dépend du niveau de la réserve du barrage Al Massira. En effet, si la réserve d'eau du barrage, accuse un déficit, la dotation en eau allouée pour l'irrigation subit impérativement des restrictions. (9)

- ***Les surfaces cultivées***

Les superficies cultivées en zone irriguée, sont étroitement liées à la disponibilité en eau d'irrigation.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le tableau : 1 regroupe les données relatives à la dotation annuelle en eau d'irrigation, et le volume d'eau d'irrigation annuelle consommée, dans le grand périmètre irrigué des Doukkala, entre 90/91 et 01/02. L'étude de ce tableau, montre que :

- La dotation en eau d'irrigation pour le périmètre, a été rétréci durant les campagnes 94/95, 95/96, 00/01 et 01/02, et ce à cause de la baisse dans la réserve du barrage Al Massira, suite à la succession des années de sècheresse.
- Les quantités d'eau d'irrigation utilisées annuellement dans le périmètre, sont inférieures aux dotations réservées au périmètre. Pour les années 94/95, 95/96 et 00/01, la quantité utilisée a dépassée exceptionnellement la dotation, suite à la grande sécheresse durant ces années.
- La dotation annuelle moyenne de douze ans est de 519 millions de m^3, et la quantité moyenne utilisée dans le périmètre en douze ans est de 422 millions de m^3. Donc il y a une surestimation de 18,7 % des quantités utilisées, ce qui correspond à 97 millions de m^3 d'eau d'irrigation.

Tableau 1 : La dotation en eau d'irrigation annuelle et le volume d'eau d'irrigation annuelle consommée, dans le grand périmètre irrigué des Doukkala, entre 90/91 et 01/02

Campagne agricole	90 / 91	91 / 92	92 / 93	93 / 94	94 / 95	95 / 96	96 / 97	97 / 98	98 / 99	99 / 0	00/01	01/02	m
Dotation en eau d'irrigation (Mm^3)	550	550	550	550	300	439	550	610	640	665	500	320	519
Eau consommée (Mm^3)	396	435	410	355	311	343	423	410	494	542	500	474	422

Mm^3 : millions de mètre cube, m : la moyenne des 12 années

Si on généralise cet exemple sur l'ensemble des Grands Périmètres Irriguées du Maroc, qui s'étendent sur 855 100 ha à qui en réserve annuellement environ 4 746 millions de m^3 (7) (10)**,** la quantité allouée en excès serai de 887,5 millions de m^3. Cette quantité représente 6,6% des eaux mobilisées et 7,9% des eaux réservées pour l'irrigation.

En accord avec nos remarques, une étude au niveau du Périmètre Irriguée de Tadla en 1982 a montré, qu'une diminution de la quantité d'eau utilisé habituellement dans le périmètre de 30%, n'a pas affecté les rendements des cultures, elle a même beaucoup amélioré certains rendements comme celui de la betterave sucrière, le coton et les blés. Cet effet bénéfique a été accompagné en plus, par la résolution du problème de salinité des sols, que connaissaient 4 000 ha de terres irriguées du périmètre. (1)

Dans le tableau : 2 sont présentés, les surfaces annuelles cultivées et le volume d'eau d'irrigation annuelle utilisé par hectare de terres cultivées. Ces données montrent que la valeur moyenne de douze ans, d'eau d'irrigation annuelle utilisée par hectare, est de 5 491 m^3/ha. On remarque que presque les mêmes volumes sont consommée par hectare de terre cultivée et ce tel que soit en année sèche ou humide. Par exemple l'année 95/96, qui été très pluvieuse au Doukkala comme dans tous le Maroc, le volume d'eau qui a été consommé par hectare ne diffère pas beaucoup de celui consommé en 94/95, qui est une année de grande sécheresse. Ici encore, on remarque les dotations en eau d'irrigation ne tiennent pas compte des besoins réels des cultures en eau.

En effet, en absence d'études sur les besoins réels en eau de chaque culture, en tenant compte du type du sol, du climat, de l'évapotranspiration, les volumes en eau d'irrigation sont distribués à la demande et en fonction du disponibilité de l'eau d'irrigation**.** (8)

Tableau 2 : Les surfaces cultivées, et le volume d'eau d'irrigation consommée par hectare de terre cultivée, dans le grand périmètre irrigué des Doukkala, entre 90/91 et 01/02

campagne agricole	90 / 91	91 / 92	92 / 93	93 / 94	94 / 95	95 / 96	96 / 97	97 / 98	98 / 99	99 / 0	00/01	01/02	m
Surface cultivée (ha)	78 015	79 629	76 033	76 646	65 188	74 341	78 848	81 815	82 243	69 241	83 355	76 882	76 853
Volume d'eau consomMée (m^3/ha)	507 6	5 463	5 392	4 632	4 771	4 614	5 365	5 011	6 007	7 828	5 998	6 165	5 491

Mm^3 : million de mètre cube, m : la moyenne des 12 années

CONCLUSION

Au Maroc aujourd'hui, les efforts mobilisés pour la préservation de l'eau sont surtout, concentrés sur l'utilisation de l'eau potable et la réutilisation des eaux usées. Or l'agriculture est la grande consommatrice avec 83% des eaux mobilisées. Au niveau de ce secteur, il y a énormément de gaspillage d'eau, que ce soit au niveau des ouvrages de transport, au niveau des ouvrages de distribution. En effet, le rendement global de nombreux systèmes d'irrigation est de 30% ou moins, alors que les systèmes bien gérés atteignent un rendement de 50% ou plus (3). En plus l'économie d'eau, passe nécessairement et en premier lieu, par l'amélioration de l'efficience d'application de l'eau à la parcelle, moyennement l'introduction de techniques modernes économisant l'eau d'irrigation.

Ces résultats nous permettent de suggérer que :

- Des études doivent être faite, pour évaluer les besoins réels des cultures, en tenant compte du type du sol, du climat, stade végétatif de la plante, de l'évapotranspiration etc., pour déterminer les doses nécessaires pour l'irrigation de chaque culture.

- les Agences des Bassins doivent diminuer les dotations en eaux d'irrigation, même si les réserves des barrages ne sont pas menacées, pour préserver l'eau à d'autres secteurs vitales, comme l'eau potables pour les régions qui souffrent de sècheresse (tel : Souss-Massa), via des transferts des bassins excédents vers les bassins déficitaires. Aussi, à l'instar des pays développés qui mobilisent 70% de ses eaux à l'industrie, l'eau économisée sur l'irrigation pourrai être utilisée en eau potable et industrielle, ce qui contribuera à une élévation du niveau de l'économie marocaine.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement le directeur de l'ORMVAD, qui nous a permis de réaliser cette étude dans sa zone d'action. Nos remerciements sont aussi adressés à tous les personnels de l'ORMVAD, pour leurs aides, leur accueil, et leur coopération.

BIBLIOGRAPHIE:

1. BENCHEKROUN, T. (1983). Distribution de l'eau selon les besoins des cultures, cas des périmètres des Béni Moussa. Homme Terre et Eau, 13, 23-25.
2. EL GUEDDARI, M. (2001). L'irrigation au Maroc. Homme Terre et Eau, 31, 21-26.
3. FASSO.C, 1992**.** Gestion des systèmes de distribution de l'eau, Gestion des réseaux d'irrigation. Travaux du séminaire d'experts. IIème Conférence Méditerranéenne sur l'Eau. Rome, 28-30 Octobre, 1992.
4. Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole, (1997). L'irrigation au Maroc. Rapport interne, Administration du Génie Rural, Royaume du Maroc, 55 p.
5. Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Eaux et Forêts, 2000. Stratégie pour développement de l'irrigation à l'horizon 2020. Rapport du colloque national de l'agriculture et du développement rural, Rabat, 19 et 20 Juillet, 2000.
6. Ministère de l'Equipement, direction de l'hydraulique, (2001). L'hydraulique en chiffre. Rapport interne, Royaume du Maroc, 8 p.
7. MOGLI, E et T. M. BENJELOUN. (2000). Valorisation de l'eau d'irrigation par les productions
8. végétales dans les grands périmètres irriguées au Maroc. Homme Terre et Eau, 30, 30 - 38.
9. Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Doukkala, 1996. Etude de l'amélioration de l'exploitation des réseaux d'irrigation et de drainage du périmètre Bas Service des Doukkala, Première phase. Rapport typologique, 4/11/1996, 30 p.
10. Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Doukkala, (2002). Rapport interne, Rapport annuel.
11. ZIZI, M. (2000). Campagne d'irrigation 1999 -2000. Homme Terre et Eau, 30, 9-17.

Etude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigue Gypso-Salin : cas d'une palmeraie de la cuvette de Ouargla

M. DADDI BOUHOUN[1] et L. BRINIS[2]
[1]Université de Ouargla, Département d'Agronomie
B.P. 163 Ouargla 30000
[2]Université BADJI Mokhtar de Annaba, Département de biologie
B.P. 12 Annaba 23000

INTRODUCTION

La salinisation des sols constitue une grande menace pour certains sols cultivés dans le monde (Cheverry et Bourrié, 1998). En Algérie, les sols agricoles sont dans leur forte majorité affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (Durand, 1958 ; Halitim, 1973). Dans les régions sahariennes, il est important de bien apprécier les risques de salinisation et la dynamique des sels dans le système eau-sol-palmeraie. C'est dans ce contexte, que s'insère ce travail expérimental ayant pour but d'étudier la dynamique des sels solubles dans le sol irrigué et mal drainé d'une palmeraie de la cuvette de Ouargla, et d'étudier le niveau des accumulations gypso-salines dans la zone racinaire du palmier dattier, en vue d'apprécier les risques de salinisation dans ces sols. Cet essai fait partie d'un projet de recherche avec le CRSTA de Biskra. L'essai est réalisé sur une parcelle de la ferme de l'université, entre début juillet et fin septembre 2000.

MATERIEL ET METHODES

Pratique de l'irrigation et du drainage

L'eau d'irrigation provient d'un forage du miopliocène. Il a un salinité élevée avec C.E de 4,9 dS / m. Elle est apportée par submersion en planche. Durant l'essai, la fréquence d'irrigation est fixée à huit irrigations par mois, car il est difficile d'estimer la réserve utile dans un sol mal drainé. Elle est recommandée entre avril et septembre pour les palmeraies de l'Oued Righ par Monciero (1950 in Djerbi, 1994). La norme a été choisie à cause des ressemblances existantes dans le système d'irrigation-drainage avec ceux de l'Oued M'Ya. Les paramètres calculés et mesurés sont (Tab.1) : l'E.T.P par la formule de Turc (1961 in Olier et Poirée, 1983), les besoins en eau du palmier dattier (E.T.M), les besoins de lessivage par submersion (Ayers et Westcot, 1988) pour calculer les besoins en eau totaux ou les doses d'arrosage mensuelles (D_t).

Tableau 1. Paramètres d'irrigation mensuels

Paramètres	Mois		
	Juillet	Août	Septembre
E.T.P (mm)	261,9	239,7	170,2
E.T.M (mm)	235,7	215,7	153,2
D_t (m^3/ha/mois)	2757,7	2523,7	1792,4

La ferme est équipée d'un réseau de drainage à ciel ouvert, peu efficace. Le niveau de la nappe est proche de la surface du sol, entre 70 et 82 cm de profondeur. L'eau phréatique est très fortement salée avec une C.E de 19,4 dS / m.

Caractérisation du sol

L'étude de trois profils de 120 cm de profondeur, creusés entre les planches d'irrigation, à une distance de 80 cm du tronc des palmiers, ainsi que les sondages à la tarière ont permis de caractériser morphologiquement le sol selon la méthodologie décrite par Baize et Jabiol (1995). L'étude des profils a montré que le sol est homogène. Il est constitué de trois horizons, A_{pcs} (0 à 27), B_{cs1} (27 à 46) et B_{cs2} (46 à 120), caractérisés par une texture limono-sableuse. La structure est grenue en surface et massive au niveau de la croûte gypseuse "*hypergypsique*" (B_{cs2}). L'horizon B_{cs1} est un encroûtement gypseux "*gypsique*" à cristaux millimétriques. Le sol est classé comme solonchaks gypsique (Fao, 1998). Les accumulations gypso-salines de la parcelle sont d'origine de nappe (Hamdi Aissa, 2001).

L'enracinement du palmier dattier se concentre dans la partie superficielle du sol. Les racines latérales de nutrition et d'absorption se confondent dans le profil. Elles sont situées essentiellement dans l'horizon B_{cs1}, entre 24 et 61 cm de profondeur. Le niveau d'enracinement enregistré est faible par rapport aux normes qui sont de 1m pour la zone de nutrition et 1,8 m pour la zone d'absorption (Munier, 1973 ; Djerbi, 1994). Les racines sont associées aux cristaux de gypse. La densité racinaire diminue au contact de la croûte gypseuse. Cette dernière constitue avec le niveau de la nappe phréatique un obstacle physique pour l'enracinement, comme cela a été constaté par les pédologues tunisiens (Durand, 1958).

Etude de l'évolution de la salinité du sol

L'essai consiste à étudier l'évolution mensuelle du profil salin avant et après irrigation. Les prélèvements de sol sont effectués dans les planches d'irrigation en fonction des horizons (0-27 cm, 27-46 cm et 46-120 cm), 24 heures avant et après la dernière irrigation de juillet, août et septembre.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'étude de l'évolution des profils salins, entre juillet et septembre montre une variation de la salinité au cours de l'essai, avant et après irrigation (Fig. 1). La salinité a diminué entre début et fin de l'essai dans les horizons. La C.E de l'horizon A_{pcs} passe de 4,7 à 3,7 dS / m. Il y a des corrélations entre l'évolution de la salinité des horizons, significative entre A_{pcs} et B_{cs1} et hautement significative entre B_{cs1} et B_{cs2}. Cela indique une dynamique des sels entre les horizons. Il y a une corrélation significative entre la salinité de A_{pcs}, E.T.P et la dose d'arrosage mensuelle. L'augmentation de la salinité est liée l'évaporation. La diminution de l'E.T.P au cours de l'essai diminue la remontée capillaire des sels, ce qui augmente l'efficacité de la lixiviation et réduit l'accumulation des sels entre les irrigations.

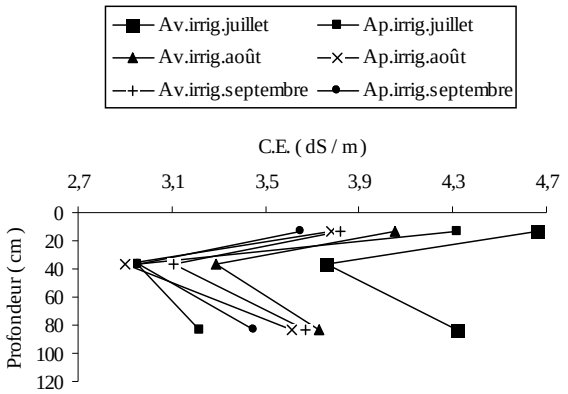


Figure 1. Evolution de la conductivité électrique dans le profil

Les sels solubles ont tendance à diminuer ou à se lixivier par les irrigations et à augmenter ou à s'accumuler entre celles-ci dans les horizons. Nous avons estimé les taux d'accumulation et de lixiviation des sels solubles par les formules (1 et 2) suivantes :

$$A = [(CE_{na} - CE_{1ap}) / CE_{1ap}] * 100 \quad (1)$$

Avec :

A (%) : taux d'accumulation des sels solubles entre les irrigations
CE_{1ap} (dS / m): C.E. après la dernière irrigation du mois considéré
CE_{na} (dS / m): C.E. avant la dernière irrigation du ou des mois qui suivent

$$L = [(CE_{1a} - CE_{nap}) / CE_{1a}] * 100 \quad (2)$$

Avec :

L (%) : taux de lixiviation des sels solubles par l'irrigation
CE_{1a} (dS / m): C.E. avant la dernière irrigation du mois considéré
CE_{nap} (dS / m): C.E. après la dernière irrigation du mois considéré ou des mois qui suivent

Le taux de lixiviation diminue avec les irrigations, passant de 25,5 % à 6 % dans l'horizon B_{cs2}. Entre juillet et août, les sels solubles ont tendance à se lixivier par l'irrigation dans A_{pcs}, d'où la valeur négative du taux d'accumulation (Fig. 2). Par contre, ce taux est plus important dans les deux derniers horizons à cause des sels apportés par l'irrigation et la nappe. Le taux d'accumulation est de 11,5 % en B_{cs1} et 15,8 % en B_{cs2}. Ce taux augmente légèrement en A_{pcs}, entre août et septembre, mais diminue en profondeur à cause de la diminution de l'E.T.P et la dose d'irrigation mensuelle. Le taux de lixiviation et d'accumulation, entre début et fin des irrigations montre que l'effet de lixiviation est plus important que l'effet d'accumulation. Le taux de lixiviation entre début et fin des irrigations est de 21,7 % en A_{pcs}, 21,3 % en B_{cs1} et 20,1 % en B_{cs2}. Cependant, le taux d'accumulation augmente en profondeur de 5,4 % dans B_{cs1} à 14 % dans B_{cs2} et – 11,6 % en A_{pcs}, à cause de l'effet dominant de la lixiviation.

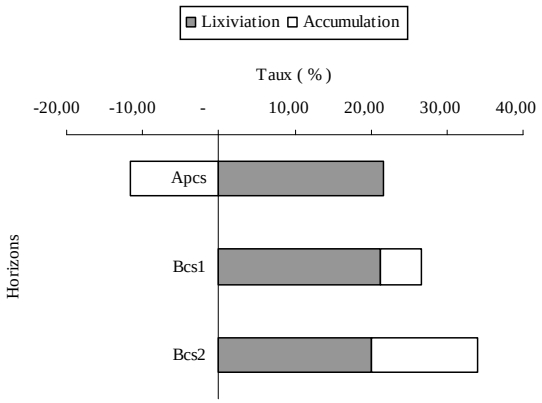


Figure 2. Evolution du taux de lixiviation et d'accumulation dans le profil entre le début et la fin des irrigations

Cette dynamique des sels est observée dans les sols irrigués de la vallée du M'ZAB (Daddi Bouhoun, 1997) et au sud de la Tunisie, à Tozeur, dans les sols gypseux (Bahri, 1987). Selon les études réalisées en Tunisie, il faut évacuer les eaux de drainage en dehors du système hydropédologique pour éviter la salinisation (Mhiri et al., 1998). La salinité de notre eau d'irrigation dépasse la limite standard du seuil de salinité, estimée à 3 dS / m par Ayers et Westcot (1976). Elle peut provoquer des chutes de rendement, en l'absence d'un bon drainage des sels solubles. La salinité du sol enregistrée après irrigations reste supérieure à 2,9 dS / m. Elle est suffisante pour provoquer une baisse de rendement chez le palmier dattier (Ayers et Westcot,1988), elle est accentuée en contact des racines avec les eaux phréatiques très salées, d'où la nécessité du drainage (Weeks, 1957; Furr, 1975).

CONCLUSION

Il existe un risque de salinisation des sols avec les eaux d'irrigation chargées et la nappe phréatique. L'accumulation en sels mesurée dans le sol est suffisante pour provoquer une chute de rendements en palmeraie. Il faut rabattre le niveau de la nappe par un drainage et corriger la dose d'irrigation pour la lixiviation des sels.

Enfin, au niveau du périmètre agricole, un dispositif de suivi de la nappe et de la salure du sol doit être mis en place. Il permet d'éviter la dégradation des sols et d'assurer une lixiviation des sels dans la zone d'enracinement du palmier dattier. Il est intéressant d'entreprendre des études sur l'enracinement pour déterminer l'impact des propriétés du sol sur le développement racinaire, la croissance végétative, le rendement et la qualité des dattes en général et le type " Déglet-Nour" en particulier.

BIBLIOGRAPHIE

1. AYERS, R.S., WESTCOT, D.W., 1976. La qualité de l'eau en agriculture. Bull. F.A.O. Irrig. Drain., Rome, 29, 97 p.
2. AYERS, R.S., WESTCOT, D.W., 1988. La qualité de l'eau en agriculture. Bull. F.A.O. Irrig. Drain., Rome, 29 : 180 p.
3. BAHRI, A., 1987. Utilisation des eaux et des sols salins en Tunisie. Résultats et perspectives de recherche. IFA, Paris, 96 : 17-35.
4. BAIZE, D. et JABIOL, B., 1995. Guide de description des sols. Ed. AFES-INRA, Paris, 388 p.
5. CHEVERRY, C. et BOURRIE, G., 1998. La salinisation des sols. "Sol interface fragile". INRA, Paris: 109-127.
6. DADDI BOUHOUN, M.; 1997. Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région Saharienne: Cas du M'Zab. Thèse de Magister, I.N.A., Alger, 180 p.
7. DJERBI, M., 1994. Précis de phoeniciculture. Ed. FAO, Rome, 192 p.
8. DURAND, J.H., 1958. Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190 p.
9. FAO, 1998. World reference base for soil resource. World Soil Resource Report N° 84. ISSS, ISRIC and F.A.O, Rome, 88 p.
10. FURR, J.R., 1975. Water and salinity problems of Abadan Island date gardens. Ann. Rep. Date Growers' Inst., 52: 14-17.
11. HALITIM, A., 1973. Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse Doct. 3ème cycle, Univ. Rennes, 176 p.
12. HAMDI AISSA, B., 2001. Le fonctionnement actuel et passé des sols du nord sahara (Cuvette de Ouargla). Approches micro morphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse Doc. I.N.A, Paris, 307 p.
13. MHIRI, A., TARHOUNI, J., HACHICHA, M. et LEBDI, F.,1998. Approche systémique des risques de salinisation par endoréisation anthropique. Etude et Gestion des sols, 5 (4) : 257-268.
14. MUNIER, P., 1973. Le palmier dattier. Techniques agricoles et productions tropicales. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 221p.
15. OLIER, C., POIREE, M.,1983. Irrigation. Les réseaux d'irrigation, théorie, technique, et économie des arrosages. 6ème Ed. Eyrolles, Paris, 503 p.
16. WEEKS, L.O., 1957. Agricultural drainage in Coachella Valley. Ann. Rep. Date Growers' Inst., 34: 1-14.

Evolution des saumures (Chlore et sodium) dans les chotts en zones désertiques (Cas du chott Merouane ; dans le Sahara septentrional Algérie)

MESSAOUD HACINI[1], NACER KHERICI[2] ET ERIC H. OELKERS[3]
[1] Département d'Agronomie, Université de Ouargla, BP 511, 30000 Ouargla, ALGERIE
[2]Faculté des sciences de la terre, Université de Annaba, BP 12, Sidi Amar El-Hadjar, 23200 Annaba, ALGERIE
[3]Géochimie, CNRS UMR 5563-Universtié Paul Sabatier, 38 rue des Trente-Six Ponts, 31400 Toulouse, France
E-mail: hacimess@yahoo.com

INTRODUCTION

Parmi l'ensemble des étendues lagunaires de l'Afrique du Nord, le chott Melghir et Merouane constituent avec l'ensemble des chotts tunisiens la plus grande dépression fermée) (Gueddari.M ; 1980). Notons que les chotts Algéro-Tunisiens sont regroupés suivants deux directions :

- Une direction SW-NE correspondant à la direction atlasique le long de la quelle sont regroupés les chotts Chergui, El-Gherbi et El-Hodna.
- Une direction WNE - ESE rassemble les chotts El-Hodna, Melghir, El-Ghersa et le chott El Jerid

Les chotts actuels, reliquats d'une mer miocène (Gouskov,N.,1952)(Castany,G.,1982), sont alimentes en sel gemme par lessivage des terrains salifères antérieurs, du Tertiaire notamment dans la région de l' Oued R'hir.

La région du chott Merouane et Melghir est caractérisée, en surface, par des dunes consolidées de limon à sable très fin (environ 10m d'épaisseur) qui se cimentent, en profondeur par des gypses, l'épaisseur des sables est très importante là où la végétation favorise la stabilisation des vents de désert. Sous-jacent à ces sables fins , on trouve environ 70m d'argiles qui reposent a son tour sur environ 35m de grés et sable, faisant partie de la nappe aquifère la plus importante, le complexe terminal dit CT (Cornet, A.,1964)

Du point de vu hydrologique et climatologique, il s'agit d'une région à climat de type saharien avec des température très élèves en été (50 °c au mois de juillet et moins de 5°c au mois de janvier). Les précipitations sont très rares ne dépassent pas les 30mm / an, une évaporation réel dépassant les 480mm/an où les vents sont très fréquents dans la région. (Vitesse maximal de l'ordre de 4.20 m/s).

Le réseau hydrographique et très dense représenté par des nombreux oueds ne contiennent de l'eau que très rarement (en moyenne une fois à deux fois par siècle).

La principale source d'alimentation du chott Merouane se fait par l'Oued R'hir (drain).Ce dernier, est une large vallée étirée du Sud au Nord sur une longueur de150 km et une série des Oasis y est implantée sur une largeur exploitable de 20 à 30km. Le débit de drainage du canal collecteur de l'oued R'hir varie de 2.5m^3 .S^{-1} en été à 5-6 $m^3 \cdot S^{-1}$ en hiver.

Le chott Merouane est l'endroit le plus bas de l'Afrique de Nord-Ouest (environ 31 au dessous du niveau de la mer) il s'agit donc d'un exutoire pour les eaux souterraines du Complexe Terminal (figure n° :01) provenant du Nord, de l'Ouest et du Sud, notamment le long de l'Oued R'hir. La décharge des eaux souterraines du Complexe Terminal par drainance dans le chott est estimée à 62.345.000m3/an (ERESS, 1972).

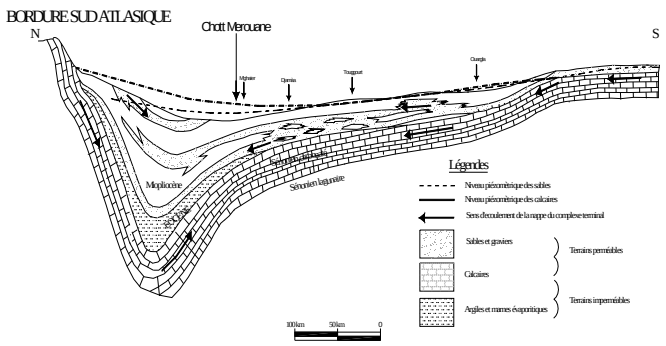


Figure n°01 : Coupe hydrogéologique

MATRIELS ET METHODES DE TRAVAIL

La méthode de travail consiste à suivre l'évolution spatio-temporelle de la salinité, notamment la concentration en chlore et en sodium. Dans ce but plusieurs prélèvements ont été établis selon les méthodes conventionnelles.

- Un échantillonnage hebdomadaire des saumures dans le chott, depuis le mois de janvier jusqu'au mois de juin (un échantillon de saumure et de sel depuis la périphérie vers le centre)
- Un échantillonnage des eaux de drainage du canal collecteur de l'Oued R'hir de l'aval du canal jusqu'au centre du chott, la même opération est reprise dans le canal de drainage des Oasis de N'sigha.
- Un échantillonnage des nappes des eaux souterraines pour établir l'influence nappes souterraines - chott

Les analyses faites ont été effectuées dans le laboratoire de géochimie de transfert du CNRS dans l'université Paul Sabatier Toulouse France, avec les appareils suivants :

- HPLC pour l'analyse des anions notamment le chlore
- l'absorption atomique pour l'analyse des cations notamment le sodium
- l'analyse minéralogique par rayons X a été faite au laboratoire de minéralogie CNRS Toulouse France

RESULTATS ET DISCUSSIONS

La chimie des saumures du Nord Afrique a été étudiée par plusieurs auteurs(Bryant et al,1994a ;1994b ; Valles et al,1997), Gueddari et al,(1983) utilisent les équations de pitzer pour la simulation géochimique des évaporations dans le chott El Jerid (Eugster et Hardie,1978)et Yechieli et Wood(2002) ont étudiés les processus géochimiques et hydrologiques des lacs salés.

L'évolution géochimique au cours de l'évaporation des eaux dépend principalement de la nature chimique des saumures d'origine. L'évaporation des eaux de mer montre un enrichissement en SO_4, Mg et augmentation de pH d'une part et diminution de la teneur de Ca d'autre part. Par contre pour les saumures continentales l'évolution se traduit par l'enrichissement en Ca, Mg et la diminution en SO_4^{--} et le pH diminué (Hardie et Eugster, 1970).

L'allure général de la courbe de Cl^- en fonction du temps (Figure n°02-A) montre un coefficient de corrélation prés de zéro (r=0.06), mais dans les cinq premières semaines un diminution très remarquable de la teneur du chlore dans les saumures de 169196à 105959ppm puis en assiste a une augmentation de la teneur au 9eme semaine pour atteindre 148612ppm. A partir de la 13eme semaine, les teneurs devinent de plus en plus élèves pour arrive une teneur 152722ppm et en fin de cycle le chlore reste dans les eaux résiduaires avec des teneurs très importantes. Le calcul de rapport stochéomètrique (ratio molaire) entre le chlore de départ Cl^-_0 et le chlore Cl^- ,

$Cl^-_0 / Cl^- = 1.39$; au départ le ratio molaire est de l'ordre 1.23 puis une augmentation du rapport pour atteindre 1.84 et en remarque une stabilité de ce dernier, ce ratio indique que la la concentration du chlore est très importante au départ est diminue à la fin du cycle.

Le chlore considère avec le sodium comme les éléments le plus abondants dans les saumures et forment un pourcentage important de la salinité (83.72 % des éléments majeurs)

La relation chlore en fonction de la densité est établi dans la figure sue dessous (figure n°01-B), Nous pouvons distinguer deux tendances :

- L'accroissement de la concentration du chlore au début en fonction de la densité
- Puis une diminution de la concentration du chlore à la fin

En distingués deux phases

- la phase de dissolution des anciens sels présents dans le chott par les eaux allochtones qui sont généralement très diluées ;
- une précipitation des minéraux chlorurés parmi eux l'halite, qui commence a se précipité a partir de la 16eme semaine

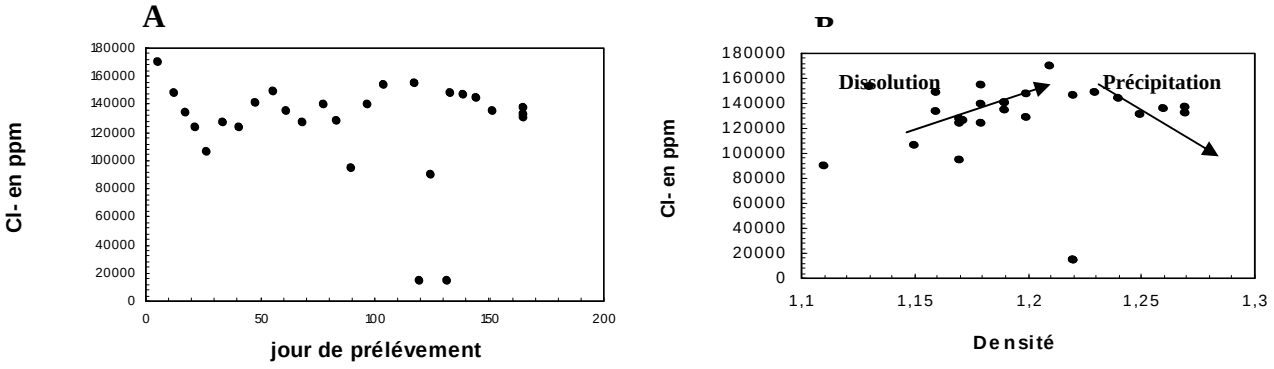


Figure n°02 : Variation de la concentration de chlore en fonction du temps et en fonction e la Densité, temps A, densité : B (du 01/01/2003 jusqu'à 30/06/2003)

La concentration de sodium dans les saumures de chott Merouane présente une légère corrélation négative (r= -0.487) au cours de l'évaporation du chott, leur comportement est similaire que celle de chlore. La courbe de l'évolution de sodium au cours du temps (figure n°03-A), montre un perturbation de comportement ; nous pouvons dénombre plus de 5 phase,

- au début on a une diminution de la concentration du sodium dans les saumures de 97209ppm pour arriver à une teneur de 66658ppm
- la deuxième phase les concentrations augmentent de 73518ppm pour atteindre 83234ppm
- La troisième phase les concentration diminué pour arrivé 52738ppm
- La quatrième phase augmentation de la concentration pour atteindre 88115ppm.
- Et en fin une diminution des teneurs pour arrivée a la fin de cycle a une teneur minimal 48053ppm.

Le calcul de ratio molaire de sodium préliminaire dans le chott et le sodium au cours de l'évaporation (Na^{+}_{0}/Na^{+}), montre une évolution positive au cours de période d'observation ce rapport varie de 1.28 jusqu'à 2.30 c'est adire que la teneur initiale est plus que le double de la concentration finale

L'interprétation de cette variation est peut expliquer par l'effet que le début ; les saumures sont très chargés en sodium cela est due au phénomène de dissolution, la quantité d'eau qui arrivée au chott est minimal, est le produit de solubilité de Na Cl est très élève donc l'halite c'est le premier minéral qui commence la dissolution pour enrichir les eaux d'apport (les eaux souterraines et les eaux de drainage du canal collecteur)

A partir de la courbe Na^{+} en fonction de la densité montre deux phases dans les saumures (figure n° : 03-B)

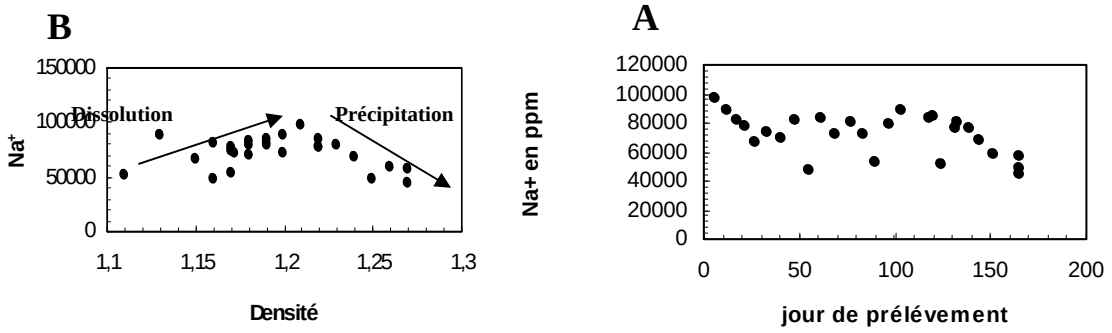


Figure n°03 : Variation de la concentration de sodium en fonction du temps et en fonction de la densité ; temps :A , densité : B (du 01/01/2003 jusqu'à 30/06/2003)

- premier stade augmentation de la concentration en fonction de la densité une corrélation positive, pour arrivée a une maximum au 16eme semaines.
- deuxième stade la corrélation devinent négative la concentration du sodium diminué est la densité accroît Cela vue dire que ont deux phénomènes

- la dissolution des minéraux évaporitiques des anciens cycles
- puis la précipitation sous formes des minéraux évapoitiques (NaCl)

L'analyse des échantillons des sels par les rayons X, et l'utilisation de logiciel **PHREEQ,** confirmé les observations sus dessus :

- Tous les échantillons analysés par rayons X, montrent la présence d'halite à partir de la quatorzième semaine.
- Le calcul de l'indice de saturation d'halite par le logiciel **PHREEQ,** montre un saturation des saumures en halite (figure n° : 04)

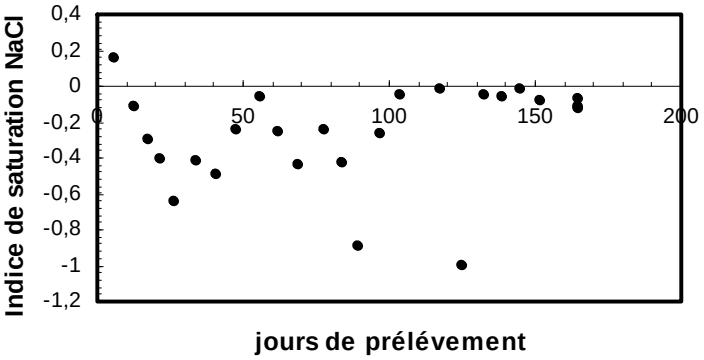


Figure n°04 : Variation de l'indice de saturation d'halite (du 01/01/2003 jusqu'à 30/06/2003)

CONCLUSIONS

Les concentrations des saumures du chott Merouane en chlore et en sodium sont très importantes et constituées une source renouvelable pour les sels, ces éléments ont une origine géologique; par précipitation

depuis la formation du chott jusqu'à l'heure actuelle. L'évolution du chlore et de sodium est fonction de deux phénomènes, la dissolution et la précipitation, qui sont fonction de la densité.

En fin on recommande une densité de pompage des saumures vers les bassin de cristallisation inférieure a 1.2 (24°boumée) (figure : 2 et 3)

BIBLIOGRAPHIE

1. Bryant, R.G., Drake, N.A. Millington A.C. and Sellwood B.W. (1994a) The chemical evolution of the brines of Chott el Djerid, southern Tunisia, after an exceptional rainfall event in January 1990. In: R.W. Renaut and W.M. Last, Editors, *The sedimentlogy and geochemistry of modern and ancient saline lakes* **vol. 50**, SEPM Special Publication, Tulsa, Oklahoma, USA, pp. 3–12.
2. Bryant, R.G., Sellwood B.W., Millington A.C. and Drake N.A., (1994b) Marine-like potash evaporate formation on a continental playa: case study from Chott el Djerid, southern Tunisia, *Sed. Geol.*, 90, 269-291.
3. Castany G. (1982) Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie Tunisie). Aquifères du continental intercalaire et du complexe terminal .Bull.BRGM 2 III (2), 127-167
4. Cornet A ., (1964) Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Rev. Géog. Phys. et Géol. Dyn.VI (1), 5-72
5. ERESS, (1972) Etude de ressources en eau dans le Sahara septentrional. UNESCO Rapport final, annexe 7.Paris.
6. Eugster H. P. and Hardie L. A. (1978) Saline lakes. In: A. Lerman, Editor, *Lakes: Chemistry, Geology, Physics*, Springer-Verlag, New York pp. 237–293.
7. Gouskov N. (1952) Le problème hydrogéologique du bassin de l'Oued R'hir (La géologie et le problème de l'eau en Algérie .Tome II- Données sur l'hydrogéologie algérienne).XIXé congrès géologique international
8. Gueddari M. (1980) : Géochimie des sels et des saumures du chott El Jerid (Sud Tunisien). Thèse de doctorat 3eme cycle (131p).
9. Gueddari M., Monnin C., Perret D., Fritz B. and Tardy, Y. (1983) Geochemistry of brines of the Chott El Jerid in southern Tunisia — Application of Pitzer's equations, Chem. Geo., 39,165-178.
10. Hardie L. A. and H.P. Eugster, H.P. (1970) The evolution of closed-basin brines. *Mineral Society of America: Special Publication* **3**, 273–290.
11. Merabat O. et Popov A.. (1971) Les bassins salifères de l'Algérie. Publ. sec. Géol. Algérie (Nlle série).Bull.n°41. pp. 59 à 70.
12. Saltec-Lavalin. (1983) Avant projet exploitation de chott Merouane. SONAREM/DED.
13. Yechieli Y. and Wood W. W. (2002) Hydrogeologic processes in saline systems: playas, sabkhas, and saline lakes, *Earth-Science Reviews*, 58, 343-365.

Cartographie de la salinité de la plaine du Bas Chéliff par la méthode de la regression-krigeage basée sur la télédétection

A. DOUAOUI, H. NICOLAS & C. WALTER
Université Hassiba Benbouali de Chlef, Laboratoire Eau-Environnement
ENSA – INRA Rennes, UMR Sol, Agronomie, Spatialisation

INTRODUCTION

La plaine du Bas Chéliff qui fait plus de 40000 ha est l'une des régions les plus touchées par la salinité en Algérie. Le climat est caractérisé par ses étés très chauds et des températures basses en hivers avec une pluviométrie annuelle moyenne de 250 mm.

Les objectifs de ce travail sont d'une part, la cartographie de la salinité à l'échelle régionale et d'autre part, l'évaluation de l'apport de la télédétection dans la mise en évidence de la salinité des sols de la plaine du Bas Chéliff ainsi que l'amélioration de la prédiction spatiale par la combinaison de la télédétection et de la géostatistique.

MATERIEL ET METHODES

Plan d'échantillonnage

Il s'agit d'un échantillonnage systématique aux nœuds d'une grille carrée de 250 m de coté. Dans la pratique le nombre des échantillons prélevés et analysés est de 3980.

Données de terrain

La reconnaissance et le prélèvement des échantillons ont été effectués durant la période s'étalant entre le mois juin et juillet de l'année 1997. Le choix de cette période coïncide avec la période où la couverture végétale est très faible voire inexistante dans certaines régions de la plaine. C'est aussi durant cette période que l'accumulation des sels est la plus importante à la surface du sol et par conséquent plus facilement détectable.

L'image SPOT

L'image utilisée correspond à la scène SPOT2 multispectrale (XS1, XS2, XS3) du mois de juillet portant la référence 0129525-4.

Cette image a été géoréférencée par 25 points de contrôle répartis sur toute la plaine choisis sur les cartes topographiques au 1/50000.

Les méthodes d'estimation spatiale de la salinité

Le krigeage Ordinaire

Le krigeage ordinaire à variogramme global est une interpolation linéaire qui consiste à estimer un point quelconque inconnu dans l'espace (Z_0*) en fonction d'un voisinage de points Z_i.

La classification typologique de l'image satellitaire

Comme nous disposons d'une série d'informations suffisantes, la classification supervisée a été utilisée. L'algorithme retenu pour la classification de ces zones est celui de la distance minimale.

La carte de la salinité issue du classement de l'image satellitaire (téléd-moy)

La transformation de l'image satellitaire obtenue par le logiciel du traitement d'image en raster et l'affectation à chaque pixel de 20 m de résolution la valeur moyenne de la CE de la classe correspondante a permis d'avoir une valeur de CE pour chaque pixel. Par simple requête, la carte a été classée ensuite selon cinq classes (< 4, 4-8, 8-16, 16-25 et > 25 dS/m). On a obtenu une carte de la salinité moyenne des classes de la télédétection (téléd-moy)

La carte de la salinité issue de la régression (téléd-regr)

L'ajustement du nuage de points entre la CE mesurée et la l'indice de salinité (Is = (vert^2 + rouge^2) ^{½}) a permis d'affecter à chaque pixel la valeur de la CE estimée par régression linéaire. La carte des classes de salinité a été établie de la même manière que dans le cas précédent par l'utilisation du SIG (téléd-regr).

La régression-krigeage (RKR)

Cette méthode dite hybride consiste à utiliser les estimations de la CE établies, dans notre cas, à partir de la télédétection dans la cartographie de la salinité en utilisant les résultats de la méthode précédente (*téléd-regr)*. Pour ce faire, on calcule la différence entre la valeur de la CE mesurée et la valeur de la CE estimée par l'apport de la télédétection en chaque point échantillonné afin d'obtenir des résidus. Un krigeage ordinaire est alors appliqué à ces résidus avec une résolution de 20 m pour les additionner par la suite en mode raster aux valeurs estimées ayant la même résolution (Bishop et Mc Bratney, 2001).

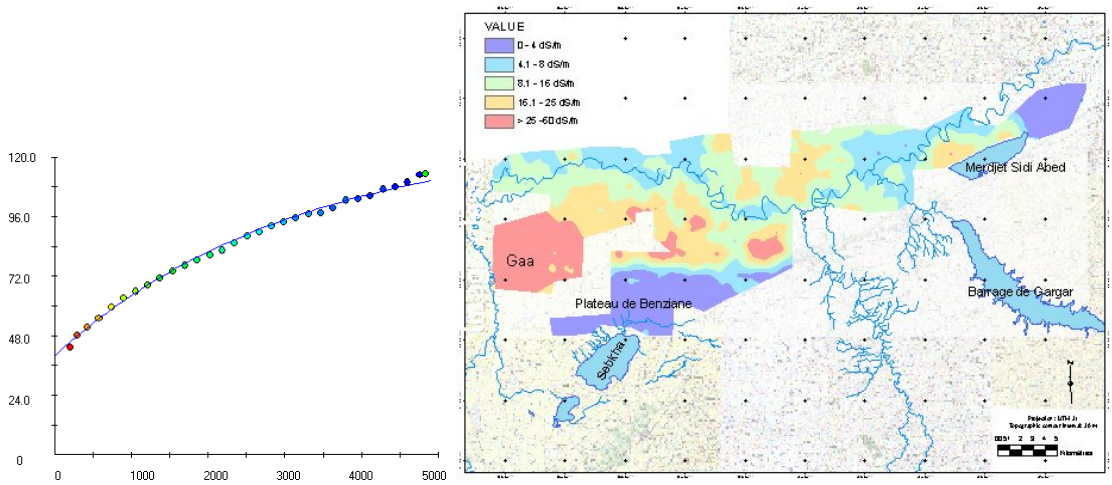
La validation

La validation a été faite sur un jeu d'échantillons au nombre de 597 tirés aléatoirement à partir des 3980 prélèvements (15 %). Trois critères ont été retenus pour comparer entre les quatre méthodes de cartographie utilisées (krigeage ordinaire, téléd. moy., téléd. Regr., RKR). Il s'agit de l'erreur moyenne, la racine quadratique de l'erreur moyenne et le rang moyen

RESULTATS ET DISCUSSION

Carte de la salinité par krigeage ordinaire

Le variogramme expérimental moyen a été calculé sur une distance de 5000 m avec des classes distantes de 50 m. Cette dernière distance sera maintenues lors de l'estimation de la CE par krigeage. Comme le palier ne peut être atteint que de manière asymptotique, ce variogramme a été ajusté à un modèle exponentiel de 40 (dS/m)^2 d'effet de pépite, d'un palier de 90 (dS/m)^2 et d'une portée de 3200 m (fig. 1a).



a- le variogramme b- carte

Figure 1. Variogramme et carte de la salinité établie par krigeage ordinaire

Il apparaît d'après la carte de la salinité établie par krigeage ordinaire (fig. 1) que les zones les plus salées se concentrent dans la partie ouest de la plaine et particulièrement dans la Gaa (dépression fermée). Les zones les moins salées se localisent sur le plateau de Benziane et sur la colline formant la l'extrême est de la plaine.

Le principal oued de la plaine autour duquel les sols semblent être épargnés d'une salure élevée et ce, malgré une irrigation importante, semble bien jouer son rôle de drain naturel (fig1b).

Par ailleurs, l'absence quasi-totale de plages de CE > 25 dS/m dans la partie est, malgré l'existence de nombreux échantillons dépassant ce seuil, témoigne d'un lissage important des valeurs extrêmes se traduisant par une tendance à la sous-estimation.

Traitement de l'image satellitaire

Comme nous disposons d'une série d'informations suffisantes, la classification supervisée a été utilisée.

Le croisement de l'ensemble de ces informations combiné à l'interprétation visuelle de l'image satellitaire nous a conduit à définir 11 classes. Chaque classe a été définie par plusieurs polygones avec un minimum de 200 pixels chacun (fig. 2).

Le calcul de la matrice de confusion permettant d'apprécier la pertinence de cette classification a donné une valeur du coefficient de Kappa égale à 95.02 %. Sachant que la valeur critique du coefficient de Kappa au delà de laquelle une classification est jugée acceptable est de 75 % (Gerard et Gerard, 1999), les résultats de notre classification sont de loin très satisfaisants, d'autant plus que l'ensemble des 100 % des pixels ont été classés. La précision totale d'une valeur 95.66 % montre aussi la qualité élevée de cette classification.

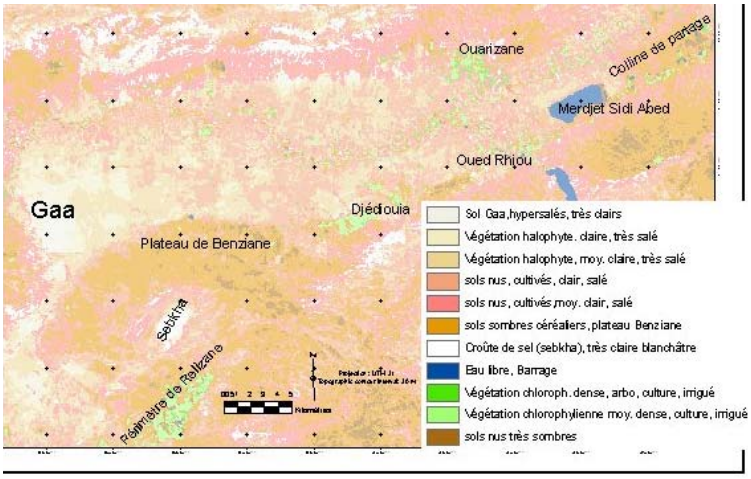


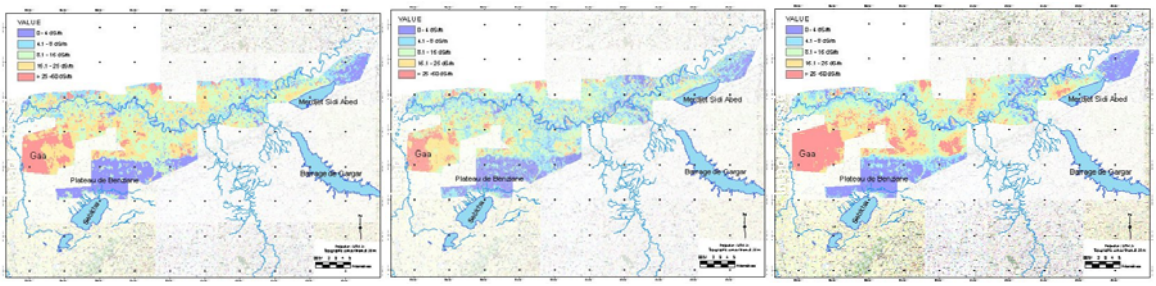
Figure 2. Classification de l'image SPOT XS

La meilleure combinaison possible des données de télédétection qui soit la mieux corrélée aux points de CE échantillonnés, souvent mise en évidence (Metternicht et Zink, 2003) est exprimée par un coefficient de corrélation égal à 0.66 correspondant à une combinaison des données de la télédétection définie par :

$$\text{Indice de salinité} = (V^2+R^2)^{1/2}$$

Etablissement des cartes de la salinité par l'apport de la télédétection

La carte de la salinité (téléd-moy.) issue de la CE moyenne des classes de télédétection montre une sous-estimation importante des superficies dont la salinité est supérieure à 25 dS/m. La carte de la salinité établie par la régression entre la CE mesurée et l'indice de salinité montre une sous-estimation encore plus élevée des superficies dont la salinité est très élevée. L'application de la méthode de régression-krigeage sur la régression entre la CE mesurée et l'indice de la salinité de la télédétection a permis d'obtenir des superficies plus importantes en CE > 25 dS/m (fig. 3).



a b c

Figure 3. Carte de la salinité (téléd-moy.) a, (téléd-regr) b, (régression-krigeage) c

Le tableau 1 montre que pour la CE élevée (> 16 dS/m), les superficies trouvées selon les méthodes utilisées sont par ordre décroissant :

RKR> téléd-moyenne > KO > téléd-régression

Tableau 1. Superficies des classes de CE selon les quatre méthodes de cartographie

EC (dS/m)	0 - 4	4 - 8	8 - 16	> 16
EC ordinary kriging	6326	7876	12371	12891
EC mean (classes)	7923	4894	12908	13860
EC regression (Is)	7773	10851	13418	7543
EC regression-kriging	7601	6184	11184	14491

Cette amélioration de la qualité de l'estimation par le KRK devient nettement plus performante par rapport aux autres méthodes à partir des valeurs de CE de 25 dS/m (tab. 2).

Tableau 2. Validation statistique de la qualité de l'estimation des points > 25 dS/m (100 points)

	KO	Téléd. moy.	Téléd. regr.	Reg. Krig. regr.
EM	-8.57	-10.60	-14.22	-6.50
RCEM	11.49	13.54	16.46	11.1
RM	2.17	2.35	3.39	1.94

CONCLUSION

Les cartes obtenues ont permis de montrer l'ampleur de la salinisation des sols dans la plaine du Bas Chéliff. L'estimation spatiale de la salinité obtenue par l'introduction de la variable auxiliaire « Is » de la télédétection dans le cadre de la méthode régression-krigeage a permis d'améliorer la cartographie de la salinité.

La cartographie de la salinité par la combinaison du SIG et de la télédétection, même si elle reste moins précise que le KO et la RKR, présente, néanmoins, l'avantage d'avoir estimé la CE par des superficies très proches de la RKR en utilisant que 9 valeurs moyennes. Ces résultats sont très prometteurs dans une perspective d'un suivi spatio-temporel de la salinité par combinaison de la géostatistique, du SIG et de la télédétection avec un minimum d'échantillons (échantillonnage stratifié) et un niveau de précision acceptable.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bishop, T.F.A., McBratney, A.B., 2001. A comparison of prediction methods for the creation of field-extent soil property maps. Geoderma 103, 149-160.
2. Girard, M.C., Girard, C.M., 1999. Traitement des données de télédétection. DUNOD Ed. Paris, 529 p.
3. Metternicht, G. I., Zink, J. A., 2003. Remote sensing of soil salinity : potentials and constraints. Remote Sensing of Envoronment, 5812, 1-20.

Géochimie et minéralogie des sols et des saumures des sebkhas dans l'écosystème désertique. Exemple de la cuvette de Ouargla, Sahara algérien

Belhadj HAMDI-AISSA[1 & 2], Vincent VALLES [3], Alain AVENTURIER [4], Olivier RIBOLZI [5]

[1] Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-Arides « ECO-SYS » & Laboratoire d'Analyses Physico-Chimiques, Dép. d'Agronomie, Université de Ouargla, BP. 511, Ouargla 30000, Algérie
[2] Laboratoire de Recherches Eau-Sol-Ecosystème, INA El-Harrache, Algérie
[3] Laboratoire de Chimie & Environnement, Université de Provence, Marseille, France
[4] Unité de Recherches et d'Analyses, CIRAD Montpellier, France
[5] IRD - Ouagadougou, Burkina Faso
Correspondances : *hamdi_30@yahoo.fr*

INTRODUCTION

L'intensité de l'aridité présente une forte hétérogénéité à l'échelle planétaire. Quelques écosystèmes comme le désert du Sahara représentent un terme extrême de la sécheresse (Le Houérou 2001). En dessous de cette limite les auteurs ont montrés qu'il y a une grande différence dans le milieu naturel, notamment les processus liés à la géochimie des eaux et des sols (Rognon, 1994 ; Goudie, 1997).

Les processus géochimiques responsables de l'acquisition du faciès salin dans ces régions pré saharienne a fait l'objet de divers travaux (Gueddari, 1984; Rezagui, 1993 ; Valles et al., 1997). Cependant les travaux les plus récents ont montre que la séquence de précipitation simple, connue depuis les années 1980, a savoir calcite, gypse, halite doit être revue. Il parait en particulier que des minéraux sulfates très solubles, tels que la mirabilite, puisse se former dans le milieu naturel, ce qui est important pour la connaissance du faciès chimique des saumures. De plus, les informations sur les minéraux impliquant des éléments mineurs sont extrêmement rares.

Par ailleurs, les régions hyper-aride telles que celle du desert du Sahara ont fait l'objet de peu d'études en comparaisons des zones arides.

Ainsi, l'objectif de ce travail consiste à étudier la nature des sels s'accumulant dans cette région saharienne et essayer d'apprécier l'impact du caractère hyper aride sur la minéralogie dans ces sols. Une attention particulière sera accordée à l'état d'hydratation des minéraux lors de la comparaison entre zones arides et hyper-arides. Le choix de la région de Ouargla est motivé par la simplicité du système hydrochimique; en effet, toute l'eau de cette dépression provient de remontées artésiennes; elle a une origine profonde unique (PNUD-UNESCO, 1972 ; Guendouz, 1985, Hamdi-Aïssa, 2004).

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude

Soumise à un climat désertique, la cuvette de Ouargla (coordonnées géographiques : de 31°54' à 32°1' N, et de 5°15' à 5°27' E, 134 m d'altitude) en Algérie présente des étendues de sols gypseux et de sols naturellement sales (Hamdi-Aïssa & Girard, 2000). La présence de zones dépressionnaires dans lesquelles affleure la nappe est à l'origine de phénomènes de salinisation très intense conduisant a la formation de saumures et de croûtes salines. En revanche, les zones les plus hautes du paysage, sont moins atteintes par les processus de salinisation.

Echantillonnage
A travers la cuvette de Ouargla nous avons sélectionné sept profils pédologiques représentatifs des différents pédopaysages de la sebkha et ses bordures. 42 échantillons d'eaux naturelles (saumures et nappe) ont été prélevés à partir des pièzomètres.

Analyses au laboratoire
Le température, le pH, le potentiel redox Eh et la conductivité électrique CE ont été mesurés sur le terrain pour les eaux de nappes et les saumures (échantillons non filtrés). Les analyses chimiques et physico-chimques ont été effectués au laboratoire pour les eaux et pour des extraits de pâtes saturées de sols : CO_3^{2-} et HCO_3^- par titrimétrie avec H_2SO_4 (Richards et al. 1954), Cl^-, SO_4^{2-} par chromatographie phase liquide (Waters ILC-2 ion/liquid chromatograph with IC-PAK anion column). Na^+ et K^+ par spectrophotomètre à flamme, Mg^{2+} et Ca^{2+} par spectrophotomètre d'absorption atomique, Sr^{2+} par IPC-AES. Les analyses chimiques des sols ont été combinées avec : i) des analyses minéralogiques aux rayons X sur poudres non orientées (i.e. Siemens D 5000 diffractometer with the Cu-Kα radiation, associated to a Ni filter working at 30 mA and 40 KV) et ii) des observations micromorphologiques au Microscope Electronique à Balayage (MEB avec microsonde) sur des échantillons de sols non perturbés.
Les activités des ions ont été estimées à partir des analyses chimiques grâce au modèle d'association ionique AQUA (Valles et De Cockborne, 1992). Ce modèle a été spécialement adapté pour traiter le cas de solutions très concentrées telles que les saumures d'Afrique du Nord.

RESULTATS ET DISCUSSION

Caractérisation de la famille chimique des eaux et solutions du sol.
Le diagramme de Piper montre un seul nuage de point, ce qui suggère une seule famille géochimique. En revanche, le faciès chimique varie de façon notable. Le faciès des eaux les moins concentrées est sulfaté calcique puis sulfaté sodique/magnésien et enfin chloruré sodique pour les échantillons les plus concentrés.
Cette évolution est comparable à d'autres cas décrits en Afrique du Nord, notamment dans la région voisine de Chott Merouan et Melrhir (Rezagui, 1993 ; Valles et al., 1997). La différence est qu'ici, les eaux les moins concentrées sont déjà relativement chargées en éléments dissous et le faciès est déjà sulfaté calcique, alors qu'il peut être carbonaté/sulfaté calcique dans le cas d'eaux moins concentrées. Cette évolution traduit l'appartenance à la voie saline neutre (Rieu & Cheverry, 1976).

Diagrammes de concentration
La molalité en sulfate plus l'alcalinité est supérieure à celles du calcium. L'alcalinité résiduelle calcite plus gypse est positive. Lorsque les eaux se concentrent et précipitent du gypse, la molalité en sulfate augmente, de même que l'alcalinité alors que la molalité en calcium est stable (l'activité du calcium diminue). Du fait des précipitations, la molalité en sulfate augmente moins vite que celle du chlorure et du sodium, notamment pour les eaux très concentrées ce qui suggère la précipitations de minéraux sulfatés autres que le gypse. Enfin, les eaux les plus concentrées sont chlorurées sodiques et évoluent probablement vers la précipitation de halite.
Il convient de remarquer que la molalité en sodium comme celle potassium ne semblent pas subir de phénomènes de contrôle comme c'est le cas dans d'autres systèmes nord africains impliquant le complexe d'échange cationique du sol. Ce résultat rappelle ceux obtenus dans les Chotts El-Jerid par Gueddari (1984) ou dans les Chotts Melghir et Merouane par Rezagui (1993) et Valles et al. (1997). Ceci suggère une évaporation de nappe à l'air libre,

comme dans les Chotts, avec une faible influence des argiles et des phénomènes d'échange cationiques.
Cependant, la dispersion assez foret des points autour de la tendance moyenne, surtout pour le magnésium, le calcium et le sulfate suggère plusieurs origines des eaux, la nappe et probablement une origine plus superficielle. L'origine profonde semble dominer.

Diagrammes d'équilibre

Calcite, gypse, anhydrite, halite et sylvite

Les résultats montrent que toutes les eaux sont en équilibre avec la calcite et en équilibre ou proche de l'équilibre avec le gypse. Cependant, pour les points les plus concentrés, une légère sur saturation par rapport au gypse peut être observée. Ce résultat pourrait être attribuée à la précipitation de formes de sulfate de calcium moins hydratées que le gypse dans le cas des saumures. L'équilibre avec l'anhydrite est d'ailleurs atteint pour quelques solutions très concentrées.

Mirabilite, Bloedite et glauberite

Les calculs montrent que l'équilibre entre solution et mirabilite est atteint pour les saumures. Une fois l'équilibre atteint, les solutions évoluent vers la branche Na dominant, ce qui permet d'envisager la précipitation ultérieure de la halite. L'équilibre avec la Bloedite et la glauberite est aussi atteint dans le cas des saumures, mais pour la Bloedite, l'équilibre est moins évident que pour la glauberite. Cet équilibre ne concerne que quelques échantillons et semble donc moins fréquent que pour la glauberite et surtout que pour la mirabilite.
Ce résultat est important car il confirme la présence des sulfates de sodium (mirabilite évoluant en thénardite à l'air) pour ces zones nord sahariennes. La présence de ce minéral n'a été mentionné que lors d'essais d'évaporation en bac par Gueddari (1984), mais a été trouvé en abondance dans ces milieux naturels (Rezagui, 1993). En revanche, la possible formation de glaubérite et de Bloedite complètent les connaissances que l'on a sur ces milieux; il s'agit d'un point original s'il était confirmé par la diffraction de rayons X ou autre technique. En revanche, les eaux sont nettement sous-saturées par rapport à la syngénite, l'epsomite.

Halite et sylvite

Les calculs montrent que l'équilibre avec la halite est quasiment atteint contrairement à celui avec la sylvite. La précipitation de chlorure de calcium semble être le terme ultime de la série des précipitations observées dans ce milieu naturel. ceci confirme les travaux précédents sur les chotts El Jerid et Melghir et Mérouane.

CONCLUSION

L'étude minéralogique de cette région saharienne met en évidence des analogies mais surtout des particularités par rapports aux travaux conduits sur les régions voisines moins arides. A la séquence de précipitation calcite/gypse/mirabilite-halite habituelle des régions méditerranéennes aux régions arides prés-sahariennes, il convient d'ajouter des semis hydrates de calcium (basanite), de l'hexahydrite et des sulfates mixtes (glaubérite, bloedite, eugstérite) pour ces sols de contrées désertiques.
La présence de ces minéraux mise en évidence par rayons X et le MEB confirme avec les calculs géochimiques réalisés sur les solutions avec une coïncidence remarquable compte tenu de la forte salinité de ce milieu.
Les analyses ont mise en évidence des formes déshydratées du gypse qui ont été attribuées à l'effet conjoint des fortes température de la surface et de la salinité liée à l'extrême aridité, la transformation entre formes hydratées et partiellement déshydratées pouvant être rapide.
En dépit de la faible disponibilité en eau, ce milieu hyper aride présente une remarquable réactivité chimique et minéralogique. Ceci est du en particulier aux fortes solubilités des

minéraux et à la diversité des niveau d'hydratation des minéraux. Le premier processus permet une remobilisation de quantités chimiques importantes pour une faible variation des teneurs en eau. Le second favorise les phénomènes alternatifs de dissolution et précipitation liées aux changement de l'état d'hydratation.

BIBLIOGRAPHIE

1. Goudie, A.S. 1997. Weathering processes, pp. 25-39, in D.S.G. Thomas, ed., *Arid zone geomorphology : processes, form, and change*. Draylands, Wiley, Chichester.

2. Gueddari, M. 1984. Géochimie et thermodynamique des évaporites continentales. Etude du lac natron en Tanzanie et du Chott El-Jerid en Tunisie. *Mémoire des Sciences Géologiques* 76:1-143

3. Guendouz, A.1985. Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara nord-est septentrional, Algérie. Thèse Université Paris-Sud, Orsay.

4. Hamdi-Aïssa, B., V. Valles, A. Aventurier & O. Ribolzi. 2004. Soils and brines geochemistry and mineralogy of hyper arid desert playa, Ouargla basin, Algerian Sahara. *Arid Land Research and Management*, 18, 103-126

5. Hamdi-Aïssa, B., and M.C. Girard. 2000. Utilisation de la télédétection en régions sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. *Sècheresse* 3: 179-188.

6. Le Houérou, H.N. 2001. Biogeography of the arid steppeland North of the Sahara. *Journal of Arid Environments* 48: 103-128.

7. PNUD-UNESCO, 1972. Projet Reg 100. *Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet*, UNESCO, Paris.

8. Rezagui, M. 1993. Dynamique des sels dans les eaux et les plantes halophytes (Salicornia L.) dans deux régions arides (Algérie et Espagne). Thèse de magitère, Université d'Annaba.

9. Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alcali soils*. U.S.S. Laboratory. USDA Handbook. 60.

10. Rieu, M. and C. Cheverry. 1976. Mise au point bibliographique sur quelques recherches récentes en matière des sols salés. *Cahier de l'ORSTOM, série Pédololgie* 14: 39-61.

11. Rognon P. 1994. Les conséquences de la sécheresse sur la pédogenèse. *Sécheresse,* 5 : pp. 173-184

12. Valles, V. and A.M. De Cockborne. 1992. Elaboration d'un logiciel de géochimie appliqué à l'étude de la qualité des eaux, pp. 27-30, *in Colloque "Altération et restauration de la qualité des eaux continentales"*, Port Leucate.

13. Valles, V., M. Rezagui, L. Auque, A. Semadi, L. Roger, and H. Zouggari. 1997. Geochemistry of saline soils in two arid zones of the mediterranean basin. I. Geochemistry of the Chott Melghir-Mehrouane watershed in Algeria. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 11: 71-84

ESTIMATION DES CRUES EN ZONE SEMI-ARIDE :CAS DU BASSIN VERSANT DE L'OUED SLY (CHLEF).

M. ACHITE[1] & M. MEDDI[2]
1.Université des sciences et de la technologie d'Oran, faculté de Génie Civil et d'architecture, département d'hydraulique, El M'Naouar, B.P 1505, ORAN (31000).
E-Mail : achite_meddz@yahoo.fr
2. Laboratoire Eau, Roche et Plante - Centre Universitaire de Khemis Miliana
44225 Khemis Miliana
E-Mail : mmeddi@yahoo.fr

INTRODUCTION

Les problèmes liés aux crues sont de plus en plus préoccupant, en effet, de nombreuses ruptures de barrages sont imputables à une capacité insuffisante de l'évacuateur de crue (Parrett, 1983). On doit rappeler également qu'il existe un grand nombre de méthodes hydrologique qui conduisent à des résultats diffèrent pour l'estimations des crues de même probabilité apparente. Le choix de la méthode doit être adapté aux caractéristiques climatiques et régionales et aux données disponibles. Dans ce travail, nous allons présenter quelques méthodes d'estimation des crues à savoir : les méthodes empiriques, d'autres basée, seulement sur, les données d'observation des débits (méthode statistique), méthode basée sur les données d'observation des pluies (méthode de l'hydrogramme synthétique) et en fin une méthode basée sur les données d'observation des pluies et des débits (méthode du gradex).

LE BASSIN VERSANT ETUDIE

Le bassin versant de l'Oued Sly est situé dans la partie Sud Ouest du massif de l'Ouarsenis, ce dernier se situe dans la partie centrale de l'Algérie septentrionale à une distance d'environ 200 kms au Sud Ouest d'Alger. Le bassin s'étend sur une superficie de 1225 km. A travers ce bassin coule plusieurs Oueds dont les plus importants : Oued Ardjem, Lag, Tamellahat et El Melah.

DONNEES UTILISEES

Les données de base de cette étude sont recueillies à partir des annuaires de l'Agence National des ressources Hydraulique (**A.N.R.H**). D'une part, il est souhaitable de disposer de séries de données sur au moins 30 ans avec un minimum de 10 ans pour fournir une information utile (CIGB, 1992). D'autre part, la fiabilité des données constitue toujours un élément important et essentiel. Les séries des données s'étendent sur une période de 32 ans (1967/1968 - 1999/2000).

METHODES UTILISEES

La prédétermination du débit maximum probable a un intérêt socio-économique évident en raison des effets destructifs de ces cataclysmes hydrologiques, et la nécessité de calculer certains ouvrages de protection dont les dimensions sont essentiellement déterminées par le maximum probable de la crue, auquel ces ouvrages doivent faire face. Exemple : les hauteurs de digues, les dimensions d'évacuateurs de crues des barrages, détermination des zones vulnérables aux inondations... etc. Les crues sont donc considérées comme des risques naturels contre lesquels il faut se protéger par la prévention et la prévision. Les méthodes utilisées sont :

- ✓ Méthodes basées sur l'application des formules empiriques
- ✓ Méthodes statistiques basées sur l'analyse des fréquences de crues :
- ✓ Méthode hydrométéorologique de prédétermination de crues : méthode du Gradex (Guillot et al., 1967)
- ✓ Méthodes basées sur l'analyse des données pluviométriques

RESULTATS ET DISCUSSION

La méthode basée sur l'analyse statistique des débits maximum des crues a été prise comme référence. Cette dernière est basée sur des données observées (débits), Miquel, 1984.

La figure 4 montre l'existence de 3 groupes de méthodes :

- Les méthodes du Gradex et celle de l'hydrogramme synthétique sans déficit surestiment les débits des crues ;
- La méthode de Posenti sous-estime les débits ;
- Les méthodes de l'hydrogramme synthétique avec déficit et la méthode basée sur l'application de la formule empirique de Maillet et Gauttier semblent donner les résultats probants.

La surestimation obtenue par la méthode de l'hydrogramme synthétique sans déficit est due à la non prise en compte du déficit hydrique, alors qu'en réalité il y existe toujours, principalement pour les bassins qui présentent des coefficients de perméabilités élevés. Ce qui explique d'ailleurs la bonne estimation des débits dans le cas de la prise en considération du déficit.

Les valeurs des débits surestimées obtenues par la méthode du Gradex sont dues au type du climat (semi-aride), CGGB, 1994, aux caractéristiques biophysiographiques du bassin (perméabilité des terrains, couvert végétal,…). La méthode de Posenti montre son inadaptation aux conditions algériennes, essentiellement pour les grandes périodes de retour.

En plus de la méthode statistique, la méthode de l'hydrogramme synthétique avec déficit et celle basée sur l'application de la formule empirique de Maillet et Gauttier semblent donner des résultats satisfaisants. Cette dernière a d'ailleurs bien montré son efficacité aux conditions Algériennes.

Toutefois, l'ensemble de ces méthodes donnent des faibles écarts pour les faibles périodes de retour (T<20 ans). Ces écarts prennent de l'ampleur au fur et à mesure que la période de retour augmente.

Le choix de la crue dépend donc du degré de risque admis en cas de dépassement de celle-ci. Dans beaucoup de cas, les conséquences de la rupture du barrage seraient si sévères qu'une probabilité significative de rupture n'est plus tolérée, et la protection doit être assurée jusqu'à un niveau de crue maximale. Autrement dit, il faut respecter à la fois les conditions techniques et économiques (CIGB, 1992).

Tableau 4 : Débits maximum des crues estimes par différentes méthodes.

Période de retour / Méthode	**10**	**20**	**50**	**100**	**500**	**1000**	**5000**
Formule de Maillet et Gauttier	776,15	990,86	1220,10	1384,61	1694,41	1930.10	2100.,00
Formule de Posenti	679,42	791,19	935,88	1094,48	1291,53	1420,61	1580,10
Méthode Statistique	576,74	830,10	1040,25	1280,13	1741,70	2205,81	2280,30
Hydrogramme synthétique sans déficit	912,35	1220,10	1530,48	1820,17	2260,94	2500,51	2886,17
Hydrogramme synthétique avec déficit	681,25	984,44	1126,97	1450,75	1753,73	2017,34	2350,10
Gradex	880,00	1220,20	150078	1850,36	2247,22	2570,27	2948,28

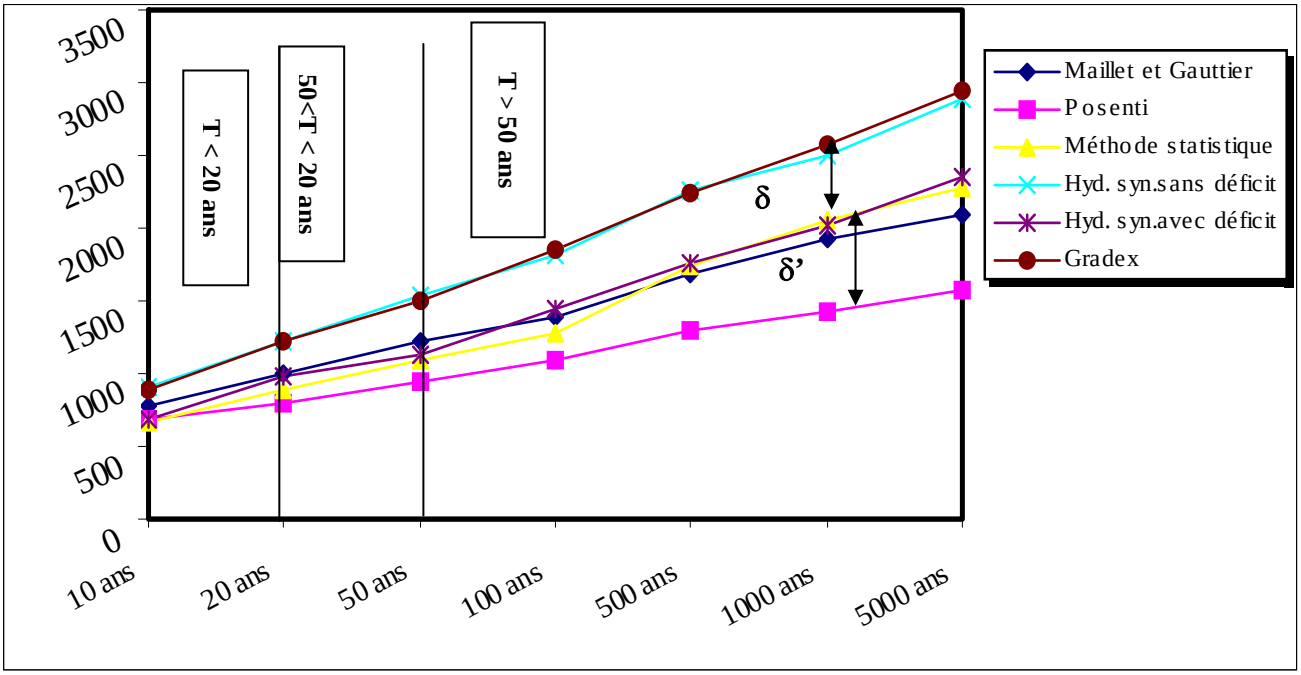


Fig.4: Débits maximum des crues pour différentes périodes de retour.

CONCLUSION

La complexité du problème auquel est confronté l'ingénieur pour définir les caractéristiques de la crue à prendre en compte pour le calcul des ouvrages d'évacuation des crues a été souligné.

L'analyse critique des différentes méthodes d'estimation des crues dont dispose l'ingénieur pou estimer les crues pour différentes périodes de retour ont pour base les observations pluviométriques et/ou hydrométriques. Les résultats fournis par l'application de ces méthodes dépendent essentiellement des données disponibles au départ, mais il faut insister sur l'importance de la qualité (fiabilité) de ces données. Parfois, on est obligé d'appliquer des formules empiriques pour l'estimation des crues dans le cas d'absence de données d'observation. Donc, on recommande aux utilisateurs de choisir celle qui répond au mieux aux conditions locales.

En fin, on peut dire, que plusieurs facteurs peuvent entrer en jeu quant au choix de la méthode d'estimation à savoir : les facteurs climatiques, caractéristiques physiques du bassin, disponibilité des données, fiabilité des données…

En plus de la méthode statistique, la méthode de l'hydrogramme synthétique avec déficit et celle basée sur l'application de la formule empirique de Maillet et Gauttier semblent donner des résultats encouragent.

BIBLIOGRAPHIES

1.CFGB 1994 Les crues de projet des barrages : Methode du Gradex, 18 congrés CIGB

2.CIGB 1992 Choix de la crue de projet, Comité International des grands Barrage, bulletin 82,

3.Guillot, P., Duband, D. 1967 La méthode du Gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies, IAHS.

4.Miquel J. 1984 Guide pratique d'estimation des probabilités des crues. Ed/Eyrolles, France.

5.Parrett, F. 1983 History of dam safety development in the united states, Seminar on safety evaluation of existing dams for foreign engineers, US bureau of reclamation, jan, 30 fev, 4, USA.

Les Risques hydrologiques et techniques dans une ville côtière et pétrolière : cas de la ville de Mohammedia

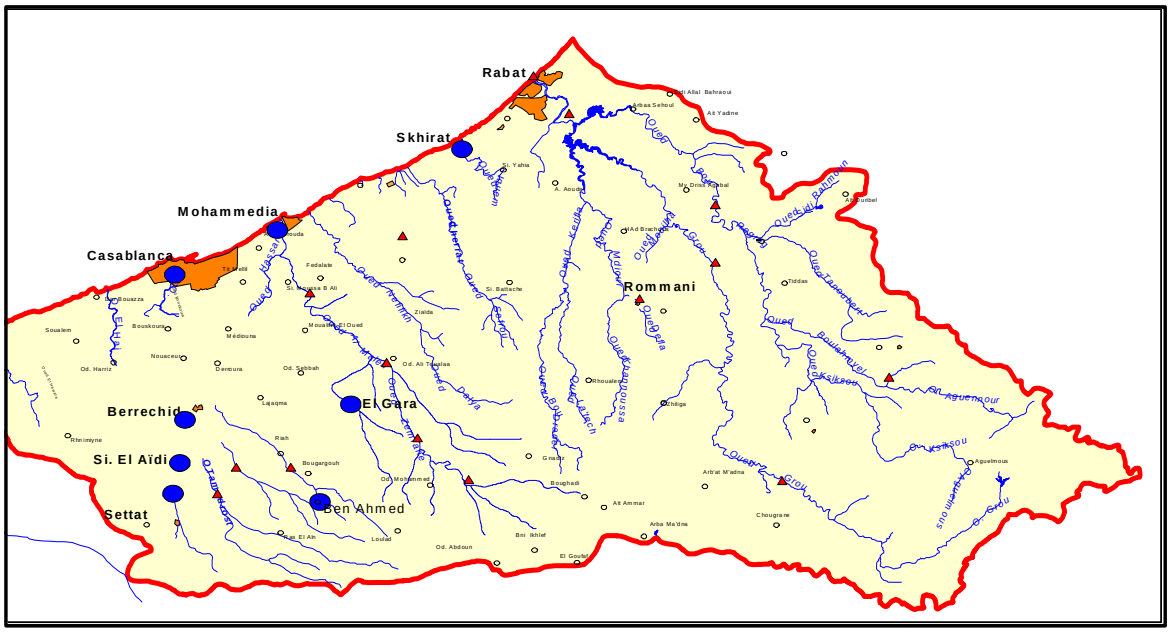
SALOUI Abdelmalik
Groupe de Recherche sur l'Eau et la Sécheresse au Maroc, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines,
Université Hassan II - Mohammedia, Mohammedia., Maroc.

INTRODUCTION

La ville de Mohammedia a connu des inondations très graves les 25 et 26 novembre 2002. Ainsi, les eaux provenant de l'amont du bassin versant de l' Oued Maleh ont provoqué l'inondation de plusieurs quartiers résidentiels, des zones industrielles et des infrastructures de la basse ville (carte n°.1).

Si la ville n'a pas beaucoup souffert par rapport aux inondations de 1995 et celles de 1996, elle a été durement touchée en mois de novembre 2002, puisque le débit des eaux restitué par le barrage El Maleh vers Mohammedia a atteint 460 m^3/s contre 140 m^3/s en 2001 (la moyenne annuelle des trente dernières année est d'environs 7 m^3/s). Ainsi la crue du 25 novembre 2002 a inondé dans ce secteur une zone de 500 hectares de la ville basse englobant des habitations, des zones industrielles et des équipements publics (Polyclinique de la C.N.S.S., la délégation du Ministère de l'Enseignement Public, la Préfecture, la Chambre du Commerce et d'Industrie, le Trésor Public, des Agences bancaires, etc.)

Carte n°. 1 : Plan de situation et réseau hydrographique du Bassin Hydraulique de Bou Regrag – et de la Chaouia



Ce phénomène a eu comme conséquences des risques considérables de rupture d'approvisionnement du Royaume en hydrocarbures et en Gaz (suite à l'incendie de la raffinerie SAMIR[1]), des centaines de foyers sinistrés, les infrastructures urbaines sérieusement endommagées : 04 Ponts, 24 km de voirie, 30 hectares d'espaces verts, le réseau d'assainissement …etc.

[1] La Société Autonome Marocaine des Industries de Raffinage (SAMIR), privatisée il y a quelques années, produit environ 80 % des carburants consommés par le Royaume. Suite à cet incendie, la raffinerie arrêtait ses activités de raffinage pendant plus de six mois.

Outre les dommages causés par l'intrusion des eaux dans les locaux résidentiels et commerciaux[2], une série de conséquences négatives s'est déclenchée pour alourdir le bilan de ces inondations : accidents de la circulation, endommagement des installations de l'éclairage et de l'eau potable, arrêt de la station de refoulement des eaux usées, risques d'épidémies... etc.

Cette catastrophe naturelle, ainsi que les dégâts qui lui sont liés, était étudiée de façons différentes selon les profils des intervenants : chercheurs, journalistes, responsables officiels, ONG, représentants des organismes internationaux… etc.

Dans cette communication, nous proposons une approche d'étude des risques naturels (inondations surtout), simple et objective, et qui nous semble en mesure de dégager des conclusions (recommandations et suggestions) permettant d'aider à la prise des bonnes décisions.

METHODOLOGIE

Il y'a une différence entre le discours officiel et les décisions prises, d'un côté, et les résultats fondés sur des bases scientifiques de l'autre côté.

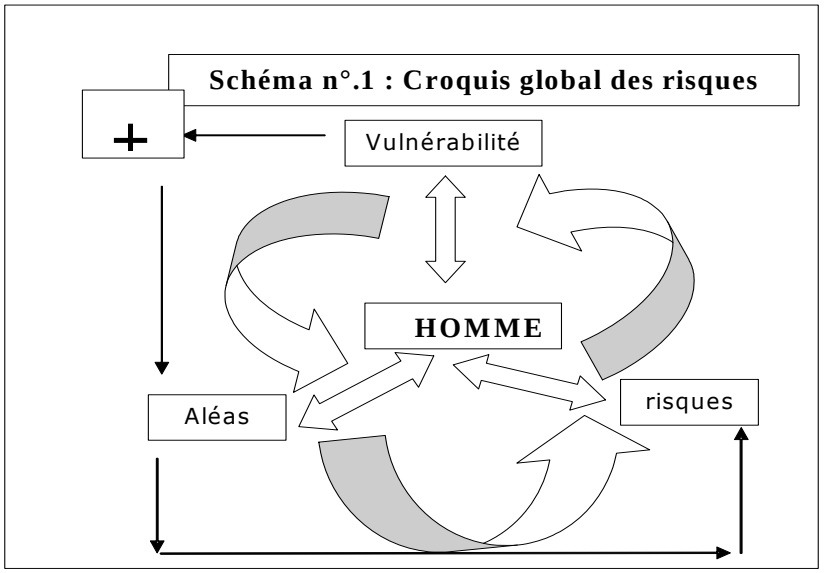
IL est évident que l'accroissement démographique, l'urbanisation accélérée, l'industrialisation et les transformations techniques dans l'agriculture gênèrent des rejets de matières polluantes qui dégradent la qualité de l'eau. L'absence d'équipement de dépollution, souvent même le manque d'infrastructure d'assainissement expliquent l'apparition de cas graves d'environnement malsains qui menacent la santé des populations et la qualité globale du milieu.

Les facteurs qui servent à déterminer les risques sont : la zone du sinistre, l'ampleur de l'impact, la durée de l'impact, la fréquence du choc et le caractère prévisible. Un concept important en matière de prévision est la période de récurrence.

Selon certains, il est classé comme catastrophe naturelle, le phénomène répondant surtout à deux critères :

- Que le phénomène se passe dans une région habitée,
- Que la réalisation du phénomène soit médiatisée.

La catastrophe naturelle est la synthèse de trois composantes que nous schématisons

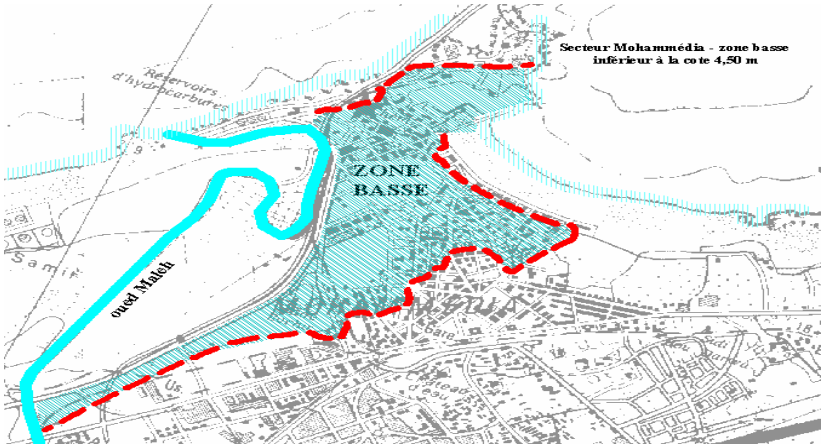


de la façon suivante (schéma n°.1).

[2] La charge considérable des eaux inondées en matériaux solide a largement contribuée à la dégradation des biens et des installations. Le volume de cette charge est estimé pour toute la ville à des dizaines de milliers de m^3 de boue.

Mis à part les discours officiels qui demeuraient superficiels et peu convaincants, nous voulions contribuer à la compréhension de ces inondations en raisonnant selon la logique du schéma pré mentionné. En d'autres termes, nous analysions l'hydrologie de tout le bassin versant de l'Oued Maleh pour comprendre les inondations qui touchaient uniquement la ville de Mohammedia (l'embouchure de l'oued). Cette analyse considérait en même temps le climat, la géologie, la géomorphologie, la végétation, la texture urbaine et les équipements infra structuraux (carte n°. 2).

Carte n°. 2 : Secteur de la ville de Mohammedia touché par les inondations



RESULTATS ET DISCUSSIONS

Il est possible de résumer notre analyse physico humaine du bassin versant de l'Oued Maleh de la façon suivante :

L'analyse du régime des précipitations, et surtout celui des mois d'octobre et novembre 2002, démontre que le volume d'eau cumulé dans le B.V. ne peut pas justifier l'ampleur des inondations enregistrés à l'aval : les records des huit stations météorologiques étudiées pendant les mois d'octobre / novembre 2002 étaient de 190.3 mm/décade (2ème décade de novembre à Casablanca) et de 81.4 mm pendant le jour du 15 novembre 2002 à Mohammedia[3].

La topographie, ainsi que les autres éléments du milieu physique (la pédologie, la végétation, l'hydrologie, …etc.), conditionnent les inondations.

La superficie du bassin versant de l'Oued Maleh est d'environ 2800 km2, l'altitude maximum est de 880 m, la pente moyenne est de 1.5 % avec une direction vers le N-W. (Carte n°. 1).

Le sol, par sa nature argileuse et gypseuse, est salé et peu perméable : 10 à 15 %. Cette condition favorise les inondations d'argile, l'envasement des retenues de barrages et l'absence des sources naturelles à l'aval (la charge est d'environ 500 mg de boue par litre).

Le bassin versant est, vu ses conditions climatiques et édaphiques, demeure faible en végétation naturelle : chêne liège, oléastre, lentisque, tizra, jujubier, betoum, frênes, saule, laurier rose, vitex,… La capacité de ces espèces végétales est limitée face à la protection des sols et à l'élévation de l'écoulement vertical.

Toutes ces conditions font que le drainage naturel du bassin versant est «mauvais»: à l'exception de l'Oued Maleh, l'écoulement des autres cours d'eau de l'amont demeure superficiel avant de s'enfoncer sous la plaine de Berchid sans jamais atteindre la mer (les oueds de Tamdrost, El-Ahmeur, Mazère, Aîada et Bou-Moussa). Ainsi, ces oueds alimentent la fameuse nappe phréatique de Berchid.

Des caractéristiques hydrologiques des oueds du bassin versant de l' Oued Maleh, nous tirons les remarques suivantes :

[3] Les totaux des précipitations annuelles moyennes demeurent toujours inférieures à 380 mm.

Tableau n°. 1 : les caractéristiques des sous bassins versants de l' Oued Maleh

Les oueds	Sup. (km2)	Long. (km)	Perim.(km)	Alt. max	Alt. Exutoire	Pente moy. %
Tamdrost	563	38	134	750	290	1.2
El-Ahmeur	192	35	70	760	320	1.25
Mazère	187	39	77	740	300	1.1
Aîada	118	17.5	47	710	350	2

Tableau n°. 2 : Caractéristiques des crues des oueds du bassin versant de l'Oued Maleh

Les oueds	Volume de la crue annuelle ($10^6 m^3$)	Volume de la crue décennale ($10^6 m^3$)	Volume de la crue exceptionnelle ($10^6 m^3$)	Débit de la crue normale (m^3/S)	Débit de la crue annuelle (m^3/S)
Tamdrost	0.59	6	14	3	43
El-Ahmeur	0.35	2.4	6.45	5	49
Mazère	0.31	2.15	5.8	19	53
Aîada	0.24	1.65	5.5	2	19

Il ressort de la comparaison des deux tableaux (n°.1 et 2) que malgré les faibles moyennes annuelles des précipitations et des débits, une averse exceptionnelle est capable de générer des inondations très dangereuses en amont comme en aval des petits oueds de la Basse Chaouia[4]. Ce risque est plus considérable, surtout en aval, à cause du manque de rationalisme qui caractérise la nature de l'utilisation de l'espace urbain ces dernières années.

La démographie et l'urbanisme à la ville de Mohammedia

Tableau n°. 3 : Evolution des effectifs des habitants de la ville de Mohammedia

Année	1921	1936	1938	1952	1960	1971	1982	1994	2000	2010	2020
effectif	2500	10119	10119	25247	35010	70392	105120	170063	210300	317300	451900
% crois. an	**	9.7	5.8	6.1	4.2	6.6	1.7	4.1	3.6	4.2	3.6

Tableau n°. 4 : Chronologie des superficies des lotissements d'habitats autorisés dans la commune de Mohammedia (hectares)

Années	Avant 1960	60-69	70-79	80-89	90-96
Nombre de lotissements	1	5	10	29	31
Superficie des lotissements	26	100	112	308	101

Il ressort des deux tableaux (n°.3 et 4) que le nombre, ainsi que les superficies, des lotissements d'habitat autorisés dans la commune de Mohammedia a marqué une forte progression ; il a progressé d'environ 12 fois en 30 ans. Des fois, cette extension se faisait au dépend des zones marécageuses qui, autrefois, recevaient les excès en eaux des inondations (zone humide).

L'extension très rapide, et peu rationnelle, de la texture urbaine a fortement influencé le milieu naturel ambiant de la ville :

- ✓ Suite au développement des constructions le long de l'oued et dans toute la ville basse, la zone humide, limitrophe du courant d'eau, a marqué un fort amincissement. Cette situation limite le pouvoir d'amortisseur que jouait cette zone face aux effets négatifs des inondations de l'Oued.
- ✓ La chute du coefficient de percolation au niveau de toute la ville basse.
- ✓ Les problèmes de l'évacuation des eaux usées de la ville basse suite à la faible pente, et surtout a cause de l'état du réseau d'assainissement.
- ✓ L'envasement du barrage de l' Oued Maleh qui se trouve à une dizaine de kilomètre de l'embouchure.

Ces conditions réunies font que la ville basse souffre souvent, ces dernières décennies, des inondations d'eau et de boue. La menace (la psychose) des inondations pèse toujours lourd sur le moral des habitants de la ville.

[4] A titre d'exemple, nous citons la crue exceptionnelle enregistrée à la station de Oued Bou-Moussa (140 km^2 de superficie et une pente de 0.95 %) le 30 octobre 1955 ; durée de l'averse : 05H30 mn, débit maximum : 140 m^3 / S, durée de la crue : 19 heure, le volume ruisselé : $5*10^6 m^3$

Il s'avère, finalement, que pour limiter les dégâts des inondations, les responsables de la ville doivent revoir le schéma d'aménagement urbain de façon à limiter le débordement des activités humaines (surtout les constructions en béton) sur les zones humides, antérieures à l'existence de la ville.

CONCLUSION

Pour limiter les risques des dégâts liés aux inondations[5], et ensuite protéger les vies humaines et les biens, il serait intéressant de prendre les mesures suivantes :

- ✓ *Publier toute la vérité sur les dégâts causés par les catastrophes, surtout celles des 25-26/11/2002.*
- ✓ *Développer une base de données relative aux conditions physiques locales (la mise en place d'un observatoire régional couvrant tout le bassin versant de Oued Maleh)*
- ✓ *Revoir les documents d'urbanisme de la ville,*
- ✓ *Disposer de scénarios d'intervention en cas de catastrophes,*
- ✓ *Disposer d'une carte détaillée des risques naturels et technologiques à l'échelle de toute la nation,*
- ✓ *Donner une fiabilité aux media nationales,*
- ✓ *Face à la pauvreté de l'Etat, il faudrait remplacer la disparition des organismes ancestraux par une instance nationale, fiable et efficace,*
- ✓ *Faire participer le citoyen à la prise de décision locale.*

BIBLIOGRAPHIE :

1. Fénot A. (2004): Expansion du grand Casablanca et stratégies de lutte contre les inondations urbaines. Cas de Mohammedia. Gestion des eaux pluviales dans le cadre du contrat de gestion déléguée LYD**EC/CUC.** Mémoire de fin d'Etude, UFR "Eau & Civilisation, Université Hassan II – Mohammedia, Mohammedia, Maroc
2. Ruhard J-P. (1977) : La plaine de Berchid et la basse Chaouia entre Casablanca et Mohammedia. ressources en eau au Maroc, n°. 3, Notes et Mémoires du Service Géologique, n°. 231, pp : 185-221

SECHERESSE ET SPATIALISATION DES PRECIPITATIONS DANS LE NORD-OUEST DE L'ALGERIE

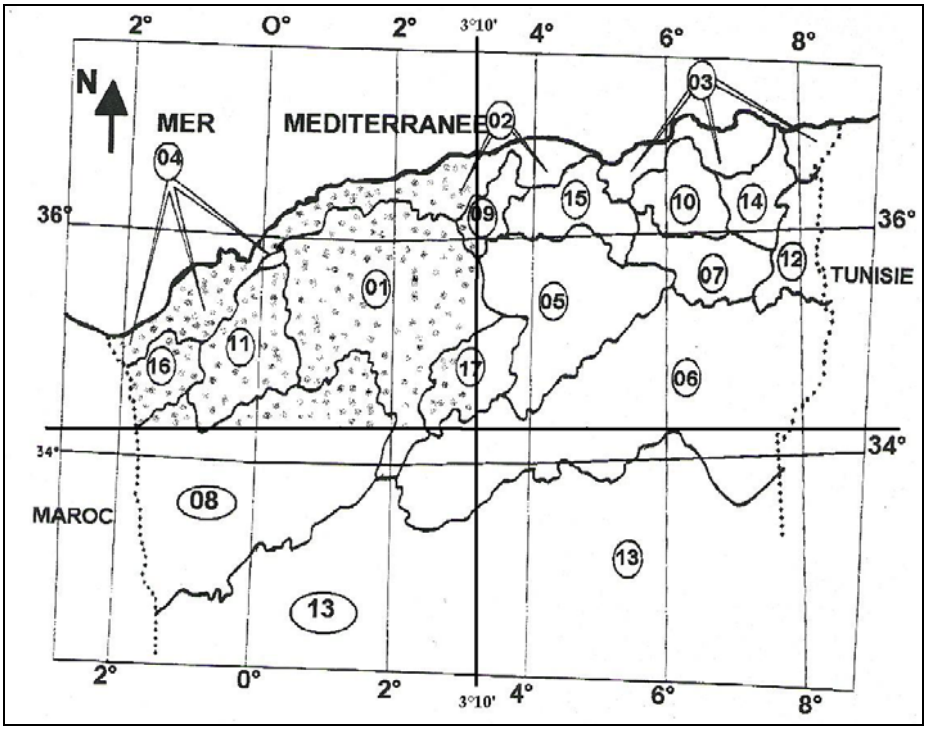
H. MEDDI et M. MEDDI
LERP – Centre Universitaire de Khemis Miliana 44225 – Algérie - salag_hind@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'étude de variabilité annuelle des précipitations est importante pour les projets de développement en agriculture et en aménagement hydraulique. Egalement, elle est d'un apport considérable dans l'étude des changements climatiques. Pour déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique, nous avons utilisé un certain nombre de tests statistiques sur dix stations pluviométries possédants de longues séries de mesures. Afin d'établir une typologie des sécheresses, nous avons retenu la station d'Oran dotée d'une longue série et appliqué une méthode simple exprimant le déficit pluviométrique en pourcentage de la moyenne annuelle. La spatialisation des irrégularités des précipitations a été approchée par le coefficient de variation des séries de mesures disponibles (218 stations pluviométriques). Ce coefficient permet une comparaison entre les stations.

SITUATION GEOGRAPHIQUE

La zone étudiée s'étend sur 89 420 km^2 environ. Elle est située entre 2°10'10 ''ouest et 3°10'11'' est de longitude et entre 34°18'54'' et 36°48'12'' de latitude Nord (Fig. 1). La région étudiée s'allonge sur 250 km du Sud au Nord et sur environ 500 km de l'Ouest à l'Est.



01 : Cheliff, **02** : Côtiers Algérois, **04** : Côtiers Oranais, **o8** : Hauts Plateaux Oranais, **09** : Isser, **11** : Macta, **16** : Tafna

Fig. 1. Grand bassins versants selon le découpage de l'A.N.R.H. et la région étudiée

Détection de ruptures au sein des séries pluviométriques

Pour déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique, nous avons utilisé les tests statistiques de Pettit, la statistique de Lee Héghinian et la segmentation de Hubert (Lubes et al., 1997 ; Hubert et al., 1989 et Hubert et al., 1993). Ces tests ont été appliqués sur les séries pluviométriques des stations suivantes : Ain Fekane, Ghazaouet, Khalouia, Maghnia, Tighenif, Zemmoura, Tamazourah, Tessala, Bensekrane , Stidia, Sid Ali Ben Youb et Oran. Il ressort que pour la quasi-totalité des stations, une rupture (diminution de la pluviométrique annuelle) dans les séries étudiées apparaît entre 1970 et 1980 avec un seuil de signification variable d'une station à une autre. Seuls deux postes enregistrent une rupture située en dehors de ces dates (1943 pour la station de Sougueur et 1954 pour celle de Sidi Ali Ben Youb). Ces résultats confirment l'apparition d'un déficit pluviométrique à partir de 1970, et la poursuite de celui-ci durant la décennie 80-90. Ce phénomène persiste encore actuellement et génère un grave problème d'ordre économique et social, compte tenu de la pression croissante qui s'exerce sur la ressource en eau (alimentation en eau potable, irrigation…), Meddi et Humbert, 2000.

TYPOLOGIE DES SECHERESSES

Afin d'établir une typologie des sécheresses, nous avons retenu la station d'Oran dotée d'une longue série et appliqué une méthode simple exprimant le déficit pluviométrique en pourcentage de la moyenne annuelle (Hadjri, 1996). L'année considérée présente une sécheresse modérée si le déficit varie entre 20 et 40 % de la moyenne annuelle; elle est sèche si le déficit varie entre 40 et 60 %; elle est très sèche si le déficit varie entre 60 et 80 %; elle est hyper sèche si le déficit dépasse 80 %.

L'analyse de la longue série de la station d'Oran (1877/78-1997/98) révèle que la période de déficit la plus sévère s'étale sur une douzaine d'années, de 1977/78 à 1988/89 avec un léger excédent durant l'année 1979/80 et un déficit maximal (-213,6 mm) enregistré durant l'année 1922/23. Sur la période étudiée (120 ans), on enregistre 62 années déficitaires, dont 21 ayant été affectées par une sécheresse modérée et une 11 pouvant être considérées comme sèches (selon le critère défini ci-dessus). Le déficit enregistré durant l'année 1922/23 (-213,6 mm) possède une période de retour de 244 ans, les déficits des années 1944/45 (- 212.3 mm) et 1982/83 (-208.9 mm) correspondant respectivement à des temps de récurrence de 81 ans et de 44 ans.

Toujours pour la même station mais pour la période de référence (1950/51-1987/88), le déficit maximal est de –203.5 mm, enregistré durant l'année 1982/83. Sur la totalité de la série, 25 années sont déficitaires (52 %), 10 années sont considérées comme modérément sèches et 3 années comme sèches. Cette année (82/83) se caractérise par une période de retour de 98 ans ; elle est suivie par l'année 1981/82 qui a une récurrence de 33 ans.

L'ANALYSE SPATIALE

La spatialisation des irrégularités des précipitations peut être approchée par le coefficient de variation des séries de mesures disponibles (218 stations) calculé sur la période de 30 ans (1968/69-1997/98). Ce coefficient permet une comparaison des stations entre elles. L'augmentation de la variabilité (Fig. 2) va de pair avec un accroissement de la longitude et la diminution latitudinale. L'altitude atténue cet accroissement.

1. BASSIN VERSANT DU CHELLIF (01)

Le bassin versant du Chellif est caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle (sur 30 ans) qui varie de 148 mm à 746 mm d'une station à une autre. Le coefficient de variation des moyennes annuelles est de 30 % (série composée des pluies moyennes annuelles des 218 stations), ce qui montre une variabilité plus au moins importante des précipitations. La variabilité spatiale varie de 29 % à 51 % d'une station à une autre.

2. BASSIN VERSANT DES COTIERS DE L'ALGEROIS (02)

Le bassin versant des côtiers de l'Algérois est caractérisé par un relief très accidenté avec des sommets qui atteignent les 1415 m (Djebel Dahra) dans la partie Ouest du bassin et 2308 m (Djebel Djurdjura, Kabylie) dans la partie Est du bassin. Ces chaînes montagneuses et l'Atlas Blidiéen qui succèdent à la plaine de la Mitidja causent l'appauvrissement progressif de l'atmosphère en vapeur d'eau. Celles-ci ont une grande influence sur les variations spatiales de la pluviométrie (A. HALIMI, 1980). La pluviométrie moyenne annuelle (30 ans) varie de 532 mm à 950 mm. Cette variabilité est engendrée par l'effet d'altitude, la distance à la mer et la forme du relief (exposition aux vents). La variabilité spatiale de la pluviométrie d'une année à une autre varie de 18 % à 47 %. 70 % des stations ont une variation spatiale plus au moins proche de la moyenne (25 %) et 30 % ont une variation spatiale de plus de 30 %.

3. BASSIN VERSANT DES COTIERS ORANAIS (04)

Le bassin versant des côtiers Oranais a une topographie moins accidentée par rapport aux autres bassins versants. On y trouve la plaine d'Oran où l'altitude n'excède guère les 100 m. Il est caractérisé par une faible pluviométrie (de 302 mm enregistrée à la station de Marsa Ben Mhidi, littoral extrême Ouest, à 398 mm à Hammam Bouhadjar). La variabilité spatiale, d'une année à une autre et d'une station à une autre, est modérée (de 10 % à 36 %). Ces faibles pourcentages sont dus essentiellement au relief modéré et aux faibles pluies enregistrées dans ce bassin.

4. BASSIN VERSANT DE LA MACTA (11)

Le bassin versant de la Macta (Ouest de l'Algérie) est limité au Nord par les Djbels de Beni Chougranne et les Djbels de Tessala et la plaine de Mohamadia, au Sud par les Djebels de Saida et ceux de Daya (1356 m) au Sud Ouest par les Djebels de Tlemcen. La pluviométrie annuelle est faible, elle varie de 206 mm enregistrée au versant sud des Beni Chougranne (Bouhnifia et Sfisef) à 380 mm sur les monts de Saida (1201 m) et sur le versant Nord-Ouest de Djbel de Sidi Belabess et Djebel Tessala. La variation spatiale est modérée, elle varie de 20 % à 43 % avec une moyenne (30 ans) de 25 %.

5. BASSIN VERSANT DE LA TAFNA (16)

Le bassin versant de la Tafna longe la frontière Algéro-Marocainne (Ouest de l'Algérie). Il est limité : au Nord-Ouest par les Djbels de Terara (1021 m), et au Nord-Est par les Djbels de Tessala. Il est composé dans sa partie Sud-Est par les Djbels de Tlemcen (de 1576m à 1843m), et dans sa partie Nord, on trouve des plateaux de 200 à 500 m d'altitude. La pluie annuelle varie de 260 mm au niveau de la plaine de Tlemcen à 650 mm sur les sommets des Djbels de Tlemcen. La variabilité spatiale oscille entre 21 % et 57 % avec une moyenne (30 ans) de 30 %. Plus de 90 % des années d'observation donnent des coefficients de variation (spatiale) inférieurs à 40 %, ce qui confère à ce bassin une variabilité spatiale plus au moins modérée.

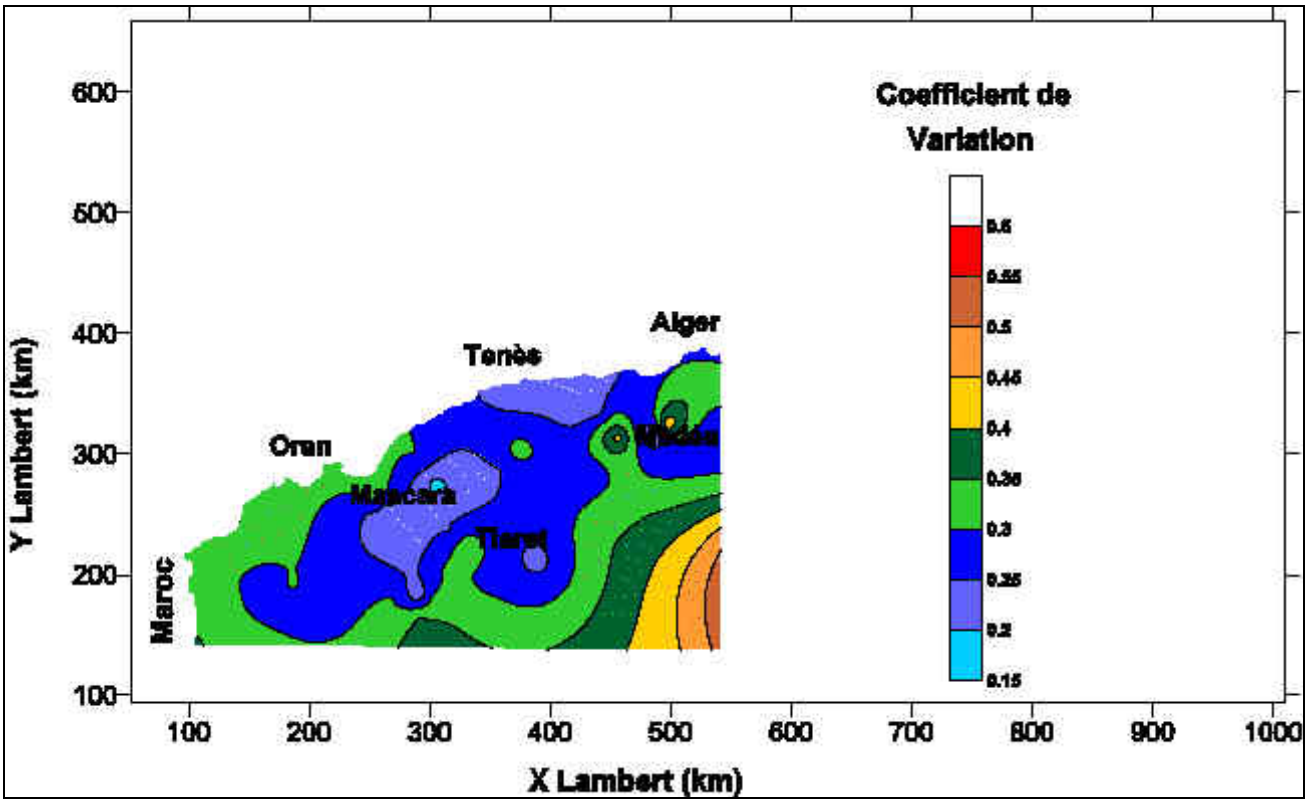


Fig. 1 Coefficient de variation des pluies annuelles

CONCLUSION

L'étude du changement du régime pluviométrique dans le Nord Ouest Algérien a montré une rupture dans la décinie 70 (réduction de la pluviométrie) pour la quasitotalité des postes étudiés. La variabilité inter-annuelle des pluies augmente lorsque l'on se rapproche des régions arides. L'augmentation de la variabilité suit l'accroissement de la longitude et la diminution de la latitudinale. L'altitude atténue cet accroissement.

BIBLIOGRAPHIE

1. Hadjiri J., 1996 : La sécheresse climatique en Tunisie. Variabilité du climat et stratégies d'adaptation humaines en Tunisie. Edité par Latifa HENIA Université de Tunis I (1996), 187-201

2. Halimi A. (1980) L'Atlas Blidéen. Climats et étages végétaux. Office de Publications Universitaires - Alger, 523 P.

3. Hubert P., Carbonnel J.P. et Chaouche A., 1989 : Segmentation des séries hydropluviométriques – Application à des séries de précipitations et de débits de l4afrique de l'Ouest. Journal of Hydrology, 110, 349-367.

4. Hubert P., Carbonnel J.P., 1993 : Segmentation des séries annuelles de débits de grands fleuves Africains. Bulletin du CIEH (Ouagadougou) le 4 mars 1993, 11 p.

5. Meddi M. et Humbert J., 2000 : Etude des potentialités de l'écoulement fluvial dans le nord de l'Algérie en vue d'une réalimentation des aquifères. Volume « Eaux sauvages, eaux domestiquées. Hommage à Lucette DAVY. Publications de l'Université de Provence - France. 2000.

IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RESSOURCES HYDRIQUES (CAS DU BASSIN VERSANT DE LA MACTA)

A.ELOUISSI[1], A. KHALDI[1], M. MEDDI[2], K. MEDERBAL[1]

1.Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique (L.R.S.B.G.)
2.Centre Universitaire Mustapha Stambouli – Mascara.
3. Centre Universitaire de Khemis Méliana.

Mots Clés : Changement climatique – Ressource hydrique – S.I.G.

INTRODUCTION

Le bassin versant de la Macta est situé au nord ouest de l'Algérie, il s'étend sur une superficie de 14389km². Il est limité au nord Ouest par les chaînes montagneuses du Tessala, au Sud par les hauts plateaux de Maalif, à l'Ouest par les plateaux de Telagh et à l'Est par les monts de Saida (H. Djediai, 1997). Le bassin versant de la Macta est considéré comme le plus important bassin de l'ouest Algérien, il draine les principales ressources hydriques de l'ouest.

COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNEES

Pour assurer une bonne représentation de notre région, nous avons tout d'abord travaillé sur 36 stations pluviométriques ayant des périodes aussi longues que possible. En premier lieu, les stations qui présentaient un grand nombre de valeurs manquantes ont été écartées. Pour toutes ses raisons, et afin d'éviter un grand pourcentage lacunaire, nous nous sommes résolu à adopter l'année 1970 comme début de série et l'année 2001 comme fin de série pour chacune des stations retenues (ELOUISSI. A. 1992). Nous avons retenu 31 stations qui forment un réseau qui couvre l'ensemble des sites, ainsi nous pourrons distinguer des stations côtières, des stations de montagnes, des stations de collines et des stations de plaines. La figure 1 montre la disposition des stations dans la zone d'étude.

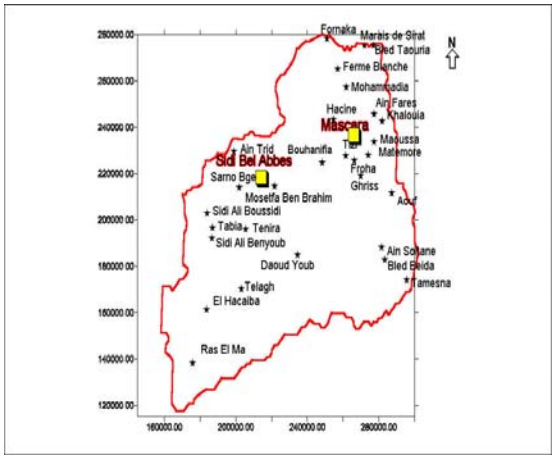


Fig. 1. Stations météorologiques retenues

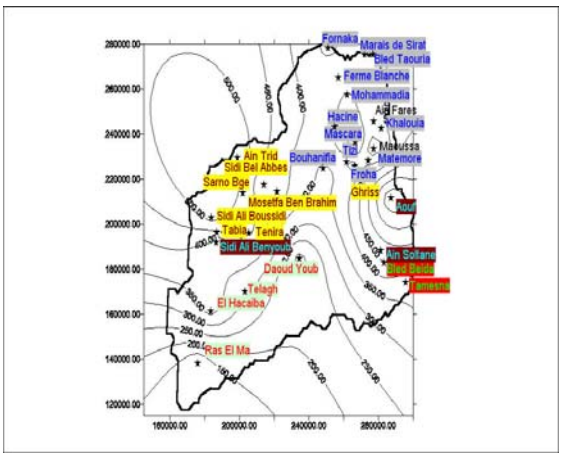


Fig. 2. Pluviométrie annuelle 1970-1981

CARTE DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE

Puisque les données sont complétées, nous avons vue nécessaire de dresser des cartes des pluviométries annuelles des périodes 1970-1981, 1980-1991 et 1990-2001 pour voir l'évolution des isohyètes. En comparant ces cartes, nous remarquons bien qu'un changement pluviométrique a affecté le bassin de la Macta. Par exemple, il y a une nette remontée de l'isohyète 400mm vers le nord, puisque cette isohyète était au niveau de la latitude 190000 dans la carte 1971-1981, la même isohyète se retrouve au niveau de la latitude 210000 dans la carte 1980-1991 pour disparaître complètement dans la carte 1990-2001 (Fig. 2, 3 et 4).

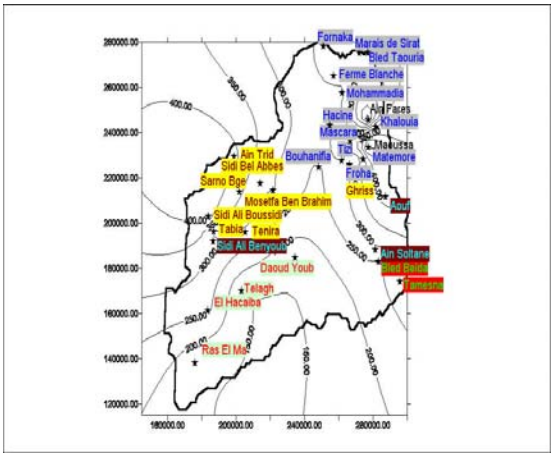


Fig. 3. Pluviométrie annuelle 1980-1991

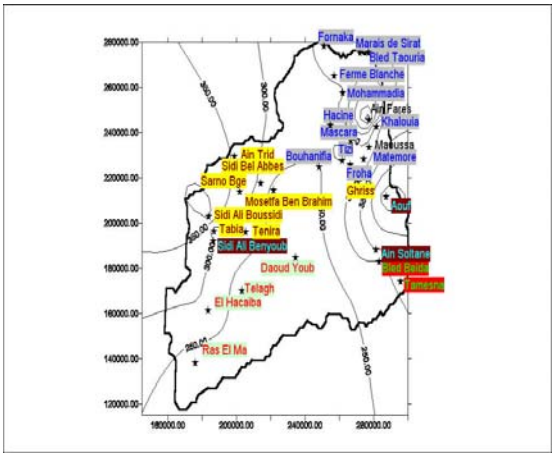


Fig. 4. Pluviométrie annuelle 1990-2001

ESSAI D'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

L'application de la rotation Varimax a montré la formation de groupes évidents, notamment celui des stations des hauts plateaux (Bled Beida et Tamesna). Le pourcentage de la variance expliquée par les trois premiers axes est de 67.53%, ce qui permet d'avoir une représentation fiable par ces trois axes.

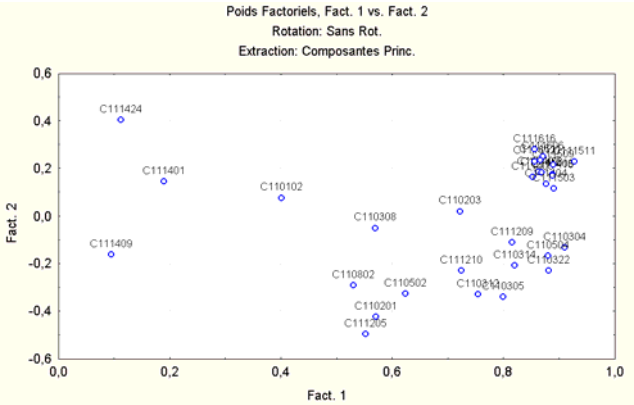


Fig. 5. Graphique de l'A.C.P. sans rotation du Fact1 et 2.

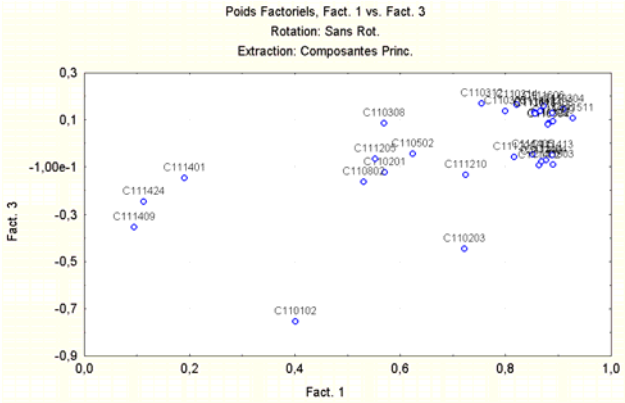


Fig. 6. Graphique de l'A.C.P. sans rotation du Fact1 et 3.

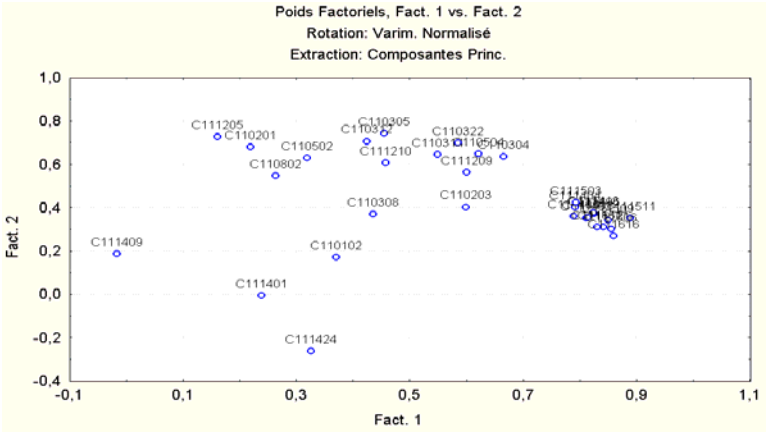


Fig. 7. Graphique de l'A.C.P. avec la rotation Varimax.

CLASSIFICATION AUTOMATIQUE

Nous avons procédé à une classification automatique en choisissant l'option de classification automatique descendante hiérarchique. L'analyse de l'arbre obtenu a donné les classes suivantes :

Table 1. Les classes obtenues par la classification descendante hiérarchique.

Classe A	Bled Beida, Tamesna
Classe B	Ain Soltane, Sidi Ali Benyoub, Aouf
Classe C	Ras El Ma, El Hacaiba, Telagh, Daoud Youb
Classe D	Tabia, Tenira, Sidi Ali Boussidi, Sidi Bel Abbes, Mostefa Ben Brahim, Ain Trid, Sarno Bge, Ghriss
Classe E	Mascara, Bouhanifia, Tizi, Froha, Matemore, Hacine, Khalouia, Mohammadia, Ferme Blanche, Bled Taouria, Marais de Sirat, Fornaka.

CONCLUSION

Les résultats obtenus nous amènent à valider l'hypothèse du changement climatique et plus précisément qu'un déficit hydrique est entrain d'être installé au niveau de notre région d'étude, a cet effet, il serait nécessaire de prendre toutes les mesures possible pour se préparer à minimiser le maximum de dégâts possible. Cette étude peut être extrapolé pour dire que tout notre pays est touché par ce déficit hydrique, des études sur l'ensemble du territoire pourront confirmer cette hypothèse. A défaut d'être précis, visons le pire et réagissons en conséquence: pour éviter des catastrophes de plus en plus nombreuses, prenons les mesures qui s'imposent, réduisons nos consommations d'énergie, et réduisons notre production de gaz à effet de serre.

BIBLIOGRAPHIE

1. DJEDIAI H., 1997. Etat de la qualité des eaux superficielles du bassin versant de la Macta. Projet de coopération Algéro-Français.
2. ELOUISSI. A. 1992, Contribution à la formation des micro-régions climatiques pour la région de Mascara, Thèse d'Ingéniorat, Centre Universitaire de Mascara.

ANALYSE DE L' ECOULEMENT DE SURFACE ET SES FORMES EXTREMES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA SEYBOUSE (NORD EST ALGERIEN)

A.Ghachi[(1)] ; Djabri[(2)] ;Melle BELHANACHI Aida[(3)]
(1) Département Aménagement faculté sciences de la terre université de ANNABA.
(2) Département Géologie, faculté sciences de la terre université de ANNABA.
(3) Département Géologie, faculté sciences de la terre université de ANNABA.

INTRODUCTION :

Les crues comme les étiages dans le bassin versant de la Seybouse constituent une situation extrême dans le comportement des cours d'eau.

L'étude des étiages mérite d'être abordée car, plus qu'ailleurs ces derniers constituent un frein de la croissance économique dans les différents secteurs d'utilisation.

Aussi, le soutient naturel des étiages met en lumière la capacité de rétention de chaque sous bassin.

Malgré le peu d'information sur les crues et étiages de l'oued Seybouse, on a essaye de dégager les plus importantes qui ont causé des dégâts importants.

Enfin, un essai d'évaluation des apports de crues et d'étiages sera présenté ainsi qu'un ajustement des lois statistiques et méthodes empiriques seront utilisées.

METHODOLOGIE :

La méthode d'approche consiste d'une part à prendre en considération les paramètres physiologiques et morphometriques qui, conditionnent les facteurs du ruissellement, d'autre part, l'utilisation des séries statistiques hydro-pluviometriques afin d'évaluer la capacité à l'écoulement superficiel à l'issue de chaque sous-bassin.

RESULTATS ET DISCUTIONS :

Présentation du bassin versant de la Seybouse *:*

L'oued Seybouse draine un bassin versant de 6570 Km². La très grande diversité, lithologique entraîne obligatoirement des conséquences, sur la stabilité du régime des eaux souterraines.

Les données climatiques et leur rôle sur l'écoulement :

Pour mieux cerner l'irrégularité interannuelle des précipitations qui a un rôle essentiel sur l'écoulement de surface, nous avons procéder à l'analyse de la variabilité spatiale et temporelle des précipitations par une étude fréquentielle, la durée de retour des valeurs des précipitations annuelles minimales et maximales observées durant la période 1914 à 1999. (cf aux fig…….).

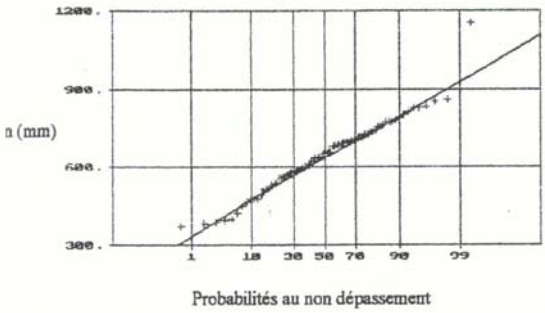


Figure N° : Ajustement graphique des précipitations annuelles de la station de Bouchegouf par la loi normale

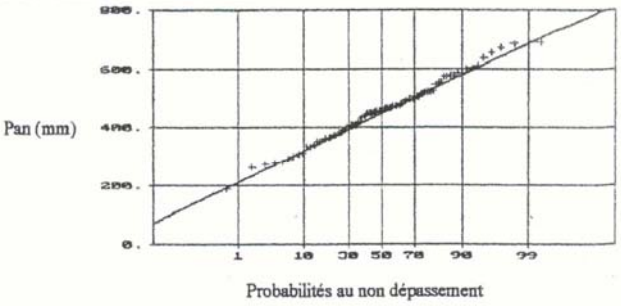


Figure N° : Ajustement graphique des précipitations annuelles de la station de Sedrata par la loi normale

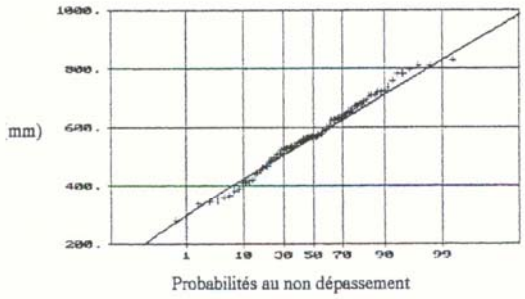


Figure N° : Ajustement graphique des précipitations annuelles de la station de Oued Zenati par la loi normale

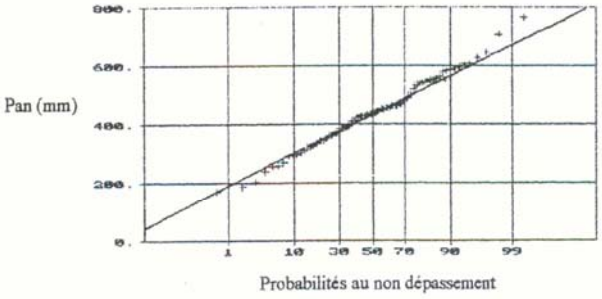


Figure N° : Ajustement graphique des précipitations annuelles de la station de Ain Makhlouf par la loi normale

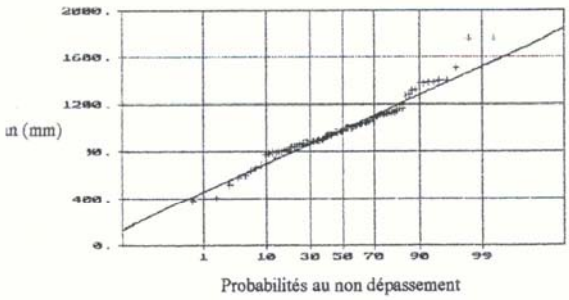


Figure N° : Ajustement graphique des précipitations annuelles de la station de Abdi Mabrouk par la loi normale

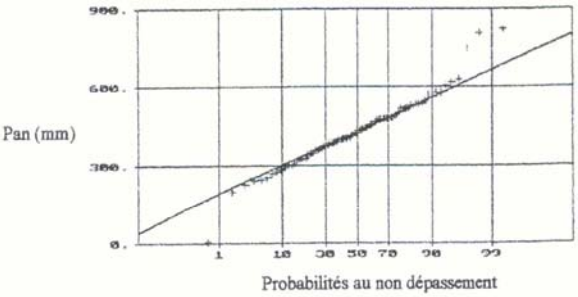
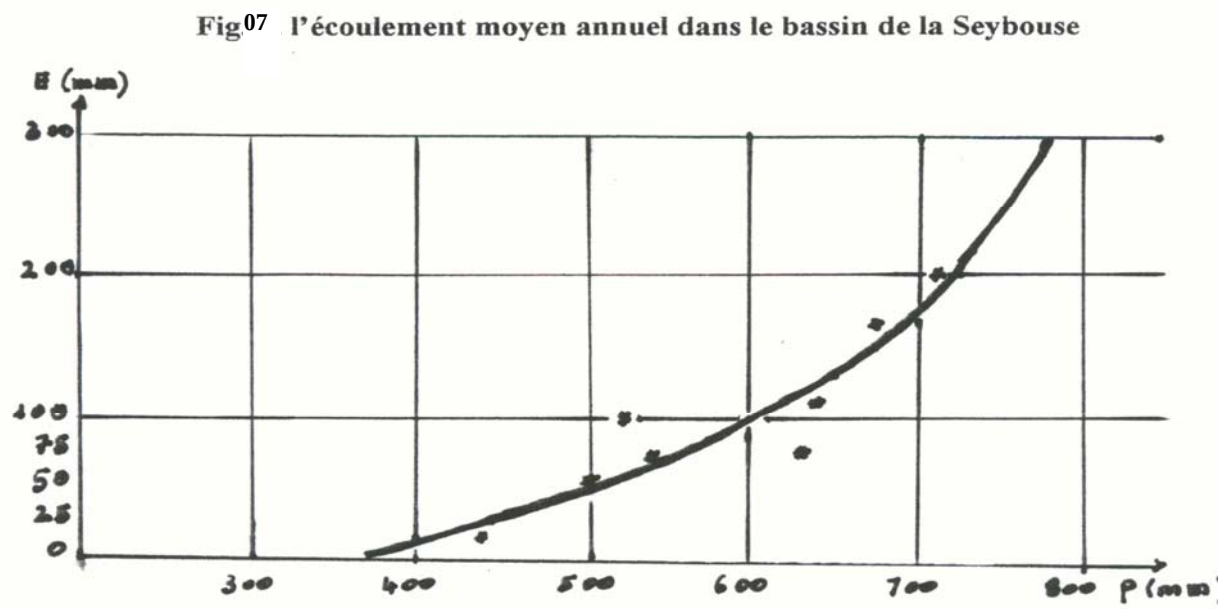


Figure N° : Ajustement graphique des précipitatio annuelles de la station de Ksar Sebahi par la loi norm

L'écoulement de surface dans le bassin versant de la Seybouse :

L'écoulement moyen est une notion fondamentale en hydrologie, c'est le volume d'eau écoulé en 365 jours à l'issue d'un bassin. Il est exprimé en m^3/s et en l/s/km². Pour le bassin de la Seybouse, un bilan moyen annuel de l'écoulement a été établi (cf. fig..).



A partir de la courbe ajustée, il est aisé d'estimer par extrapolation la tranche d'eau moyenne annuelle écoulée dans les zones dépourvues de stations de mesure. Aussi, pour des précipitations allant de 370 mm à 750 mm les valeurs obtenues de la lame d'eau écoulée passent de 0 à 200 mm. A partir de ces valeurs, il est possible d'esquisser un essai cartographique de l'écoulement moyen annuel.

Crues et étiages :

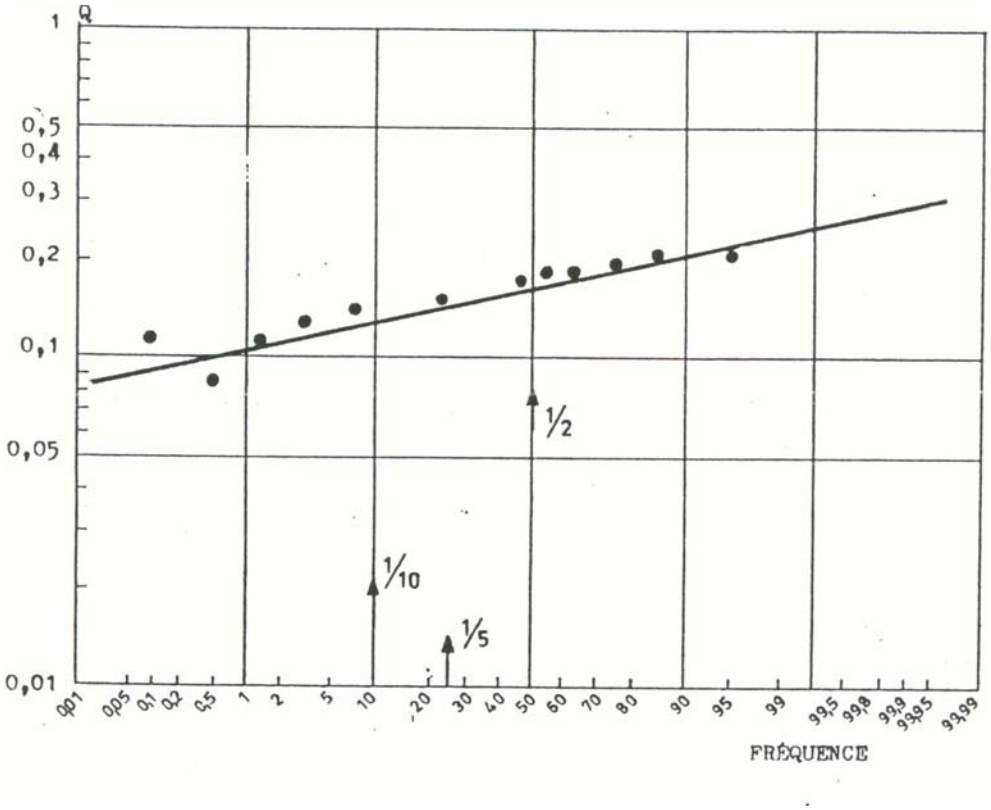
Le tableau suivant résume parfaitement les apports moyens annuels à l'issue de chaque sous bassin et ses formes extrêmes en année humide et en année sèche.

La figure n° ……. Donne l'exemple d'une distribution gausso-logarithmique d'une série de débits mensuels détirages. C'est le seul affluent qui soit largement soutenu par les réserves en eaux souterraines.

Tableau : Volume total écoulé en année sèche et humide et en année moyenne.

Station	Volume total écoulé en année sèche (1968) m^3	Volume total écoulé en année humide (1973) m^3	Volume total écoulé en année moyenne (1968-1976) m^3
Oued cherf à Moulin Rochefort	14191200	77578560	31220640
Oued cherf à Medjez amar I	35887968	236520000	119805260
Oued Bouhamdane à Medjez amar II	6937920	211291200	65910240
Oued Melah à bouchegouf	38789280	226743840	104699520
Oued Seybouse à Mirbek	117219310	1070331800	407760480

fig.8. L'oued Melah à Bouchegouf, distribution Gausso- logarithmique des Débits mensuels d'étiage.



CONCLUSION :

Ainsi, malgré une période d'observation hydrométrique assez courte, les grands traits de l'écoulement et en particulier des formes extrêmes : crues et étiages ont été mis en exergue aussi bien sur le plan descriptif que quantitatif.

L'étude de l'écoulement et ses comportements extrêmes est ici assez caractéristique du régime climatique méditerranéen.

Les débits fréquentiels d'étiage biennal, quinquennal décennal et le rapport $\frac{Q\,10\,\text{ans}}{Q\,20\,\text{ans}}$ *ont permis de déterminer la capacité de rétention de chaque sous bassin.*

Nous avons remarque que sur les bassins imperméables à faible pluviométrie (inférieur à 450 mm) l'irrégularité est surtout mise en évidence par l'augmentation de l'hydraulicité de l'année humide alors que cette hydraulicité en année sèche tend vers des valeurs très faibles.

Enfin, concernant les apports de crue, ces derniers dépassent parfois les 50% de l'apport moyen annuel par l'ensemble des sous-bassins où les débits sont observés.

BIBLIOGRAPHIES :

1. A.N.R.H. Monographie des sous bassin : Bouhamdane, Mafragh.
2. A.N.R.H. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord. 1/500.000 – Janvier 1993.
3. Ghachi : Le Bassin de la Seybouse : Hydrologie et utilisation de la ressource en eau, 408P. publication OPI 1987.A.
4. Belhannachi : Etude hydrologique et hydrochimique dans les bassins versants du Nord Est Algériens, Année 2003 Université de Annaba.

Evolution de la concentration des sédiments en suspension et des débits liquides durant les crues : (Cas de l'oued Mouilah – Tafna, NW-Algérie)

Bouanani Abderrazak[1], Baba Hamed Kamila, Mania Jacky[3] &Bensalah Mustapha[2]

[1] Département d'Hydraulique, Faculté des Sciences de L'Ingénieur,
Université Abou Bekr Belkaïd, 13 000, Tlemcen, Algérie.
Email : a_bouananidz@yahoo.fr
[2] Département des Sciences de la Terre et de l'Agronomie, Faculté des Sciences,
Université Abou Bekr Belkaïd, 13 000, Tlemcen, Algérie.
Email : kambabahamed@yahoo.fr
[3] LML, Ecole Polytechnique Universitaire de Lille, Avenue Paul Langevin, 59650,
Villeneuve d'Ascq, cedex, France.
Email : jacky-mania@polytech-lille.fr

INTRODUCTION

Nous présentons, dans cette note, les graphes des relations Concentrations des sédiments en suspension – débits liquides pour les plus importantes crues au niveau d'oued Mouilah (Tafna - NW algérien) relative à la période 1977/94. Nous essayons en même temps de caractériser et de classer ces différentes relations pour une meilleure compréhension du phénomène.

METHODOLOGIE

Cette étude est basée sur les travaux de Y. Alexandrov **[1]** et G.P. Williams **[2]**. Selon cet auteur, les relations entre concentration des sédiments en suspension (C) et les débits liquides Q_l pour un événement hydrologique telles que les crues, peuvent être étudiées qualitativement par l'analyse des courbes des concentrations et des débits liquides en fonction du temps ou courbes en « hestérésis ». A cet effet, l'auteur propose une classification de ces relations basées sur le rapport C/Q_l durant les phases de montée de crue et de décrue. Cinq modèles de relations sont ainsi établis (figure 1).

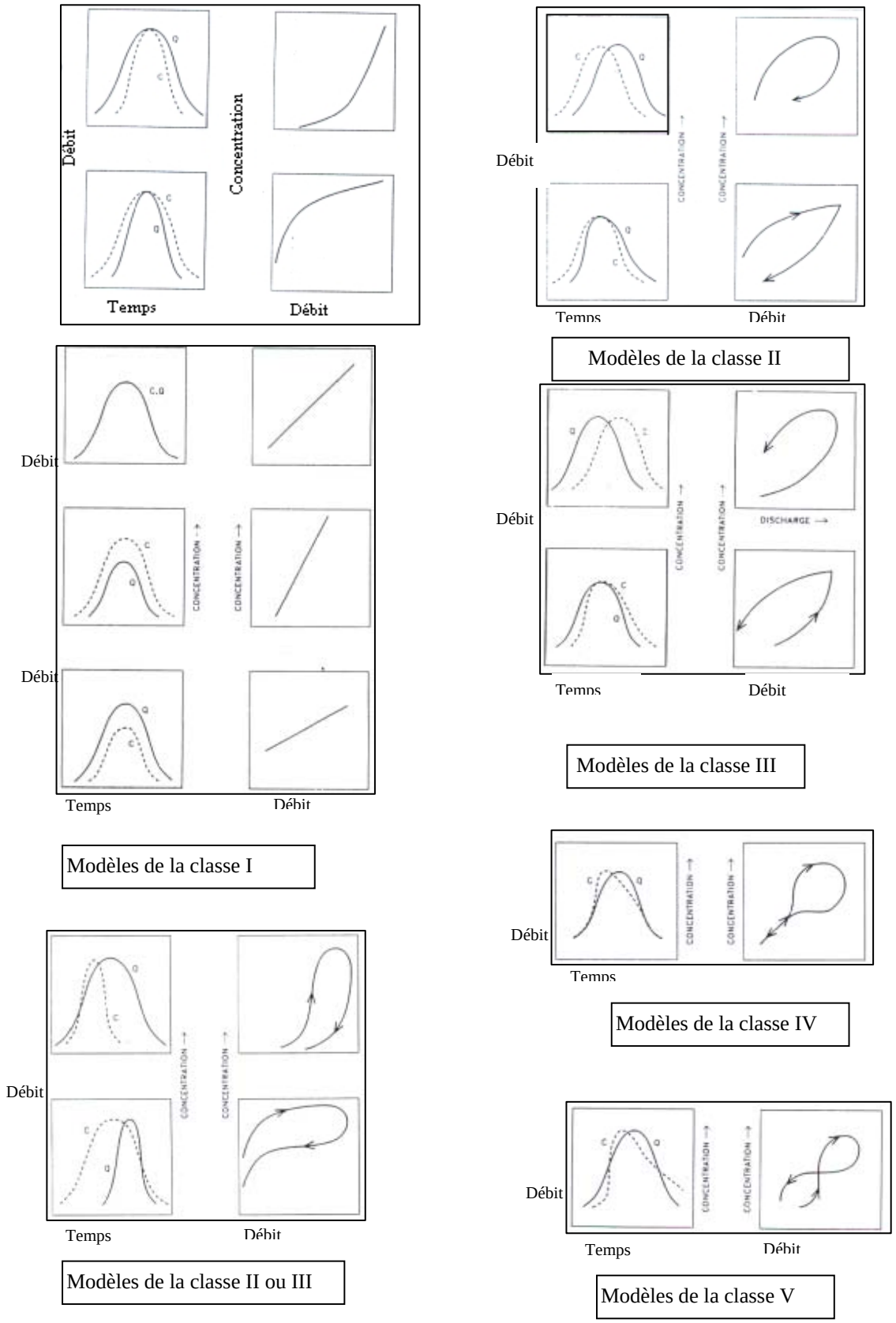


Figure 1: *Modèles des relations concentration- débit liquide (Williams,G.P., 1989)*

RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'analyse des courbes de concentration en fonction des débits liquides (figure 2) pour oued Mouilah, montre que pour la majorité des événements enregistrés durant la période 1977/94 les courbes C-Q_l présentent :

- presque 50% des crues se présentent sous le modèle de la courbe simple de la classe I. Ces crues ont eu lieu surtout en automne et au printemps et à un degré moindre en hiver et en été. Ça pourrait être associé à un apport continu de sédiments pendant les crues et/ou à la disponibilité des sédiments produits par les crues précédentes. La distance parcourue par les eaux due à la taille importante du bassin aiderait à l'accumulation des sédiments et à la régulation des ondes de crues par rapport à la vitesse des sédiments **[3].**
- le modèle « clockwise loop », se présente pour les crues survenues en automne après une saison généralement sans pluie et où le sol est dénudé et fragilisé. L'érosion est active dès les premières pluies qui, même si elles sont d'un faible apport liquide, peuvent donner des concentrations importantes en sédiments en suspension.
- le modèle « counterclockwise loop » : à oued Mouilah les courbes en boucle dans le sens contraire des aiguilles d'une montre sont caractéristiques surtout des crues d'hiver et de printemps. Le sol étant plus ou moins saturé et couvert résiste mieux à la pluie. L'érosion et le transport solide se verront légèrement retardés par rapport aux écoulements. Ainsi, ce n'est qu'après une érosion prolongée que la concentration en matières en suspension augmente.
- pour oued Mouilah, les formes en huit, se présentent souvent pendant les crues de printemps, saison caractérisée par de fortes pluies tombant après une saison d'hiver bien que relativement froide mais généralement peu pluvieuse. Aussi, les sédiments accumulés dans le lit de l'oued et laissés pendant l'automne, seront mobilisés dès les premières crues du printemps pour donner au départ des pics de concentration antérieurs aux pics de débit liquide. Le phénomène s'inverse avec le temps dès l'épuisement du stock de sédiment.

CONCLUSION

L'évolution des concentrations en fonction des débits des crues de l'oued Mouilah, se présente sous quatre modèles de courbes (simple, dans le sens d'une aiguille d'une montre « clockwise », dans le sens contraire des aiguilles d'une montre « countrclockwise » et forme en huit). Le modèle en courbe simple est le plus fréquent, traduisant une action érosive instantanée et un transport des sédiments en suspension rapide provoqués par des averses courtes et violentes sur des sols généralement secs, fragiles et peu protégés ***[4]****.*

BIBLIOGRAPHIE

1. Alexandrov, Y., Laronne, J.B., 2003. Suspended sediment transport in flash floods of the semiarid northern Negev, Israel. IAHS pub. no.278.-2003. 346-352.

2. Willams, G.P., 1989**.** Sediment concentration versus water discharge during single Hdrologic events in rivers. J. Hydrol., 111: 89-106.

3. Bouanani A., 2004. Hydrologie-Transport solide et moélisation : Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW algérien). Thèse Doc. Etat, Université Tlemcen.

4. Bouanani A., Mania J., Bensalah M., Baba Hamed K., 2004. Suspended sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in mediterranean wady: case of the oued Sebdou (Tafna-Algeria). International Conference on River/ Catchment Dynaics : Natural Processes and Human Impact. Solona (Catalonia, Spain) 15-20 May, 2004.

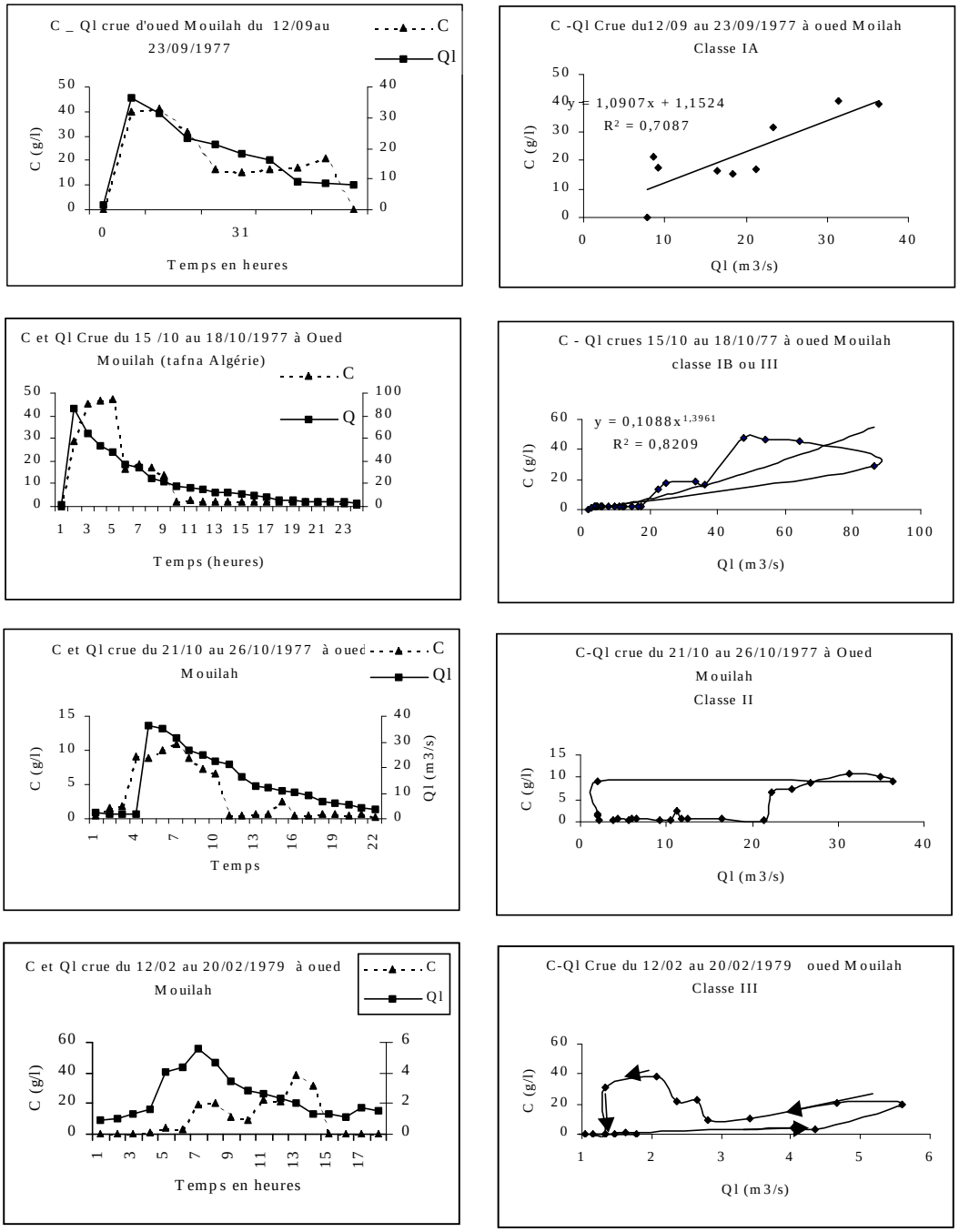


Figure 2 : *Evolution de la concentration des sédiments transportés et des débits liquides en fonction du temps de quelques crues d'oued Mouilah à Sidi Belkhir. Relation concentration – débit liquide et classification.*

LES MOYENS TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE LA SEDIMENTATION DES BARRAGES EN ALGERIE

Remini Boualem
Université de Blida , Algérie
Email : reminib@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'envasement est provoqué par l'homme suite à la réalisation des barrages dans les cours d'eau. En effet, ces ouvrages freinent l'écoulement et accélèrent les dépôts sédimentaires. Plusieurs travaux indiquent que les barrages de la région du Maghreb sont menacés par ce phénomène de disparaître si des dispositions de lutte ne sont pas prises. En Algérie, sur les 52 grands barrages (50 gérés par l'agence nationale des barrages et 02 par la Sonelgaz), 32 millions de m3 se déposent annuellement. Le volume de vase estimé en l'an 2002 est de 0.9 milliards de m3, soit un taux de comblement de 17%. Face à ce problème, les services d'hydraulique ont déployés d'énormes efforts depuis plusieurs années, différents moyens techniques d lutte ont été expérimentés e Algérie ce qui a donné comme résultats le prolongement de la durée de vie de plusieurs barrages. Nous citons l'exemple du barrage de Oued El Fodda dont la durée d'exploitation dépasse actuellement les 70 ans, malgré son fort taux d'envasement. L'objectif de cette étude est de faire un constat sur l'état méthodes de lutte techniques contre l'envasement à savoir, la surélévation des digues, la réalisation des barrages de chasse et le soutirage des sédiments par les pertuis de vidange. L'une des techniques de lutter contre l'envasement et par conséquent de prolonger la durée de vie d'un barrage est la surélévation de la digue. L'Algérie est parmi les premiers pays du monde qui pratiqué cette technique. Cette méthode consiste, lorsque le taux de comblement est avancé, à augmenter la hauteur de la digue d'une taille variable, permettant la constitution d'une réserve complémentaire pour compenser la perte du volume occupé par la vase. Quatre barrages ont été surélevés : Zardézas (1975), ksob (1977), Boughezoul (1960) et Bakhada (1958).La surélévation des barrages permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée. La nouvelle situation ainsi créée ne peut qu'influencer l'évolution des dépôts des sédiments dans la retenue. Nous avons constaté que l'envasement a augmenté plus rapidement après cette surélévation, ce fait étant confirmé par l'examen du tableau 1, pour les quatre barrages cités ci dessus.

Tableau 1. ***Vitesses de sédimentation moyennes des barrages surélevés***

Barrages	**Vitesse de sédimentation**	**(10^6 m ^{3} / an)**
	Avant surélévation	**Après surélévation**
ZARDEZAS	0,30	0,70
K'SOB	0,25	0,29
BOUGHZOUL	0,34	0,50
BAKHADA	0,05	0,15

METHODOLOGIE

La technique de chasse consiste à évacuer une quantité des sédiments par les pertuis de vidange à l'arrivée des crues. Elle est appliqué souvent au barrage de Beni Amrane. Ce dernier d'une capacité de 15,6 10^6 m^3 a été doté de six vannes de fond. Environ 2,2.10^6 m^3 de vase ont été évacués durant la période 1988-1993 (fig1). L'évacuation des sédiments par les pertuis de vidange n'est efficace que pour la zone proche des vannes. L'efficacité des chasses opérées dans le temps au niveau du barrage qui n'a pas dépassé les 26 % du total des sédiments entrants.

L'ouverture de la vanne de fond au barrage de Foum El Gherza a permis d'évacuer environ 0,5 10^6 m^3 de vase durant l'année 1989/1990 et une quantité de 0,1 10^6 m^3 de vase de 1990 à 1993.

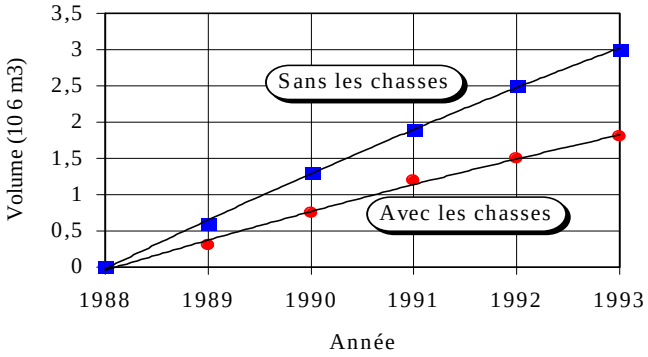


Fig. 2. Evolution dans le temps de l'envasment dans le barrage de Beni Amrane

RESULTATS

La majorité des retenues en Algérie présentent les conditions favorables à l'apparition des courants de densité. En effet, la forte concentration en sédiments dans les cours d'eau surtout en période de crues et la forme géométrique (de type cana) donnent naissance aux courant de densité à l'entrée d'une retenue et peuvent se propager jusqu'au pied du barrage. L'ouverture des vannes de fond dans le moment opportun peut évacuer une forte quantité en sédiment. C4est ainsi que cette technique est utilisé dans les barrages d'Ighil Emda, Erraguene et Oued El Fodda

Le barrage d'Ighil Emda a été équipé d'un dispositif installé spécialement pour le soutirage des sédiments et constitué de 8 vannettes de dévasement et 3 vannes de dégravement. Une quantité importante évaluée à 45,3.10^6 m^3 a ainsi été évacuée en 39 ans d'exploitation (fig. 3). Durant la période 1984-1992, en effet une quantité de vase de 8,3.10^6 m^3a été évacuée pour un apport de 15,3.10^6 m^3dans la retenue.

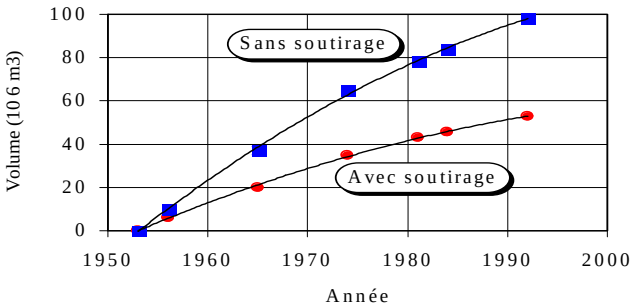


Fig. 3. Evolution dans le temps de l'envasement dans le barrage d'Ighil Emda

Pour tenter de résoudre le problème de l'obturation de la vanne de fond Le Barrage de Oued El Fodda, cinq vannettes de dévasement ont été installées dans ce barrage en 1961. La retenue avait initialement (1932) une capacité de 228 10^6 m^3 qui a été ramenée progressivement à 124 10^6 m^3 en 1994, mais en l'absence de soutirage cette capacité en 1994 aurait été inférieure puisque réduite à 100,5 10^6 m^3 (fig. 4). Durant la période(1961-1994) une quantité de 57,5.10^6 m^3 de vase est arrivée dans la retenue, alors que seulement 21,5.10^6 m^3 de vase a été évacuée, soit un rendement de 37 % [10].

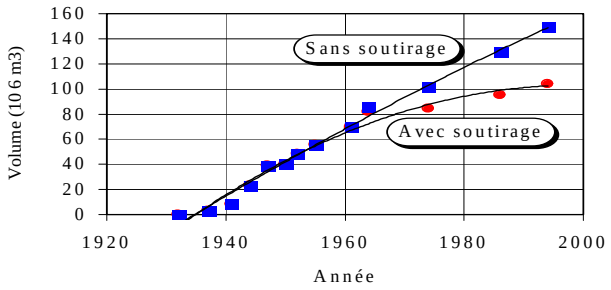


Fig. 4. Evolution dans le temps de l'envasement dans le barrage de Oued El Fodda

Malgré le faible taux d'envasement dans la retenue, le barrage d'Erraguene a été équipé d'un système de soutirages composé de 4 vannettes de dévasement et de deux vannes de dégravement. Le suivi des soutirages est mené de façon à peu pré satisfaisant. Une quantité de vase évaluée à 9.10^6 m^3 a été évacuée en 30 années d'exploitation (1962-1992) (fig. 5).. Pendant la période globale 1962-1992 environ 9.10^6 m^3 de vase ont été évacués, alors que 19.10^6 m^3 se décantent dans la retenue, soit un rendement moyen de 32 % [10].

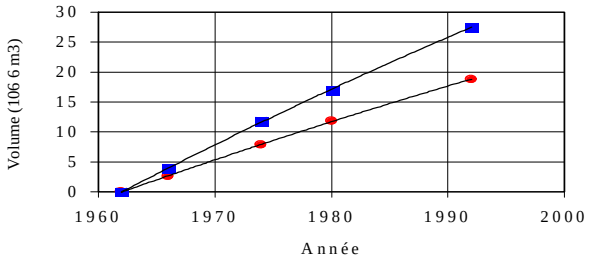


Fig. 5. Evolution dans le temps de l'envasement du barrage d'Erraguenne

<u>Réalisation de barrage de décantation</u> : La meilleure façon d'éviter l'envasement, c'est d'empêcher la vase d'arriver jusqu'au barrage, cela peut se faire par la création de retenues pour la décantation des apports solides, ce qui revient à construire un autre barrage en amont. C'est le cas du barrage de Boughezoul en amont de celui de Ghrib, bien qu'édifié essentiellement pour amortir les crues de oued Chellif, cette retenue a permis de retenir un volume de prés de 50 10^6 m^3 de vase, qui sans elle, seraient venus s'ajouter aux 150 10^6 m^3 qui se sont déposés dans celle de Ghrib (en l'an 2000). Le barrage de Boughezoul a réduit l'envasement du Ghrib de 18 %.

Dragage des barrages :Les résultats de travaux de dragage obtenus par la drague « Lucien Dumay » durant la période 1958 -1969 sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1. ***Résultats des travaux de la drague « Lucien DUMAY »***

Résultats	Barrages			
	Sig	Cheurfas I	Fergoug	Hamiz
Durée de dragage (en mois)	4	47	10	26
Volume de vase draguée (densité = 1,6) (10^6 m^3)	1,96	10,2	3,1	3,77
Rapport: Eau claire/vase (en volume)	3,5	4,8	4,6	6,8
Densité moyenne de la mixture	1,133	1,104	1,108	1,076

Il est à constater que seulement 19 millions de m3 de vase ont été dragués pendant une durée de 97 mois avec une perte d'eau claire de 96 millions de m3. Le barrage de Fergoug III (actuel) d'une capacité initiale (1970) de 18 millions de m3 envasé à 14,1 millions de m3 en 1989 avant le dévasement (fig. 4 a) a été dragué pendant la période 1989 - 1992 par la drague « Rezoug Youcef ». Un volume de vase de 6,5 millions de m3 a été enlevé avec une quantité d'eau claire égale à 7 millions de m3 (fig. 4b).L'état d'envasement très avancé du barrage de Zardezas (fig. 5) a obligé les services hydraulique de dévaser le barrage, puisque mon pas seulement la capacité de stockage qui a été menacée par l'envasement mais la stabilité de l'ouvrage a été menacée par la forte poussée des sédiments .La drague est programmée pour extraire un volume de 10 millions de m3 de vase. Durant dix années (1993-2002) de dragage, une quantité de vase de 8,6 millions de m3 a été évacuée. Mais, il faut ajouter que durant cette période de dix années, un volume de vase de 2,5 millions de m3 s'est déposé dans la retenue avec un taux d'envasement de 0,25 millions de m3 par an.

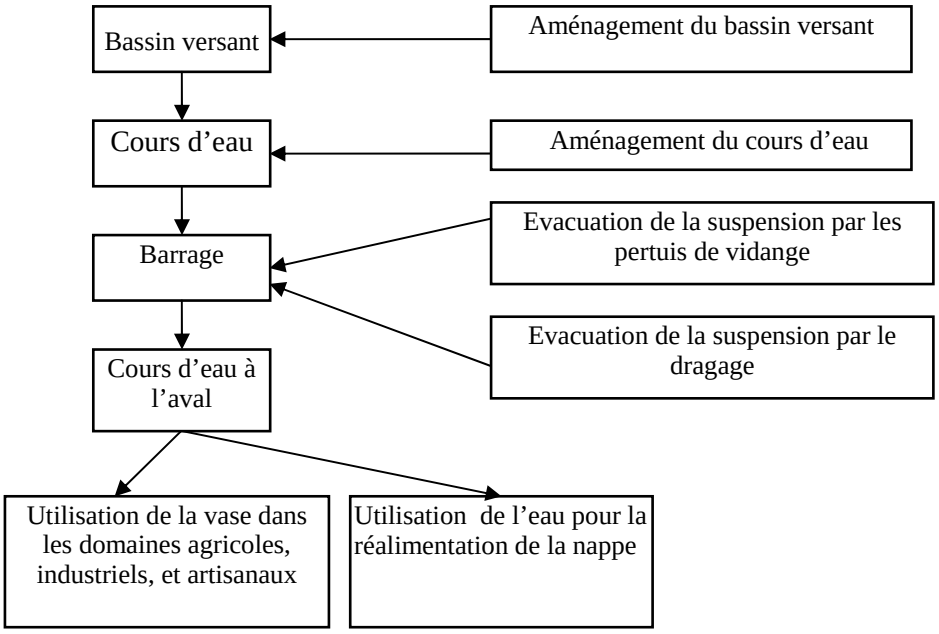


Fig. 4. Moyens de lutte contre l'envasement des barrages

CONCLUSION

L'Algérie perd annuellement un volume d'eau de 20 à 30 10^6 de m^3 suite aux dépôts successifs des sédiments dans les retenues de barrages. Cependant ce volume pouvait atteindre le double si ce n'est les moyens techniques de lutte déployés par les services hydrauliques depuis plusieurs années. Pour nous, il est indispensable d'entretenir les barrages (anciens) en exploitation en utilisant les différents moyens de lutte. La technique de dragage devra être pratiquée pour les barrage les plus envasés. Pour les barrages en réalisation, il faut aménager des maintenant leurs bassins versants et concevoir les pertuis de dévasement spécialement pour le soutirage des courants densité. A l'aval du barrage la vase évacuée par les pertuis de vidange ou par dragage doit être utilisé dans les différents domaines agricole, industriel et artisanal quant à l'eau perdue, elle doit être utilisée pour la réalimentation de la nappe (fig. 4)

BIBLIOGRAPHIES

1. MEKERTA.B et TISOT.J.P(, 1993) :Etude de la sédimentation dans les retenues des barrages, propriétés mécaniques des sols fins. com.1er congrès national des grands barrages. 24 et 25 mai. PP. 1-9.
2. MECHIN Y(1980) : Rapport général introductif sur le dévasement des retenues.
3. Séminaire International sur le Dévasement des Retenues. Tunis (Tunisie) 1-4 juillet 5p.
4. REMINI B(1990) :Etude hydrodynamique du mécanisme de l'envasement. Thèse de Magister. Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, juin, 100 pages.
5. REMINI B. et AVENARD J-M.(1998) :Evolution de l'envasement dans un barrage surélevé. Revue L'eau, L'industrie, Les nuisances, août/septembre, n° 214, pp. 61 -63.
6. REMINI B.(1993) :Envasement du barrage d'Ighil Emda, Revue la Houille blanche, n°2/3, pp. 23 -28.

Approche climatologique de la plaine de Tafilalt (S.E. Marocain)

JARAR OULIDI H.[1], BENAABIDATE[2]L., & EL JAAFARI S.
[1]Faculté des Sc. Dehar el Mehraz Fès. E-mail : gerar@netcourrier.com
[2]F.S.T Saïss, B.P. 2202 Fès, Maroc. E-mail : benaabidate@yahoo.fr
[3]Faculté des Sc. Meknès, Beni M'Hamed. E-mail : s.eljaafari@menara.ma

INTRODUCTION

La plaine de Tafilalt est située dans la partie sud est du Maroc, sur le flanc sud du Haut Atlas (Fig.1). De ce dernier émanent plusieurs oueds qui alimentent cette plaine en eau. Ces cours d'eau se présentent dans la région sous forme surtout de vallées ; notamment la vallée de Ziz et celle de Rhéris. Cette étude portera sur l'analyse climatique de la région et son l'impact sur les ressources hydriques profondes de cette plaine. Ces ressources sont exploitées en surface par les systèmes d'irrigation traditionnels appelés Khettaras ou Foggara. Ces dernières sont réparties géographiquement en 6 zones A, C, D, E, F et G.

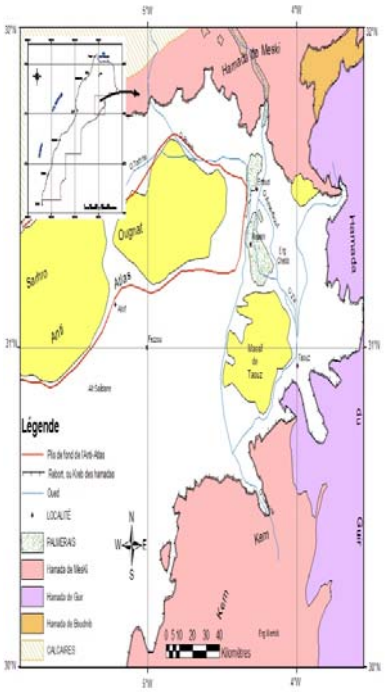


Figure 1 : Situation géographique de la plaine de Tafilalt

MATERIELS ET METHODES

Le cycle climatique annuel comporte une période sèche qui peut s'étendre sur une période plus ou moins importante. Cette période se produit dans certaines limites de précipitation et de température qui sont déterminées en se basant sur les valeurs des précipitations/températures et précipitations/évaporations.

L'étude climatologique a été réalisée sur recueillies de la Direction Régionale d'Hydraulique d'Errachidia et ont été traités par le logiciels Surfer et ArcGis.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le terme sécheresse est lié au terme aridité car c'est elle qui, dans sa forme extrême d'intensité et de durée, contribue à l'aridité. Cette aridité correspond à un déficit en eau dû à de trop faibles précipitations ou résultant d'un excédent de pertes d'eau dans le bilan hydrique. L'aridité d'une région croît en général de manière inversement proportionnelle aux précipitations et c'est pour cela que différentes limites de pluviosité ont été suggérées pour définir aridité, région aride, saison aride, période sèche et mois sec (Milon.H., 1961).

D'après l'analyse des températures mensuelles, on a déduit que pour une période de 9 ans, la température moyenne mensuelle est de 26.8 °C (fig.2).

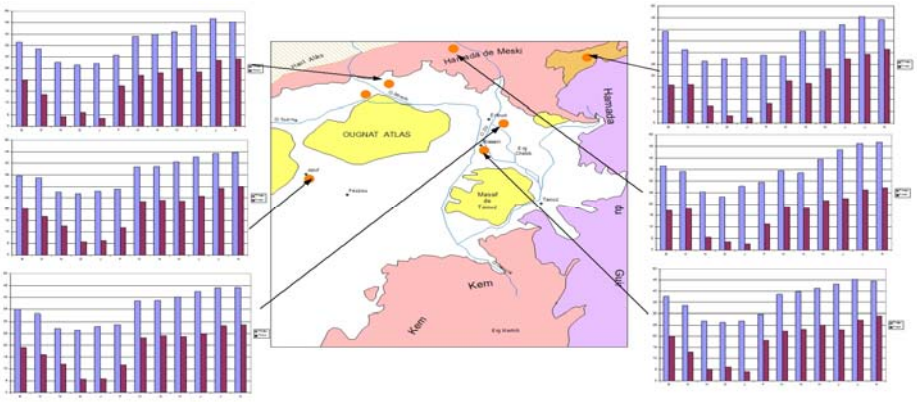


Figure 2 : Variation des températures moyennes mensuelles dans quelques stations des vallées de Ziz et Rhéris

A l'échelle annuelle, les variations sont peu importantes avec un minimum de 16.05°C (2000) et un maximum de 36.6°C enregistré en 1997.

L'écart mensuel de température moyenne entre le mois le plus chaud (Août) et le mois le plus froid (Janvier) est beaucoup plus fort en Haut Atlas. Il diminue en se rapprochant vers le centre de la plaine ce qui montre clairement que la plaine est plus aride en allant vers le centre (fig.3). De ce fait, le complexe des Khettaras des zones D, E et F est situé dans une zone plus aride par rapport au Khettaras des zones A, C et G, d'où la demande excessive en eau dans le premier complexe.

Outre la température, l'altitude affecte d'une manière inéluctable la répartition spatiale des précipitations (fig.4). Cependant, les pluies sont inversement proportionnelles à la recrudescence des phénomènes de la sécheresse. Certes, dans l'ensemble des stations du Sud-est marocain, les précipitations sont faibles et irrégulières et vont en diminuant de l'amont vers l'aval (fig.4). L'influence des Atlas diminue donc très rapidement, et ainsi l'isohyète de 100 mm, marquant la limite du Sahara nord occidentale, se trouve bien au Nord d'Erfoud - Rissani. La plaine de

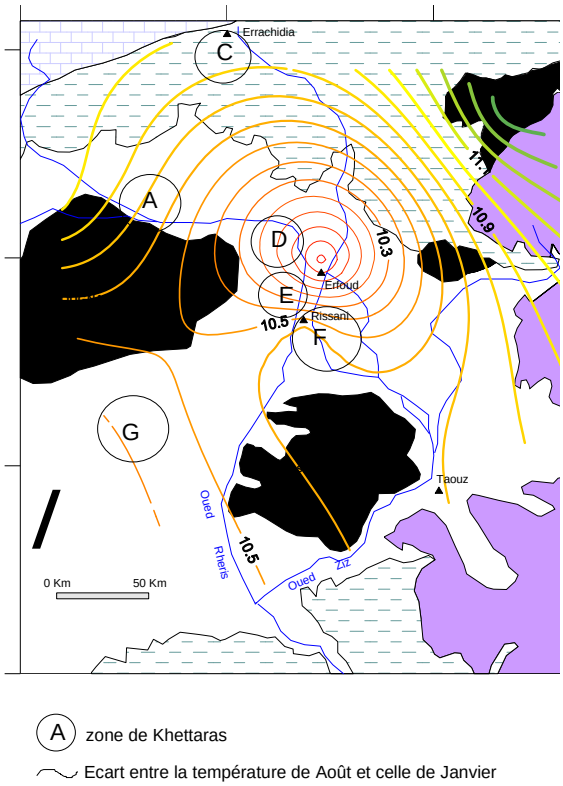


Fig.3 : Ecart entre la température moyenne d'Août et celle de Janvier

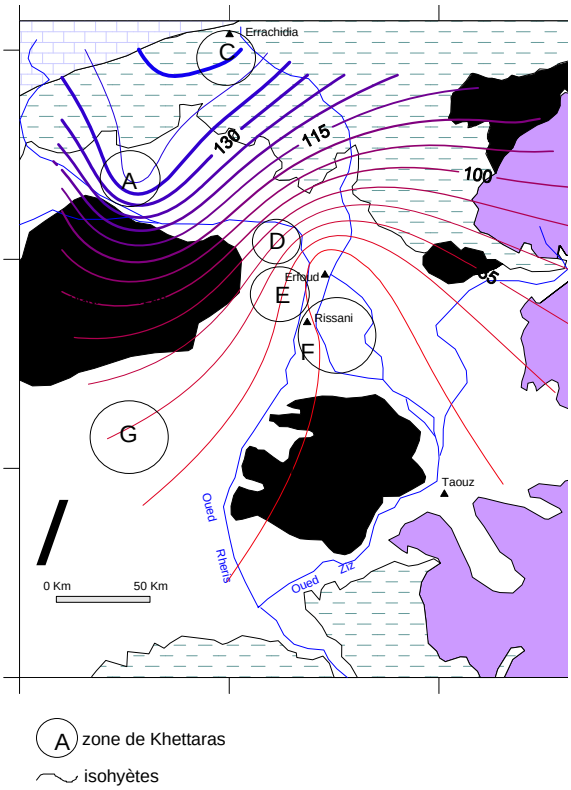


Fig.4 : carte des isohyètes de la plaine de Tafilalt

Tafilalt ne reçoit en effet que des pluies saisonnières insuffisantes ; l'eau dont elle vit, lui vient presque exclusivement du Haut Atlas suite à la fonte des neiges par le biais de l'oued Ziz, Rhéris et leurs affluents. En effet les précipitations diminuent du Nord

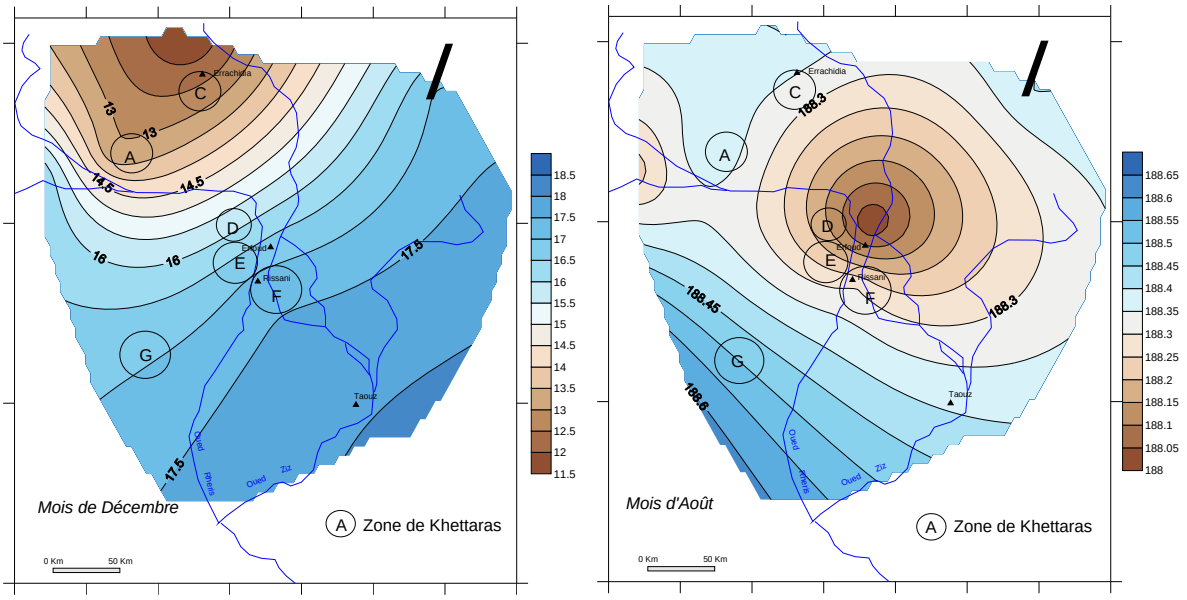


Figure 5: Modélisation de la distribution spatiale de l'évapotranspiration potentielle

Vers le Sud (fig.4). On remarque qu'à l'exception des Khettaras des zones A et C, toutes les autres Khettaras sont situées au dessous de la limite 100 mm autrement dis, dans la zone désertique. Les précipitations diminuent de la zone C vers la zone F en passant respectivement par A, D, E. La zone la plus arrosée est C et la moins arrosée.

L'analyse de l'évapotranspiration potentielle (ETP) selon la méthode de Thornthwaite (in Benaabidate, 2000) (fig.5) montre que les valeurs mensuelles extrêmes moyennes de l'ETP varient en hiver entre 11.5 mm (région la plus arrosée (Fig.4) : zone des Khettaras A et C) et 18.5 mm : zone des Khettaras D, E, F et G). Quant en été, les valeurs de l'ETP ne montrent pas de variations significatives (de 188 et 188.65 mm) puisque dans toute la région la température est importante en été. Ces valeurs confirment bien l'aridité qui règne dans la région.

Les diagrammes ombrothermiques de Gaussen montrent que toutes les stations présentent une période de sécheresse qui s'étend sur 10 à 12 mois (fig.6). Chaque station sur la figure 6 correspond à une zone de Khettaras.

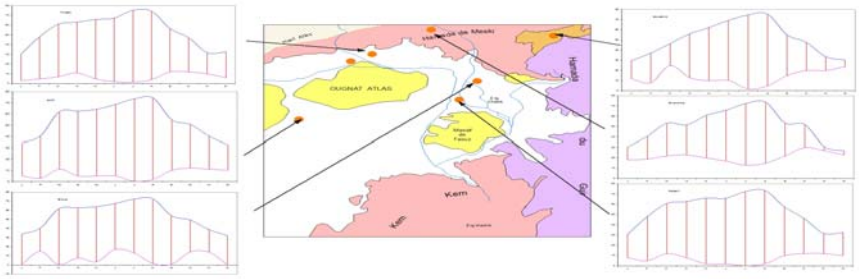


Figure 6: Courbes ombrothermiques de quelques stations dans la plaine de Tafilalt

CONCLUSION

La plaine de Tafilalt a été répartie, en fonction des Khettaras, en six zones (A, C, D, E, F et G). L'étude du paramètre température a révélé que les zones D, E et F sont sises dans une région plus aride par rapport aux zones A, C et G. Quant aux précipitations, celles-ci ont montré qu'à l'exception des zones A et C, les autres zones sont situées au dessous de

l'isohyète 100 mm qui marque la limite nord du Sahara.. L'étude du paramètre ETP a mis en évidence que partout dans la plaine de Tafilalt cette ETP est importance, surtout en été où la température est élevée.

BIBLIOGRAPHIE

1. Benaabidate L., 2000: Caractérisation du bassin versant de Sebou : hydrogéologie, qualité des eaux et géochimie des sources thermales.
2. Thèse de doct. D'Etat, F.S.T. Saïss Fès. 250 p.
3. Milon.H., 1961 : Etude hydrogéologique de la plaine de Tafilalt.
4. Rapport interne, O.R.M.V.A.Tafilalt.

Simulation de la pollution par les solvants chlorés des eaux souterraines de la zone industrielle de Khessibia (Wilaya de Mascra) en utilisant le model Biochlor

B.BEKKOUSSA [(1)], M.MEDDI [(2)] et H. AZZAZ[(1)]
[(1)] Laboratoire des Sciences et Techniques de lEau, Centre universitaire de Mascara Email: bekkoub@yahoo.fr
[(2)] Laboratoire Eau, Roche et Plante - Centre universitaire de Khremis Meliana Email: mmeddi@yahoo.fr

INTRODUCTION :

Les solvants chlorés sont des substances chimiques dont lutilisation est très répandue. Ils représentent un risque majeur de contamination pour lenvironnement et notamment vis à vis des eaux souterraines à cause de leurs comportements dinfiltration et de migrations dans le milieu souterrain.
La zone industrielle de Khessibia Wilaya de Mascara est le siège dune activité industriel intense impliquant le stockage, lutilisation et le rejet de ce genre de produits. Une simulation de la pollution de la nappe à partir de cette zone a été tentée en utilisant un model de prédiction et danalyse développée par lEPA (Environmental Protection Agency, USA), qui fait intervenir les différentes caractéristiques influençant le transport du panache de pollution et les mécanismes latténuation naturelle. Lobjectif de ce travail de modélisation est de cerner le risque de pollution par les solvants chlorés qui menace dun coté les eaux souterraines de la région étudiée et de lautre toute une population exploitant et sapprovisionnant exclusivement de ces eaux et la possibilité davoir une atténuation naturelle permettant de réduire voire éliminer ces contaminants.

DEFINITION DES SOLVANTS CHLORES :

Se sont des liquides incolores qui appartiennent à la famille des composés organo-halogénés volatils (COV). Ils sont composés dun ou deux atomes de carbone possédant un ou plusieurs atomes de chlore. Ils présentent des propriétés physiques et chimiques générales qui expliquent le risque quils présentent pour les eaux souterraines : ils sont fluides, solubles, volatils et denses (en général plus lourd que leau). Ils sont par conséquents susceptibles de migrer facilement en phase à travers la zone non saturée, et une fois au toit de laquifère tendent à couler jusqu'au substratum, ce qui rendra leur recuperation par les techniques de dépollution très hasardeuse. Sur le plan de la santé publique, les hydrocarbures chlorés volatils sont considérés comme substance cancérigène et possède une toxicité aiguë. Laction de ces produits peut se caractériser par des atteintes neurologiques, hépatiques, cardio-vasculaires et rénales.

ATTENUATION NATURELLE DES SOLVANTS CHLORES :

Latténuation naturelle est le processus se produisant naturellement dans les sols et les eaux souterraines, sans intervention humaine, visant à réduire la masse, la toxicité, la mobilité, le volume ou la concentration des contaminants dans ces milieux. Les processus pris en considération sont : la dispersion, la dilution, la volatilisation, ladsorption, les mécanismes de stabilisation ou de destruction des polluants, quils soient physiques chimiques ou biologiques (US. EPA, 1998).
Les solvants rentrent dans la famille des DNAPL (Dense Nanaqueous Phase Liquids) qui sont des composés relativement solubles dans leau et qui présentent une volatilité importante qui peut atteindre dans la zone non saturée où il se trouve sous forme de vapeur 3 à 6 celle de lair. Leur densité est supérieure à 1, ce qui contribue à favoriser leur écoulement vers le substratum de laquifère.
La biodégradation de ces produits seffectue principalement par déhalogénation réductrice qui se résume par lexpulsion du chlore du solvant.
Les molécules les plus chlorées sont sujettes au processus déhalogénation réductrice et se dégrade de façon séquentielle en dautre composés appelés métabolites.

MODEL BIOCHLOR :

BIOCHLOR est un logiciel danalyse développé par U.S EPA (Environmental Protection Agency) et programmé sous Microsoft Excel. Il simule la remédiation de la pollution par les solvants chlorés dans les eaux souterraines par atténuation naturelle RNA (Remediation by Natural Attenuation). Biochlor est basé sur un modèle analytique de transport de soluté appelé « Domenico Model » (Aziz et Al, 2000). Biochlor a labilité de simulé un transport de soluté avec une dispertion en 3-D, une adsorption linéaire et une biodégradation via une réaction de déhalogénation réductrice. Le model peut prédire la migration des solvants sous forme déthane (TCA) ou déthéne (PCE) et de leurs dérivés. On suppose également que les réactions biologiques se produisants sous le sol sont dune cinétique de premier ordre. Cette hypothèse est tout à fait légitime spécialement lorsque le nombre des micro-organismes qui peuvent dégrader le polluant est constant dans le site et lorsque les nutriments nécessaires à la biodégradation sont en abondance comme cest le cas dans le site étudié.

CARACTERISATION DU SITE :

Le site est situé à environ 15 Km au sud ouest de la ville de Mascara. Il correspond à un périmètre destiné aux rejets de trois unités industrielles situé à une centaine de mètres au nord. Cette région fait partie du bassin hydrogéologique de Ghriss (Fig. N°01), elle est constituée principalement de haut en bas par :

- Les alluvions récentes du Quaternaire, constituées par des argiles sableuses à graviers calcaires formant une nappe de faible potentialité ;
- Les calcaires lacustres blancs crayeux du Pliocène, relativement perméable et qui renferme la nappe la plus importante de cette zone ;
- Les marnes blancs plastiques du Miocène, ces formations sont quasi imperméables et forme le mur de la nappe précédente ;
- Les calcaires dolomitiques du Jurassique supérieur qui constituent une formation aquifère assez profonde captée par quelques forages.

Les calcaires lacustres possèdent une transmissivité variant entre 10^{-2} et 10^{-3} m^2/s. La direction lécoulement de la nappe est du nord-est vers le sud-ouest (Sourisseau.B, 1971) sous un gradient hydraulique moyen de 0.01.

RESULTATS DE LA SIMULATION :

Une simulation des effets engendrés par une pollution par les solvants chlorés a été réalisée en utilisant le model Biochlor pour évaluer le risque encouru par les eaux souterraines de la région de la zone industrielle de Khessibia, a court et moyen terme. Le travail se subdivise en deux étapes :

La première étape consiste à comparer et analyser la concentration des différents solvants et de leurs métabolites en fonction de la distance par rapport au terme source et de constater leffet de la biodégradation sur la pollution.

La deuxième étape se résume par lobservation de linfluence du facteur temps dans latténuation ou laggravation de la contamination des nappes par les hydrocarbures halogénés.

Première étape *:*

Un temps de simulation fixe estimer à 15 ans a été adapté pour les divers composés. Les graphes des figures N° 01 représentent lévolution des concentrations des solvants chlorés dans les eaux de la nappe en foction de la distance transversale, sous leurs formes éthylène (PCE : Perchloroéthylène, TCE : Trichloroéthylène, DCE : Dichloroéthylène, VC : Chlorure de Vinyle) ou sous forme déthane (TCA : Trichloroéthane, DCA : Dichloroéthane et CA : Chloroéthane).

La présence en masse de lensemble des éléments dans le flux est en baisse sauf pour le VC et léthylène en cas de biodégradation. Ceci peut être expliqué par la production des ces deux composés par la destruction biotique des autres éléments. Laugmentation de la concentration du VC et de ETH est visible jusquà environ 200 m (500 ft). En cas de Biodégradation, Une diminution plus marquée de la concentration des produits dit primaire (PCE et TCA) qui se situe en haut de la chaîne et ceci dans les premiers 300 m (1000 ft).

La présence dune biomasse améliore beaucoup lélimination de ces contaminants et contribue à réduire leurs avancements. La concentration de presque tous les éléments étudiés dépasse largement les normes admises par lOMS pour les eaux de boisson jusquà 200 m.

Deuxième étape :

Une comparaison entre la migration des PCE a concentration fixe pour deux temps de simulation t_1= 5 ans et t_2= 30 ans (fig N°02) nous permet de constater que ces substances peuvent atteindre des distances très importantes allant jusquà 1 Km (3500 ft) et avec des proportions inquiétantes au sein de la nappe et en partant de la source de contamination. Cette migration est très réduite lors des premières années. Cette remarque est aussi vrai pour les autres substances étudiées.

CONCLUSION :

Létude résume une démarche de simulation de la pollution des eaux souterraines par les hydrocarbures chlorés aliphatiques plus communément appelés solvants chlorés en utilisant le model Biochlor, appliqué à la zone industrielle de Khessibia (Wilaya de Mascara). Les résultats mettent en évidence limportance de la biomasse pour atténuer la concentration de ces composés dans les eaux de la nappe. La présence de ces éléments très toxique avec des proportions alarmantes dépassant largement toutes les normes plus spécialement dans un rayon de 300 m menace directement les riverains qui salimentent exclusivement des eaux des puits. Un périmètre de sécurité devra être envisager. Cette détérioration des eaux de la nappe peut sétendre sur 1Km si des mesures ne sont pas prises pour arrêter la source de contamination.

Le model Biochlor peut être envisager pour une première estimation de la pollution par les solvants chlorés et éventuellement pour évaluer le rôle que joue une biodégradation dans le processus de migration. Néanmoins, une étude complémentaire et plus approfondie par un logiciel plus performant tel que MODFLOW (module : MT3DMS) reste indispensable pour une meilleure connaissance de la contamination dune nappe.

BIBLIOGRAPHIE :

1**Aziz. C.E., Newell. C.J., Gonzales, J.R., Haas, P., Clement, T.P., Sun, Y**., 2000. BIOCHLOR-Natural attenuation decision support system v1.0. Users Manual, U.S. EPA Report, EPA 600/R-00/008.

2**Lemiére. B, Seguin. J.J, Leguern. C, Guyonnet. D, Baranger. PH**, 2001, Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Document BRGM 300.

3**Nowak. C, Mossmann. J.R, Saada. A**, 2003, etat de connaissances sur latténuation naturelle : mécanisme et mise en Suvre. Rapport BRGM/RP-51960-FR.

4**Prabhakar Clement. T, Michael. J.T , Peter Lee**, 2001. A case study for demonstrating the application of U.S. EPAs monitored natural attenuation screening protocol at a hazardous

5waste site. Journal of Contaminant Hydrology (2002) 133-162.

6**Sourisseau.B** (1971) : Etude hydrogéologique de la plaine de Ghriss, Rapport, 83 p.

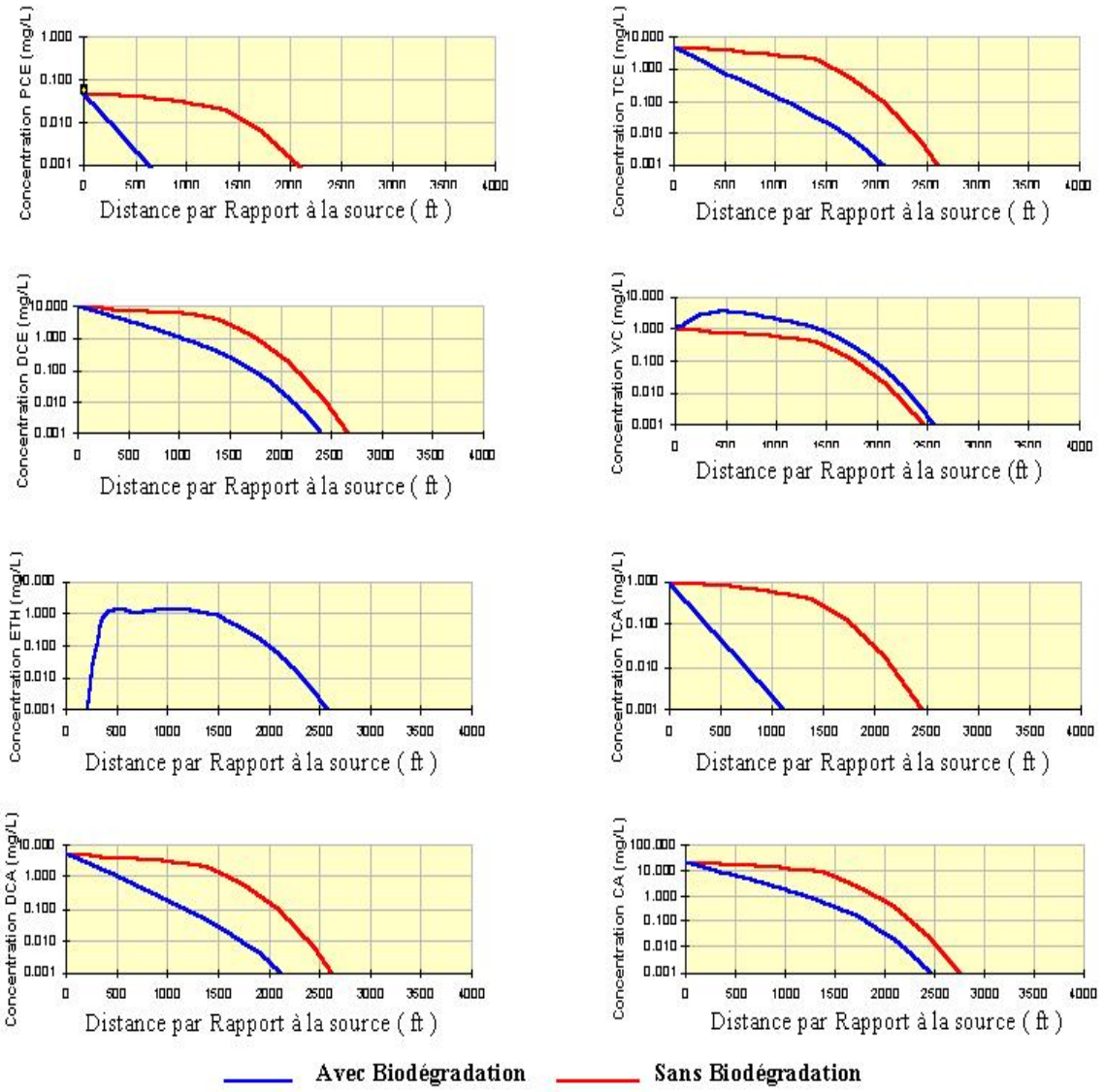


Fig N°02 : évolution de la concentration des composés en fonction de la distance par rapport à la source (t=15 ans).

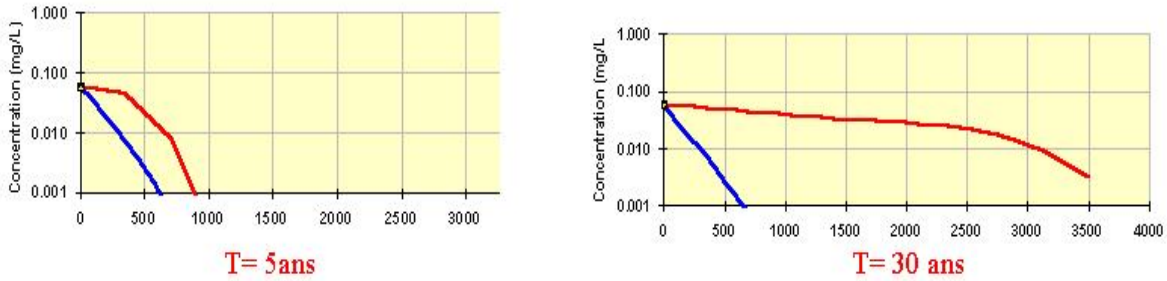


Fig N°03 : Evolution de la concentration des PCE pour deux temps de simulation.

SIMULATION DES PERTES DINTRANTS AGRICOLES (NITRATES ET PESTICIDES) : APPLICATION DU LOGICIEL AGRIFLUX A DIFFERENTS CONTEXTES AGRICOLES.

OLIVIER BANTON
Université dAvignon, Laboratoire dHydrogéologie 33 rue Pasteur, 84000 Avignon France
email : olivier.banton@univ-avignon.fr

INTRODUCTION

Même si les processus dominant le devenir des nitrates et des pesticides dans les sols sont maintenant mieux connus, limportance relative des différents processus et de leurs paramètres demeure encore une grande source de questionnement tant pour le modélisateur que pour le gestionnaire. Les travaux de terrain ont par ailleurs montré que les visions simplificatrices et simplistes utilisées pour représenter les processus ne permettent pas toujours de représenter adéquatement la dynamique observée sur le terrain.

Lapplication du modèle AgriFlux (Figure 1) sur des sites se différenciant par leurs conditions agronomiques, pédologiques et climatiques permet dillustrer la représentativité des résultats de simulation. Une discussion est faite sur les sources derreur intrinsèques (ex. : variabilité spatiale) et extrinsèques (ex. : méthodes de mesure) qui peuvent être introduites dans lidentification et la quantification des processus et des paramètres impliqués. Également, on discutera de ladéquation, entre eux, des objets de comparaison. Finalement, quelques recommandations méthodologiques identifient les voies de recherche dans lesquelles des efforts doivent être consentis.

AgriFlux est un modèle mécaniste-stochastique alliant la représentation physique des processus de transformations et de transferts des contaminants et la variabilité ou lincertitude sur les paramètres. Il simule le cycle de leau dans le sol (précipitations, infiltration, prélèvement deau par la culture, évaporation, percolation), le cycle de lazote (amendements, ruissellement, minéralisation, immobilisation, nitrification, dénitrification, prélèvement dazote par la culture), le devenir des phytosanitaires (volatilisation, adsorption, dégradation, hydrolyse) et le transfert des nitrates et pesticides par lécoulement de leau (ruissellement, lessivage et drainage).

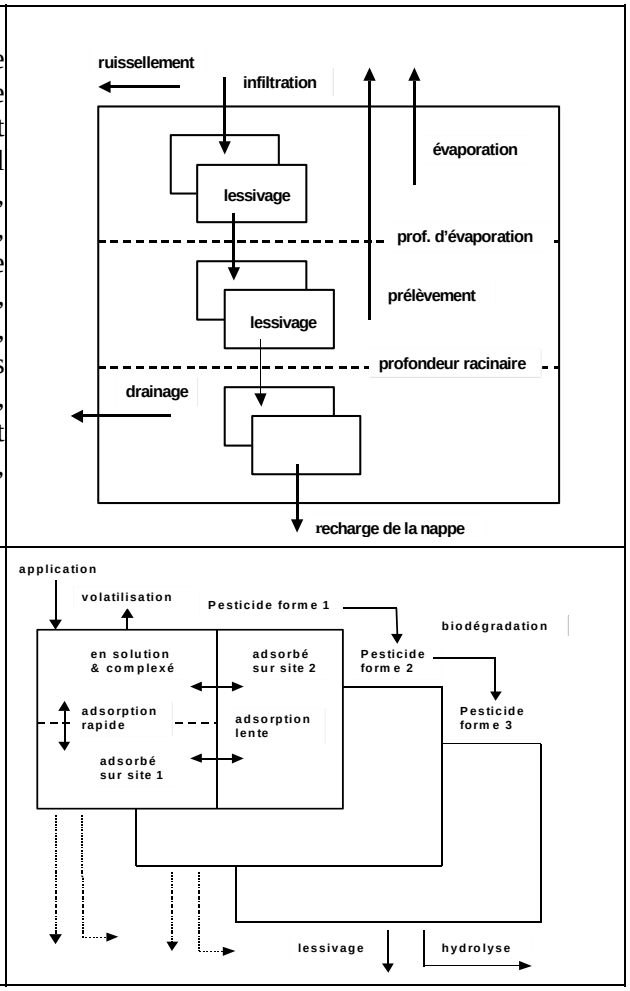


Figure 1 : Modèle AgriFlux (Banton et al., 1997) simulant les pertes hydriques deau, de nitrates et de pesticides dans lenvironnement.

APPLICATIONS ET DISCUSSION

Nous présentons dans ce papier quelques uns des cas dapplication discutés durant la conférence. Ils ont pour objectif dillustrer la complexité des objets servant à la comparaison et à la validation des résultats. En effet, on ne peut directement confronter les résultats de la modélisation avec des observations de terrain quaprès sêtre assuré de la cohérence des objets de comparaison. On ne peut, par exemple, comparer directement des concentrations en nitrates simuler dans le sol avec celles obtenues par un suivi de la qualité sur les eaux de prélèvement dun puits de pompage. Il serait nécessaire pour cela dintégrer également dans le temps et dans lespace les différentes concentrations issues dun ensemble de champs cultivés.

Le premier exemple dapplication (Figure 2 ; Pomares et al. 2000) illustre limportance de la variabilité spatiale des concentrations mesurées et donc la nécessité de sa prise en compte dans la modélisation et dans la comparaison des résultats. Tel que lillustre la figure 2, on remarque en effet que les concentrations, tant mesurées que simulées, présentent une dispersion importante. Toute campagne de mesures devrait donc inclure un nombre suffisant

déchantillons à chaque échantillonnage afin de pouvoir en déterminer de façon fiable la valeur moyenne et lécart-type. Dun autre côté, la réalisation dune modélisation stochastique permet dintégrer la variabilité spatiale et lincertitude dans la simulation des processus et de fournir des résultats sous la même forme statistique. La comparaison peut alors être réalisée à la fois sur les valeurs moyennes et sur les courbes enveloppes probables.

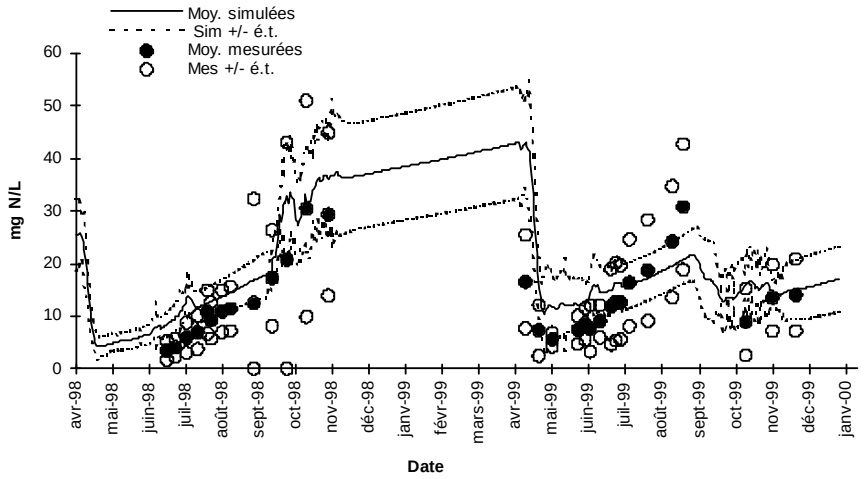


Figure 2 : Comparaison de lévolution temporelle des concentrations en nitrates dans le sol observées et simulées sous culture de maïs au Québec (Pomares et al. 2000)

Le deuxième cas dapplication (Figure 3 ; Villard et al. 2004) illustre la sensibilité des mesures et des résultats aux caractéristiques des sols, des cultures et des pratiques agricoles. Tel que le montre la figure 3, pour des sols dun même bassin hydrogéologique, les flux de nitrates sortant du sol et percolant vers la nappe sont très différents, passant dans notre cas de valeurs moyennes de 10 mg/l à des valeurs de lordre de 200 mg/l. Une caractérisation adéquate des différents paramètres est donc primordiale pour simuler avec représentativité et fiabilité des différents processus impliqués.

Finalement, le troisième cas dapplication (Figure 4, Dupuy et al., 1997) illustre la nécessité dune bonne connaissance des modes de circulation des eaux pour une comparaison avec des concentrations observées dans des puits ou sources. Dans le cas présenté, on observe une évolution historique relativement similaire entre les concentrations observées et simulées à lexutoire dun bassin. Cette évolution temporelle montre des fluctuations marquées qui sont bien reproduites par la modélisation couplée sol-nappe lorsque la dispersion dans la nappe est considérée comme faible. Dans le cas contraire, les valeurs simulées sont particulièrement lissées et ne reproduisent pas les pics de concentrations observées. Dans ce cas dapplication également, limportance dun nombre suffisant dobservations (temporelles dans ce cas) est primordiale pour pouvoir réaliser une comparaison pertinente.

Ces quelques cas, choisis parmi les nombreuses applications dAgriFlux, illustrent les contraintes et les impératifs reliés à lacquisition même des données de comparaison. Dans de nombreux cas, la piètre comparaison obtenue entre observations et résultats de modélisation pourrait être attribuée aux manquements de léchantillonnage plutôt quà celle de la modélisation.

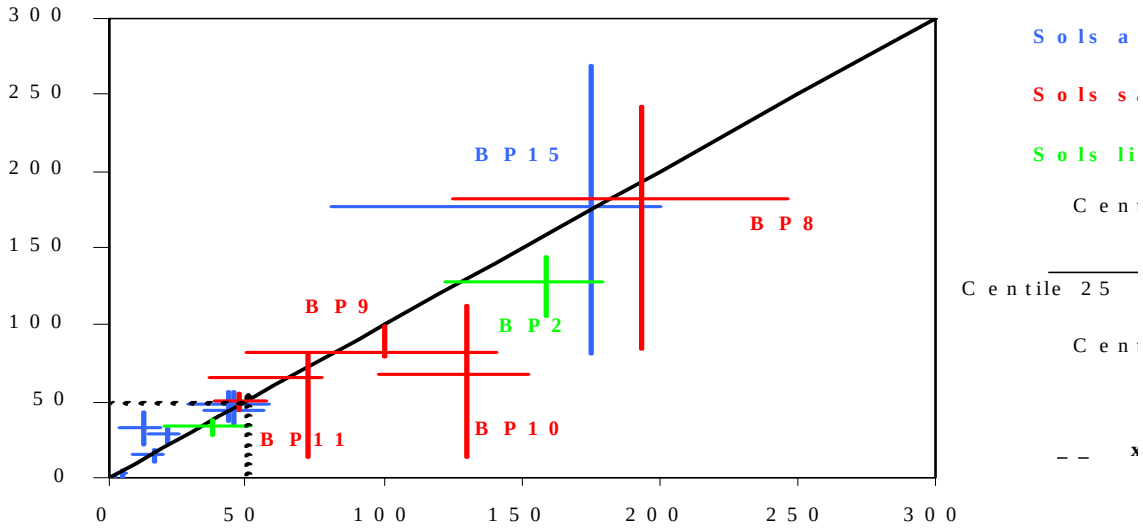


Figure 3 : Comparaison des concentrations en nitrates dans le sol observées et simulées pour différents sols, cultures et pratiques agricoles en Saône et Loire (Villard et al. 2004)

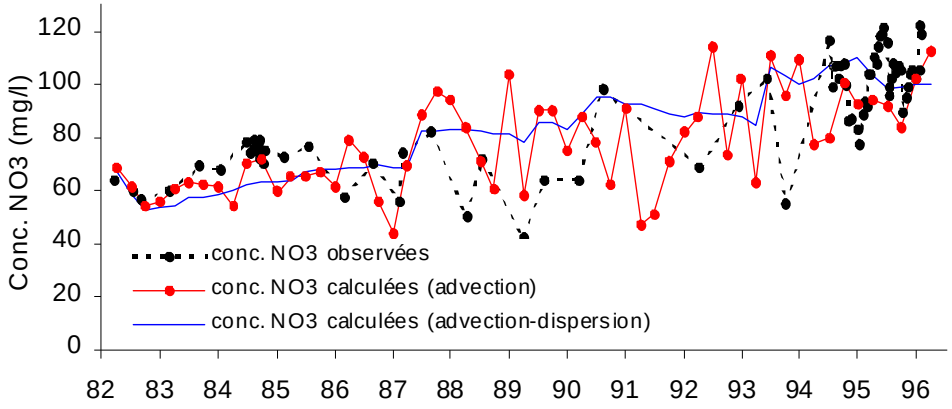


Figure 4 : Comparaison de lévolution temporelle des concentrations en nitrates observées et simulées à lexutoire dun bassin hydrogéologique des Deux-Sèvres (Dupuy et al. 1997)

BIBLIOGRAPHIE

1. **DUPUY, A., M., RAZACK et O.BANTON,** 1997. Contamination nitratée des eaux souterraines d'un bassin versant agricole hétérogène: 2. Évolution des concentrations dans la nappe. Rev. Sciences de l'Eau. 10(2): 185-198.
2. **POMARES, C., LAROCQUE, M. et O. BANTON.** 2000. Suivi et modélisation du lessivage des nitrates sous culture du maïs après un retournement de prairie (Québec) . Colloque ESRA2000. 13-15 septembre 2000. Poitiers, France. pp. S2 :55-58.
3. **VILLARD, A., S. NOVAK, O. BANTON, F. KOCKMANN et E. CREMILLE**. 2004. Etude des flux deau et dazote nitrique sous racines sur deux champs captants du Val de Saône : expérimentation avec bougies poreuses et modélisation avec AgriFlux. Ingénieries. 35 : 3-17.

Indice de vulnérabilité et évaluation des risques de pollution des eaux souterraines : Cas de la plaine du Gharb (Maroc).

M. AMHARREF et A. BERNOUSSI
Laboratoire de Mathématiques Appliquées et Systèmes Environnementaux (MASE).
Faculté des Sciences et Techniques BP : 416 Tanger Maroc Tel : 0021239393954/55 (fax53) e mail : amharref@hotmail.com
et bernou@fstt.ac.ma

INTRODUCTION

Les problèmes de gestion et de sauvegarde de la qualité des ressources en eaux deviennent de plus en plus prioritaires. A causes des difficultés techniques de dépollution et surtout du coût de celles ci, les mesures préventives s'imposent. Cela passe, dans un premier temps, par la cartographie des zones dites vulnérables et de celles dites à risques. Etant donné la complexité des mécanismes régissant le transfert d'un polluant et du grand nombre de paramètres qui entrent en jeux, différentes approches ont été proposées et utilisées pour la vulnérabilité initialement introduite par J. Margat dans les années 60 (Margat, 1968 ; Rehse, 1977 ; Vrba et Zaporozec, 1994 ; Gogu et Desargues, 1998 ; Lallemand et Barres, 1994...). Dans ce travail nous analysons la situation de la plaine du Gharb (Maroc) au niveau de la vulnérabilité et des risques de pollution des eaux souterraines ; en utilisant un indice de vulnérabilité, Iv, définit à travers les trois paramètres qui caractérisent le transfert d'un polluant de l'interface sol vers la nappe. Ces paramètres sont le temps de transit T, le rapport de la concentration en produit polluant à l'arrivée à la nappe C' par rapport à la concentration initiale C à la surface sol et le rapport de la recharge efficace R' par rapport à la recharge potentielle R. L'indice de vulnérabilité a été définit comme étant la somme de l'effet pondéré de ces trois paramètres :

$$\mathbf{Iv} = \boldsymbol{\alpha}\,\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{T}} + \boldsymbol{\beta}\,\frac{\mathbf{C'p}}{\mathbf{Cp}} + \boldsymbol{\gamma}\,\frac{\mathbf{R'}}{\mathbf{R}}$$

α, β et γ sont des coefficients de pondérations que nous avons pris, pour le cas de la plaine du Gharb égale à $\alpha = \beta = 2$ et $\gamma = 1$. Cet indice traduit en outre le principe communément admis, qu'une zone est vulnérable si le produit polluant atteint la nappe en un temps court et avec une concentration élevée (Amharref et al. 2001, 2002, 2003).

CARTE DE VULNERABILITE

La plaine du Gharb est située au nord ouest du Maroc. Elle s'étend dans la vallée de l'oued Sebou sur une superficie de 3000 km^2 (Fig.1). Elle est formée d'une épaisse série sédimentaire de dépôts très hétérogènes succédant depuis les marnes du miocène jusqu'au limons du quaternaire récent. Son climat passe du sub-humide à hivers tempérés en zone côtière à semi-aride à hivers chauds à l'intérieure de la plaine. La lame d'eau moyenne annuelle des précipitations est de 460mm. Le drainage superficiel est assuré principalement par l'oued Sebou qui traverse la plaine d'est en ouest.

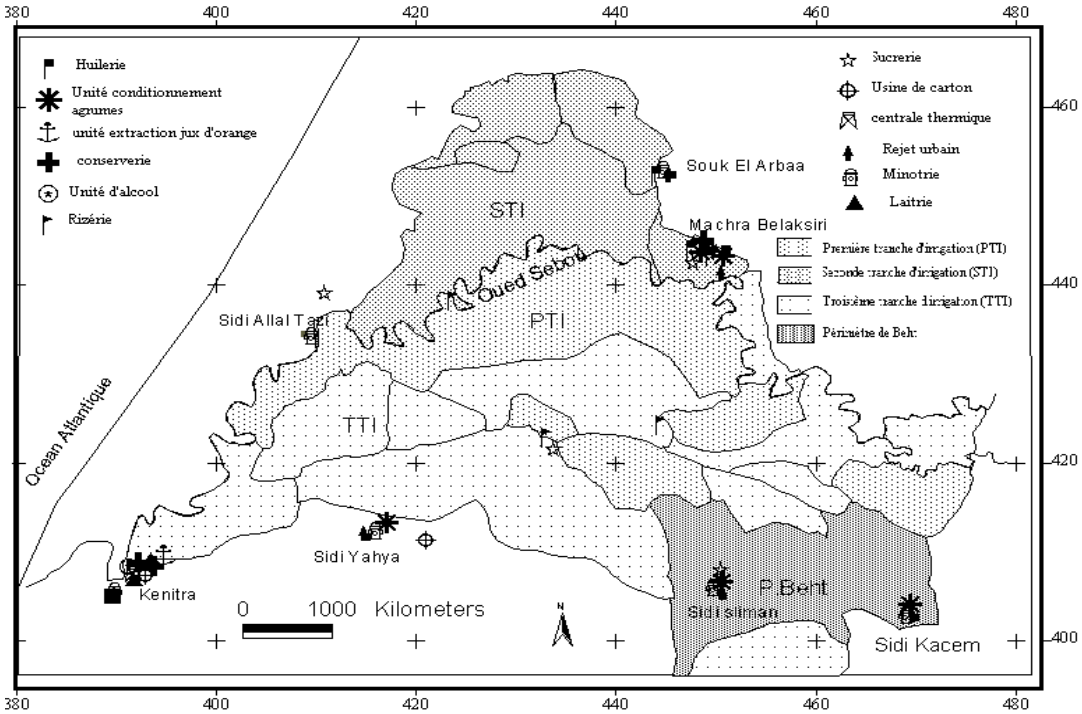


Fig. 1 Carte des sources potentielles de pollution de la plaine du Gharb

La plaine renferme un système aquifère complexe constitué de deux principales nappes superposées qui sont : La nappe phréatique localisée au centre de la plaine et la nappe profonde qui affleure sur les pourtours sud et ouest et plonge au centre sous la nappe supérieure. L'aquifère profond est doté de bonnes caractéristiques hydrodynamiques dont la perméabilité varie de 10^{-4} à 6.10^{-3} m/s et la transmissivité varie de 1.5 10^{-2} m^2/s à 3 10^{-4} m²/s (El Mansouri. 1999). Les perméabilités de l'aquifère supérieur sont comprises entre 10^{-7} et 2 10^{-5} m/s. L'écoulement général est du sud-est vers le nord-ouest dans la partie sud et devient sensiblement est-ouest dans les parties centre et ouest. La ligne de partage des eaux qui jalonne par endroit le Sebou est à mettre en relation avec une zone d'alimentation privilégiée par l'Oued.

Pour élaborer la carte de vulnérabilité intrinsèque de la plaine du Gharb (Fig. 2), le degré de recharge a été estimé en se basant sur l'identification des zones d'infiltration concentrée et l'estimation du taux d'infiltration diffuse des précipitations. Quant aux temps de transit T et le rapport des concentrations Cp'/Cp ils sont estimés à travers la nature pedologique de la Zone Non Saturée (ZNS). Cette zone, d'une épaisseur variant entre 0.7 m dans la partie nord et 10 m au centre et au sud de la plaine, est formée de différentes sous couches de limon argileux et d'argiles limoneuses avec des intercalations de bancs de sable et/ou de sables limoneux. L'estimation de ces trois paramètres (T, R'/R et C'/C) à travers les données recueillis sur le terrain ou fournis par l'ORMVAG et la DPTP nous a permis de dresser une carte de vulnérabilité intrinsèque de la plaine du Gharb (Fig. 2) (Amharref et al. 2002). L'usage du Système d'Information Géographique (SIG) a facilité l'élaboration des cartes.

CARTE DES RISQUES DE LA PLAINE DU GHARB

La carte des risques potentiels de pollution de la plaine (Fig. 3) a été élaborée par la confrontation de la carte de vulnérabilité intrinsèque (Fig. 2) avec celle des sources potentielles de pollution (Fig.1). Vu l'intense activité agricole que connaît la plaine sur sa totalité, le risque potentiel d'une pollution diffuse dépend en l'occurrence de sa vulnérabilité intrinsèque. Pour la pollution localisée, les sources potentielles de pollution restent limitées et concentrées en particulier aux alentours des villes de kénitra et Machrra Belakssiri et le long du fleuve Sebou qui constitue le collecteur des rejets.

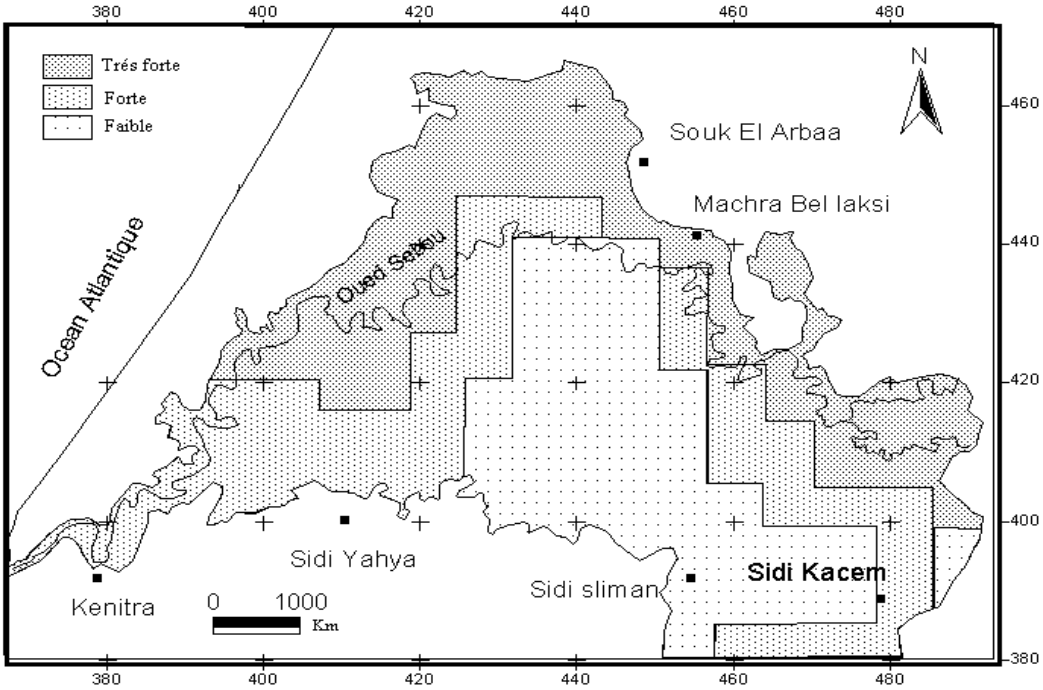


Fig. 2. Carte de vulnérabilité intrinsèque de la plaine du Gharb

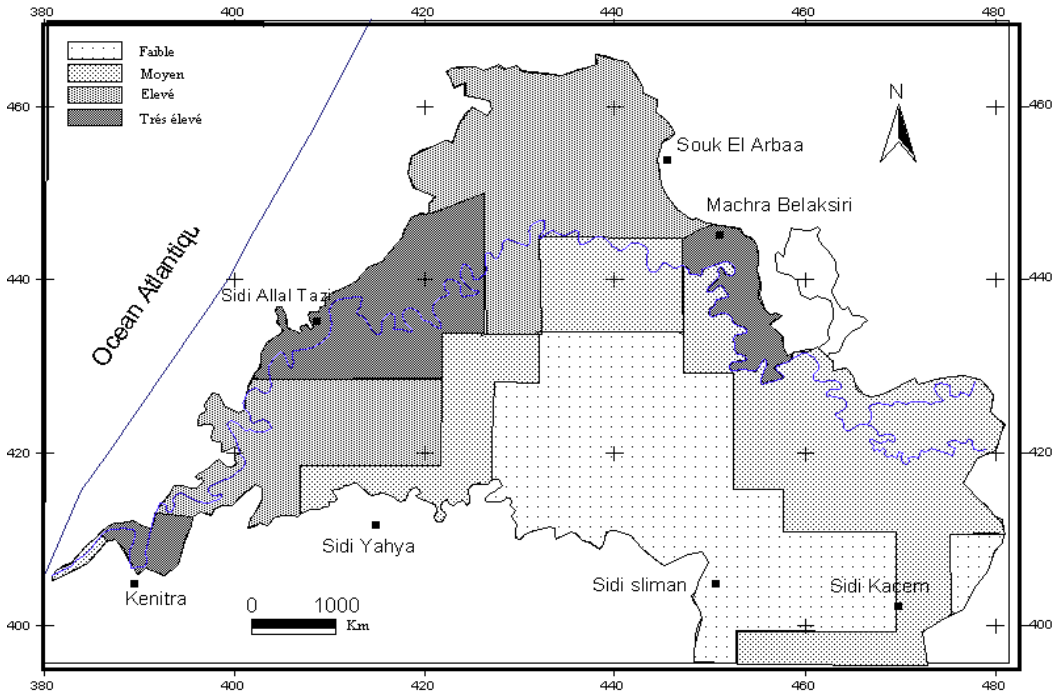


Fig. 3. Carte des risques de pollution de la plaine du Gharb

L'analyse de la carte des risques de pollution des eaux de la plaine du Gharb permet de déduire que l'aménagement hydro agricole de la plaine, qui a mis en place un système d'irrigation dont le plus répandu est le gravitaire, risque d'accentuer le lessivage des résidus agricole notamment dans la STI, la partie ouest de la PTI et de la TTI (Fig. 1). Ce lessivage est autant grave que ces zones couvrent des zones à forte et à très forte vulnérabilité**.** En effet, dans les eaux de la nappe phréatique, des teneurs en nitrate supérieur à 50 mg/l ont été signalées dans la majeure partie de ces zones (DRPE. 1998).

Ces teneurs en nitrates atteignent des valeurs alarmantes de 200 à 250 mg/l au nord et au centre de la plaine. Aussi, le rejet dans l'oued Sebou et ses affluents, sans aucun traitement préalable, des eaux usées des villes et des industries se trouvant sur le bassin versant de Sebou présente un haut potentiel de risque de contamination des eaux souterraines ; surtout que l'oued traverse sur presque la totalité de son cours des zones très vulnérables. Ce risque est autant plus grave que des échanges sont possibles d'une part entre l'oued et la nappe superficielle et d'autre part entre les deux nappes (superficielle et profonde) en particulier dans le secteur sud est de la plaine ou une alimentation par drainage descendante est possible (DRPE. 1998).

CONCLUSION

La cartographie de la vulnérabilité et des risques de pollution des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue nécessaire afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau en relation avec les diverses activités humaines. Elle apparaît donc nécessaire et incontournable car ce type de carte permet d'identifier très facilement les zones à risques à de potentielles pollutions et oriente donc l'aménagement du territoire. Dans ce travail, nous avons considéré le cas de la plaine du Gharb en tenant compte essentiellement des activités agricoles et agro-industrielles en fonction des données disponibles. D'autres études et des prélèvements et analyses en laboratoire paraissent nécessaires afin de dresser une carte de risque plus précise.

RÉFÉRENCES

1. **Amharref M., Mania J., Haddouchi B**. 2001. Adaptation of an evaluation vulnerability method to groundwater pollution. Proceeding of Salt Water Intrusion in Coastal Aquifer 23 –25 April Essaouira, Maroc.
2. **Amharref M., Assine S., Bernoussi A**., 2002.Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines : application au cas de la plaine du Gharb. Proceeding du Congrès Int de math. Appl. JANO7, Tanger 17-19 avril.
3. **Amharref M., Haddouchi B**. 2003. les ressources en eau : vulnérabilité et protection. Actes IIème.Jour.Géosc.Envir Tom I pp 9-15.
4. **Bernoussi A. Amharref M**. 2003. Etalabilité-Vulnérabilité. "Annales de l'Université de Craiova, Math. Comp.Sci.Ser. V.30 pp 53-62 ISSN 1223-6934.
5. **DRPE (Direction de la Recherche et de la Planification des Eaux)** 1998**.** Plan directeur de Sbou. Rapport interne, Direction de l'Hydraulique Rabat.
6. **Gogu R et Dassargues A**. 1998. A short review on groundwater vulnerability assessment, Basic statements for use in the framework of the cost 620 action. Workshop 18-20 mai Université de Neuchâtel.
7. **Lallemand – Barres A., Roux J-C.** 1989. Guide méthodologique d'établissement des périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinées à la consommation humaine. BRGM manuels et Méthode n° 19.
8. **Margat J.** 1968. Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution. Base de la cartographie, Doc. BRGM, 68 SGL 198 HYD. Orléans, France.
9. **ONEP (Office National des Eaux Potables)** 1996**.** Action en matière de contrôle de la pollution des eaux susceptibles de servir à l'alimentation en eau potable. Rapport inédit.
10. **ORMVAG (Office de Mise en Valeur Agricole du Gharb)** 1996. Etude pédologique de la plaine du Gharb au 1/20 000. Rapport interne ORMVAG Kenitra
11. **Rehse W.** 1977. Elimination und abbau von organische fremdstoffen, pathogenen keimen und virenin lockergestein. Z. dt geol.ges.128; 319-329 .Hannove.
12. **Vrba J., Zaporozec A.** 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH vol. n° 16.

Pollution de l'eau et impact sur l'environnement
Gestion intégrée: Cas de la wilaya de SIDI BEL Abbès

FETATI Aicha* et BENABDELI Khelloufi**

* : Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et Géographiques (C.U. de Mascara)
**: Laboratoire Eco-Développement des espaces (Univ. Djilali LIABES de SBA)
fetatiaicha@yahoo.fr

INTRODUCTION:

Les déchets occupent une place importante dans les pollutions de la wilaya de Sidi Bel Abbes, notamment la pollution des eaux, au regard de l'inefficacité de leur recyclage et prise en charge d'une manière globale. Le tonnage global des déchets solides est évalué à près de 220000 tonnes/an. Le dépôt de ces déchets dans la nature ou dans une décharge non contrôlée est préjudiciable pour l'environnement et les citoyens. Il nécessite une prise en charge urgente reposant sur une étude pratique basée sur des bases techniques, scientifiques, économiques et sociales.

DEMARCHE METHODOLOGIQUE:

Un schéma directeur de gestion des déchets reste un outil de base pour une protection de l'environnement. L'approche stratégique et technique d'élaboration du schéma de collecte, de valorisation et de l'élimination des déchets solides du groupement urbain de Sidi Bel Abbes repose sur la méthodologie suivante:

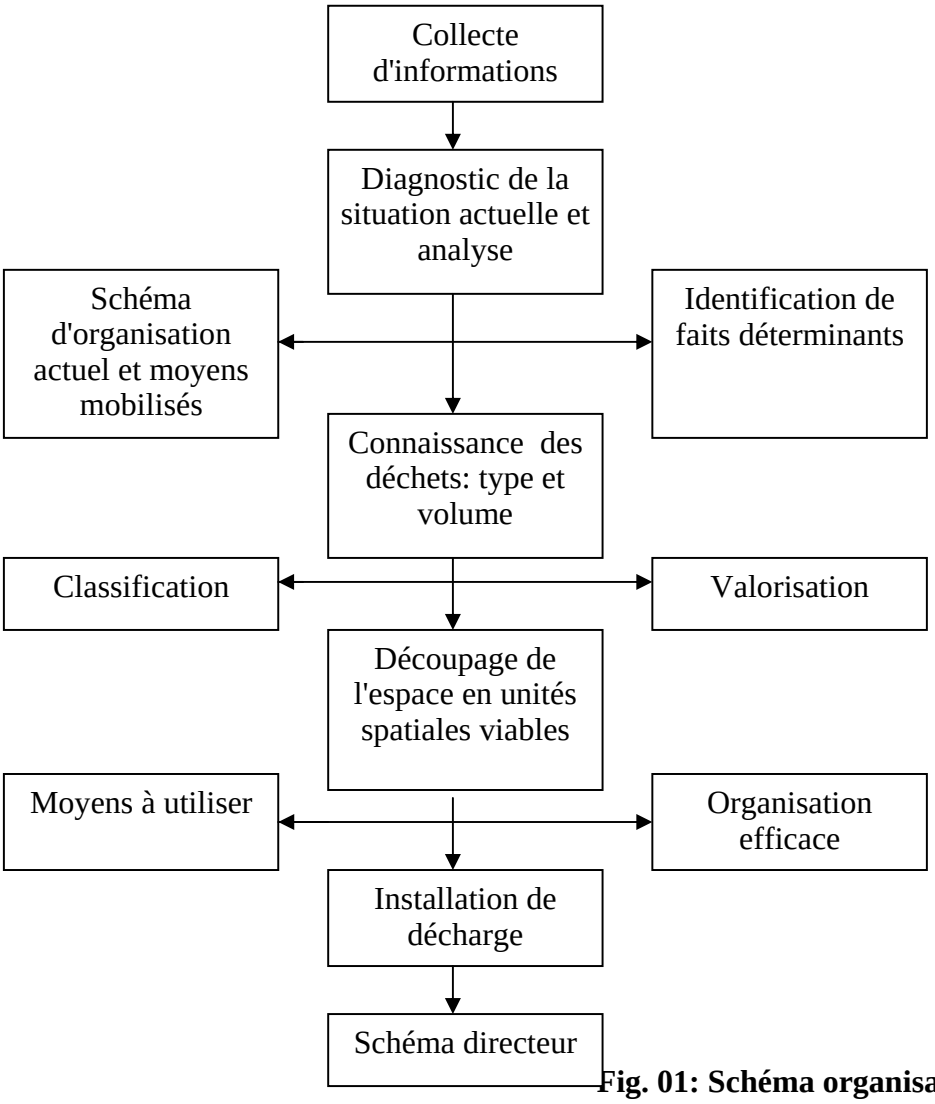


Fig. 01: Schéma organisationnel de l'étude

DIAGNOSTIC DE LA SITUATION ACTUELLE:

Types de déchets:

Les déchets dans la ville de SBA étant une ville agro industrielle peuvent être classés en:

Tableau 01: Type et tonnage des déchets de la ville de SBA

Origine des déchets solides	Quantité quotidienne en tonnes
Domestiques (emballage, matière organique)	85
Bâtiment (ciment, gravier, sable)	55
Industriels (inertes, banals et spéciaux)	45
Agricoles (engrais, fumier, déchets de culture)	10
Hospitaliers	5
Total	200

Organisation actuelle:

L'enlèvement des déchets est fait en moyenne tous les deux jours pour les quartiers et toutes les semaines ou tous les quatre jours pour les cités.

La fonction de gestion des déchets est perçue comme une tache banale où la finalité est de récupérer des ordures.

Aucune classification des déchets n'est faite, le camion ramasse tout sur son passage. Les industries, le secteur du bâtiment et les déchets encombrants sont transportés par leur producteur vers la décharge.

Moyens mobilisés:

Une dizaine de camions à bennes tasseuses et ordinaires;

Des équipes de trois à quatre personnes par camion en plus des balayeurs chargés du nettoyage des chaussées.

Présentation des déchets à l'enlèvement:

Containers et sachets divers (bidons en fer, boites en bois, sachet plastique…);

Grands bacs ou remorques; décharges temporaires.

Entreposage et stockage:

La ville ne dispose que d'une décharge communale semi contrôlée à quelques kilomètres à l'est de la ville. Le groupement urbain de deux autres décharges sauvages, en plus de quelques dépotoirs temporaires répartis au hasard.

Principales contraintes:

Comportement du citoyen;

Organisation technique de la collecte et périodicité;

Moyens mobilisés et technicité;

Stockage dans le temps et dans l'espace et valorisation des déchets.

L'analyse rapide de la décharge actuelle laisse apparaître les éléments suivants:

- c'est une décharge sauvage et à la limite de la décharge semi contrôlée,
- aucun aménagement particulier et spécifique,
- c'est un lieu d'entreposage de tous les déchets,
- aucun traitement des déchets si ce n'est l'élimination par incinération.

Cette décharge sera réhabilitée en vue d'une étude du volume de déchets et de leur composition.

Pour cela trois actions peuvent être entreprises:

Dossier technico administratif de la décharge (adaptabilité aux normes et documents réglementaires, assiette et contraintes en espace dans le temps);

Evaluation quantitative et qualitative des déchets (poids et type des déchets déposés, fréquence des dépôts dans le temps);

Analyse de l'organisation de la décharge en matière de gestion des déchets (documents détenus et organisation actuelle, surveillance des déchets avant dépôt):

- analyse du mode de traitement (transformation, incinération, stockage)
- impact sur l'environnement (type de nuisance).

Il sera possible de proposer un plan de gestion en urgence des déchets basé sur:

- une réorganisation de l'entreposage par une identification du type de déchets et la localisation de sa provenance;
- engager un plan d'aménagement des infrastructures de base (pistes principales, aires spécialisées d'entreposage, aire d'étalage pour tri et récupération des déchets valorisables);
- clôturer les espaces spécialisés par type de déchets;
- installation de brise vent stratifié pour éliminer les risques de transport des déchets légers par le vent ainsi que de la fumée, selon la méthode du quadrillage opposé à la direction du vent.

Tableau 02: Schématisation des principales phases du schéma directeur

Désignation des principales phases	Eléments importants
1- Exploitation de la documentation existante	Plans, cartes, données, rapports techniques
2- Recueil d'information et enquêtes préliminaires	Pré-diagnostic et organisation actuelle
3- Diagnostic de la collecte et traitements actuels	Organisation actuelle et mode de gestion
4- Quantité et qualité des déchets	Volume, composition, types, localisation
5- Plan de prise en charge	Techniques, moyens utilisés et plan de gestion
6- Elaboration du schéma directeur	Organisation spatiale, plan directeur
7- Etablissement du cahier de charges	Réglementation et textes
8- Banque de données	Actualisation

CONCLUSION:

Un polluant désigne tout ce qui peut dégrader un milieu par des substances toxiques ou nuisibles à l'environnement.

L'eau, principal vecteur d'échanges entre toutes les composantes environnementales grâce à son pouvoir de dissolution et de dilution considérable.

La pollution hydrique est parmi les formes de pollution qui affectent le plus les villes algériennes. Les déchets occupent une place importante dans cette pollution au regard de l'inefficacité de leur recyclage et prise en charge dans la ville de Sidi Bel Abbes.

Une gestion durable à ce niveau est un moyen inévitable dans la lutte antipollution.

Un schéma directeur de gestion des déchets reste un outil de base pour une protection de l'environnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

1. **BENABDELLI K., 1998** Protection de l'environnement, Présentation d'une expérience réussie, pages 152 186.
2. **LEBIG M.B., 2002** L'eau, le développement et l'environnement menacé, Ecosystems N° 2 2002, pages 22 28.

Impact de la sécheresse sur la qualité des eaux de la nappe des sables miocéne de la plaine d'El Ma El Abiod N.E. de l'Algérie

ROUABHIA Abdelkader,[1] BOUTERAA M.[1], BAALI F.[1],K HERICI N.[2]

[1]Université de Tébessa. BP 34-A Nahda-Poste12004 Algérie. rouabhia22@yahoo.fr
[2]Université de Annaba, Faculté des sciences de la Terre. BP 12 -23000 Annaba Algérie.

INTRDUCTION

La gestion de l'eau et l'un des grand problèmes qui conditionne l'avenir de la région, indépendamment des changements climatiques. La région devrait être en situation de « stresse hydrique » et devra être en situation de punirie d'eau, car des problèmes important de qualité se poseront en relation avec la salinisation et la pollution.

La plaine d'El Ma El Abiod est d'une superficie d'environ 420 km², qui se trouve au sud-est de la ville de Tébessa. Elle fait partie du bassin versant de chott MELHRIR. (Fig. 01) elle se situe au centre d'un cynclinorium limité par l'anticlinal de Tnoukla et Bouroumane au Nord qui constitue la limite entre deux grands bassins versant ; Celui de la Medjradha qui s'écoule vers le Nord et de l'Oued Melhrir s'écoulant vers le Sud

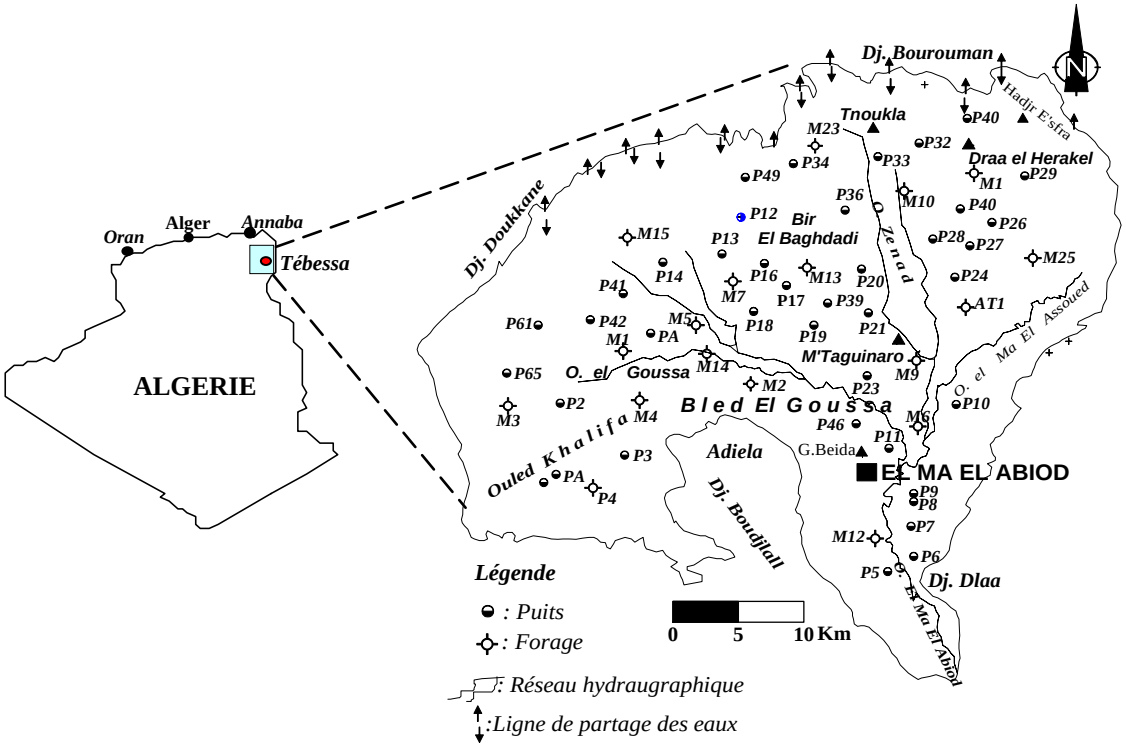


Fig. 1. Carte de situation géographique et position des points d'eau

La région d'El Ma El Abiod, est soumise au climat semi-aride. La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 222,37mm,l'évapotranspiration réelle est l'infiltration y sont respectivement de 210mm/an et 12,51 mm/an

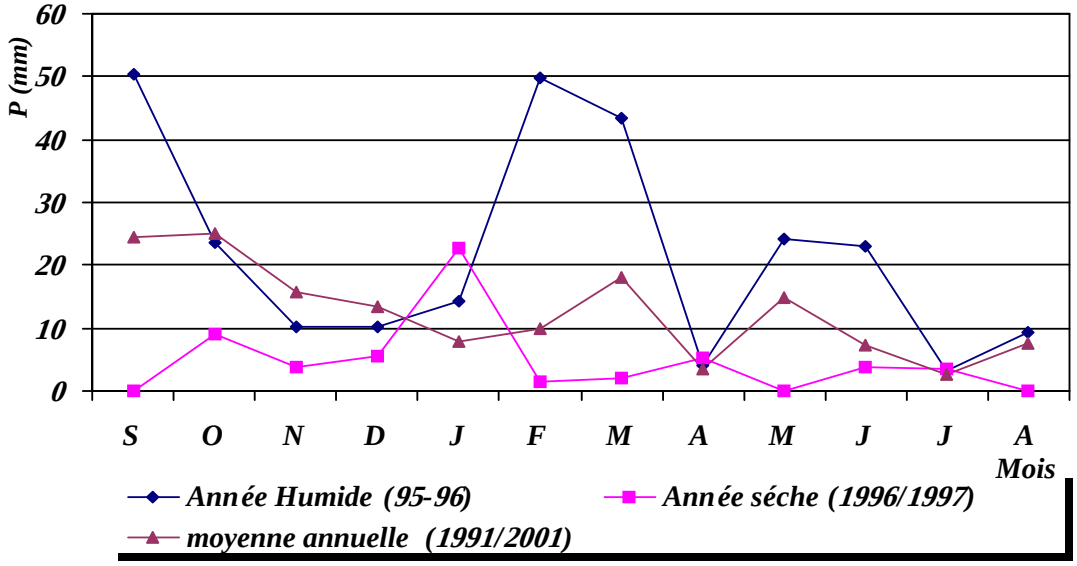


Fig.2-Distribution inter-annuelle des précipitations mensuelles
Station d'El Ma El Abiod.(1993-2003)

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES

La région d'étude n'a pas fait l'objet d'études géologique précise mais elle est intégrée dans un ensemble géologique mieux connu , Il s'agit d'un haut plateau, où on distingue deux grands ensembles géologiques; les affleurements de bordure d'âge crétacé et les formations d'âges miocène et quaternaire. Les premiers constituent les zones d'alimentation de la nappe contenue dans le second ensemble, formés de sables et de grès. L'épaisseur des formations aquifères varie d'Est en Ouest de 20 à 200m (*Figure 2*) avec des transmissivités qui varient de 10^{-2} à 10^{-3} m²/s.

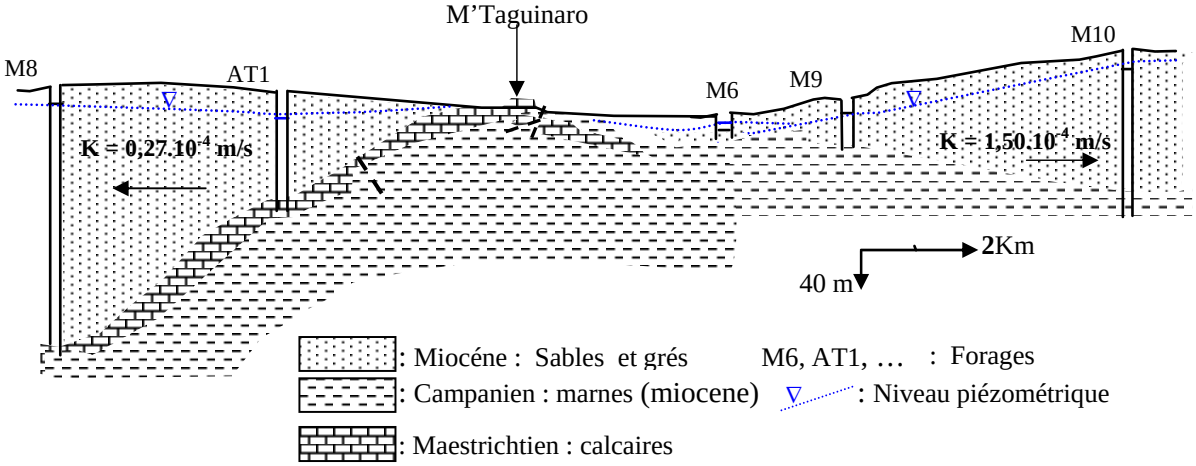


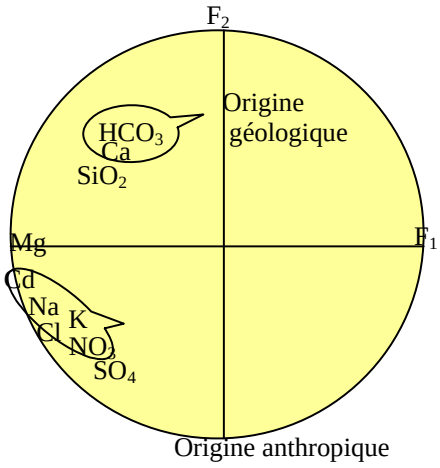
Fig.3. Coupe hydrogéologique schematique

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX

l'analyse hydrochimique a montré la mauvaise qualité des eaux et l'existence d'une pollution se traduisant par un excès des teneurs en chlorures, sulfates, sodium et nitrates . Cette pollution peut avoir deux origines ; une naturelle et l'autre anthropique. Pour déterminer l'origine des concentrations observées nous avons utilisé une méthode statistique dite analyse en composante principale (ACP) ainsi que la cartographie de la répartition des concentrations.

INTERPRETATION DE L'ACP

L'observation du cercle formé par les axes F_1 et F_2 , montre selon l'axe F_1 une opposition entre les eaux faiblement minéralisées occupant la partie positive de l'axe et les eaux fortement minéralisées occupant sa partie négative. Selon l'axe F_2, on note une opposition entre les eaux riches en silicates (Ca, SiO_2) et les eaux riches en Cl, NO_3, SO_4 et Na. Cette répartition met en évidence deux origines des eaux : La première, endogène, caractérisée par la présence de calcium et de silice liée aux sables de la région, La deuxième est due à l'activité anthropique.
Le graphe des individus nous permet de cartographier les eaux en fonction des éléments de pollution (*Figure 6*). Pour mettre en évidence l'influence de l'activité humaine sur la qualité de l'eau nous allons procéder au calcul de l'indice de contamination**.**



1 : 2 Axe 1 Horizontal : Axe 2 Vertical

CARTOGRAPHIE HYDROCHIMIQUE

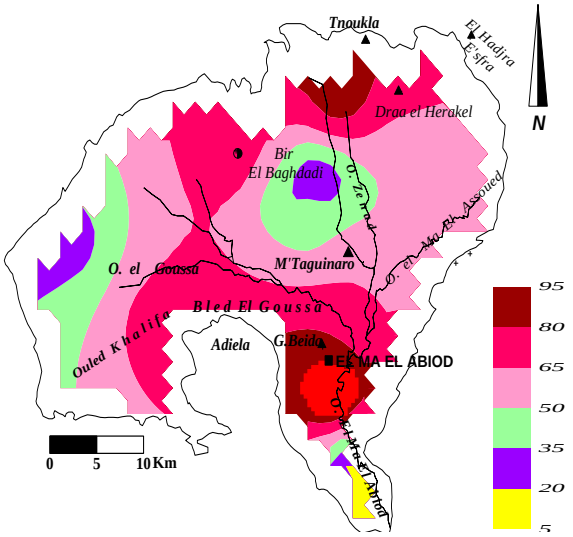


Fig.4 : Carte de la répartition des nitrates (mg/l)

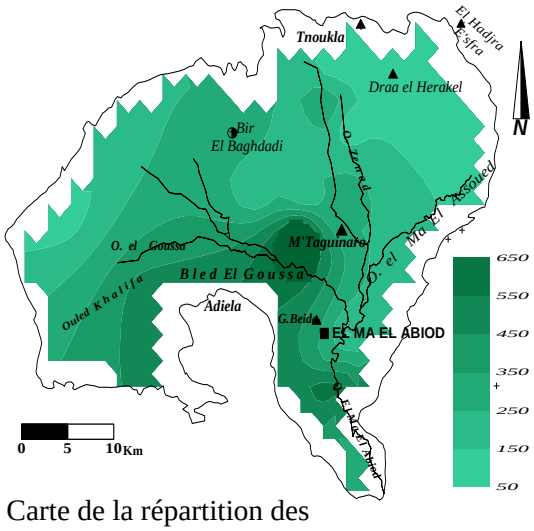


Fig.5 : Carte de la répartition des Chlorures (mg/l)

CONCLUSION

La plaine d'El Ma El Abiod est le siège d'une nappe contenue dans des sables, d'importance capitale pour l'alimentation de la population locale, mais qu'est mal protégée contre la pollution à partir de la surface. Dans cette étude, une carte de vulnérabilité a été mise au point grâce aux analyses physico-chimiques réalisées sur prés d'une centaine de points avec le calcul d'un indice de contamination, et un suivie de la profondeur du plan d'eau de la nappe, elle met en évidence trois zones à différents degrés de pollution, la forte vulnérabilité est observée en aval des écoulements, ainsi qu'au niveau central confirmant l'impact de l'industrie et l'agriculture en cet endroit ou la perméabilité est importante, qui doit faire l'objet d'une réglementation de protection

REFERENCES

1. **Albinet M. et *al***. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraines.1970. Bull. BRGM (2), Section III, N°4, pp 13-22
2. **Rouabhia A**. Vulnérabilité des eaux souterraine d'une région semi-aride d'Algérie. Cas de laplaine d'El Ma El Abiod. Thèse de Magister. Université d'Annaba, 2001 ; 150p
3. **Djabri L**. *Mécanisme de la pollution et vulnérabilité des eaux de la sybouse. Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de Doctorat d'Etat Université d'Annaba, 1996 ;pp. 128-132.*
4. **Baali F, Latreche D**j. *Approche hydrogéologique de la région d'El Ma El Abiod*. Mémoire d'Ing. IST. Université d'Annaba. 1994 ;168p.
5. **Kherici N**. *Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine de Annaba-la Mafragh. Algérie*. Thèse de Docteur es-science. Université d'Annaba. 1993 ; pp.120-125.
6. **Mariotti A**. Dénitrification in situ dans les eaux souterraines, processus naturels provoqués. *Une revue. Hydrogéologie, n°3, (1994), p43-68.*

Vulnérabilité à la pollution de laquifère alluvial de Bouchegouf (Algérie). Détermination des périmètres de protection des ouvrages de captage

R. NOUACER[1], A. HANI[1], L. DJABRI[1], H. MAJOUR[1], H. CHAFFAI[1]
[1]Département de Géologie, Université Badji Mokhtar Annaba, BP 12, 23000 Annaba, Algérie.

INTRODUCTION

L'aquifère alluvial de la dépression de Bouchegouf est alimenté essentiellement par les pluies et par les eaux de ruissellement sur les reliefs gréso- argileux bordants le bassin. Cependant, lintense activité industrielle qua connu la région pendant la dernière décennie a entraîné une dégradation de la qualité des eaux superficielles et souterraines. Lobjectif de ce travail est de faire le point sur les caractéristiques physiques de l'aquifère et d étudié la vulnérabilité des eaux de la région en s'appuyant sur la modélisation hydrodynamique et hydrodispersive.

MATERIEL ET METHODES

Site d'étude

La région de Bouchegouf se présente sous la forme dune dépression bordée à l'ouest et au nord par des grès, au sud par des bancs de calcaires yprésiens constituant avec les précipitations les principaux apports à la nappe. Cette dépression est comblée par des alluvions déposées par la Seybouse sous la forme de trois terrasses ; haute, moyenne et basse. La région est caractérisée par un climat méditerranéen avec des précipitations moyennes de 670 mm et des températures qui oscillent entre 10.8 °C (février) et 27.7 °C (août). Le ruissellement serait de 100 mm et l'infiltration de près de 60 mm. Connue pour sa vocation agricole, Bouchegouf a connu ces dernières années un développement important de plusieurs activités industrielles qui rejettent leur déchets directement dans le réseau hydrographique en particulier dans l'oued Seybouse (Djabri *et al*, 2001 ; Djabri *et al*, 2003a). Cette situation a entraîné une dégradation de la qualité des eaux et présente une menace certaine pour lenvironnement.

Echantillonnage et analyse statistique

Afin de caractériser les eaux de la région d'étude, plusieurs campagnes de prélèvements ont été réalisés en 2001. Ces analyses ont été réalisées sur les eaux de surface et sur deux forages captants la nappe alluviale. Les paramètres analysés ont été essentiellement : conductivité à 20°C (microS/cm), résidu sec (RS ; mg/l), pH, température de l'eau (°C), DCO, germes et coliformes totaux, Cl, SO_4, HCO_3 et NO_3, NO_2, P_2O_5, NH_3, SiO_2, Fe, Na, K, Ca, Mg : mg/l). Dans tous les cas un tri a été effectué et les analyses qui présentaient une balance ionique douteuse ont été éliminées.

Dune manière générale, les eaux de surface présentent des teneurs assez importantes qui dépassent largement les normes de potabilité admises. Ces fortes teneurs peuvent avoir plusieurs origines ; géologique (gypse, grès et argile), lessivage des sols, activités bactériologiques, hydrolyse des silicates et les rejets de la levurerie (Djabri *et al*, 2003b). Le nombre infini de germes pathogènes indique une contamination biologique importante.

Tableau 1 : Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques des eaux de surface.

	T	PH	CE	Cl	SO_4	HCO_3	NO_3	Ca	Mg	Na	K	NO_2	NH_3	SiO_2	P_2O_5	Fe
Moy.	19.7	7.6	2233	505.6	239.2	229.3	16.6	146.6	36.4	318	10 .4	3.4	6	8.5	15	0.6
Mini.	12	5. 0	1485	209.6	116.5	100.0	2.0	7.4	36.4	100	5.1	0.1	2.2	0.2	2.5	0.03
Maxi	34	8.3	31.90	749. 0	317.3	384.3	130	315.8	132.5	1120	100.4	23.5	40.4	80.5	62.5	11.1

les résultats des analyses chimiques effectuées sur les forages BS1 (situé à l'amont du point de rejet de la levurerie et alimentant l'usine) et B2 (situé à l'aval du point de rejet de la levurerie) montrent une eau fortement minéralisée avec des teneurs excessives en NO_3, NO_2, P_2O_5 et NH_3. Ces résultats montrent une dégradation de la qualité des eaux induite vraisemblablement par l'intense activité industrielle et les rejets effectués directement dans les cours d'eau.

Tableau 2 : Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques des eaux souterraines.

	T	pH	CE	Cl	SO_4	HCO_3	NO_3	Ca	Mg	Na	K	NO_2	NH_3	SiO_2	P_2O_5	Fe
Moy.	19.3	7.2	2536	743.5	202.7	293.3	19.6	187.8	69.0	341.3	4.65	2.9	7.1	9.4	11.4	0.5
Mini.	18	7.1	1757	660.4	125.0	180.0	1.2	159.0	32.6	265.3	3.46	0.01	3.12	2.87	2.6	0.28
Maxi	21	7.5	3030	891.0	306.6	463.6	44.5	212.1	132.5	441.2	6.24	7.6	11.3	15.6	17.5	0.9

RESULTATS ET DISCUSSION

Modélisation des écoulements souterrains et de transferts de polluants

Le modèle mathématique que nous avons utilisé est le modèle numérique dit Modèle de Simulation des Aquifères « A.S.M. », mis au point par KINZELBACH et RAUSCH (1990). Il permet de simuler le comportement des écoulements souterrains par la résolution des équations par la méthode des différences finies. L'aquifère de Bouchegouf est divisé en 171 mailles carrées de 500 m de coté. Les conditions aux limites sont fixées en fonction de la géologie du terrain avec des limites à flux entrants au sud, au nord-ouest au sud-ouest et au nord-est correspondants aux grès numidiens et des limites à flux nuls à l'ouest et sud-est représentées par les argiles. Les limites à flux sortants sont localisées au nord. L'oued Seybouse et Mellah peuvent être considéré comme des limites à potentiel. Les caractéristiques géométriques et physiques sont fixées au milieu de chaque maille (fig.1).

Données prises en compte :

L'état de référence qui a permis de caler le modèle en régime permanent est la piézométrie de 1984 en période de basses eaux. Les perméabilités ont été déduites des transimissivités calculées à partir des pompages d'essais réalisés sur 15 forages. Les cotes du toit du substratum déterminées à partir du dépouillement des profils des sondages électriques. Les conditions aux limites et les conditions initiales sur les principaux oueds (Seybouse et Mellah) sont fixées en fonction du contexte géologique et de l'état de la piézométrie 1984. Le facteur de drainance permettant de calculer les débits échangés entre l'oued et la nappe a été déterminer selon la formule :

$$L = \frac{K'.S}{b.\frac{\Delta x}{\Delta y}}$$

avec : L : facteur de drainance ; K : perméabilité sous le lit de l'oued (m/s) ; b : épaisseur séparant l'oued de la nappe ; S : surface de l'oued dans chacune des mailles ; DxDy : surface de la maille.

Les débits extraits sur les quatre forages destinés à l'alimentation en eau potable B1, B2, BS2 et BS3 sont respectivement de l'ordre de 11.0 10^{-3} m^3/s, 9.5 10^{-3} m^3/s. 9.0 10^{-2} m^3/s et 8.0 10^{-3} m^3/s.

Le calage du modèle en régime permanent a été vérifié grâce à la bonne superposition des courbes piézométriques simulées et observées et à l'équilibre entre les entrées et les sorties. La carte piézométrique obtenue montre un resserrement des courbes indiquant un gradient hydraulique élevé dans le secteur Sud et un relâchement des isopièzes vers le Nord (fig. 2). Le drainage de la nappe par la Seybouse est très marqué. Les perméabilités calés montrent une diminution progressive des perméabilités du Sud vers le Nord. Les entrées, constituées essentiellement par les débits entrants par les bordures, sont de l'ordre de 3.6 m^3/s alors que les sorties principalement par les oueds sont de l'ordre de 3.48 m^3/s.

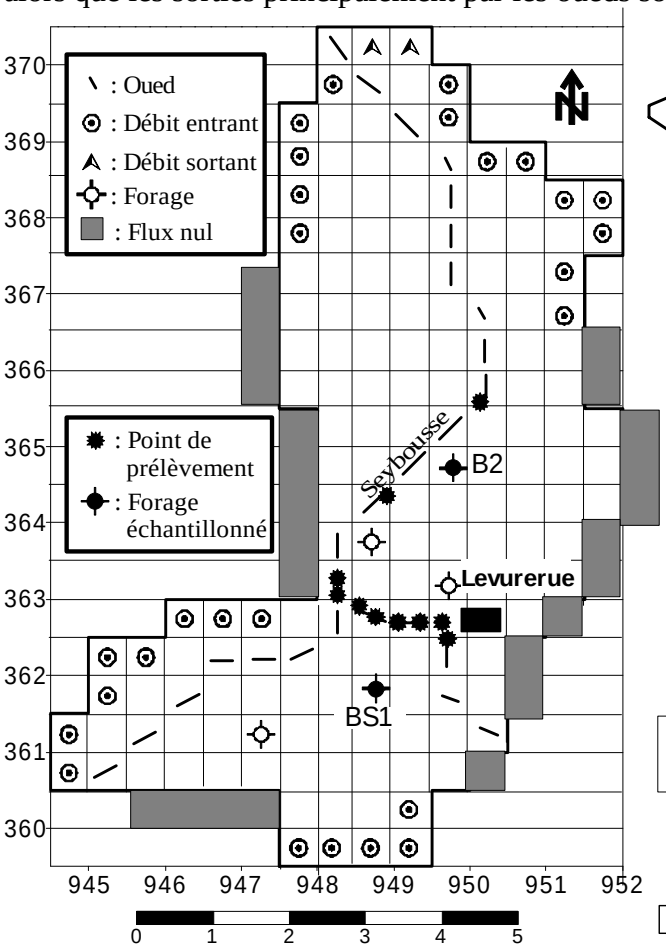


Fig. 1. Discrétisation de l'aquifère et conditions aux limites

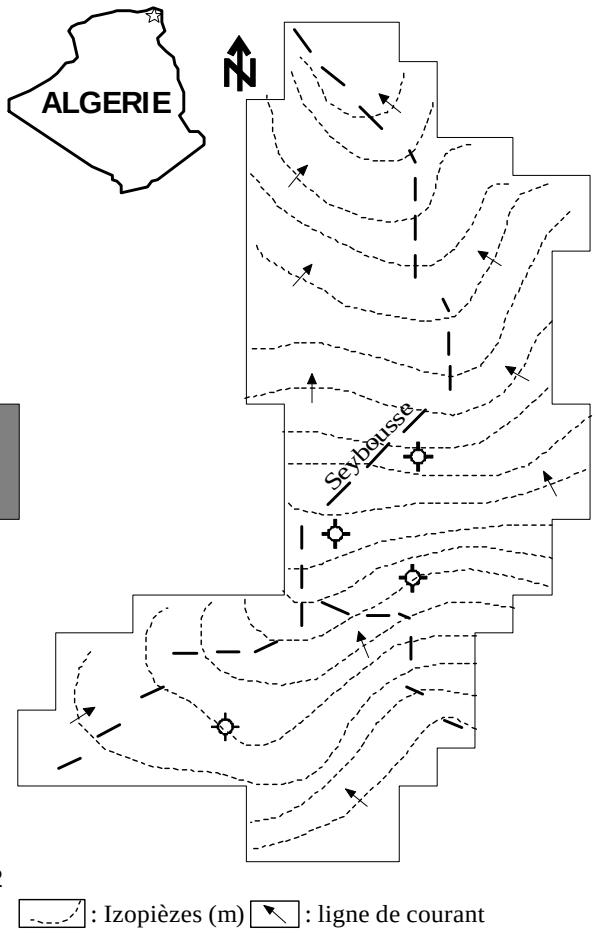


Fig. 2. Calage en régime permanent

Simulation de la pollution

Le modèle ASM permet aussi de simuler la propagation des pollutions dans les aquifères. Le polluant chimique se déplace au moyen de particules affectées chacune dune certaine masse, en tenant compte des phénomènes de dispersion longitudinale et transversale. Le polluant à une concentration donnée est réparti sous la forme de particules qui vont migrer au cours du temps sur une partie du maillage du modèle selon un algorithme de mouvement de particules calculé pour des pas de temps élémentaires auquel est associé une loi de probabilité de dispersion faisant appel à la méthode de Monté Carlo (marche au hazard).

Pathlines :

Connaissant la porosité effective et le facteur de retard nous pouvons tracer la ligne de courant sur laquelle se déplace le polluant selon les deux cas de figures suivants (fig. 3a-c); i) la source de pollution correspond au point de rejet de la levurerie de Bouchegouf (X = 949.50 et Y = 362.52). Dans ce cas le polluant mettra 30 jours pour atteindre le forage de captage. ii)

la source de pollution correspond à l'oued au point le plus proche des captages (X = 949.20 ; Y = 364.75 ; X = 948.45 ; Y = 363.50 ; X = 948.85 ; Y = 363.05 ; X = 948.10 ; Y = 362.50). Le temps de transfert varie de 20 à 1000 jours.

Isochrones :

L'objectif est dévaluer le temps de transfert des polluants matérialisés par les Isochrones et donc d'estimer les périmètres de protection des ouvrages de captage. On notera que les polluants mettront 50 jours pour atteindre les captages (fig. 3d-g).

Inventaire des risques de pollution

Ainsi, dans la plaine de Bouchegouf les risques de pollution peuvent être de deux types (fig. 3h) : i) les pollutions diffuses marquées par la forte activité agricole avec lutilisation abusive des pesticides, les eaux usées domestiques et surtout par les rejets de la levurerie, ii) les pollutions accidentelles qui peuvent toucher toute la plaine et particulièrement les axes routiers (RN 16 et 20) et les pollutions transitant dans les oueds.

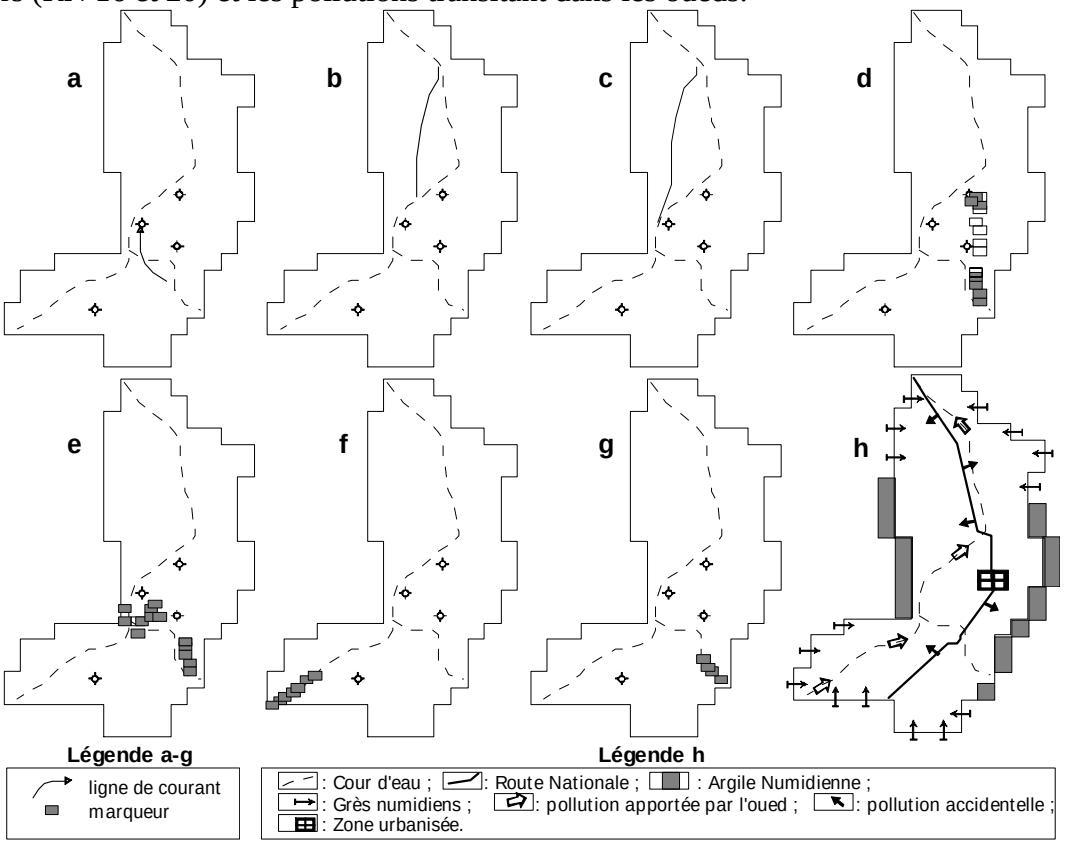


Fig. 3- Simulation de la propagation des polluants et risque de pollution.

CONCLUSION

La région de Bouchegouf renferme dans son sous-sol d'énormes possibilités aquifères avec une nappe alluviale avec de bonnes caractéristiques hydrauliques. Néanmoins l'accroissement des terres cultivées et l'implantation d'unités industrielles (la levurerie notamment) a conduit à la dégradation de la qualité des eaux de surface et des eaux de la nappe. Pour éviter que cette situation s'aggrave encore plus des mesures doivent être prises, telles que:

- *délimiter les périmètres de protection des ouvrages de captage ;*
- *traiter les eaux avant rejet;*
- *élaborer des études d'impacts avant de réaliser des projets qui peuvent porter atteinte à l'environnement et à la santé des populations.*

BIBLIOGRAPHIE

1. W. Kinzelbach and R. Rausch , 1990. Aquifer Simulation Model «ASM». Documentation, Version 2.0 (July 1990). Intern. Ground Water Modelling Center, The Netherlands.
2. L. Djabri, A. Hani, D. Messadi et J. Mudry,2001. Mise en évidence du processus de salinité des eaux superficielles. Vérification par les ACP dans le secteur Annaba-Bouchegouf-Guelma. Tribune de leau, vol. 54 - N° 610/2, pp. 29-43.
3. L. Djabri, R. Laouar, A. Hani, , J. Mania & J. Mudry, 2003a. The origin of water salinity on the Annaba coast (NE Algeria). IAHS Publ. No 280, 2003, pp. 229-235
4. **L. Djabri, A. Hani, R. Laouar, J. Mania, J. Mudry and A. Louhi, 2003b.** Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, north-eastern Algeria. *Environmental Geology*, vol 44, no 6, pp. 738-744 .

Etude de la pollution de la plaine alluviale d'El Madher par les rejets de la ville de Batna (Nord-Est Algérie)

MENANI Mohamed Redha[1] & ZOUITA Nedjoua[2]
[1 – 2] Département des Sciences de la Terre – Université de Batna

INTRODUCTION

Oued El-Gourzi, qui nous intéresse plus particulièrement, draine les rejets industriels et urbains de la ville de Batna ainsi que ceux des agglomérations voisines quil traverse (Bou-Yelf, Fesdis, Djerma), pour atteindre la plaine dEl-Madher qui est située à environ 15 Km au nord-Est de la ville de Batna (lat. 35,5° N, Long 6° 20E).

Le risque de contamination de la nappe phréatique de la plaine dEl-Madher est réel lorsqu on sait que les rejets en question n'ont subit aucune épuration ou traitement en amont (la station dépuration de Batna n'ayant jamais fonctionnée).

Les eaux souterraines de la plaine dEl-Madher assurent une partie des besoins de la ville de Batna ainsi que ceux de plusieurs localités (El-Madher, Fesdis, Djerma) avec un prélèvement global de l'ordre de 100 l/s. Par ailleurs, de nombreux puits de profondeur n'excédant pas la trentaine de mètres (environ 250 puits) captent cet aquifère et sont destinés surtout à l'irrigation des terres. Parmi les industries polluantes, on peut citer à titre d'exemple l'industrie du textile, la transformation des peaux en cuir, la fabrication de batteries pour véhicules, l'abattoir, etc...

La charge polluante véhiculée par Oued El-Gourzi est importante. Un jaugeage effectué en Juin 2001, en période sèche, juste à la sortie de la ville de Batna, a permis destimer le débit des rejets urbains et industriels à environ 280 l/s. Le présent travail vise à déterminer le degré de pollution de ce système

QUELQUES DONNEES HYDROGEOLOGIQUES SUR LA PLAINE DEL MADHER

L'aquifère alluvionnaire est constitué de sables, graviers et galets emballés dans une matrice argileuse et couvre une superficie d'environ 90 Km^2. Ces formations sont mio-plio-quaternaires et s'étendent entre les Monts crétacés de Batna et le Djebel Bou Arif au Sud jusqu'au Djebel Tafraout et Koudiat Tfouda au Nord (Fig. 1).

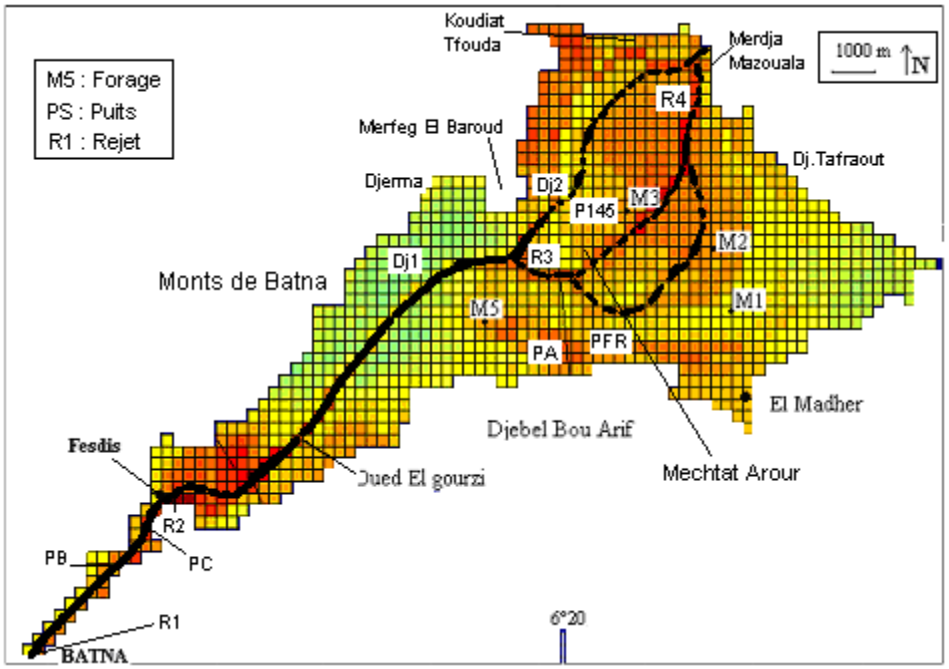
C'est un système aquifère libre à semi-libre qui constitue une même unité hydrogéologique homogène en grand. Son substratum est constitué de marnes cénomaniennes épaisses d'environ 300 m et localement par des argiles du Tortonien. Cette épaisse formation marneuse, dans son ensemble, limite parfaitement du point de vue hydraulique et sur toute son étendue l'aquifère mio-plio-quaternaire. De même, quelle constitue le toit des formations captives du Crétacé (grés barrémiens et calcaires aptiens). L'aquifère de surface est capté par de nombreux puits, implantés à des profondeurs variant entre 20 et 30 m en général. La nappe s'écoule du Sud vers le Nord, jusqu'à l'exutoire du bassin à Merdja Mazouala.

L'écoulement souterrain est globalement orienté du Sud vers le Nord avec des profondeurs du niveau d'eau variant entre 5 m au centre du bassin (Mechtat Arour) et une trentaine de mètres à l'amont et aux limites du bassin. Par ailleurs, la nappe réagit rapidement par des rehaussements du niveau piézomètrique consécutivement à des épisodes pluvieux, comme cela a été constaté par une série de mesures effectuées en 1989, 1990 et 2001. Par endroits, le rehaussement était de 1 à 1,5 m, comme c'est le cas à Mechtat Arrour, où l'Oued recharge la nappe souterraine. Cette zone, qui présente toutes les caractéristiques dune zone vulnérable à la pollution (Menani, 2001), est exploitée par des forages qui alimentent la ville de Batna et ses environs. Le champ de captage est composé de 8 forages, dont 4 sont implantés dans la plaine dEl Madher (DJ1, M1, M2 et M3) et les autres dans la plaine de Gadaine.

Tableau 1 - Résultats des analyses chimiques : Forages et puits

	Forage M1		Forage M5		Forage DJI		DJII	PC	PB	P145	PS	PFR	Normes de potabilité	
Date de prélévement	22 Avril 2001	29 Mai 2001	28 Avril 2001	29 Mai 2001	22 Avril 2001	29 Mai 2001	29 Mai 2001	22 Avril 2001	28 Avril 2001	22 Avril 2001	16 Mai 2001	16 Mai 2001	CEE 96	OMS 2001
Date danalyse	du 25/4 au 13/5	2 / 6	du 25/ 4 au 13/ 5	2 / 6	du 25/4 au 13/5	2 / 6	2 / 6	du 25/4 au 13/5	du 30 / 4 au 13/ 5	du 25/4 au 13/5	17 / 6	17 / 6		
pH	8.2	/	8.0	/	7.8	/	/	7.9	8.4	7.7	/	/	6.5-8.5	pas de vg
CE (mS/cm)	1.62	1.39	2.37	1.96	2.98	1.61	2.72	3.69	/	2.12	2.59	2.14	0.4-2	//
Salinité (‰)	0.7	0.7	1	1	1.3	0.9	1.4	1.5	/	0.9	1.4	1.1		
Turbidité FTU	3	5	3	2	1	3	2	12	5	2	0	0	0.4 - 4	5
O2 dissout (mg/l)	10.3	22.25	13.6	11.55	10	14.1	12.3	12.6	8.1	10.1	8.9	4.0	pas de VG	//
DBO_5 (mg/l)	10	0	/	0	/	20	0	23	/	8.75	/	/	3	//
DCO (mg/l)	10.4	130	31.2	135.2	46.8	119.6	234	88.4	41.6	72.8	/	/	30	//
Nitrate (mg/l)	32.56	38.28	42.68	50.16	41.8	80.08	63.36	64.68	46.2	25.52	56.32	52.36	25- 50	50
Nitrite (mg/l)	0.91	0.069	0.072	0.016	1.68	0.049	0.023	0.409	0.013	0.016	0.032	0.237	0.1- 3	0.2-3
PO_4^{3-} (mg/l)	0.86	0.59	0.11	0.04	0.09	0.19	0.12	0.17	2.75	0.11	0.09	0.04	Pas de VG	//
P_2O_5 (mg/l)	0.64	0.44	0.08	0.03	0.06	0.14	0.09	0.13	2.06	0.08	0.07	0.03	5	//
P (mg/l)	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.9	0.02	0.03	0.03	0.4	//
Ca (mg/l)	78.51	/	82.57	/	77.23	/	/	111.18	98.37	102.21	/	/		
Mg (mg/l)	13.51	/	13.72	/	13.61	/	/	13.88	14.05	13.80	/	/	30	
O_3 (mg/l)	0.03	/	0.02	/	0.00	/	>1.54	0.00	0.03	0.03	0.28	0.04		
I_2 (mg/l)	0.02	/	0.1	/	0.66	/	>7.7	0.35	0.07	0.92	0.11	0.13		
F^- (mg/l)	0.52	0.05	0.54	0.55	0.57	0.96	0.65	0.49	0.7	0.56	0.92	0.18	0.7	0.7
Br_2 (mg/l)	0.00	0.41	0.02	0.13	0.00	0.03	>4.95	0.00	0.22	0.22	0.12	0.06	0.05	0.025
Fe (mg/l)	0.02	0.43	0.22	0.09	0.1	0.06	0.04	0.35	0.08	0.01	0.03	0.04	0.05-0.2	0.3
Cu (mg/l)	1.00	1.53	1.42	0.93	1.84	1.81	0.75	1.86	1.62	2.26	1.77	0.63	1-2	1-2
Cr^{6+} (mg/l)	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	Cr 0.05	Cr 0.05
Mn (mg/l)	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.4	0.002-0.005	0.1- 0.5
Zn (mg/l)	0	/	0	/	0.416	/	/	0.00	0.00	0.307	/	/	5	3
Pb (mg/l)	0	/	0.921	/	1.093	/	/	0.921	0	1.093	/	/	0.05	0.01

Fig.1 carte de situation de la plaine dEl Madher.



LA

POLLUTION AU NIVEAU DE LA PLAINE : ANALYSES ET INTERPRETATIONS

Dans cet article, il serait fastidieux dénumérer les résultats qui concernent les rejets. Aussi, nous nous limiterons à létude de la qualité des eaux souterraines (Tableau 1), tout en signalant que Les principales activités industrielles susceptibles dêtre considérées comme polluantes sont : la production textile, les tanneries, la production de lait et ses dérivés, la production de batteries pour véhicules (02 unités), la production de goudron, labattoir avicole et de viande rouge.

INTERPRETATION DES RESULTATS

La DBO5 prise comme indicatrice de la pollution est supérieure aux normes admises par la CEE (3 mg/l) pour la majeure partie des forages et puits. Pour les rejets, elle est très élevée et supérieure aux normes admises (40 mg/l), elle est de 320 mg/l à la sortie de la ville de Batna, montrant clairement les fortes concentrations en matières organiques biodégradable.

Les nitrates sont présents dans tous les cas avec des teneurs supérieures aux valeurs guides admises par l'OMS pour 50 % des cas, comme c'est le cas à Djerma, aux forages DJ1 (80 mg/l) et DJ2 (63 mg/l) et le puits de la carrière (65 mg/l) à Fesdis.

L'irrigation des cultures à partir des eaux usées riches en Azote sous toutes ses formes, constitue sans nul doute un facteur de contamination des eaux souterraines par infiltration. Toutes les formes d'Azote (azote organique, ammoniacal, nitrite, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique (Rodier, 1996).

Les nitrates et nitrites sont présents dans les eaux de l'Oued avec des teneurs en nitrates de 85.8 mg/l (R1), 138.6 mg/l (R2) et 118 mg/l (R4).

Lexcès de nitrate est dangereux dans lalimentation car il provoque la formation de méthémoglobine dans le sang susceptible de limiter la fixation de loxygène. Cette maladie est

particulièrement grave chez le fStus et le nourrisson. Dun autre côté, les nitrosamines formées au cours de la digestion sont également suspectées davoir des effets cancérigènes.

Parmi les éléments toxiques détectées dans les eaux souterraines de la plaine dEl Madher, le Plomb, le Brome et le Chrome sont présents à des teneurs qui dépassent les normes admissibles. Leur présence dans les rejets de la ville de Batna plaide pour une origine industrielle.

L'OMS a dernièrement fixé une valeur guide pour le plomb qui est de 0.01 mg/l.

Sur les 6 prélèvements pour lesquels on a pu doser cet élément, 2 seulement ne le contiennent pas, sachant que dans les cas où le plomb est présent, il dépasse largement les normes de l'OMS avec des valeurs qui sont de l'ordre de 0.921 mg/l (M5, PC) et 1.093 mg/l (DJ1).

On signalera également la présence de Brome dans la majorité des prélèvements analysés. Il dépasse les normes de potabilité dans les forages et les puits avec des valeurs qui sont comprises entre 0.02 mg/l et 0.41 mg/l. On le trouve également dans les rejets avec des concentrations élevées, traduisant l'origine industrielle probable.

CONCLUSION

Les eaux usées industrielles et urbaines de la ville de Batna sont rejetées sans traitement préalable dans Oued El Gourzi qui véhicule cette charge polluante constituée de polluants organiques, minéraux et des métaux lourds qui sont utilisés dans les différentes activités industrielles que compte la ville. Oued El Gourzi draine ces rejets vers la plaine dEl Madher, qui renferme paradoxalement un des champs captants de la ville de Batna. La contamination des eaux souterraines de l'aquifère alluvionnaire est avérée en plusieurs endroits, notamment près du lit de l'Oued. Ainsi, on a noté que les nitrates se trouvent en excès dans la région de Fesdis et de Djerma.

Les éléments toxiques comme le Chrome, le Plomb et le Brome sont également présents avec des teneurs considérablement élevées, surtout le Plomb dont la teneur dépasse largement les normes préconisées pour l'eau potable.

Les éléments considérés comme indésirables dans l'eau et présents dans notre cas sont le Cuivre, le Fer, le Zinc et le Manganèse. Leurs teneurs sont actuellement dans les normes admises mais qui peuvent augmenter à long terme par infiltration des eaux de l'Oued, qui contiennent par contre de fortes concentrations de ces éléments, comme le Manganèse par exemple.

Pour les phosphates, l'Iode, il y a des dépassements des valeurs guides de l'OMS. Pour le reste des éléments dosés et qui ne posent apparemment pas de problème sanitaire, on notera quelques cas de dépassement des valeurs guides, comme pour le Fluor, le Calcium et le Magnésium.

Le rôle protecteur des sols par ses capacités dépuration ne peut durer à long terme et la pollution finira par causer la mort de ce système aquifère si des mesures urgentes ne sont pas prises, notamment l'achèvement et la mise en fonction rapide de la station dépuration des eaux usées de la ville de Batna.

BIBLIOGRAPHIE

1. BOCHAMP J., 2000 – Qualité et pollution des eaux souterraines, 2000. Site internet (www.sc.u-picardie.fr)
2. BOURAS H., 2000 Impact des rejets des eaux usées urbaines et industrielles sur l'irrigation, cas de la région de Fesdis, Batna. Thèse DEUA, IHS, Université de Batna, 75 p.
3. CHOCAT B., 1994 Encyclopédie de l'hydroloogie urbaine et de l'assainissement.
4. Edition Technique et documentation, Lavoisier, Paris, pp. 75-115.
5. HAID H., AHMANE S., 1996 Traitement des eaux usées industrielles de la ville de Batna. Mém. Ing., IHS, Univ. Batna, 86 p.
6. Inspection de l'Environnement de la Wilaya de Batna, 1990 Analyses chimiques et micro biologiques.
7. Journal Officiel, 1993 Normes des déversements industriels, JO n° 46, 4 Juillet 1993
8. MENANI M.R., 1991- Etude Hydrogéologique de la plaine dEl Madher et modélisation des écoulements souterrains de l'aquifère alluvionnaire de la plaine dEl Madher. Thèse Doct., Univ. Nancy 1, France, 410 p.
9. MENANI M.R., 2001 Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine dEl Madher selon la méthode DRASTIC. Rev. Sécheresse n° 02, Vol.12, pp. 95-101.
10. OMS, 2001 L'organisation mondiale de la santé, 2001 (site internet).
11. RODIER J., 1978 L'analyse de l'eau Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 6ème édition, Ed. Dunod, Paris.
12. ZOUITA N., 2002 Etude de la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine dEl Madher (NE algérien). Mém. Magister en Hydraulique, Univ. Batna, 131 p.

Influence des fertilisants agricoles et du mode dirrigation sur la qualité des eaux souterraines sous climat semi-aride :
Cas de la plaine des Chtouka, bassin du Souss-Massa, Maroc

SAID AHKOUK, YOUSSEF HSISSOU*, LHOUSSAINE BOUCHAOU, TARIQ TAGMA
Laboratoire de Géologie Appliquée et Géo-Environnement (LAGAGE), Equipe dHydrogéologie Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc
Auteur de correspondance (hsissouy@yahoo.fr)

Les mots clés : eaux souterraines, nitrates, sels, qualité, isotopes.

INTRODUCTION

La plaine des Chtouka est lune des zones agricoles les plus importantes au Maroc. Elle renferme une nappe libre dont La qualité des eaux se trouve menacée par les sels et les nitrates en dehors de toute mesure de protection (1). L'objectif de cette étude est de déterminer les processus d'acquisition de la salinité des eaux souterraines et dévaluer l'impact de la fertilisation agricole sur la qualité des nappes sous climat semi-aride.

SITE DETUDE

Le climat de la région est de type semi-aride. La nappe libre des Chtouka circule dans un aquifère plio-quaternaire qui sabouche au Nord et à lEst respectivement avec la plaine du Souss et les formations de lAnti-Atlas (figure 1). Son substratum montre une lithologie variable avec des calcaires marneux du Crétacé et des calcaires turoniens au Nord et des schistes acadiens et ordoviciens au Sud (2). Les cartes piézométriques de la nappe, montrent un écoulement général de lEst vers l'océan Atlantique, un front d'alimentation en provenance de l'Anti-Atlas, des irrégularités et des dépressions piézométriques essentiellement au centre du périmètre irrigué.

RESULTATS ET DISCUSSION

L'étude des paramètres physico-chimiques mesurés au niveau de la nappe des Chtouka, montre deux faciès chimiques principaux : des eaux très minéralisées et polluées par les nitrates avec un faciès chloruré sodique et des eaux ayant un faciès bicarbonaté calco-magnésien. Les différentes campagnes de mesure réalisées ont permis de bien délimiter les anomalies de minéralisation (figure 1). Il s'agit du secteur irrigué d'Aït Belfaa, de la zone comprise entre Assersif et la limite sud du périmètre irrigué, de la zone située au Nord de la ligne Aït Amira-Biougra et des Chtouka aval. Ces anomalies sont dues principalement à l'influence anthropique liée à l'agriculture, à la nature lithologique de l'aquifère et de son substratum (3) et à l'influence marine comme c'est le cas du Souss aval (4).

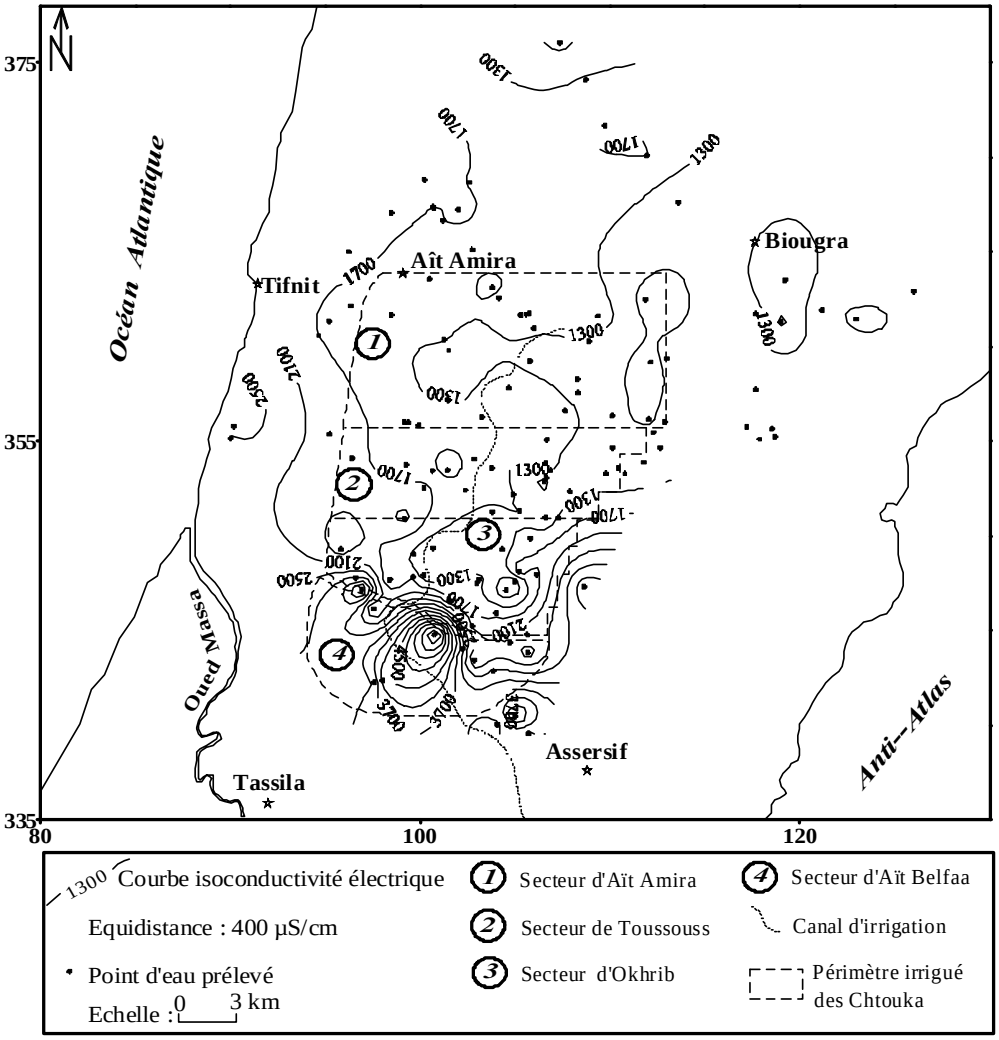


figure 1- Répartition spatiale des conductivités électriques à 25°C (µS.cm^{-1})

L'apport des isotopes combiné aux résultats de l'étude hydrogéologique et hydrochimique montre que la nappe est alimentée principalement par les pluies locales, à partir de l'Anti-Atlas, par les eaux de surface (irrigation) et par le recyclage des eaux souterraines. Le phénomène d'évaporation n'est décelable que pour les eaux de surface et les eaux de certains puits dont la profondeur est inférieure à 50 m (figure 2).

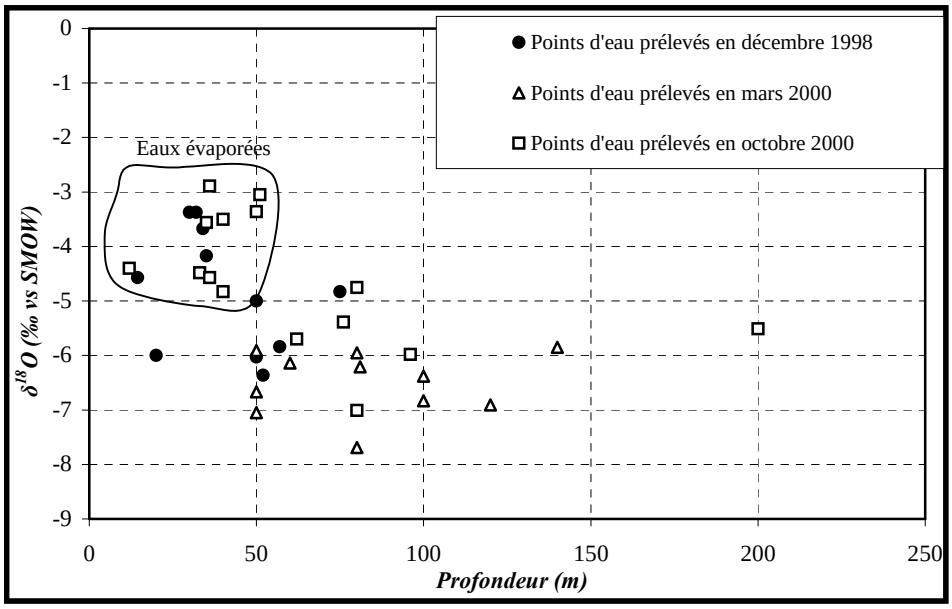


figure 2- Relation entre la profondeur et loxygène-18 des eaux de la nappe libre des Chtouka

Les teneurs en nitrates supérieures à 50 mg.l^{-1} sont mesurées dans les secteurs irrigués dAït Belfaa, dOkhrib et de Toussouss et entre Assersif et la limite sud du périmètre irrigué (figure 3). La sur-fertilisation et le mode dirrigation (gravitaire et/ou par aspersion) sont les sources principales de ces teneurs élevées. Dans le secteur irrigué dAït Amira et les alentours de Biougra, les concentrations en nitrates sont inférieures à 50 mg.l^{-1}; ceci est dû essentiellement à lefficacité de lirrigation fertilisante (goutte à goutte). En effet, les travaux de Gerwing et al. (5), Watts et al. (6), ont montrés que lirrigation fertilisante a été appliquée avec succès sur des sols à texture grossière et sablonneuse sans aucun danger, en terme de pollution et de salinité, sur la qualité des eaux souterraines. Ces faibles teneurs peuvent être également attribuées à la dilution des eaux souterraines par les eaux de pluie, celles du canal dirrigation provenant du barrage Youssef Ben Tachafine et celles provenant de lAnti-Atlas.

Le bilan chimique de lazote, calculé pour le périmètre irrigué des Chtouka, montre un excès moyen dazote lessivable de 30.2 kg.ha^{-1} et quenviron 89.3 mg.l^{-1} de nitrates sont lessivés vers la nappe chaque année.

CONCLUSION

Létude hydrochimique de la nappe libre des Chtouka, qui constitue la ressource principale de la région, a permis de montrer la nette dégradation de sa qualité essentiellement dans la moitié sud du périmètre irrigué et à louest de celui ci. Cette détérioration est due principalement à lutilisation accrue des fertilisants agricoles, au mode dirrigation et probablement à une influence marine. Elle est facilitée par la fréquence des pompages des eaux souterraines et la bonne perméabilité des dépôts plio-quaternaires. Le phénomène dévaporation est quasiment absent sauf dans les eaux de surface et dans quelques puits, ce qui témoigne dune infiltration rapide des eaux vers les zones aquifères. La recharge de la nappe se fait à partir de lAnti-Atlas, des précipitations locales, des eaux de surface (dirrigation) et du recyclage deaux souterraines relativement chargées en sels et en nitrates.

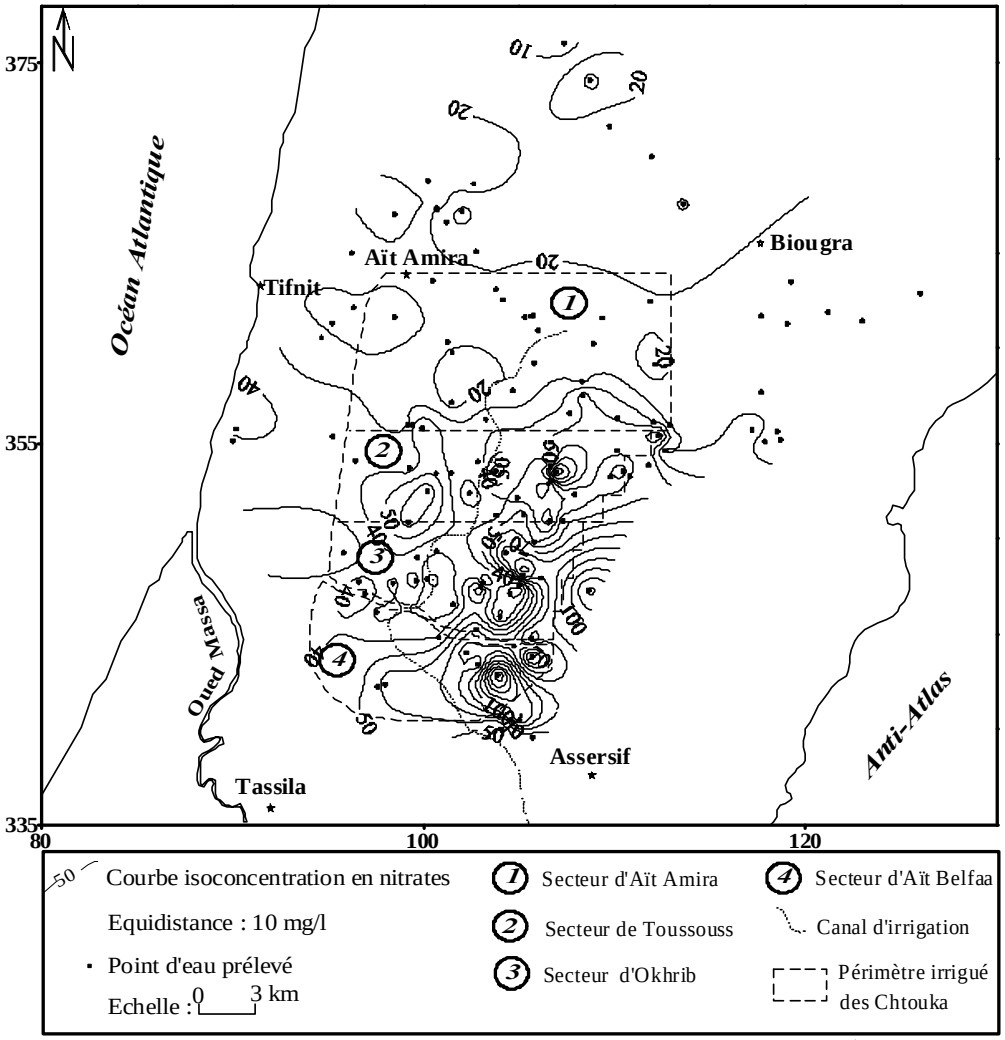


figure 3- Répartition spatiale des teneurs en nitrates (mg.l^{-1})

BIBLIOGRAPHIE

1 Ahkouk S. Contribution à létude de la qualité des eaux souterraines de la plaine des Chtouka (bassin du Souss-Massa, Maroc). *Mémoire de DESA Université Ibn Zohr Agadir* 1999 ; 96 p.

2 Compagnie Africaine de Géophysique : Etude par prospection électrique dans la plaine du Souss et dans la région de Tiznit. *Rapport Inédite (DRPE, Rabat)* 1964 ; 54 p.

3 Ahkouk S, Hsissou Y, Bouchaou L, Krimissa M, Mania J. Impact des fertilisants agricoles et du mode dirrigation sur la qualité des eaux souterraines (cas de la nappe libre des Chtouka, bassin du Souss-Massa, Maroc). *Africa Geoscience Review* 2003; 10 : 355-364.

4 Hsissou Y, Bouchaou L, Mudry J, Mania J, Chauve P. Use of chemical tracing to study acquisition modalities of the mineralization and behaviour of unconfined groundwater under a semi-arid climate: the case of the Souss plain (Morocco). Env Geol (2002) 42: 672-680.

5 Gerwing JR, Caldwell AC, Goodroad LL. Fertilizer nitrogen distribution under irrigation between soil, plant and aquifer. *Journal Environment Quality* 1979 ; 8 : 281-284.

6 Watts DG, Martin DL. Effect of water and nitrogen management on nitrate leaching losses. *Transaction of the A.S.A.E.* 1981; 24 : 911-916.

MODELISATION DU TRANSFERT DE L'EAU ET DES NITRATES DANS LA ZONE NON SATUREE
(Application au bassin versant de Houlle et Moulle)

SERHAL Hani [1], MAILLOT Henri [2], BERNARD Daniel [3], [4] BASTIN Sabine
[1] Polytech'Lille - Lille - France ; [2] Polytech'Lille ; [3] Agence de l'eau Artois-Picardie – Douai – France,
[4] Bureau d'études SOREG – Famars – France

INTRODUCTION :

souterraines ont une importance essentielle dans le Nord de la France. En effet, dans le bassin Artois-Picardie, 1500 installations de captage ont prélevé 330 millions de m3 d'eau souterraine en 1995 (Agence de l'eau Artois-Picardie) Ce volume couvre 96 % de la consommation domestique des habitants de la région.La majeure partie de l'eau souterraine provient de la nappe de la craie. Cette ressource disponible en quantité suffisante Les nappes est déjà dégradée par endroits. L'un des principaux polluants est le nitrate. La contamination par les nitrates est le principal impact environnemental de l'agriculture sur la qualité de l'eau souterraine. Les nitrates sont une forme soluble de l'azote qui est généralement mal adsorbé par les particules du sol et qui peut donc filtrer dans les eaux souterraines s'il n'est pas assimilé par les végétaux. La zone d'étude comprend 55 communes (figure1), qui constituent le bassin versant d'Houlle Moulle, où se trouvent quinze captages qui alimentent en eau potable la communauté urbaine de Dunkerque.Ces captages sont gérés par la Lyonnaise des eaux, et repartis le long de la bordure Ouest du Marais Audomarois sur les communes de Houlle, Moulle, Eperlecques et Bayenghem-Les-Eperlecques
Le contexte géologique de la zone d'étude comprend les grandes formations suivantes (d'après BURGEAP 1995):

- A l'Ouest, la série crayeuse comprenant à la base les formations de la craie marneuse du Cénomanien et du Turonien inférieur, surmontées par de la craie franche du Turonien Supérieur et du Sénonien ; l'ensemble a un pendage général vers l'Est-Nord-Est ; la série crayeuse repose sur les formations jurassiques qui affleurent à l'Ouest.
- A partir du méridien de Saint-Omer et en allant vers l'Est, la série crayeuse s'ennoie sous la formation tertiaires comprenant à la base l'Argile de Louvil, surmontée par la Sable d'Ostricourt, eux-mêmes surmontés par l'Argile de Flandres ;
- L'ensemble disparaît au niveau du marais Audomarois sous les formations quartenaires alluviales.

La nappe la plus exploitée est celle de la craie Séno-Turonienne, l'eau coule du Sud-Ouest vers le Nord-Est. Cette nappe est libre dans la partie Ouest et centre du bassin où la craie affleurent, et devient captive à l'Est où la craie s'ennoie sous les formations de l'Argile de Louvil.

RESULTATS DES SUIVIS IN SITU :

Afin d'apprécier les évolutions de multiples facteurs agissant plus ou moins directement sur la qualité des eaux souterraines, plusieurs suivis ont été réalisés :

1- SUIVI AGRONOMIQUE :

L'activité agricole est très développée. Au cours des dernières décennies, la hausse de la productivité agricole s'est accompagnée d'une forte augmentation des fertilisations azotées qui a entraîné l'augmentation des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines. Les pratiques culturales, comme le retournement des prairies, l'enfouissement des résidus de récoltes ou l'assolement, ont pu avoir une influence sur la dynamique spatiale et temporelle des flux de nitrates percolant vers la nappe.

Le suivi agronomique est la phase essentielle de connaissance des intrants du système.Les pratiques culturales et les fertilisations sont des facteurs qui influencent directement les quantités de matière disponible pour la percolation de pollutions diffuses azotées. Ces deux facteurs sont liées aux activités humaines, et traduisent le potentiel des matériaux polluants qui sera introduit dans le milieu. La LYONNAISE DES EAUX, assistée par la Chambre d'Agriculture du Pas de Calais, a réalisé une enquête sur les historiques culturaux.Ces enquêtes nous donnent une idée sur l'assolement, le rendement, l'apport d'engrais minéral, le type et la quantité d'amendement organique, et le devenir des résidus de récoltes.Les principales cultures non pérennes sont le blé, le lin, les betteraves sucrières. La monoculture est généralement constituée prairies, qui sont cultivées pour le pâturage. L'influence du paramètre humain se traduit le plus souvent par la différence de la date et de quantité d'engrais utilisée.

2-CAMPAGNE DE SONDAGES :

L'opération a été confiée à l'entreprise de sondages PONTIGNAC, 19 sondages ont été réalisés. L'analyse des profils du sol nous montre une hétérogénéité spatiale importante.
On constate que tous les profils du sol commencent par une couche de terre végétale, et se terminent dans la couche crayeuse, mais les couches intermédiaires varient énormément d'un sondage à l'autre.
La couverture pédologique des parcelles correspond à un sol de texture très hétérogène qui varie entre sol limoneux, limono-argilo-sableux et limono-argileux.
Une prise d'échantillon de sol a été réalisée régulièrement chaque 50 cm, et les teneurs en nitrates, ammonium, chlorures et bore sont mesurées (Institut Pasteur de Lille). On constate, d'après l'analyse des profils azotés, que la concentration en nitrate varie beaucoup dans les deux premiers mètres et commence à se stabiliser en se rapprochant de la zone saturée. Le seuil de potabilité en nitrates (50 mg/l) est largement dépassé dans des certains endroits.

3-SUIVI DE CONCENTRATION EN NITRATES DANS L'EAU SOUTERRAINE :

Les analyses physico-chimiques de l'eau de captages ont été réalisées soit par l'institut pasteur de Lille, soit à l'usine de Houlle. On constate une forte concentration en nitrates sur certains captages, et une forte variation d'un mois à un autre. Durant la période de forte recharge de la nappe, l'augmentation de la concentration est liée au flux d'azote qui vient de la zone non saturée par effet de fissural, tandis que durant la période d'été, les nitrates qui arrivent au captages, sont ceux qui se trouvent déjà dans la nappe.

DESCRIPTION DU MODELE UTILISE DANS LA MODELISATION (AGRIFLUX) :

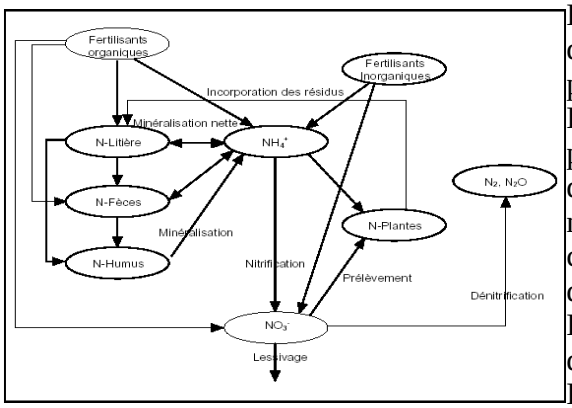


Figure 1 : Cycle de l'azote

Le logiciel AgriFlux (Banton et al., 1993) est un modèle d'évaluation environnementale développé spécifiquement pour la gestion des pollutions diffuses d'origine agricole.
Basé sur une approche en différences finies par réservoirs pour l'évaluation quantitative des flux d'eau, de nitrates et de pesticides parvenant à la nappe, AgriFlux est un modèle mécaniste stochastique alliant la représentation conceptuelle des mécanismes avec la variabilité spatiale des processus et des paramètres
Les bilans d'eau, d'azote sont calculés dans le modèle par des modules indépendants. Les différents modules sont Hydrique (Hydriflux), Nitreux (Nitriflux).

Module HydriFlux

Le module HydriFlux calcule les flux d'eau ruisselés et lessivés entre les couches de sol en considérant l'infiltration, le ruissellement, la percolation, le prélèvement d'eau par la culture et l'évaporation selon un pas de temps journalier et en tenant compte des caractéristiques hydrauliques de chaque couche (conductivité hydraulique, porosité, capacité au champ, point de flétrissement.

Module NitriFlux

Le module NitriFlux simule selon la même base journalière la transformation et le transport de l'azote dans le sol. Les processus biochimiques simulés par NitriFlux dépendent de la température et de la teneur en eau de chaque couche.Les apports extérieurs (fertilisation, incorporation des résidus de récolte) et les pertes (prélèvement par les plantes, lessivage,

dénitrification) sont également simulés.Les nitrates sont considérés comme le seul composé azoté pouvant migrer avec l'eau sous forme dissoute et sont transférés au travers des différentes couches avec l'eau.

Le modèle AgriFlux permet ainsi d'évaluer quantitativement les flux journaliers de nitrates associés au ruissellement et au lessivage sur une parcelle ou sur toute zone dont la nature du sol et l'assolement sont connus.

L'approche adoptée (fig.2) est basée sur la représentation du cycle de l'azote généralement admise (ex.Johnsson et al.,1987).

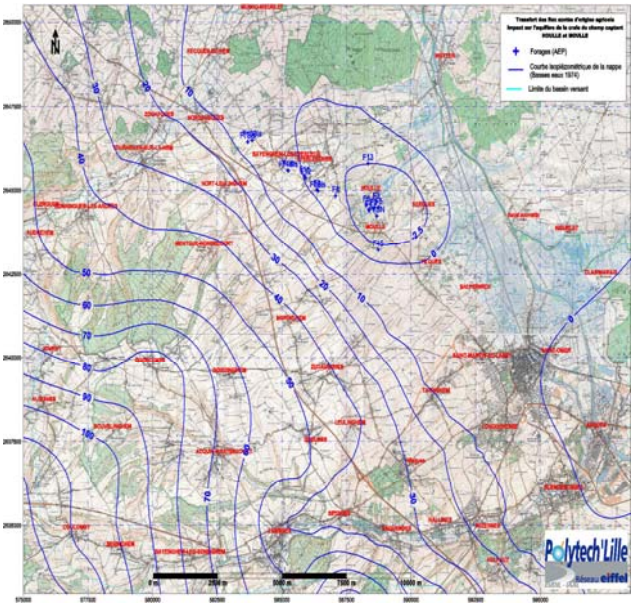


Figure 2 : Bassin versant de Houlle et Moulle (zone d'étude)

1- APPLICATION D'AGRIFLUX :

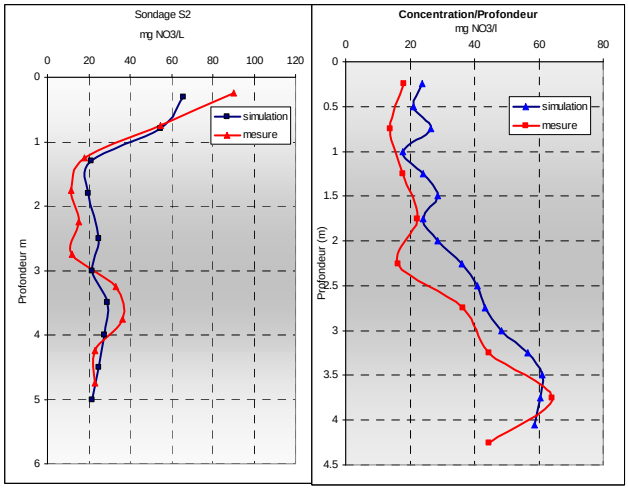


Figure 3 : Comparaison entre les profils réels et simulés

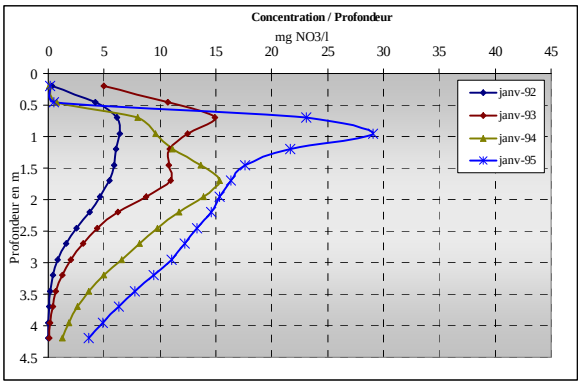


Figure 4 : Evolution de la concentration en nitrates

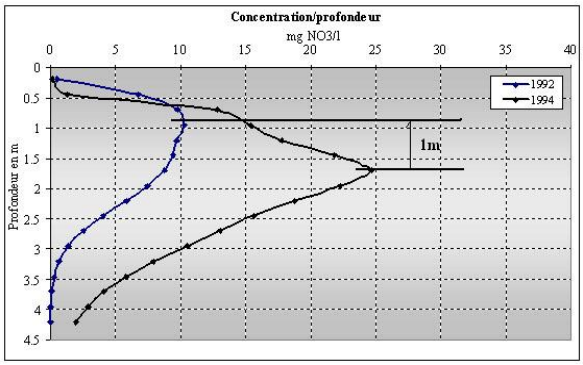


Figure 5 : Vitesse de la migration des nitrates

Agriflux est appliqué dans la zone racinaire et la partie supérieure de la zone non saturée.
L'azote organique qui se trouve initialement dans le sol, est considéré sous forme humus.
Les azotes minéraux (nitrates et ammonium) sont considérés comme négligeables au début de la simulation, car cette forme d'azote n'est pas stable.
Les caractéristiques des cultures sont fournies par les agriculteurs volontaires qui ont accepté à nous fournir les historiques culturaux (depuis 1992 jusqu'à 2002)

2-MODELISATION A L'ECHELLE PARCELLAIRE :

Avant la réalisation de la simulation à l'échelle du bassin versant, il était nécessaire d'effectuer des simulations à l'échelle parcellaire, dans les parcelles sondées, afin de paramétrer et caller le modèle.
Les différentes données nécessaires au fonctionnement du modèle portent sur les caractéristiques du sol, les conditions climatiques, les cultures, les fertilisations et le cycle de l'azote. Dans la mesure de possible, les données introduites dans le modèle sont des données mesurées. Les valeurs affectées aux paramètres non mesurés proviennent de recherches bibliographiques (Soltner, 1996, Brisson et al., 1998).

Les données climatiques : précipitations, température et l'évapotranspiration sont des données nécessaires pour la modélisation par Agriflux. La hauteur d'eau lessivée, ainsi que le cycle de l'azote (les activités bactériennes) varient avec ces paramètres. Plusieurs stations météorologiques sont situées autour de la zone d'étude. La plus proche est celle de Saint Omer, qui se trouve au sud de la zone ; elle indique une précipitation annuelle moyenne de 843 mm, et une évapotranspiration de 634 mm.

Les caractéristiques hydrologiques du sol sont déterminées à partir de leur classe texturale (Rawls ; Brakensiek, 1989).
La vitesse de transfert dépend de la porosité et de la pluie efficace (Chiesi, 1993).

Le rapport C/N du sol, mésuré par AGREN S.A., varie entre 8 et 9. La dynamique de processus biochimiques dans le sol est controlée par le carbone (Hanks and Ritchies 1991). Comme celui-ci diminue avec la profondeur (Lafrance et Banton, 1995), on considère qu'au-delà d'un certain profondeur, les nitrates ne subissent aucun transformation.

L'utilisation du modèle Agriflux donne des résultats satisfaisantes : les concentrations en nitrates simulées sont du même ordre de grandeurs que les valeurs mesurées (figure 3).

La figure 4 nous montre l'évolution du profil azoté en fonction du temps, on trouve qu'il y a une augmentation plus ou moins stable de 1 mg/l/an à la sortie (à 4 m de profondeur).

La vitesse moyenne de la migration des nitrates varie entre 0.4 et 0.7 m/an. Le pic de nitrates a traversé 1 m dans deux ans (figure 5).

3-MODELISATION A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT :

Plusieurs données sont nécessaires pour démarrer la simulation globale à l'échelle du bassin versant:

1) le profil du sol à chaque point du bassin (épaisseur du recouvrement et de la zone non saturée).
2) Activités agricoles sur tous les parcelles du bassin (rotation, quantité, type et date de l'application des engrais).
3) Données climatiques (température, précipitation et évapotranspiration).

Profil du sol

La carte géologique fait apparaître plusieurs formations dans le sous-sol, constitué en grande majorité par un complexe de craie du Turonien et du Sénonien.

Dans des certaines zones, le sol disparaît et la craie affleure. En superposant la carte IGN et la carte géologique, on peut déterminer le niveau de la craie dans les zones d'affleurement. En faisant la différence entre la topographie et le niveau de la craie, et à partir les sondages géologiques et des couches géologiques déjà réalisées, on peut déduire l'épaisseur de la couche de recouvrement des différents points du bassin.

ACTIVITES AGRICOLES :

RGA (Recensement Général Agricole) :

Ces données indiquent le type et la superficie de chaque culture, ainsi que toutes les informations concernant les activités d'élevages par commune.

La plus grande surface agricole est consacrée aux grandes cultures, qui occupent les terrains plats, tandis que les STH (superficie toujours en herbe) sont localisées aux bordures des plateaux où les terrains sont pentus. La surface des prairies est de l'ordre de 28 % du surface total agricole.Le blé tendre est la culture dominante, il occupe 40% des surfaces agricoles, tandis que les cultures de printemps comme les betteraves présentent 7% des surfaces agricoles D'après l'analyse des ces données, on peut classifier les communes en 4 types selon les cultures pratiquées :

1. Communes d'élevages : Ce sont des communes à forte activités d'élevages, où on trouve des grandes surfaces cultivées en maïs fourrages.
2. Communes de polycultures : Dans ces communes on trouve surtout les cultures industrielles comme les betteraves à sucre.
3. Communes de culture légumière : Dans ces communes, les légumes frais comme les petits pois et les haricots verts, occupent des grandes surfaces.
4. Communes de culture maraîchage : Essentiellement dans la région du marais Audomarois, où les cultures de poireau et chou-fleur sont abondantes.

RESULTATS DE LA SIMULATION : La concentration en nitrates dans l'eau lessivée atteint le maximum entre les années 60 et 80, pour prendre une valeur moyenne de 112 mg NO3/l (figure 7), une légère baisse apparaît après l'année 80, et cela due au changement des pratiques culturaux et le mise en place de rotation. Une diminution considérable apparaît après les années 90. Dans la rotation utilisé dans les communes de polyculture, on constate une légère baisse dans la concentration en nitrates dans l'eau lessivée, et cela due à la culture des betteraves qui absorbe plus des nitrates et moins de l'eau.

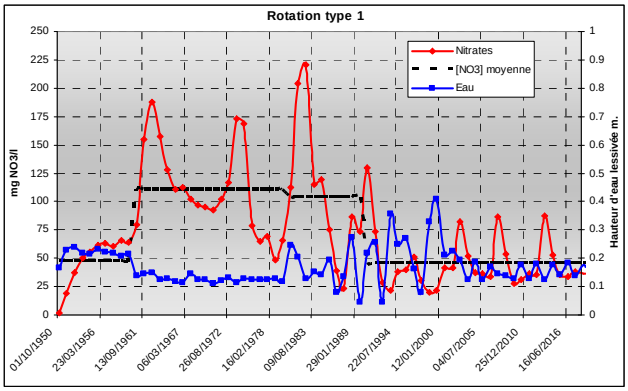


Figure 7 : Concentration en nitrates et hauteur d'eau lessivée

La figure suivante 8 montre les concentrations en nitrates dans l'eau qui entre dans la zone non saturée de la craie sous les parcelles agricole entre les années 1985 et 1990. Une amélioration dans la qualité de l'eau apparaît après l'année 1990 (2002). Par contre on constate que les zones polluées gagnent de surface et cela est dû au temps de transfert de nitrates.

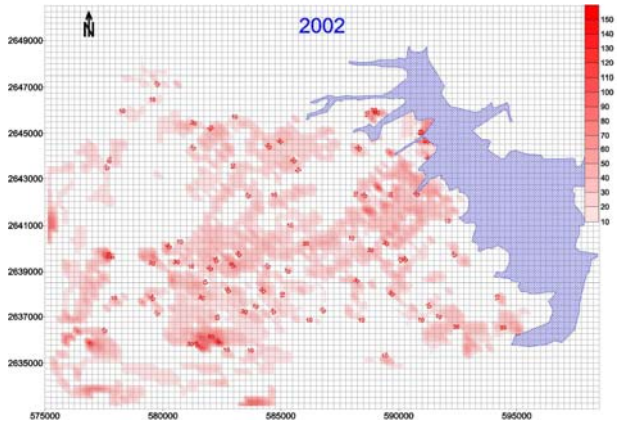


Figure 8 : [NO3] dans l'eau entrant dans la craie (2002)

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES :

- La modélisation et l'expérimentation sont complémentaire : sans l'effort de la théorisation que constitue la modélisation, l'expérimentation a un intérêt limité, dans la mesure où on ne peut pas comprendre et donc extrapoler à des situations comparables. Inversement, sans l'expérimentation le paramétrage du modèle est impossible.- Les enquêtes menées dans le secteur d'Houlle Moulle et dans des autres secteurs montre que l'augmentation de fertilisation ne provoque pas une augmentation de rendement. La plante prend son besoin en azote et l'excès reste dans le sol et risque d'être entraîné par lessivage. La surfertilisation provoque ainsi une augmentation de lessivage des nitrates, et la fertilisation raisonnée la diminue.

- La modélisation nous montre que la vitesse de migration des nitrates est entre 0.4 et 0.7 m/an, et cela varie avec les précipitations et la texture du sol. Les anciennes études (Vachier et al., 1987 - Wellings et Bell, 1980).

- Dans la partie Est de la zone d'étude, la nappe n'est pas trop profonde, le temps de transfert de nitrates est court, d'où la nécessité de bien contrôler les intrants dans cette zone, surtout en amont immédiat des captages. La mise en place de programme Ferti-Mieux, c'est-à-dire le contrôle des intrants en fonction de besoin de chaque type de culture, et l'utilisation du CIPAN (culture intermédiaire piège à nitrate), peut entraîner une amélioration dans la qualité d'eau qui alimente la nappe.

- L'étape suivante sera le couplage d'Agriflux avec un autre modèle hydrodynamique de transport en zone saturée, ce qui permettra de former un outil complet d'évaluation fiable de risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates d'origine agricole.

BIBLIOGRAPHIE :

1. AZOTE ET AGRICULTURE de A à Z , 2000 : Brochure réalisé par l'agence de l'eau Artois Picardie et la chambre d'agriculture de Nord, du Pas-de-Calais, de la somme et de l'Aisne.
2. BANTON O., LAROCQUE M., SURATEAU F., VILLENEUVE J.P. (1993) : AgriFlux : Logiciel d'évaluation des pertes environnementales des contaminants agricoles. – Manuel d'usager. Rapport scientifique INRS-eau no. R380. Ste-Foy, Qc.
3. BURGEAP, 1995: Etude globale sur les ressources en eau souterraines dans le bassin versant de l'AA.
4. CHAMBRE D'AGRICULTURE DU PAS-DE-CALAIS : Fertiliser avec l'engrais du ferme, 2001.

Contribution a l'étude de la vulnérabilité à la pollution des aquifères karstiques des monts de Tlemcen

Bensaoula F.[1] Bensalah M.[2]

[1] Dépt. d'Hydraulique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen.

[2] Dept des Sciences de la Terre et de l'Agronomie, Faculté des Sciences, Université Abou Bekr -Belkaïd de Tlemcen.

1.INTRODUCTION

Les ressources en eau souterraines des aquifères karstiques des monts de Tlemcen sont indispensables, du moins actuellement, pour l'alimentation en eau potable d'une bonne partie de la population de la wilaya de Tlemcen et de celles des wilayas limitrophes notamment Ain-Temouchent et Oran.Du point de vue de leur qualité, les eaux karstiques des monts de Tlemcen sont classées comme bonnes. Cependant, cette qualité peut être altérée, car ces ressources en eau sont sensibles aux impacts anthropogènes. Pour cela, elles sont considérées comme vulnérables.Cette vulnérabilité s'explique par la structure fortement hétérogène de ces réservoirs karstiques avec d'une part une alimentation de surface soit diffuse soit concentrée, et d'autre part soit des perméabilités très élevées dans les conduits souterrains soit des perméabilités faibles dans les blocs peu perméables(D F. et Z.F 1998).Dans ce qui suit on se propose d'étudier quelques aspects de la vulnérabilité à la pollution de ces aquifères après avoir donné un aperçu sur leur contexte géologique et hydrogéologique.

2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DES MONTS DE TLEMCEN

2.1 LITHO-STRATIGRAPHIE

Situés au Nord-Ouest Algérien, les Monts de Tlemcen correspondent à un vaste horst de direction NE- SW. Ils sont situés entre une zone de plaines et de plateaux (bassin de la Tafna, plus important cours d'eau de la région), au Nord et une zone de hautes plaines au Sud (zone steppique d'El Aricha). Leur altitude varie de 800m à 1400m et le point culminant est à 1843m au dj.Tenouchfi. Ils sont constitués essentiellement de formations d'âge jurassique supérieur et crétacé inférieur. Les calcaires et dolomies du Kimméridgien et du Tithonien forment plus de 80% des parties sommitales des plateaux. Au Sud et au Nord, ces formations sont masquées par une sédimentation néogène épaisse représentée par des marnes miocènes et des dépôts continentaux du Plio -Quaternaire (voir extrait de la carte géologique de l'Algérie au 1/500000) en figure 1, ci-dessous).

Le log litho-stratigraphique de la figure 2, montre la série des formations des monts de Tlemcen. Ainsi,les calcaires de Zarifet, les dolomies de Tlemcen, les calcaires de Stah constituent le membre calcaréo- dolomitique inférieur,les calcaires du Lato, les dolomies de Terny et une partie des marno-calcaires de Hariga (qui sont parfois dolomitisés) constituent le membre calcaréo- dolomitique supérieur.

Notons que ces formations présentent un changement de faciès latéral, une variation d'épaisseur ainsi qu'une dolomitisation très irrégulière, à travers les monts de Tlemcen (d'après les travaux de M. Benest, B.Collignon et nos propres observations).

2.2. TECTONIQUE

Les monts de Tlemcen sont surtout affectés par une tectonique distensive cassante qui s'est traduit par un système de failles longitudinales SW-NE à WSW-ENE avec formation de zones effondrées et une tectonique compressive plus souple avec la mise en place de structures plissées plus ou moins complexes.

2.3. HYDROGEOLOGIE

A la lumière des prospections effectuées , tant par les méthodes géophysiques qu'hydrogéologiques, il a été mis en évidence des niveaux aquifères dans les deux membres calcaréo-dolomitiques supérieur et inférieur tels qu'ils ont été définis plus haut. Ces aquifères sont par endroits captifs lorsque le karst est couvert (particulièrement sur les piemonts nord et sud) et ils sont libres sur les plateaux. Leur structure est compartimentée par les nombreuses failles qui sillonent les monts de Tlemcen.D'innombrables sources drainent ces systèmes aquifères. Des forages sont réalisés chaque année pour mobiliser les eaux de ces réservoirs.

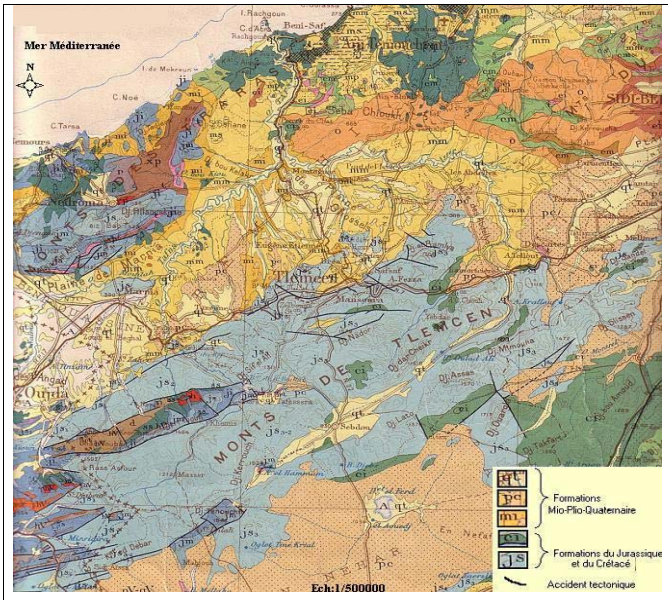


Fig1 : Situation géologique des monts de Tlemcen (extrait de la carte géologique de l'Algérie au 1/500000).

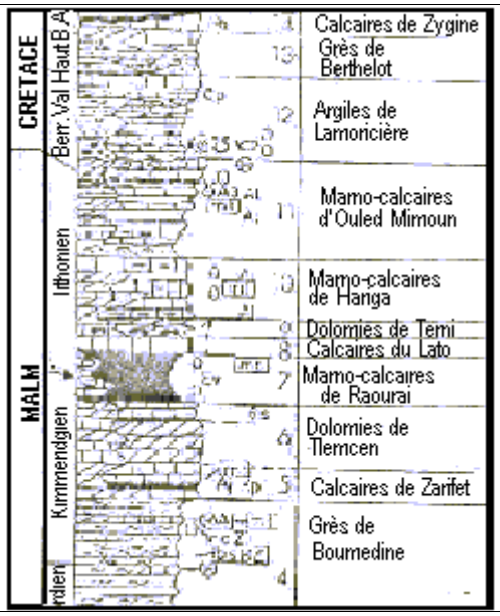


Fig2 : Log litho-stratigraphique synthétique des monts de Tlemcen modifié(Benest et al).

3. LA VULNERABILITE A LA POLLUTION DES AQUIFERES KARSTIQUES DES MONTS DE TLEMCEN

3 .1. LE KARST DES MONTS DE TLEMCEN

La karstification dans les monts de Tlemcen est trés variable d'une région à une autre. Nous présentons, dans ce qui suit, les résultats d'une étude que nous avons effectuée en essayant de cerner les principales particularités du Karst des monts de Tlemcen.

3.1.1 L'épikarst

Appelé aussi zone sous-cutanée, c'est la zone située directement dans les premiers mètres au dessous de la surface du sol recouvrant les calcaires. Son épaisseur varie de quelques décimètres à quelques dizaine de mètres.Le plateau de Terni couvert en totalité par les dolomies de Tlemcen et de Terni, présente un épikarst assez developpé. Les logs litho-stratigraphiques de forages réalisés dans la région ainsi que les observations que nous avons effectuées au niveau des carrières d'exploitation de graviers, confirment cela. L'épikarst permet une infiltration rapide et un stockage de grandes quantités d'eau d'infiltrations. Le karst des monts de Tlemcen est de type à drainage rapide.Neanmoins dans certaines région, notamment le plateau de Sidi senouci et le plateau de Terni, l'épikarst est saturé par saison

3.1.2 Les lapiez

Ils se développent plus dans le calcaire que dans les dolomies. Ils sont profonds dans le calcaire pur. Le sillon peut atteindre 1 à 2m de profondeur dans un stade avancé. Les lapiéz sont principalement dues à l'érosion chimique des eaux de pluie sur les surface calcaires. Les lapies les plus typiques se développent à l'endroit où l'abondance des précipitations et du ruissellement est plus forte et absence de sol , d'argile de décalcification (cvijic 1960). Nous avons pu observer sur les dolomies de Tlemcen près de Ain el Hout, sur le bord de la route qui relie Terni et Sebdou ainsi que sur le versant est du dj.Tagma (près de Sidi Senouci). Les formes d'érosion observées sont comparables mais à des stades différents.

3.1.3 Les réseaux souterrains

Pour cela on s'est basé sur les travaux de Birebent (1946-47), Collignon et al (1982, 1983, 1984). Les cavités les plus intéressantes sont des rivières souterraines qui comptent parmi les plus longues explorées en Afrique [Collignon 1984] tel par exemple, la rivière souterraine de Ghar Bou Maaza (14100m), Ghar el Kahal (2210m), Bir Khaddous (570m), Grotte de Yebdar(385m). Il existe d'autres cavités moins importantes notamment celle de Tagma et de Ain Fezza dans le nord-est. Il existe aussi d'innombrables avens sur le plateau de Terni.

3.1.4 Les grands massifs de travertins

Les massifs de travertins constituent de puissants dépôts (50Mm^3 à Lalla Setti, 15Mm^3 à Ouchba) présents en masse et s'avancant en hautes falaises à pic . Ils sont facilement repérable car ils sont rarement couverts de végétation et engendrent des ruptures de pentes. Ils soulignent l'emplacement de sources actuelles ou disparues liées aux massifs jurassiques. Certains jalonnent les affleurements des dolomies de Tlemcen avec les grès de Boumédiène.

A travers les monts de Tlemcen, nous avons pu inventorier plus d'une trentaine d'affleurements de travertins, d'une étendue parfois considérable. Leur aspect parfois trés vacuolaire voire karstifié , les rend très vulnérables surtout ceux affleurants sur le plateau de Lalla Setti, de Ain Fezza qui deviennent peuplés et ont tendance à le devenir davantage.

3.1.5 Conclusion

Dans les monts de Tlemcen, la nature lithologique du membre dolomitique supérieur ou inférieur conditionne considérablement la nature, les caractéristiques et le comportement hydrodynamique de l'épikarst et l'endokarst. Les deux membres calcaréo-dolomitiques sont parfois entierèment dolomitisés ou en partie(voir paragraphe 2.1). En effet la dolomitisation montre une extension verticale trés variable selon les secteurs. L'intensité de la dolomitisation est liée avant tout à la fracturation (Benest 1985).Les dolomies de Tlemcen ou membre inférieur, sont grossièrement cristallisées et friables. Par conséquent elle produisent du sable, tel par exemple, dans les régions de Sidi Senouci, Mansourah, Ouchba, Saadnia ouled Mimoun.Ainsi sur les affleurements dolomitiques, la pluie s'infiltre et ne passe pas sur la roche, les conditions qui favorisent la formation des lapiès sont absentes.

3.2 Cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques des monts de Tlemcen.

Plusieurs méthodes de cartographie de la vulnérabilité ont été développées et appliquées. Ainsi 69 méthodes de cartographie de la vulnérabilité ont été décrites et évaluées(Magiera, 2000 in Goldsheider 2002). Ce sont : les méthodes HCS (hydrogeolgical complex and setting methods), index methods and analogical relations, Parametric system models, mathematical models, statistical models. Nous citons les méthodes EPIK (Doerfliger 1996, Doerfliger & Zwahlen 1998), OCPK ou approche européenne, PI (Goldsheider N.et al 2000) qui sont relatives au troisième type et auxquelles nous nous sommes particulièrement intéressés.

3.2.1 Critères pris en compte pour la cartographie de la vulnérabilité du karst des monts de Tlemcen

Nous énumérons et développons succintement dans ce qui suit les critères que nous avons pris en considération pour l'étude de cette vulnérabilité et qui sont :

- L'épaisseur de l'épikarst et son comportement hydrodynamique.
- La nature lithologique de la couverture du karst et son épaisseur. Elle favorise ou empêche l'infiltration des eaux de surface vers les aquifères en question. Nous avons distingué plusieurs situations :
    1. La couverture correspond aux formations plio-quaternaires avec des alluvions des grés et des marnes. L'épaisseur varie de quelques mètres à plus de 300m.
    2. La couverture correspond à une mince couche de sol d'une épaisseur variant de quelques centimètres à 1m, en moyenne.
    3. La couverture correspond au membre calcaréo-dolomitique supérieur et au marno-calcaires de Raourai. Ceci s'applique pour l'aquifère contenu dans les dolomies de Tlemcen.
    4. Il n'existe pas de couverture. Les dolomies sont affleurantes et l'aquifère est libre.
- L'importance de la karstification qui se traduit par l'existence d'un réseau de galeries souterraines, de grands chenaux souterrains ou alors de larges fissures qui permettent l'écoulement des eaux souterraines et l'alimentation de sources karstiques.Ce sont soit les réseaux souterrains explorés ou alors les chenaux mis en évidence au cours de nombreux forages dans les formations carbonatées du Jurassique supérieur des monts de Tlemcen.
- L'écoulement des eaux superficielles qui est conditionné par la nature des formations superficielles et l'organisation du réseau hydrographique. Les monts de Tlemcen couvrent presque les deux tiers de la surface du bassin de la Tafna, important cours d'eau de la région. Les pentes y sont assez fortes et atteignent jusqu'à 25%.La densité de drainage est de 3.2(od Khemis), 2.9(od Sebdou), 2.5(od Nchef) et 0.6(od Chouly). Les écoulements superficiels subissent de très fortes variations saisonières et interannuelles. Les volumes d'eau qui y transitent pendant la saison froide sont plus forts que celles pendant la saison chaude.
- Le régime des précipitations annuelles et mensuelles qui conditionnent le ruissellement ainsi que l'infiltration qu'elle soit diffuse ou ponctuelle. Dans les monts de Tlemcen, ce sont surtout les pluies de printemps qui génèrent les gros débits des cours d'eaux ainsi que les forts taux de transport solide. Et par conséquent, on constate une forte dilution de tous les rejets d'eaux usées qui sont deversés dans les cours d'eaux. Par contre c'est pendant la saison sèche que les débits d'écoulements sont faibles voire nuls. Ils ne peuvent assurer ni dilution ni évacuation des eaux usées.Ceci, à la suite d'une faible pluviométrie mais aussi en conséquence au prélévements effectués au fil de l'eau, par les agriculteurs. Il faut noter que c'est la période ou la demande en eau s'accentue.
- Le couvert végétal correspond soit à un couvert forestier normal, très souvent un couvert forestier dégradé. Certaines enclaves permettent l'existence d'arboriculture ou de cultures extensives.

Ces critères sont à prendre en considération, pour mieux cerner les problèmes de pollution aussi bien des eaux superficielles que souterraines.

CONCLUSION

L'étude de la vulnérabilité des ressources en eau karstiques des monts de Tlemcen doit être entreprise en premier lieu par la caractérisation des differents facteurs que nous avons développé ci-dessus, a savoir l'épikarst, sa couverture, le régime des pluies et des cours d'eau, ainsi que le couvert végétal. En deuxième lieu, il s'agira de prendre en considération l'action anthropique qui a tendance à se developper d'avantage. Les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles sont les foyers de pollution les plus redoutables après quoi vient se placer le développement intensif des zones agricoles qui non seulement aggrave la pollution par l'utilisation des fertilisants mais aussi par la pression qu'il exerce sur la ressource en eau. L'exploitation intensive de ces ressources en eau est aussi à redouter.

BIBLIOGRAPHIE:

1. Benest M. , Bensalah M. , Bouabdellah H. & Ouardas T. 1999. La couverture mésozoique et cénozoique du domaine Tlemcénien: Stratigraphie, paléoenvironnement, dynamique sédimentaire et tectogénèse alpine. Bulletin du service géologique de l'Algérie, vol.10, no2, 127-157.
2. Bensaoula F. 1992 Carte hydrogéologique d'Ouled-Mimoun et notice explicative au 1 /500000 thèse de Magister Université d'Es Sénia Oran Nov. 1992
3. Birebent J. 1947 Explorations souterraines en Algérie campagne 1946- 1947
4. Choppy, J 1997 Quelques observations sur les lapiez de Majorque. Proceedings of the 12th international congress of speleology , Volume 1, 401-404, La chaux- de- fond (Suisse) 10-17 aout 1997
5. Collignon B. 1984 Contribution de la spéléologie à la compréhension de l'hydrogéologie des monts de Tlemcen Spéléologie algérienne 1984 S.C.O.F., Couscous, E.R.E de C.E.E. et G.E.S de la S.E.M, P.Benoit, Collignon B., B.Lips, L.H.Fage, B.Pablo, J.Rieu.
6. Collignon B. 1986. Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des monts de Tlemcen (Algérie). Thèse de doctorat, univ. Avignon, 293pp.
7. Jeannin, P.-Y (1996) : Structure et comportement hydraulique des aquifères karstiques. Thèse pour l'obtention du titre de docteur es sciences au centre d'hydrogéologie de l'université de Neuchâtel, Suisse.
8. Mania, J. : Problèmes relatifs à la protection des nappes en terrains fissures. Exemple de réalisation.

Influence des rejets d'eaux usées et des décharges sauvages sur la qualité des eaux souterraines de la ville de N'Djaména (TCHAD)

Edith KADJANGABA [a,b], Yves TRAVI [b], Jean-Michel PUIG [b]
a Faculté des Sciences Exactes et Appliquées – Université de N'Djaména.
b Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse.

INTRODUCTION

N'Djaména se trouve dans une région soumise à un climat de type Sahélien, elle est caractérisée par une saison des pluies qui débute en général à la fin du mois de mai et prend fin au début du mois d'octobre avec un maximum au mois d'août - septembre. La température est assez élevée entre Mars et Mai (35° C) et est faible entre Décembre et janvier(21° C).

Du point de vue géologique et Hydrogéologique, les coupes réalisées à différents endroit de la ville montre une alternance de sables et d'argiles ainsi que la présence de sols intermédiaires (argile sableuse ou sable argileux) ; cependant l'épaisseur des couches d'argiles de surface est variable (BRGM, 1967 ; Schneider et Wolff, 1992) .

Au niveau de N'Djaména, les nappes sont alimentées par le fleuve Chari (Schneider, J.L.; Wolff, J.P., 1992; Djoret, 2000). L'alimentation de la nappe superficielle peut se faire directement par les eaux de pluie et les eaux stagnantes accumulées dans des dépressions. (Djoret, 2000). Des études précédentes ont fait état de la détérioration de la qualité des eaux souterraines (BRGM, 1988 ; Djoret, 2000) . Pour préciser cette pollution nous nous sommes, dans un premier temps, intéressés plus particulièrement aux chlorures et nitrates ; en effet, dans les grandes métropoles urbaines peu ou non assainies, les chlorures peuvent-être de bons indicateurs de pollution anthropique et animale (Joseph et Boureima, 1988a) au même titre que les nitrates. Ces éléments ont déjà été utilisés conjointement pour préciser certains types de pollution (BGS, 1996).

MATERIELS ET METHODES

Pour la réalisation de cette étude, nous avons effectué 4 campagnes de prélèvements, dans des puits et forages au début (mai 2002) et au cœur (août-septembre 2001 et août 2002) de la saison des pluies. Les points échantillonnés sont indiqués sur la figure I.

Les paramètres physico-chimiques ont été déterminés in situ. La profondeur de l'eau a été mesurée à l'aide d'une sonde piézométrique sonore. Le pH et la température ont été mesurés en utilisant une électrode mixte pH 323/S et B et la conductivité grâce à l'électrode Lf 318/Set. Pour les bicarbonates, nitrates et nitrites les mesures ont été faites par dosage à l'acide sulfurique pour le premier et par colorimétrie pour les deux derniers.

Les échantillons devant être analysés au laboratoire ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène après avoir été filtrés et acidifiés pour les cations. Quelques analyses chimiques (août 2001 et mai 2002) ont été réalisées au laboratoire de l'Eau et de l'Environnement (LABEEN) de l'Université de N'Djaména ;le calcium, magnésium et chlorure ont été dosés par titrimétrie, les sulfates par photocolorimétrie, le sodium et potassium au moyen d'un spectromètre d'absorption atomique à flamme.

Les analyses complémentaires (septembre 2001 et août 2002) ont été réalisées au Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse (LHA), en utilisant le spectromètre d'absorption atomique et le chromatographe de type Dionex pour l'analyse respective des cations et des anions. Tous les échantillons ayant une balance supérieure ou égale à ± 7% ont été éliminés.

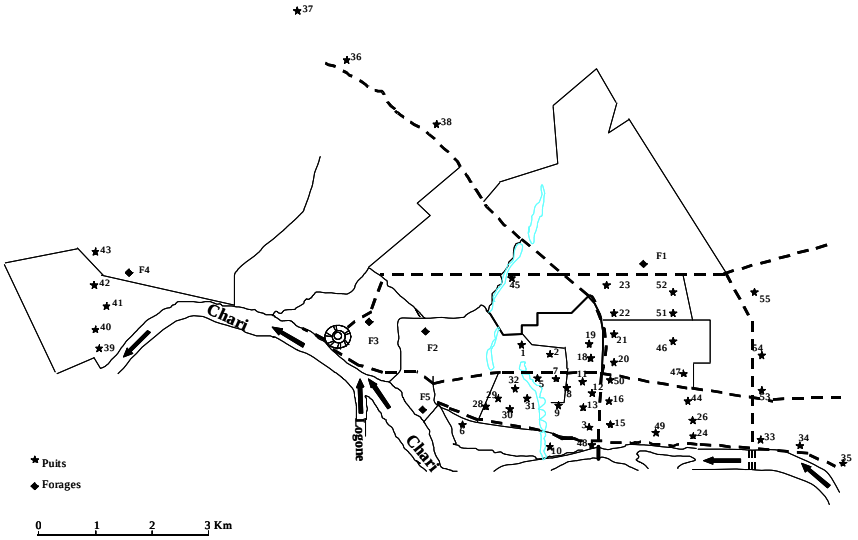


Figure I : Localisation des points échantillonnés (55 points)

RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenues sont récapitulés dans le tableau ci dessous

Tableau I : Résumé statistique des résultats des mesures physico-chimiques (4 analyses par points)

	T° C	pH	TDS (mg/l)	HCO_3^- (mg/l)	Cl^- (mg/l)	NO_2^- (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	SO_4^{--} (mg/l)	Ca++ (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	Na^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)
Minimum	20.8	6.3	69	43.2	0.25	0	0	0	7.61	0.73	4.73	0.94
Maximum	32.1	7.59	1919	808.8	253	1.15	354.0	90.41	171	31.46	517.4	25.97
moyenne	30.46	6.95	305.5	178.9	17.27	0.23	21.05	7.39	39.06	7.90	27.14	6.61
Mediane	30.5	6.95	263	165.6	5.13	0.07	2.20	4.63	34.1	6.63	18.7	5.78
Ecart-type	0.55	0.29	216.5	93.29	30.3	0.323	46.88	10.52	24.78	5.47	46.23	4.0

D'une manière générale, les paramètres physico-chimiques varient largement; la conductivité varie de 97 à 2450 µS/Cm . En dehors de certaines valeurs particulièrement élevées, les conductivités sont dans leur majorité relativement faibles et les eaux ont alors un faciès bicarbonaté calcique à sodi-potassique ; les points plus minéralisés ont tendance à évoluer vers un faciès plutôt chloruré calcique (figure II A) ; de ce fait les valeurs de conductivité élevées auraient un rapport avec la pollution par les latrines ou les ordures ménagères. Les eaux de forages toutes captées dans la nappe inférieure sont relativement faiblement minéralisées.

Dans les diagrammes de la figure II B et C, la conductivité semble être influencée par les nitrates et les chlorures, ce qui confirme la remarque précédente. Ces éléments sont indépendants de la profondeur du niveau piézométrique et de la distance au chari.

Le diagramme (figure III A) montrant la relation entre les nitrates et les chlorures, fait ressortir une relation entre ces deux éléments; ce graphique montre nettement deux tendances dans l'évolution des points hormis ceux qui évoluent uniquement en fonction des chlorures. Un groupe présente des teneurs en chlorures plus élevées, cependant dans les deux cas une relation entre chlorures et nitrates indique que ceux-ci proviennent, au moins pour partie, d'une même source de pollution (Kehew et al,1996; Pacheco et Cabrera, 1997; Hudak et Blanchard, 1997; in Hudak,P.F., 1999) ; par ailleurs pour ces groupes de points on note l'influence conjointe des chlorure et du sodium (figure III B). Comme il a déjà été souligné par Djoret (2000), les puits enrichis par ces deux éléments ont pour origine les déchets urbains riches en NaCl. Dans cette étude, il ressort que des puits pollués par les latrines peuvent avoir aussi des teneurs élevés en sodium.

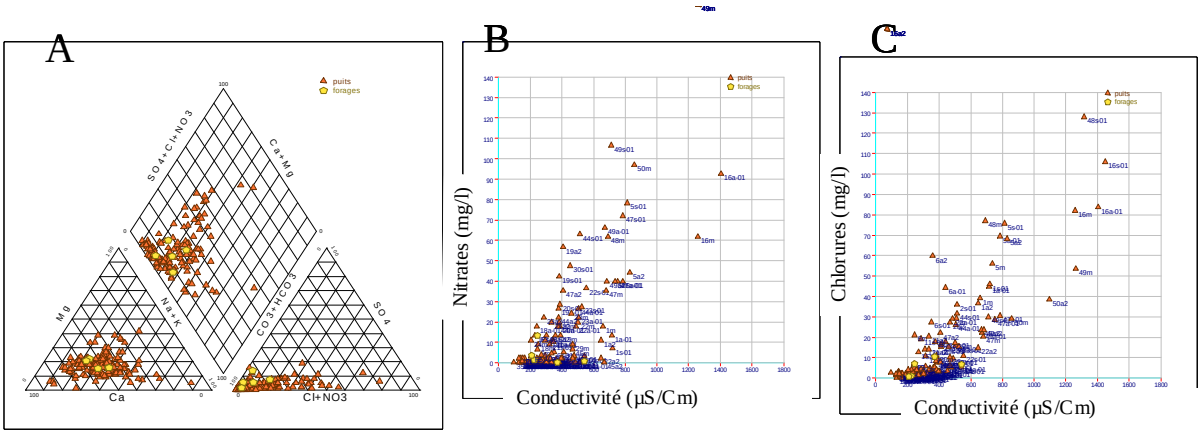


Figure II

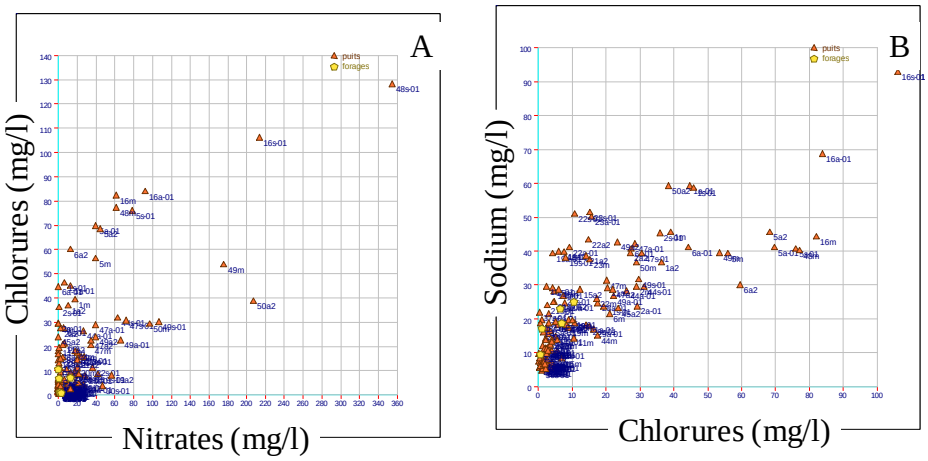


Figure III

La répartition spatiale des teneurs et des rapports entre éléments montre une grande dispersion au sein de l'aquifère, et les zones à teneurs élevées sont très localisées, faisant ressortir ainsi les sources variables d'apport des nitrates et des chlorures.

Nous remarquons que certains points comme les points 1, 5, 16, 44, 47 ou encore 48 s'enrichissent en polluants surtout au cœur de la saison des pluies (août – septembre). Cette évolution est à mettre en relation avec a position géographique des points. Les points 1 et 5 se trouvent à proximité du canal et il est probable que l'eau de ce dernier se soit infiltrée polluant ainsi ces points d'eau. Quant aux points 44 et 47, ils ont sans doute subit l'influence de l'eau ayant stagné dans les dépressions et qui se serait infiltré. Notons que le canal et les dépressions qui se trouvent dans la ville servent de zones où la population à tendance à jeter non seulement les ordures ménagères mais également les excréments humains. En ce qui concerne les points 48 et 6, situés non loin du fleuve, l'apport de polluants est probablement à mettre en relation avec un apport d'eau du fleuve vers la nappe tandis pour les points 16, 49 et 50 il serait plutôt dû à la remontée de la nappe induisant un lessivage de la zone non saturée car ils sont situés dans des zones préalablement remblayées par les ordures ménagères. L'apport de polluants a pu également se faire dans tous les points d'eau lors de la remonté du niveau piézométrique par suite du lessivage des latrines. L'évolution des points est visible aussi bien entre août et septembre 2001 qu'entre mai et août 2002 (figure II B et C).

CONCLUSION

Dans un contexte général d'eau douces, certains points apparaissent fortement minéralisés et concernent les puits les plus pollués c'est à dire ceux qui se trouvent à proximité du canal traversant la ville, a proximité des zones inondables ou encore du fleuve, et dans certaines zones ayant été remblayées au préalable par des ordures ménagères. Par ailleurs, les pics de pollution apparaissent au cœur de la saison des pluies, au moment de l'infiltration des eaux de surface ou encore lors de la montée du niveau piézométrique.

La répartition géographique très inégale des éléments indique des pollutions locales de la nappe. L'évolution spatiale et temporelle des éléments chimiques majeurs, dans le contexte hydrogéologique de Ndjaména, indique des pollutions provenant des ordures ménagères et des latrines ou encore des deux sources. Les mécanismes sont essentiellement liés aux infiltrations locales (canaux, mares..) et au fonctionnement de la nappe sous l'influence de la crue du Chari. La diversité des polluants issus en particulier des ordures ménagères rend difficile la détermination exacte des sources de pollution. Une en cours, comprenant des analyses isotopiques (pour mieux cerner le fonctionnement de la nappe) des éléments en trace et des coliformes fécaux devrait permettre de préciser ce problème.

BIBLIOGRAPHIE

1. BRGM (1988) – Etude de la vulnérabilité des nappes aquifères superficielles de N'Djaména (Tchad) et recommandations pour les aménagements.
2. BRGM (1967) – Etude Géochimique des eaux souterraines de l'Afrique de l'Ouest (Tchad), Comité Inter Africain Hydraulique (bureau technique), DAK 67 – A12.
3. British Geological Survey, Comision Nacional del Agua Potable y Alcantarillado del Municipio del Leon et Universidad Autonoma de Chihuahua (1996) - Effet of wastewater reuse on urban groundwater ressource of Leon, Mexico – Final report, p.101.
4. Djoret Daïra (2000) - Etude de la recharge de la nappe du Chari- Baguirmi (Tchad) par les méthodes Chimiques et isotopiques-Thèse, Univ. Avignon.
5. Hudack,P.F.(1999) – chloride and nitrate distributions in Hickory aquifer, Central Texas, USA-Environment International 25, 4, p.393-401.
6. Joseph, A. et Bourema, O. (1988a) – Pollution nitratée dans la nappe alluviale du fleuve Niger à Niamey, Ann. Univ. Niamey, III, p.129
7. Schneider JL, Wolff JP (1992)- Carte géologique et cartes hydrogéologiques à 1/1 500 000 de la République du Tchad, mémoire explicatif, document du BRGM, n° 209, vol 1.
8. Schneider JL, Wolff JP (1992)- Carte géologique et cartes hydrogéologiques à 1/1 500 000 de la République du Tchad, mémoire explicatif, document du BRGM, n° 209, vol 2.
9. Tandia,A.A ; Diop,E.S. ; Gaye, C.B. (1999) – Pollution par les nitrates des nappes phréatiques sous environnement semi-urbain non assaini : exemple de la nappe de Yeumbeul, Sénégal – Journal of African Earth Sciences 29, 809-822.

Qualité microbiologique et physico-chimique des eaux des puits et des sources de la région d'Oum-El-Bouaghi

HOUHAMDI Moussa[1], MEBARKI Chahnez[2] et ABBACI Sameh[3]

[1]Département de biologie,Université de Guelma. E mail: houhamdimoussa@yahoofr

[2]Polyclinique Cité Attoui, El-Hadjar.

[3]Département de b*iologie, Université de sétif. Email:gasteropodes_7@yahoo.fr*

INTRODUCTION

L'eau est indéniablement un bien précieux elle constitue une source unique offerte à de multiples usages. Elle est à la fois une source naturelle, un facteur de production et un patrimoine. Sous la pression des besoins considérables de la civilisation moderne, a lieu une expansion insidieuse de la demande en eau. Parallèlement à cette expansion, le problème de pollution est devenu très vaste, complexe et quelque soit son origine est partout un sujet d'actualité.

En effet, l'élévation de l'indice démographique enregistré dans le monde entier, l'implantation d'industries variées dans tous les territoires impliquent une augmentation considérable de la pollution des eaux. Du point de vue microbiologique, les eaux résiduaires urbaines sont très chargées en germes intestinaux, dont beaucoup sont des pathogènes et dés qu'un affluent contenant une proportion plus ou moins importante de matière fécales humaines, pénètre dans un environnement aquatique, les germes pathogènes et les indicateurs fécaux sont transférés à ce dernier et se diluent (Larpent et Larpent-Gourgand 1985). Leur croissance est étroitement liée aux conditions de milieux (richesse en matières organiques facilement biodégradables, température…..). Le fait que les bactéries intestinales sont aéro-anaérobies facultatifs, elles peuvent supporter différentes conditions des milieux aquatiques aussi bien en eau superficielle que souterraines (Pechère 1979). Ainsi, le contrôle régulier des eaux destinées à la consommation est devenu une obligation quotidienne.

MATERIEL ET METHODES

L'importance de l'eau dans l'économie humaine ne cesse de croître et l'approvisionnement en eau douce devient de plus en plus difficile. Ainsi une utilisation rationnelle de l'eau deviens une nécessité. L'analyse et le contrôle régulier des eaux de surface et souterraines deviens une obligation. Elle est inscrite dans le tableau des urgences de l'OMS. (Le Minor et Veron 1992)

Dans notre étude nous avons réalisés des analyses de routines (dénombrements des microorganismes, des coliformes, des coliformes fécaux et des streptocoques du groupe D) de sept puits et de quatre sources prés de la ville d'Oum El-Bouaghi selon des techniques décrites dans la littérature scientifique (Senez 1969, Frobichère 1976, Feron 1994, Guiraud 1998). Ces points d'eau sont très utilisées par les habitants dans toutes leurs fonctions ménagères

RESULTAS ET DISCUTION

Le milieu aquatique naturel est soumis à une longue série de perturbations qui s'exerce quotidiennement sur ces composantes. L'action de la pollution se traduit par des modifications physico-chimiques de la qualité de l'eau comme l'abaissement du taux d'oxygène dissous ou encore par l'augmentation des matières en suspension qui favorise le développement des bactéries, des champignons et des algues. Cette pollution peut entraîner la prolifération des microorganismes qui à leur tour peuvent être à leur tour une source de contagion. Dans les eaux naturelles les paramètres physico-chimiques tels que le pH, l'acidité ou l'alcalinité, la température ne doivent pas excéder un certain seuil de sécurité, car elles peuvent entraîner une modification des caractéristiques de ces eaux conduisant ces dernières à engendrer une véritable menace de santé publique.

Les résultats de l'analyse effectuée sur les eaux de sept puits et de quatre sources a montrée quant aux nombre de germes totaux une différence nette entre les eaux de puits et les eaux des sources. Les puits dont la majorité sont des forages utilisées en agriculture présentent des dénombrements de germes totaux, de coliformes, de coliformes fécaux et de streptocoques fécaux) très élevés, exposant leurs véritables menaces pour la santé humaine et animale. Les eaux des sources présentent des dénombrements nettement plus faibles que les premières mais restent quand même des eaux impropres à la consommation et à l'utilisation ménagère (Fig.1). en se basant sur ces analyses, seule, les sources numéros 2, 3 et 4 présentent des indices de contaminations fécales assez faibles et peuvent de ce fait être consommer et utiliser à des fins ménagers. La source numéro 1 présente des valeurs de germes totaux et de coliformes fécaux assez élevés. Ceci est due à sa situation près de la ville. D'ailleurs, elle sert d'abreuvoir pour les cheptels des berges en fin des après midis.

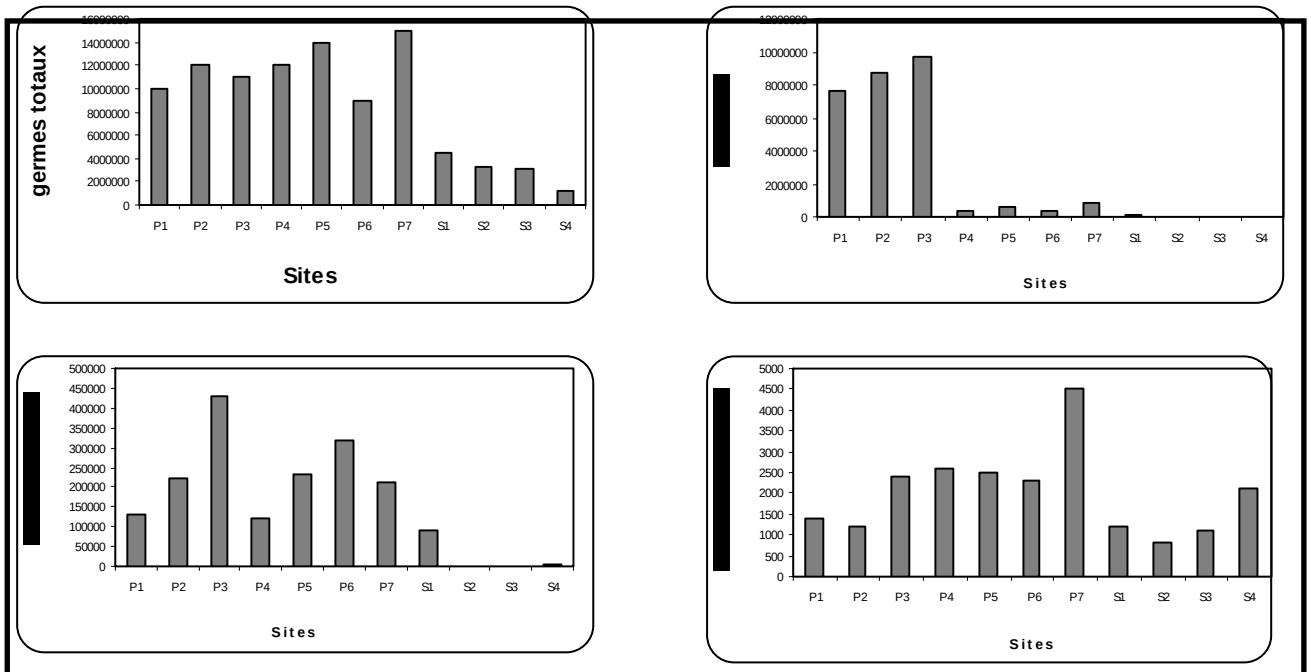


Figure1: Dénombrement des germes, coliformes, coliformes fécaux et des streptocoques fécaux dans les eaux des puits et des sources

Tableau 1: Liste des espèces identifiées dans les eaux des puits et des sources de la région d'Oum-El-Bouaghi

	P1	P2	P3	P4	P5
Bactéries Gram positives	*S. epidermidis* *S. saprophiticus*	*S. epidermidis* *S. aureus*	*S. epidermidis* *S. saprophiticus* *S. aureus*	*S. epidermidis* *S. saprophiticus* *S. aureus*	*S. epidermidis* *S. saprophiticus*
Bactéries Gram négatives	*E. coli* *E. adecarboxylata* *Proteus mirabilis* *Providencia* *Klebseilla oxytoca* *Enterobacter colacae* *Enterobacter agglomerans* *Serratia marcessans* *Edwarseilla*	*E. coli* *E. adecarboxylata* *Proteus mirabilis* *Providencia* *Klebseilla oxytoca* *Enterobacter colacae* *Enterobacter agglomerans* *Serratia marcessans* *Corynebacterium*	*E. coli* *E. adecarboxylata* *Proteus mirabilis* *Providencia* *Klebseilla oxytoca* *Enterobacter colacae* *Enterobacter agglomerans* *Serratia marcessans* *Schigella flexnerii*	*E. coli* *E. adecarboxylata* *Proteus mirabilis* *Providencia* *Klebseilla oxytoca* *Enterobacter colacae* *Enterobacter agglomerans* *Serratia marcessans* *Salmonella typhymirium*	*E. coli* *E. adecarboxylata* *Proteus mirabilis* *Providencia* *Klebseilla oxytoca* *Enterobacter colacae* *Enterobacter agglomerans* *Serratia marcessans*
Bactéries Gram négatives non Entérobactéries	*Pseudomonas fluorescans* *Pseudomonas aerugenosa*	*Pseudomonas fluorescans* *Pseudomonas aerugenosa*	*Pseudomonas fluorescans* *Pseudomonas aerugenosa*	*Pseudomonas fluorescans* *Pseudomonas aerugenosa*	*Pseudomonas fluorescans*

P6	P7	S1	S2	S3	S4
S. epidermidis *S. saprophiticus*	*S. epidermidis* *S. saprophiticus*	*S. epidermidis* *S. saprophiticus*	*S. epidermidis* *S. saprophiticus*	*S. epidermidis* *S. saprophiticus*	*S. epidermidis* *S. saprophiticus*
E. coli *E. adecarboxylata* *Proteus mirabilis* *Providencia* *Klebseilla oxytoca* *Enterobacter colacae* *Enterobacter agglomerans* *Serratia marcessans*	*E. coli* *E. adecarboxylata* *Proteus mirabilis* *Providencia* *Klebseilla oxytoca* *Enterobacter colacae* *Enterobacter agglomerans* *Serratia marcessans*	*E. coli* *E. adecarboxylata* *Providencia* *Klebseilla oxytoca* *Serratia marcessans* *Enterobacter agglomerans*	*E. coli* *E. adecarboxylata* *Providencia* *Klebseilla oxytoca* *Serratia marcessans* *Enterobacter agglomerans*	*E. coli* *E. adecarboxylata* *Providencia* *Klebseilla oxytoca* *Serratia marcessans* *Enterobacter agglomerans*	*E. coli* *E. adecarboxylata* *Providencia* *Klebseilla oxytoca* *Serratia marcessans* *Enterobacter agglomerans*
Pseudomonas fluorescans	*Pseudomonas fluorescans*	*Pseudomonas fluorescans*		*Pseudomonas fluorescans*	

La recherche de microorganismes dans tous ces milieux nous a amené à isoler un grand nombre de germes pathogènes pouvant causer des maladies redoutables (Tab.1). Ces bactéries identifiées grâce à leur machineries enzymatiques sont inscrits sur la liste rouge des cliniciens. Nous citons à titre d'exemple *Staphylococus aureux* responsable des septicémies animales, sa présence induit directement la javellisation des eaux, *Pseudomonas aeruginosa* et *P. Fluorescans* très redoutés dans les infections nosocomiales (Pechère 1979). Ces germes résitent à différents polluants chimiques et s'adaptent rapidement aux conditions de milieux où elles se trouvent (Guiraud 1998).

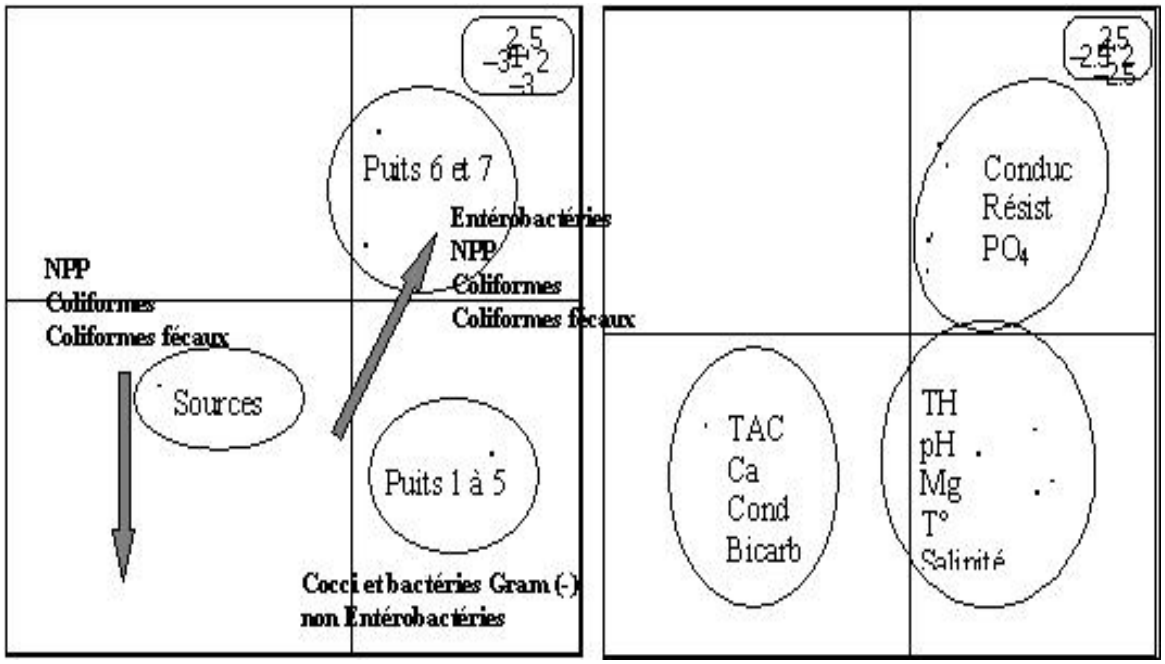


Figure2. Plan factoriel 1x2 de l'AFC des résultats des dénombrements microbiens des eaux de sept puits et de quatre sources de la régions d'Oum El-Bouaghi. (0.76, 0.12, 0.8 et 0.3)

L'analyse statistique multivariable exprimée dans le plan factoriel 1x2 de l'analyse factoriel des correspondances qui détient plus des trois quarts de l'information nous montre d'une part une nette opposition par rapport à l'axe des ordonnées des eaux de sources des eaux des puits. Les premiers sont caractérisées par des dénombrements (NPP ou MPN, coliformes et coliformes fécaux) assez faibles et les seconds sont divisés selon l'axe des abscisses en deux sous groupes. Le premier rassemble les cinq premiers puits dont l'eau est contaminée par la présence de bactéries *cocci* et des bactéries Gram (-) non *Enterobacteriaceae* pathogènes et de ce fait impropre à la consommation et un second sous groupe rassemblant les deux autres puits caractérisés par une eau présentant des indices de contamination fécale assez élevés. Ainsi, l'axe des ordonnés différencie entre les eaux riches et les eaux pauvres en microorganismes et l'axe des abscisses indique la présence ou l'absence de germes pathogènes.

CONCLUSION

Les eaux des puits et des sources de la région d'Oum El-Bouaghi sont très riches en microorganismes en suspension et de ce fait présentent une mauvaise qualité bactériologique puisqu'elles renferment des streptocoques, staphylocoques et des bactéries non Entérobactéries Gram (-) pathogènes. Ces eaux restent encore impropres à la consommation et nécessitent des contrôles réguliers de routine (colimétrie et recherche microbiologique détaillée) afin d'éviter de grandes catastrophes.

BIBLIOGRAPHIES

1. Feron A. (1984). Bactériologie médicale à l'usage des étudiants en médecine. *C et R*. 375p.
2. Frobicher F. (1976). Microbiologie clinique. *HRW*. 507p.
3. Guiraud J-P. (1998). Microbiologie alimentaire. *Dunod*. 652p.
4. Larpent J-P. et Larpent-Gourgaud M. (1985). Manuel pratique de microbiologie. *Hermann collection.* 230p.
5. Le Minor L. et Veron M. (1992). Microbiologie générale. *Doin*. 592p.
6. Pechère J-C. (1979). Connaître, comprendre, traiter les infections. *Edisem*. 509p.
7. Senez J. (1969). Bactériologie médicale. *Flammarion Médecine Science*. 773p.

CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE DES LIXIVIATS DE LA DECHARGE PUBLIQUE D'EL-KERMA

T.BENNAMA , A.DEBAB , Z.DERRICHE

Laboratoire de Physico-chimie des Matériaux, Catalyse et Environnement
Faculté des Sciences – Département de Chimie Industrielle
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran–Mohamed Boudiaf
BP 1505 El-M'naouar 31036 Oran (Algérie)
Tel./Fax : 213.(0)41.42.57.63 ; E-mail :bennama@univ-usto.dz

INTRODUCTION

La mise en décharge de résidus urbains et de certains déchets industriels constitue, souvent, la solution économiquement la plus intéressante et techniquement la plus simple ; l'un des inconvénients majeurs de cette technique est de pouvoir conduire à la production d'effluents liquides, comparables à des rejets industriels complexes, appelés communément lixiviats ou jus de décharge, recueillis dans le sol et qui sont chargés de substances polluantes, à la fois organiques et minérales, extrêmement toxiques [1].

Confrontés à ce problème, et dans le cadre de la réhabilitation de la décharge publique d'El-Kerma de la ville d'Oran, nous avons entrepris un programme de recherche sur la caractérisation physico-chimique et bactériologique des lixiviats bruts ; en analysant cinq échantillons différents, prélevés à partir de cinq zones de lixiviats existantes dans toute la décharge.

Les lixiviats peuvent atteindre la nappe phréatique et ainsi se propager dans d'autres milieux. Ils peuvent donc engendrer des pollutions et des dysfonctionnements dans les écosystèmes voisins (notamment en intégrant la chaîne alimentaire par leur accumulation dans les végétaux). En effet, ils doivent nécessairement subir un traitement avant leur rejet dans le milieu naturel [2,3].

PRODUCTION DE LIXIVIATS

La décharge n'est pas un milieu inerte. Pendant de nombreuses années les déchets entreposés vont réagir entre eux de manière complexe sous l'action des agents atmosphériques (la pluie en particulier) et des micro-organismes. Les lixiviats sont produits par le contact entre les déchets et l'eau [3] : essentiellement l'eau de pluie, et l'eau contenue dans les déchets.

Les décharges produisent des lixiviats lorsque la capacité de rétention en eau des déchets est dépassée. La formation des lixiviats met en jeu de nombreux phénomènes. En simplifiant, on peut distinguer quatre phases [4] :

- La première est une phase d'hydrolyse au cours de laquelle les longues chaînes de matières organiques contenues dans les déchets sont attaquées par des enzymes et des bactéries. A la fin de cette phase, on obtient un mélange de sucres simples, d'acides aminés ou d'acides gras solubilisés.
- La seconde étape est une phase d'acidogénèse. Durant cette étape, les produits précédents sont transformés par d'autres bactéries soit en acide acétique, soit en alcools et acides gras volatils.
- La troisième phase est une acétogénèse qui est le résultat de l'action d'organismes en anaérobie. Ils transforment les acides gras volatils et les alcools en acétates, gaz carbonique et hydrogène.
- La dernière phase est une phase de méthanogénèse qui se déroule en anaérobie. A partir de l'acide acétique et du méthanol il y a formation de gaz carbonique et de méthane.

Cette évolution dépend de la nature des déchets, de leur état de division, de leur humidité, de la température ambiante, du pH,…

CARACTERISATION ET COMPOSITION DES LIXIVIATS

De nombreux facteurs influent sur la quantité et la qualité des lixiviats [4] : des conditions climatiques (précipitation, évapotranspiration,…) ; la nature du déchet, des conditions d'exploitation : le mode d'enfouissement, site de stockage des déchets et le matériau de la couverture finale, des phénomènes de réactions physiques, chimiques et biologiques, qui s'opèrent dans la masse des déchets et génèrent les lixiviats en fonction de l'âge des déchets.

D'une manière générale, les lixiviats comportent une fraction minérale ; on trouve notamment de l'azote, du fer, du zinc, du manganèse ainsi que des métaux lourds et des sels minéraux.
Il y a également une fraction organique qui regroupe les acides gras volatils et les matières en suspension. De plus, il y a parfois présence de bactéries pathogènes, principalement dans les jeunes lixiviats, qui présentent alors un risque sanitaire. Cependant la composition des lixiviats est fonction des déchets enfouis mais aussi des conditions climatiques et surtout de l'âge de la décharge [2].

ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES DES LIXIVIATS

Afin de pouvoir déterminer la composition physico-chimique et bactériologique des lixiviats de la décharge d'El-Kerma (Oran), nous avons effectué les analyses de cinq échantillons différents, prélevés à partir des cinq zones de lixiviats existantes dans toute la décharge (photos 1 à 5), et les résultats obtenus sont reportés dans le tableau ci-après :

Points de prélèvement des lixiviats 1, 2, 3, 4 et 5 de la décharge d'El-Kerma

Résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des lixiviats
de la décharge publique d'El-Kerma

PARAMETRE	LIXIVIAT1	LIXIVIAT2	LIXIVIAT3	LIXIVIAT4	LIXIVIAT5	NORME ALGERIENNE [6]
Température °C	23,3	23,4	24,2	23,1	23,2	30
pH	6,270	6,800	7,390	7,024	6,825	5,5–8,5
Conductivité µS/cm	90900	115400	96700	108800	92500	/
Turbidité NTU	33,6	0,001	0,001	22,5	22,6	/
MES mg/l	7420	10400	13882	6280	5914	30
DCO mg/l	780,0	1136,6	1230,0	783,3	828,3	120
DBO_5 mg/l	200	135	120	75	150	40
Azote ammoniacal mg/l	0,104	0,91	0,477	0,035	0,068	40
Nitrates mg/l	0,178	0,259	0,275	0,027	0,075	20
Nitrites mg/l	0,918	0,832	0,675	0,626	0,972	0,1
Phosphates mg/l	1,101	0,732	1,201	0,685	1,242	2
Chlorures mg/l	3550	2660	2660	3550	5320	200
Cadmium mg/l	0,50	0,20	0,07	0,60	0,3	0,2
Chrome mg/l	3,263	3,097	4,540	2,360	3,430	0,5
Fer mg/l	723	512	560	880	760	5
Zinc mg/l	99	50	12	123	125	5
Plomb mg/l	0,90	0,92	0,23	0,45	0,07	1
Manganèse mg/l	111	409	125	92	125,5	1
Coliformes fécaux /100ml	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	/
Streptocoques fécaux /100ml	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	/

DISCUSSION DES RESULTATS

Partant de l'hypothèse qui pose que les jus de décharge ou lixiviats sont comparables à des rejets industriels complexes contenant à la fois des substances contaminantes : organiques et inorganiques (d'après M. PARVEAU, 1993 [1] ; J. D. KEENAN et al., 1983 [7]). On peut tirer, à partir du tableau des résultats physico-chimiques et microbiologiques des lixiviats bruts de la décharge publique d'El-Kerma, qui étaient de couleur noir et d'odeur fécaloïde, les constatations suivantes :

- Compte tenu que la conductivité de ces échantillons est assez élevée, ce qui nous laisse présumer la présence d'une forte charge ionique. Hormis les lixiviats 2 et 3 qui sont considérés comme des points aberrants, les turbidités des autres échantillons (1, 4 et 5) sont importantes. Cela est expliqué par le fait du non pénétration de la lumière qui a donné naissance au développement d'algues marron indiquant un déséquilibre biologique, confirmé par la concentration élevée des matières en suspension (MES).

- La demande chimique en oxygène (DCO) révélée dans les lixiviats dépasse toute valeur acceptable. En effet, elle est au moyenne plus de 7 fois la norme algérienne des rejets industriels [6], qui est de l'ordre de 120mg d'O_2/l. Quant à la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours d'incubation (DBO_5), décelée dans les différents échantillons de lixiviats, dépasse la norme admise qui est de l'ordre de 40mg d'O_2/l. Toutefois, la concentration réelle de la DBO_5 demeure plus élevée par rapport aux valeurs trouvées, car le milieu est chargé en toxiques.

- A propos des nitrites, nous trouvons que les teneurs dépassent la norme acquise plus de 7 fois environ. Comme le pH du milieu, dont la température est moyennement ambiante, s'avère neutre alors, la présence des nitrites indique l'identité de nos échantillons qui sont similaires aux rejets industriels.
- Les lixiviats de cette décharge sont chargés en chlorures (Cl^-) dépassant ainsi la norme admise qui est de l'ordre de 200 mg/l. Cela s'explique d'une part, par la forte teneur ionique (conductivité élevée)

et d'autre part, par la nature argileuse du sol (laboratoire de travaux publics de l'ouest-Oran). Sachant que généralement les argiles ont un pouvoir d'échange cationique, c'est-à-dire le refus des espèces anioniques. Les concentrations des métaux lourds : cadmium, chrome, fer et zinc sont au-delà de la norme admissible; soit de 0,2, 0,5, 5 et 5mg/l respectivement, à l'exception des lixiviats 2 et 3 pour le cadmium où elles sont inférieures à la norme. Quant au plomb, sa teneur se trouve dans la limite de la norme. Par conséquent, la présence des métaux lourds dans nos lixiviats est assez amère. Ils inhibent le développement microbien et interfèrent les résultats représentatifs de la DBO_5.

- Il est à noter que la concentration des nitrates, des phosphates et de l'azote ammoniacal, dans les cinq échantillons de lixiviats, est extrêmement acceptable vis-à-vis du seuil requis de la norme algérienne des rejets industriels. Concernant les résultats des analyses bactériologiques, il est à remarquer que pour les deux espèces microbiennes : les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux, indicateurs de pollution de premier rang dans les jus de décharge, le taux est supérieur à 1100 germes par 100ml d'échantillon. Cette valeur est loin de celle de la littérature [1], où les taux des coliformes et des streptocoques fécaux sont de l'ordre de 17. 10^6 et de 5. 10^5 germes par 100ml de lixiviat brut respectivement. Cet écart est probablement dû, comme nous l'avons déjà mentionné, à la présence d'une forte charge de métaux lourds, qui empoisonnent la flore bactérienne et inhibent son développement.

CONCLUSION

La réhabilitation de la décharge publique d'El-Kerma de la ville d'Oran a pour but d'éliminer ou de réduire les impacts sur l'environnement mis en évidence par la phase de diagnostic. Il s'agit de définir et d'hiérarchiser les objectifs de la réhabilitation et du réaménagement du site, par rapport à la protection des eaux de surface, des eaux souterraines, du milieu environnant, des habitants à proximité,…

Dans cette optique, Les résultats de la caractérisation physico-chimique des lixiviats bruts de la décharge d'El-Kerma, nous avons permis de constater une double pollution : une pollution organique traduite par une forte charge de la DCO et la DBO_5; par exemple pour le lixiviat2, la DCO est de l'ordre de 1137mg d'O_2/l et la DBO_5 est de l'ordre de 200mg d'O_2/l pour le lixiviat1, et une pollution minérale exprimée par une valeur de 4,5mg/l de chrome dans le lixiviat3, de 880mg/l de fer dans le lixiviat4 et de 125 mg/l de zinc dans le lixiviat5. Il est donc indispensable de traiter ce jus de décharge pour éviter tout risque de contamination du milieu par canalisation des eaux de surface et drainage de ces lixiviats.

BIBLIOGRAPHIES

1. M. PARVEAUD, Le traitement des lixiviats par osmose inverse, L'eau, L'industrie, Les nuisances, N°162, mars 1993, pp. 48-50.
2. A. AMOKRANE, Epuration des lixiviats de décharge : prétraitement par coagulation floculation, traitement par osmose inverse et post-traitement par incinération. Thèse doctorale, Institut national des sciences appliquées INSA, Lyon, 1994.
3. G. C. PILLAY, Etude des propriétés d'absorption des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères : application à l'épuration des lixiviats de décharge. Thèse doctorale, Institut national des sciences appliquées INSA, Lyon, 1985.
4. G. BATSCH et al., Résidus urbains (volumes 1et 2). Techniques et documentations, Lavoisier, Paris, 1985.
5. R. GILLET, Traité de gestion des déchets solides (volume1). OMS, PUND, Copenhague, 1985.
6. Décret exécutif N° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels. Journal officiel de la république algérienne, 1993.
7. J. D. KEENAN and al., Chemical-physical leachate treatment. Journal of Environmental Engineering, vol. 109, No. 6, December, 1983, pp. 1371-1384.

COMPORTEMENT DES POLLUANTS NATURELS ET URBAINS DANS LES EAUX DE SURFACE DE OUED RHUMEL.

BOUDOUKHA Abderrahmane et GUERAICHE Zouaoui
Laboratoire d'hydraulique appliquée
Département d'hydraulique
Université de Batna
E-mail : **boudoukha_abderrahmane@yahoo.fr**
Tel/Fax 0 36 86 67 97.

INTRODUCTION

La connaissance de la concentration totale d'un élément dans le milieu naturel est nécessaire mais en général insuffisante pour comprendre la majeure partie du phénomène qui gouverne les processus permettant au milieu de conserver son équilibre. Le but de cette approche est de montrer que, par un traitement statistique adéquat des résultats analytiques recueillis, il est possible de caractériser le comportement individuel de chacun des éléments étudiés. Ce travail est donc une contribution à l'étude du comportement des éléments majeurs et des nutriments dans les eaux de surface de Oued Rhumel-Kébir contrôlé par le barrage de Beni Haroune.

MATERIEL ET METHODES

La qualité des eaux de surface a fait l'objet d'un suivi au pas mensuel et annuel par les services de l'ANRH de Constantine le long de Oued Rhumel-Kébir sur une longue période. En ce qui nous concerne, nous nous sommes intéressé qu'au laps de temps allant de Janvier 2000 à Décembre 2004. Ce suivi a comporté essentiellement sur les éléments majeurs y compris les nutriments (Ca, Mg, Na, K, SO4, HCO3, NO3, No2 et NH4). . Près d'une centaine d'échantillons ont été prélevés au niveau de deux stations ; Ain Smara à l'amont et El Milia à l'aval. Tableau 1.

Tableau n°1 : Teneurs moyennes sur 30 à 36 échantillons des paramètres physico-chimiques au niveau des stations de Ain Smara et El Milia.

	PH	RS g/l	Ca mg /l	Mg mg /l	Na mg /l	K mg /l	Cl mg /l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	NH4 mg/l	PO4 Mg/l
Ain Smara	8.2	1278	141	74	154	15	220	398	322	17	4	7	4
El Milia	8.2	1378	127	80	209	8	322	404	266	19	1	3	2

Ces analyses ont permis d'étudier la variabilité spatio-temporelle de la qualité de ces eaux destinées à l'AEP et à l'irrigation. La taille de l'échantillon de ces analyses a permis d'abord le problème surtout d'une manière qualitative à l'aide d'ACP .

RESULTATS ET DISCUSSIONS.

Cette approche statistique a été abordée à l'aide d'une analyse en composantes principales (ACP). Nous avons utilisé deux tableaux de 30 à 36 individus et de 12 variables et plus de 73 % de la variable ont pu être exprimés. Tableau 2.

Tableau 2 : Contribution à l'inertie en %.

Facteur	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3	Variance totale
Ain Smara	54.3	12.2	10.2	76.7
El Milia	49.9	12.6	11.0	73.5

L'examen des plans F_1/ F_2 des deux stations montre que :

- le facteur 1 est lié à la minéralisation où le résidu sec est fortement lié aux éléments salifères tel que le Na, Cl et SO4 parfois les éléments carbonatés. Ces éléments sont à lier aux formations marno-gypseuses du Crétacé-Eocène qui occupent une part non négligeable du bassin et aux formations calcaires du Cénomanien. Cette liaison de la minéralisation avec le facteur 1 est beaucoup plus forte à l'aval du bassin suite à une augmentation de la salinité par concentration ;

- D'amont en aval, le facteur 2 montre une compétition beaucoup plus entre les nutriments. Ainsi, ce facteur montre une opposition entre les nitrates et les nitrites aven une influence magnésienne. Ceci est du à la présence d'un important affleurement calcaire magnésien des Djebel Guerioune, Fortas, … à l'amont . . Par contre l'ammonium n'a aucune influence dans cette zone amont Plus à l'aval, le magnésium est remplacé par les bicarbonates. A l'amont, les nitrites n'ont déterminés par aucun facteur suite à leur caractère instable, par contre l'effet de l'ammonium et des phosphates s'ajoute à celui des nitrates qui persiste.
- les phosphates sont liés à la minéralisation dans la partie amont, donc probablement d'origine naturel, alors que dans la partie aval ils sont liés aux nutriments ce qui laisse supposer une influence urbaine dans cette zone.

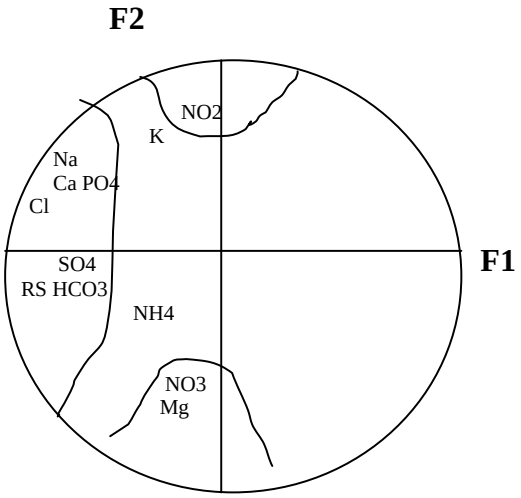


Fig. 1 : Espace des variables selon le plan F1/F2 au niveau de la station de Ain Smara

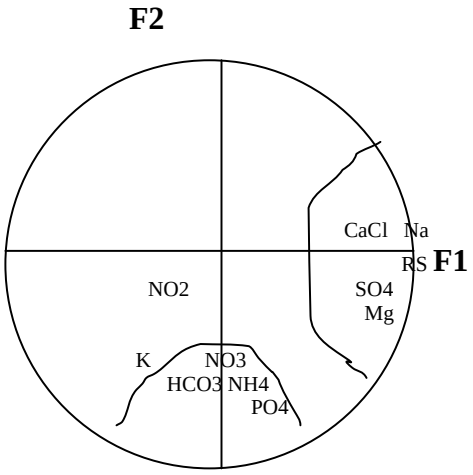


Fig. 2 : Espace des variables selon le plan F1/F2 au niveau de la station d'El Milia.

CONCLUSION

Ces résultats montrent que les méthodes analytiques multidimentionnelles des données, sont d'une aide précieuse dans l'interprétation des résultats analytiques. Ainsi ont a pu dissocier deux types de pollution, l'une naturelle qui s'accentue d'amont en aval , l'autre urbaine qui commence à se sentir dès l'apparition de l'écoulement à l'amont.

BIBLIOGRAPHIE

1. OUDDANE B., FISCHER J.C. et WARTEL M. 1992, Evaluation statistique de la répartition des métaux en traces Cd, Pb, Cu, Zn et Mn dans la Seine et son estuaire. *Cteanologica acta*-Vol. 15-N°4. pp 347-354.
2. DUINKER J.C et R.F. NOLTING 1977. Dissolved and particulate trace metals in the Rhine Estuary. *Neth. J. Sea Res. Bull.*, 8, pp 65-71.
3. FOUCART T. 1982. Analyse factiruelle. Programmation sur micro-ordinateur.*Masson.* Paris-France. 243 p.
4. OUDDANE B., 1990. Comportement des éléments majeurs et mineurs dans un milieu soumis à des gradients physico-chimiques marqués : cas de l'estuaire de la Seine. *Thèse de Doctorat, Univ. Lille. France.* 227 p.

SUIVI ANNUEL DE LA CONTAMINATION BACTERIENNE DES EAUX DE SURFACE DE LA LAGUNE DE GRAND-LAHOU, COTE D'IVOIRE.

Ama[1] A.A., Kouassi[1], A.M., Dosso[2], M, Joanny[1], T.G et Tiecoura[2], K.

[1] Centre de Recherches Océanologiques, 29 Rue des Pêcheurs, BP V 18 Abidjan, Côte d'Ivoire.
[2] Institut Pasteur de Côte d'Ivoire, BP 490, 01 Abidjan, Côte d'Ivoire.

INTRODUCTION

La lagune de Grand-Lahou, située à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, s'étend sur 50 km de long avec une superficie de 190 km^2 et une profondeur de 3 m (Lae, 1982).

Cette lagune, jadis exploitée seulement pour la pêche artisanale, est aujourd'hui soumise aux multiples activités anthropiques liées la proximité de la ville de Grand-Lahou et de la présence de nombreux villages de pêcheurs (N'Doua, 2004). Les déversements des eaux résiduaires non traitées des population riveraines dans le milieu lagunaire est susceptible d'entraîner une contamination fécale de ce milieu par l'introduction de micro-organismes telluriques (Dionisio et al ., 2000). Ces micro-organismes, introduits dans le milieu naturel, sont incapables de croître et leur taux de survie est très court, dû à l'influence de différents facteurs biotiques et abiotiques qui varient selon les types d'eau et les conditions qui y prévalent (Chamberlain et Mitchell, 1978). La mauvaise qualité bactériologique d'une eau de baignade constitue un risque sanitaire pour les baigneurs dû à la présence des microorganismes pathogènes (bactéries, virus, champignons et protozoaires). Etant donné la grande diversité des pathogènes, il apparaît difficile de les rechercher tous systématiquement d'autant plus que la plupart du temps leur recherche demande des méthodes fastidieuses et coûteuses. Les recherches sont donc orientées vers les indicateurs de pollution fécale que sont les coliformes fécaux, les entérocoques fécaux et les anaérobies sulfito-réducteurs (Kouassi et al., 1990), malgré qu'aucune corrélation directe et significative n'a encore été établie entre les indicateurs fécaux et les pathogènes (Dionisio et al., 2000). L'objectif principal de ce travail est d'évaluer la qualité bactériologique des eaux de surface de la lagune de Grand-Lahou par les dénombrements des indicateurs de pollution fécale (les coliformes fécaux, les entérocoques fécaux et les anaérobies sulfito-réducteurs) afin d'établir le niveau zéro de contamination fécale. L'influence des paramètres physico-chimiques sur l'évolution des densités bactériennes est également étudiée.

MATERIELS ET METHODES

Entre Juin 2003 à Juin 2004, des campagnes mensuelles ont été réalisées en 16 stations réparties le long de la lagune de Grand-Lahou (figure 1). Des échantillons de 100 ml d'eau ont été prélevées à 0,5 cm de la surface de l'eau. Les échantillons, devant servir aux analyses bactériologiques sont recueillis dans des flacons en verre stériles et transportés en enceintes réfrigérées (+ 4°C) et analysés aussitôt au laboratoire. Les analyses des paramètres physico-chimiques ont porté sur les mesures in situ de la salinité, de la turbidité, de la teneur en oxygène dissous, de la température et du potentiel d'oxydoréduction à l'aide d'un appareil multi-paramètre. Les analyses bactériologiques ont porté sur la recherche des coliformes fécaux (CF), des entérocoques fécaux (EF) et des anaérobies sulfito-réducteurs (ASR). Selon le degré de contamination fécale suspecté pour les CF et EF, les échantillons d'eau ont été soit concentrés sur des membranes stériles circulaires quadrillées en acétate de cellulose de diamètre 47 mm et de porosité 0.45µm (Millipore, Bedford, MA 01730), soit directement ensemencés après dilution décimale dans un milieu tampon stérile (pH 7,2). Pour les ASR, c'est la technique d'ensemencement en gélose profonde qui a été utilisée. Les différents dénombrements ont été effectués sur milieu EMB (Laboratoire AES) pour les CF, sur milieu KF (Laboratoire AES) pour les EF et sur milieu tryptone, sulfite et néomycine (TSN, Laboratoire AES) pour les ASR. Les

différentes géloses ont été incubées à 44,5°C pendant 24 heures pour les CF, à 35°C pendant 48 heures pour les EF et à 37°C pendant 24 heures pour les ASR. Chaque bactérie isolée a été, ensuite, identifiée biochimiquement selon les critères usuels par l'Institut Pasteur de Cocody de Côte d'Ivoire. Les résultats ont été exprimés en nombre d'Unités Formatrices de Colonies (CFU) pour 100 ml et ensuite transformés en logarithme X = log (X + 1).

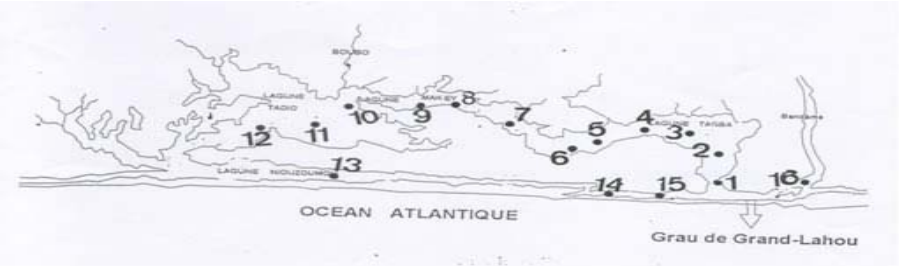


Figure 1 : Stations de prélèvement en lagune de Grand-Lahou.

RESULTATS/DISCUSSIONS

Les densités moyennes annuelles et les écart types des bactéries témoins de contamination fécale à toutes les stations sont reportés dans le tableau 2. La contamination par les CF s'avère être la plus élevée avec des moyennes logarithmiques variant de 2,55 (3,54 x 10^2 CFU/100 ml) à la station 12 et 13 à 3,43 (2,691 x 10^3 CFU/100 ml) à la station 16. Les densités moyennes annuelles des EF et des ASR sont faibles et varient respectivement de 0,60 (3 CFU/100 ml) à la station 5 à 2,44 (2,75 x 10^2 CFU/100 ml)à la station 15 pour les EF et de 1,23 (1,6 x 10^1 CFU/100 ml)à la station 12 à 2,13 (1,34 x 10^2 CFU/100 ml) à la station 9.

La salubrité des eaux lagunaires a été évaluée d'après les critères OMS/PNUE (1977). « Pour être considérées bactériologiquement satisfaisante les eaux de baignade ne doivent pas excéder des concentrations de 100 germes pour 100 ml dans 90% des échantillons ». Vis- à -vis de ces critères, les 16 stations se révèlent fortement contaminées par les CF et nettement au-dessus des normes. Les variations saisonnières des indicateurs de pollution fécale et de la salinité sont représentées sur les figures 2 et 3. Les CF et les EF évoluent corrélativement ($r = 0,42$, $p < 1\%$) et leurs variations saisonnières sont très faibles. Cependant, on observe des valeurs élevées en période de fortes précipitations (Mai/Juin) caractérisées par une faible salinité des eaux et des valeurs faibles durant la saison sèche (Décembre à Mars) ou en période océanique maximale. Les ASR ne présentent pas de variations saisonnières nettes. L'augmentation des densités des CF et EF en lagune de Grand-Lahou en période de fortes précipitations avait aussi été observée par Lanusse et Guiral (1988) en lagune Ebrié et interprétée comme résultant d'une majoration des apports anthropiques par lessivage des sols souillés et par vidange des égouts. Les saisons de pluies et de crues sont une source d'enrichissement des eaux lagunaires en sels nutritifs, ce qui prolongerait donc la vitalité de ces bactéries. De plus, les caractéristiques géomorphologiques de la lagune de Grand-Lahou (faible profondeur de 3 m, verticalement homogène, proximité d'un sédiment organique réduit susceptible de remise en suspension fréquente) sont susceptibles de favoriser la prolifération de ces germes dans le milieu

Les matrices de corrélations de Bravais-Pearson entre les indicateurs de pollution fécale et les paramètres physico-chimiques sont reportés dans le tableau 2. On observe une corrélation négative entre les températures et les EF ($r = - 0.25$, $p<5\%$), et entre les salinités et les CF ($r = - 0,21$, $p< 5\%$). On n'observe aucune corrélation entre les ASR et les paramètres physico-chimiques. La liaison négative entre salinité les indicateurs de témoins de contamination fécale avait été interprétée comme la résultante de plusieurs facteurs environnementaux : physiques, chimiques et biologiques (Garlucci et al, 1961, Gauthier et al., 1987). Actuellement ces interprétations sont remises en cause à l'issue de travaux réalisés à partir de nouvelles méthodes de dénombrement plus spécifiques (épifluorescence, immunofluorescence, …). Ces techniques ont montré que la

disparition des entérobactéries en milieu marin (dans le cas de la lagune de Grand-Lahou, la saison sèche coïncide avec la période où l'influence océanique est maximale) ne résulterait en réalité que d'une inaptitude des cellules bactériennes à se développer sur les milieux de culture sélectifs utilisés pour leur numération suite à leur mise en dormance par leur transit dans un milieu hostile (Lessard et Sieburth, 1983, Grimes et Colwell, 1986, Kouassi et al., 1990). Les paramètres physico-chimiques ne pourraient que stresser la cellule bactérienne l'empêchant de former des colonies sur un milieu de culture dans des conditions d'incubation sélectives. Ainsi, le rythme saisonnier observé en lagune de Grand-Lahou induits par les apports (et donc indirectement par les précipitations) peut se trouver artificiellement renforcé. Pour les ASR et sur le plan sanitaire, il n'existe pas de variations saisonnières nettes. Dans ce cas, cette bactérie ne peut en aucun cas constituer un témoin de contamination fécale.

Cette étude montre que la lagune de Grand-Lahou, du fait des apports domestiques est bactériologiquement contaminée. Cette contamination fécale est beaucoup plus importante en période de forte pluviosité. Cette période pourrait par conséquent être plus propice à des flambées épidémiques d'infections causées par les bactéries pathogènes. Ce constat impose l'élaboration rapide d'un schéma global d'assainissement de la région de Grand-Lahou, permettant l'amélioration de la qualité bactériologique des eaux fluviales et lagunaires, plus particulièrement dans les zones accessibles aux populations riveraines.

Tableau 1: Les densités moyennes annuelles (m) des indicateurs de pollution exprimées en log (cfu/100ml) dans les eaux de surface. (s) est l'écart-type.

	Coliformes fécaux			**Entérocoques fécaux**			**Anaérobies sulfito-réducteurs**		
Stations	**M**	**s**	**CV%**	**m**	**s**	**CV%**	**M**	**s**	**CV%**
1	3,21	1,02	31,77	1,88	1,13	66,11	1,51	0,99	65,56
2	3,10	0,77	24,84	1,04	1,08	99,00	1,67	1,26	75,45
3	3,20	0,67	20,94	1,13	1,17	98,00	1,59	1,02	64,16
4	2,88	0,52	20,94	1,42	1,02	71,83	2,04	1,00	49,02
5	2,71	0,40	18,00	0,60	0,75	99,50	1,69	0,75	44,38
6	3,20	1,04	15,00	0,90	0,85	94,44	2,15	1,11	51,63
7	3,01	0,48	15,94	1,46	1,33	91,09	1,65	1,41	85,45
8	2,83	0,97	34,27	1,20	0,64	53,33	1,76	0,92	52,27
9	3,25	0,56	17,23	2,16	0,90	41,67	2,13	1,00	46,95
10	3,47	0,94	27,08	1,58	1,12	70,87	2,00	1,25	62,5
11	2,73	1,28	46,88	1,06	1,46	99,10	1,63	1,05	64,42
12	2,55	0,30	11,76	1,35	1,42	98,50	1,23	0,95	77,24
13	2,55	0,97	38,04	0,76	0,89	97,8	1,45	1,04	71,72
14	2,94	0,72	24,48	2,04	1,18	57,84	1,74	1,14	65,52
15	3,15	0,69	21,90	2,44	1,07	43,85	1,83	0,95	51,91
16	3,43	0,66	19,24	2,13	1,19	55,87	1,33	1,19	89,47

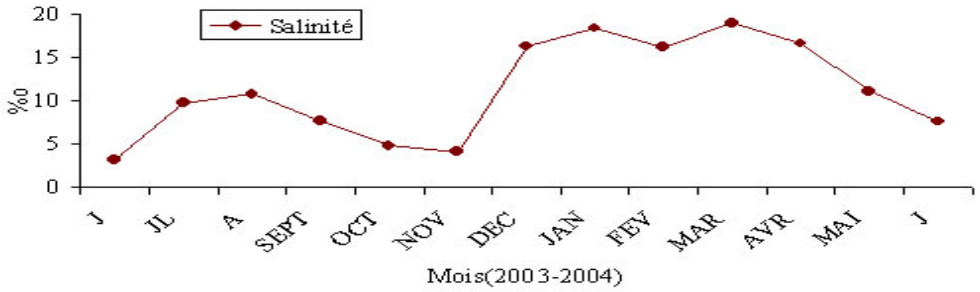


Figure 2: Variations saisonnières des moyennes mensuelles de la salinité

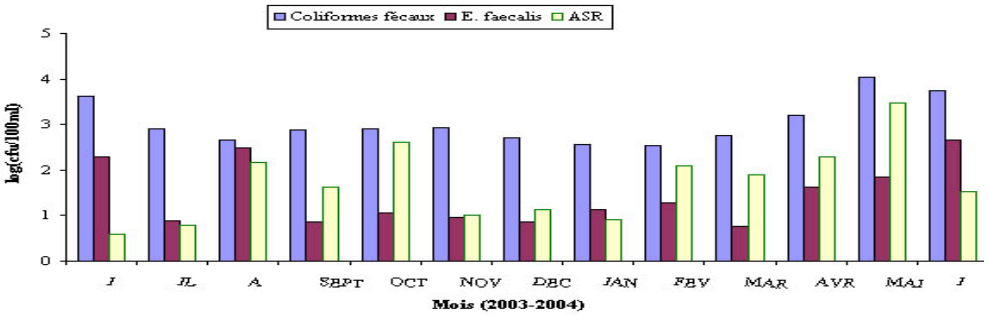


Figure 3: Variations saisonnières des densités moyennes mensuelles des indicateurs de pollution fécale

Tableau 2: Matrice de corrélation (de Bravais-Pearson) entre les paramètres physico-chimiques et les indicateurs de pollution fécale

	Températures	Salinités	O2	Turbidité	CF	EF	ASR
Températures	1						
Salinités	0,21*	1					
O2	0,03	-0,06	1				
Turbidité	-0,19	-0,39**	0,09	1			
CF	-0,11	-0,20*	0,03	0,15	1		
EF	-0,25*	-0,05	-0,04	0,16	0,42**	1	
ASR	0,05	0,08	0,00	0,01	0,18	0,12	1

** p<1% ; * p<5%

BIBLIOGRAPHIES

1. Chamberlain, C. et Mitchell, R., (1978). A decay model for enteric bacteria in natural waters pp. 325-348. In : Mitchell, R. ed., Water Pollution Microbiology, vol. 2, Wiley and Sons, New York.
2. Dionisio, L.P.C., Rheinheimer, G. and Borregos, J.J., (2000). Microbiological pollution of Ria Formosa (South of Portugal. Marine Pollution Bulletin, 40(2) : 186-193.
3. Garlucci, A., Scarpino, P.V. and Pramer, D., (1961). Evaluation of factors affecting the survival of E. coli in seawater. V. Studies with heat and filter-sterilized seawater. Appl. Microbiol., 9 : 400-404.
4. Gauthier, M.-J., Munro, P.M. and Mohadjer, S. (1987). Influence of salts and sodium chloride on the recovery of E. coli from seawater. Curr. Microbiol., 15 : 5-10.
d'Ivoire. 65 p.

LES GAZ HYDROTHERMAUX DANS LES EAUX THERMALES DU BASSIN VERSANT DE SEBOU (MAROC)

L. BENAABIDATE[1], O. SADKI[2], R. JABRANE[1], J. MANIA[3] & H. BENDHIA[4]

[1] F.S.T Saïss, B.P. 2202 Fès, Maroc. E-mail : benaabidate@yahoo.fr

[2] B.R.P.M. Rabat, Maroc. E-mail: o.sadki@yahoo.fr

[3] Ecole polytechnique de Lille, Département Génie Eau, 59655 Villeneuve d'Ascq, Lille, France.

[4] E.N.I.Sfax, département de géologie, B.P. : W, 3038 Sfax, Tunisie.

INTRODUCTION

Les gaz associés aux sources thermales sont généralement, l'Oxygène (O_2), l'Hydrogène (H_2), l'Azote (N_2), le Sulfure d'hydrogène (H_2S), le Gaz carbonique (CO_2), le Méthane (CH_4) et des gaz rares tels que l'Argon (Ar) et l'Hélium (H_2). En général, ces gaz peuvent coexister dans les eaux thermales sous deux formes; gaz libres et gaz dissous. Ces derniers se trouvent dissous dans l'eau à une certaine profondeur et s'en échappent par chute de pression. Plusieurs auteurs se sont intéressés à l'étude des gaz associés aux eaux thermales. En effet, l'étude des gaz hydrothermaux peut apporter des renseignements sur leur origine ainsi que sur des processus physico-chimiques qui peuvent éventuellement se dérouler au cours de l'ascension des eaux, D'Alessandro et *al*, 1993) (in Sadki, 1998).

MATERIELS ET METHODES

La campagne de prélèvements de ces gaz a intéressé seulement quelques émergences intéressantes préalablement choisies (Benaabidate, 2000). Ces analyses ont été portées uniquement sur les gaz dissous. Les teneurs sont exprimées en millimoles par litre (m.moles/l) sauf pour l'hydrogène dont l'unité est la micromole par litre (µmoles/l). Les résultats de ces analyses sont portés sur le tableau suivant (Tab.1).

Sources	N°	CO_2	O_2	N_2	A_r	H_2S	CH_4	H_2
Moulay Yacoub	1	2.2	0.052	0.4	0.0056	1	0.3	0.009
Zalagh	2	0.64	0.044	0.46	0.0095	0.00001	0.004	0.09
Tiouka	3	7.4	0.2	0.86	1E-05	0.9	7.1	0.4
Outita	4	1.6	0.053	0.85	0.0098	0.1	0.0047	0.07
Khanza	5	4.3	0.052	0.45	0.0083	4.6	0.066	0.05
Tarmast	6	3.3	0.13	2.3	0.036	1.3	0.024	0.08
Mouilha	7	2.3	0.025	0.23	0.0047	0.037	0.0066	0.05

Tableau 1: Les teneurs en gaz dissous

RESULTATS ET DISCUSSIONS

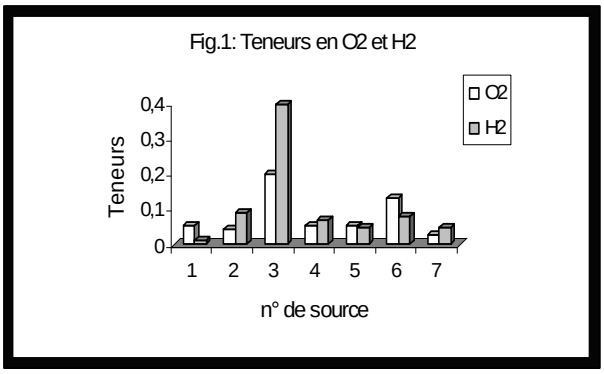
Dans le cadre de cette étude, ont va essayer d'interpréter et de suivre l'évolution de chaque élément gazeux dans les eaux thermales étudiées.

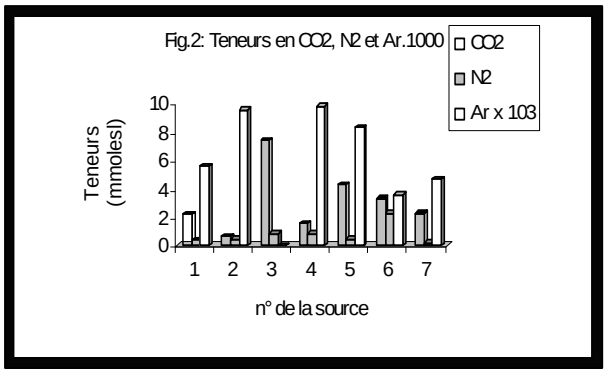
1.L'OXYGENE (O_2)

L'Oxygène est généralement d'origine atmosphérique. Il est introduit dans les eaux thermales par diffusion à travers le sol (D'Alessandro et *al*, 1994). Cette introduction peut de faire aussi par infiltration des eaux superficielles qui sont équilibrées vis-à-vis de l'air. Les teneurs de l'élément O_2 dans les eaux thermales sont, le plus souvent, plus faibles et ne

dépassent pas 1% du volume total aussi bien sous sa forme dissoute que libre (Minissale et *al*, 1989). Les eaux thermales étudiées présentent toutes des taux d'oxygène très faibles. Ses teneurs varient entre 0.025 millimoles/l (source de Mouilha) et 0.2 millimoles/l (source de Tiouka) (Fig.1).

Les faibles teneurs en Oxygène, sous forme dissoute, dans les eaux étudiées seraient liées à sa fixation en profondeur dans des zones réductrices.





2.L'HYDROGENE (H_2)

L'élément H_2 se présente en très faibles teneurs dans les eaux thermales. Il est émis lors de quelques réactions liées à des processus magmatiques ou métamorphiques (Morette, 1964). Certains auteurs suggèrent que le H_2 peut se former par dissociation du méthane ou par réduction de l'eau par FeO.

Les sources thermales étudiées affichent de faibles concentrations d'Hydrogène (µmoles/l) (Fig.1). L'étude de la relation entre les teneurs de H_2 et celles de CH_4 n'a pas donné de corrélation notable. Ceci suggère que le H_2 ne proviendrait pas de la dissociation du méthane. Son origine pourrait être liée à des réactions endogènes et/ou à la réduction de l'eau.

3.L'AZOTE (N_2)

La teneur en N_2 dissous est très variable dans les systèmes hydrothermaux. Elle dépend, en général, du contexte géologique local (Morette, 1964, Littke et *al*, 1995) (in Sadki, 1998). Sa teneur, dans les sources thermales où il a été analysé, varie de 0.23 m.moles/l (source de Mouilha) à 0.86 m.moles/l (Tiouka) (Fig.2). Cette teneur reste toutefois inférieure à sa teneur moyenne dans l'atmosphère, soit 75.53%. L'étude corrélative entre les teneurs en O_2 et N_2 na pas donné bonne corrélation (r = 0.5). Ceci laisse prédire que l'azote n'a pas uniquement une origine atmosphérique.

4.LE DIOXYDE DE CARBONE (CO_2)

La première source du CO_2 dissous dans les roches superficielles est l'atmosphère terrestre. Les eaux profondes ont un apport supplémentaire en dioxyde de carbone issu de la décomposition de la matière organique. Cet apport supplémentaire permet ainsi d'obtenir une solution modérément acide qui joue le rôle de solvant pour les minéraux (Raymahashay, 1988).

Le CO_2 constitue la forme gazeuse la plus rencontrée dans les eaux thermales. Le CO_2, d'origine profonde, est lié principalement au magmatisme, au métamorphisme des roches carbonatées et/ou à la décomposition de la matière organique (Hedenquist et Browne, 1989). Quant aux sources étudiées, Le taux de CO_2 oscille entre 0.64 m.moles/l (source de Zalagh) à 7.4 m.moles/l (source de Tiouka) (Fig.2). Ces teneurs sont donc très supérieures à celles de l'air qui est de l'ordre de 0.03%. On pense donc à une origine profonde à ce gaz.

5.L'ARGON (Ar)

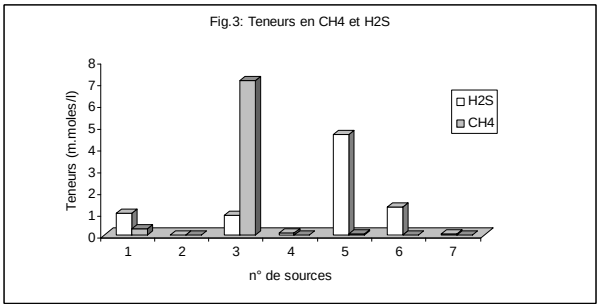
L'Argon est le plus souvent introduit sous forme dissoute dans le circuit thermal. Ce gaz indique, dans les systèmes hydrothermaux, une origine atmosphérique (Hedenquist, 1991). Il échappe facilement de l'eau sous forme libre suite à sa faible solubilité. Sa teneur, dans les eaux étudiées, est très faible (Fig.2).

6.LE METHANE (CH_4)

Dans les systèmes hydrothermaux, l'élément CH_4 peut avoir deux origines:

- origine biogénique où le CH_4 est produit par une catalyse des hydrocarbures à une température modérée (≈ 100°C), par fermentation de la matière organique ou par la décomposition du matériel charbonneux (Welhan, 1988),
- origine non biogénique où le CH_4 est produit par dégazage mantellique ou bien par synthèse inorganique à température élevée.

Dans le cas des sources étudiées, sa teneur est très faible pour la plus part des sources avec une valeur anomalique enregistrée à la source de Tiouka soit 7.1 m.moles/l (Fig.3). Cette source sort dans un horizon pédologique et la forte valeur en CH_4 serait attribuée à la fermentation bactérienne.



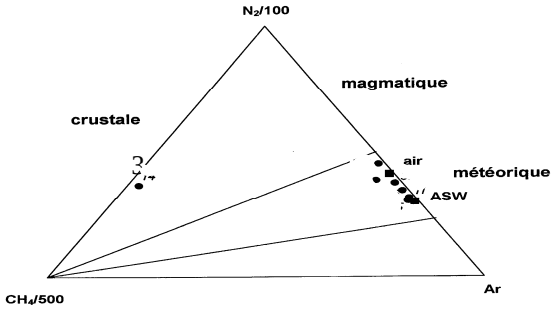


Fig.4 : Diagramme N_2-Ar-CH_4

7.L'HYDROGENE SULFURE

Ce composé existe à l'état naturel dans l'atmosphère. Il est produit par diverses fermentations anaérobies, œuvre de sulfobactéries, tant en milieu terrestre qu'océanique (Lovelock et *al*, 1972, in Ramade, 1974). La teneur de cet élément (Fig.3), dans les sources étudiées, varient de 0.00001 m.moles/l (source de Zalagh) à 4.6 m.moles/l (source de Khanza).

DIAGRAMME N_2-Ar-CH_4

Le rapport des gaz sur le diagramme N_2-Ar-CH_4 (Fig.4) montre que les points représentatifs des six sources considérées se projettent entre les deux droites qui indiquent le minimum et le maximum du rapport N_2/Ar des eaux météoriques, à proximité de l'ASW (air saturé en eau). Ceci indiquerait une origine météorique probable à ces éléments. La source n°3 (Tiouka) est projetée dans la zone de mélange des espèces gazeuses provenant premièrement des origines magmatique et crustale (Norman et *al*, 1998).

CONCLUSION

Les gaz associés aux eaux thermales du bassin versant de Sebou présentent différentes origines; atmosphérique et profonde. Certains paramètres interviennent dans la diminution de la teneur de certains gaz telle que la réduction, en profondeur, de l'oxygène. Le gaz carbonique et le méthane semblent provenir de la décomposition de la matière organique. La non concordance entre le méthane et l'hydrogène permettrait de dire que ce dernier ne provient pas de la dissociation du premier. Son origine est probablement profonde et/ou liée à la réduction de l'eau. L'azote et l'argon seraient liés à une origine météorique, à l'exception de la source de Tiouka où l'origine de ces gaz pourrait être profonde.

BIBLIOGRAPHIE

1. BENAABIDATE L., 2000 : Caractérisation du basin versant de Sebou: hydrogéologie, qualité des eaux et géochimie des sources thermales.
2. Thèse doct. Es-Sciences, F.S.T. Saïss, Fès, 250p.
3. D'ALESSANDRO W. et &, 1994 : Geothermal characterization of natural occurring fluids on the Island of Pantelleria (Italy). Miner. Petrog. Acta, VXXXVII, pp.: 91 – 102.
4. HEDENQUIST, J.W., 1991: Boiling and dilution in the shallow portion of the Waiotapu geothermal system. New Zealand. Geoch. Cosm. Acta., vol., 55, pp.: 2753 – 2765.
5. HEDENQUIST J.W. & Browne P.R.L., 1989 : The evolution of the Waiotapu geothermal system. New Zealand, based on the chemical and the isotopic composition of its fluids, minerals and rocks. Geoch. Cosm. Acta., vol., 53, pp.: 2235 – 2257.
6. MINISSALE et *al*, 1989: Geothermal characteristics of Greek thermal springs. Jour. Volcano. Geoth. Research, vol., 39, pp : 1 – 16.
7. MORETTE A., 1964 : Précis d'hydrologie. Edit., Masson et Cie, Paris, 564 p.
8. NORMAN D.I. & *al*, 1998 : Approaching equilibrium from the hot and cold sides in the FeS_2-FeS-Fe_3O_4-H_2S-CO_2 system in the light of fluid inclusion gas analysis.
9. Ramade R., 1974: Eléments d'écologie appliqué. Edit. sciences, Paris, 522 p.
10. RAYMAHASHAY B.C., 1988: Geochemistry of hydrologists. Edit., Technip, Paris, 190 p.
11. SADKI O., 1998: Evolution des systèmes hydrothermaux du Nord de la Tunisie : géochimie des interactions eaux-roches et circulations hydrothermales. Thèses Doc. Sp., Univ., Tunis II, 246 p.
12. WELHAN J.A., 1988: Origin of methane in hydrothermal systems. Chem. Geol., vol., 71, pp.: 183 – 198.

QUALITE DES EAUX DE CONSOMMATION DE LA VILLE DE BISKRA CONSEQUENCES SUR LA SANTE PUBLIQUE

GUERGAZI S ET ACHOUR S
Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface
(LARHYSS)
Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département d'Hydraulique,
Université Mohamed Khider Biskra B.P 145 Biskra (07000)
WWW.larhyss.org; E-mail: info@larhyss.net Tél/Fax (213).33.73.32.04

INTRODUCTION

La fabrication d'eau potable à partir d'eaux brutes naturelles nécessite en général un traitement en fonction de la qualité de l'eau brute. Certaines caractéristiques minimales sont exigées des eaux pour qu'elles puissent servir à la production d'eau potable qui doit elle même satisfaire à des normes de qualité physico-chimique et biologique. Pour l'ensemble de ces valeurs limites existent des normes propres à certains pays. Les sources et les eaux souterraines sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable, car mieux à l'abri des pollutions que les eaux superficielles. Ces eaux, si elles sont de bonne qualité nécessitent une seule étape de traitement chimique dite oxydation.

Signalons que le chlore sous forme d'eau de javel (hypochlorite de sodium) est l'oxydant chimique le plus utilisé dans le monde et en particulier en Algérie. A Biskra , le chlore est utilisé sous forme d'hypochlorite de sodium (eau de javel) et la chloration représente l'unique étape de traitement. Les habitants de la ville de Biskra consomment des eaux souterraines à partir de forages dans la nappe alluviale du champ captant d'oued Biskra et dans la nappe des calcaires du champ captant d'El megloub qui refoulent leurs eaux vers plusieurs réservoirs. A cet ensemble on ajoute la présence d'autres forages qui injectent leurs eaux directement dans le réseau de distribution d'eau potable

Au cours de notre étude nous présenterons :

- Les caractéristiques physico-chimiques des différents échantillons qui ont été prélevés au niveau de différents réservoirs ainsi qu'à différents points de réseau, au robinet du consommateur.
- La mise en œuvre de la chloration des eaux de Biskra et ses conséquence.

Matériels et méthodes

Le matériel et les méthodes de dosage qui permettent la détermination de la qualité de l'ensemble des échantillons d'eaux sont regroupées dans le tableau 1 et leurs caractéristiques physico-chimiques sont regroupées dans le tableau 2.

Tableau 1: Méthodes de dosages des paramètres physico – chimiques des eaux

Paramètres	Nom des appareils	Méthodes volumétrique
Température	Thermomètre	
pH	pH –mètre digital	
Conductivité	Conductimètre	
TH, TAC, Ca^{2+}, PO_4^{3-}, K^+	Palintest	Complexométrie à l'EDTA
Cl_2 résiduel, Br_2,F^-, NO_3^-, Fe^{2+}et SO_4^{2-}, PO_4^{3-}	Photomètre de type HANNA C100 Multiparamètre	
Cl^-		Mohr

Tableau 2 : Caractéristiques physico – chimiques des échantillons d'eaux prélevés

Paramètres	Haï El Moudjahi	Zone Sud		El Alia		Forages, à injection Directe dans le réseau
	R. C	Rés	R. C	Rés	R. C	
T (°C)	23-24	23.5	21-28	25.5	23-26	22-24.5
pH	7.55-7.66	7.33	7.33-7.78	7 .33	6.94-7.47	6.9-7.44
Cond.(µs/cm)	3440-3480	3600	3740-5190	3380	3530-4890	4580-4760
TH (°F)	115-149	127	134-179	164.6	130-176	158-203
TA (°F)	0	0	0	0	0	0
TAC (°F)	2.23-2.45	2.25	2.35-3.90	3.62	0.6-3.42	2.3-3.52
Ca^{2+} (mg/l)	122-188	142	107-308	100	80-200	60-224
Mg^{2+}(mg/l)	231-270	219.6	189-285	335.04	192-313	250-451
Fe^{2+} (mg/l)	0.09-0.18	0.18	0.09-0.15	0.05	0.07-0.18	0.01-0.15
Cl^- (mg/l)	901-960	930	1100-1391	921.22	844-1356	128-1314
SO_4^{2-} (mg/l)	103-720	220	93-400	770	46-770	193-870
K^+ (mg/l)	2.80-6.60	6.80	3.20-9.60	5.30	3.2-6.2	7.7-11
NH_4^+ (mg/l)	0.02-0.09	0.11	0.0-0.34	0.13	0.06-0.16	0.06-0.12
NO_3^- (mg/l)	0.0-3.40	1.10	0.0-2.80	14	1.40-14	0.0-4.30
PO_4^{3-} (mg/l)	0.16-1.20	0.34	0.44-3.60	0.28	0.1-0.32	0.06-0.46
Cl_2 résid(mg/l	0.39-1.81	0.00	0.0-0.11	0.00	0.0-1.60	0.09-0.83
Br_2 (mg/l)	0.24-1.64	0.86	0.1-0.05	8	0.11-0.48	0.03-0.49
F^- (mg/l)	1.14-1.56	0.81	0.56-1.30	1.1	0.7-1.24	0.76-1.25

Cond: Conductivité, Résid :Résiduel , Rés : Réservoir, R.C : Robinets des consommateurs

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de Biskra

Les résultats de l'analyse des caractéristiques physico – chimiques sont présentés dans le tableau 2, sachant que l'ensemble des prélèvements a été effectué au mois d'avril 2004 et montrent d'une manière générale que :

- La température de nos échantillons est comprise entre 21 et 29 °C, elle est acceptable pour les zones arides et semi – arides.
- Le pH est compris entre 6.90 et 7.78. Selon l'OMS le pH d'une eau potable doit être compris entre 6.5 et 9.20. Les eaux de Biskra sont voisines de la neutralité.
- La dureté de l'eau (TH) montre que les eaux de consommation sont très dures avec des TH supérieurs à la norme de 50°F. La dissolution du Ca^{2+} et du Mg^{2+} résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers la formations rocheuses calcaires et dolomitiques. Cette dissolution est accrue par la présence dans l'eau de gaz carbonique provenant de l'atmosphère et des couches superficielles du sol (Tardat et Beaudry, 1984). La dureté possède des propriétés gênantes telles que la formation de dépôts durs dans les canalisations du réseau , gêne dans les opérations de lavage etc.
- Nos échantillons ont une conductivité très forte qui dépasse 1000 µs/cm. Cette conductivité provoque une augmentation dans le taux de la salinité des eaux, surtout les eaux du champ captant d'oued Biskra. Il est nécessaire de noter que la forte conductivité des eaux qui sont issues du champ captant d'oued Biskra peut être due soit à la nature des couches géologiques de la nappe, ou à la présence d'éléments minéraux indésirables dans nos eaux de consommation et résultant d'une pollution exogène.
- A travers nos résultats qui apparaissent dans le tableau 2, nous observons une forte concentration en chlorures et en sulfates. Ces deux éléments provoquent un goût

désagréable dans nos eaux de consommation et la rendent corrosive vis-à-vis des conduites. Ils sont aussi nocifs pour les plantes. Notons, que ces deux éléments provoquent aussi l'augmentation du chlore résiduel lors de la chloration de l'eau chargée en matière organique (Achour et Guergazi, 2002).

- On remarque la présence d'une concentration en fluor dépassant légèrement les normes dans les eaux de Biskra. Le fait que cet élément est présent dans les dattes, les aliments et le thé le fluor va s'accumuler et présenter un danger pour la santé des habitants et en particulier la fluorose sachant que la norme acceptable est de 0.60à 0.80mg/l (Achour et Youcef, 2001).
- Dans le même contexte, on observe aussi la présence des concentrations en ammoniaque dans certains échantillons malgré que ces eaux subissent une chloration (oxydation par le chlore). Nous pouvons dire que ces eaux sont distribuées aux consommateurs sans qu'elles subissent une oxydation complète par le chlore. Normalement, si la chloration est pratiquée d'une manière adéquate la concentration en ammoniaque (ion ammonium) est nulle (Doré, 1989).
- La présence des ions brome indique que nos eaux contiennent des bromures. Puisque des études montre que l'oxydation des bromures avec le chlore donne naissance à la formation du brome.
- La raison principale de la présence du nitrate dans les souterraines pourrait être due à la pratique agricole qui consiste à appliquer abondamment des engrais industriels ou du fumier. Sa présence excessive provoque un problème de santé publique important tel que la méthémoglobinémie.

En fin, si on compare une autre fois nos échantillons aux normes qualités multi – usage on trouve qu'elles sont situées entre la 2eme et la 3eme classe , sont de qualité passable à médiocre.

En conséquence, nous pouvons dire que les eaux de la ville de Biskra nécessitent un traitement poussé pour diminuer la minéralisation avant qu'elles soient distribuées aux usagers.

2.Mise en oeuvre de la chloration des eaux de Biskra

A Biskra, la chloration des eaux de consommation est effectuée simplement en utilisant un bac de mise en solution et des pompes doseuses

Sur la base des enquêtes sur terrain et les informations recueillies auprès des services de l'entreprise de production d'eau de Biskra, nous pouvons dire que la chloration est mal pratiquée, parce que les taux de chlore utilisés ne sont pas ajustés à la qualité de l'eau et le dosage du chlore ne se fait pas sur la base d'essais de demandes en chlore des eaux en laboratoire. Donc, la chloration est un traitement rarement optimisé à Biskra et les risques sanitaires en sont la principale conséquence. L'ensemble de ces suggestions peut être confirmé par les résultats que nous avons trouvé après avoir déterminé la concentration en chlore résiduel dans les eaux de consommation (tableau 2) et cela pour les échantillons d'eaux que nous avons prélevés au niveau de différents réservoirs ainsi qu'a différents points du réseau (au robinet du consommateurs). Nous avons ainsi observé que les teneurs en chlore résiduel sont très variables allant de valeurs nulles jusqu'à des valeurs dépassant 1.50 mg/l. Nous pouvons expliquer l'absence totale du chlore résiduel pour les différents points d'une part par la présence dans le réseau des micro organismes qui sont fixés aux parois des canalisations dans ce cas le chlore joue son rôle de désinfectant. D'autre part, il peut y avoir la présence de quelques éléments minéraux réducteurs présents dans les eaux qui ont une forte réactivité avec le chlore tels que les ions ammonium à des concentrations allant jusqu'0.32 mg/l malgré l'ajout du chlore. Par ailleurs, l'absence du chlore peut être le fait que la dose du chlore introduit est insuffisante pour que la chloration aboutisse à ses objectifs qui sont, la destruction des micro-organismes et l'oxydation de quelques éléments minéraux contenus dans ces eaux. En ce qui concerne les concentrations en chlore résiduel dont les valeurs dépassant 2 mg/l, cette valeur dépasse largement les normes de 0.10 à 0.20 mg/l de chlore résiduel au robinet. Ceci elle est dû à un surdosage du chlore. L'incidence de cette sur

chloration est l'apparition dans les eaux d'un goût désagréable et principalement la formation des composés toxiques et en particulier les trihalométhanes (Le Curieux et al, 1996).

3. Conséquences sanitaires de la chloration

La propagation des maladies à transmission hydrique (M.T.H)est liée d'une part à l'état des conduites de distribution d'eau qui sont devenues vétustes et donc la prolifération des algues, bactéries et d'autre part à l'absence du chlore résiduel. Ceci peut être confirmé par les recensements des M.T.H obtenus au niveau de la direction de la santé de la ville de Biskra (tableau 3).

Tableau 3 : Maladies à transmission hydrique de la ville de Biskra

Maladies	1999	2000	2001	2002	2003
Typhoïde	31	25	27	04	08
Dysenterie	08	09	12	00	-

Le surdosage en chlore peut par contre mener à la formation de composés organohalogénés qui à long terme peuvent mener à des effets mutagènes et cancérigènes.

CONCLUSION

Notre étude a permis de montrer que :

- *L'alimentation en eau potable de la ville de Biskra est assurée par le champ captant d'oued Biskra, champ captant d'El Megloub et quelques forages à injection directe dans le réseau du centre ville.*
- *Les caractéristiques physico – chimiques des eaux de consommation de la ville de Biskra exigent un traitement plus au moins poussé (adoucissement par exemple) avant qu'elles ne soient chlorées est distribuées aux usagers.*
- *Le suivi de la pratique de la chloration montre qu'on peut globalement distinguer deux zones dans le réseau de distribution.*
    - *Une zone plus proche de la production d'eau potable (réservoir, forage à injection directe) qui est complètement sous l'influence de la chloration (désinfection des micro-organismes et oxydation des éléments minéraux et un taux de chlore résiduel qui est élevé).*
    - *Une deuxième zone,où il n'y a plus de résiduel de chloration et où les caractéristiques de l'eau peuvent évoluer rapidement. Les risques sanitaires constituent les principales conséquences.*

BIBLIOGRAPHIE

1. ACHOUR S., Guergazi S. (2002). Incidence de la minéralisation des eaux algériennes sur la réactivité de composés organiques vis-à-vis du chlore, Rev. Sci. Eau, 15,3, 649-668.
2. ACHOUR S., Youcef L. (2001). Excès des fluorures dans les eaux du sahara septentrional oriental et possibilités de traitement. E.I.N. International, N°6, 47-54.
3. DORE M. (1989). Chimie des oxydants traitement des eaux, Ed. Lavoisier, Paris.
4. LE CURIEUX F., Marzin D., ERBF. (1996). Utilisation de trois tests de génotoxicité pour l'étude de l'activité génotoxique de composés organohalogénés, d'acides fulviques chlorés et d'échantillons d'eaux en cours de traitement de potabilisation, Rev.Sci. Eau, 9,1, 75-95.
5. TARDAT H., BEAUDRY J. (1984). Chimie des eaux, Ed Le Griffon d'argile INC, Québec.

Approche statistique de l'évolution spatio-temporelle des éléments majeurs d'une eau d'un barrage Algérien (w. de Souk Ahras)

ATHMANIA DJAMEL ; DR HEMILA M. L.

Centre Universitaire de Tébessa
Tel 037490248 ; Fax 037490268 athmaniad@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'environnement géologique d'un bassin versant est toujours considéré comme l'impact principale de la qualité des eaux et sa teneur en éléments toxiques. L'eau précipitée se charge de plus en plus lors de son ruissellement et son contact avec les terrains superficiels. La présence des roches carbonatées et les roches salines ou évaporites à la surface du bassin versant conduisent à une diminution de la qualité des eaux et peuvent influencer sur le type de faciès chimique d'une eau donnée.

Géologie et Hydrogéologie du Bassin Versant (le haut Seybouse)

Le bassin versant de l'oued Cherf, couvrant une superficie de **1735 km^2**, est constitué par des formations sédimentaires allant du Trias au Quaternaire, plissés en synclinaux et en anticlinaux en donnant une structure géologique très complexe (lieu de contact de deux grands domaines structuraux).

Les affleurements triasiques s'alignent dans la même direction de l'oued Cherf. Ils sont parcourus par les affluents de l'oued Cherf, Trouch et Tifech qui esquissent ces masses triasiques.

Qualité des eaux du barrage de l'oued Cherf

Matériel et méthode :

La qualité d'une eau est estimée à partir des analyses hydrochimiques aux laboratoires, qui nécessitent l'appareillage de spectrométrie, spectrophotométrie ainsi que les différentes méthodes de dosage classiques.

Dans cette analyse, la détermination des éléments majeurs, et surtout (Cl, Na, SO4), qui proviennent directement de la dissolution de la roche triasique, est primordiale dans la désignation du type de faciès hydrochimique.

Résultats et discussions

- ***Avant la mise en eau du barrage***

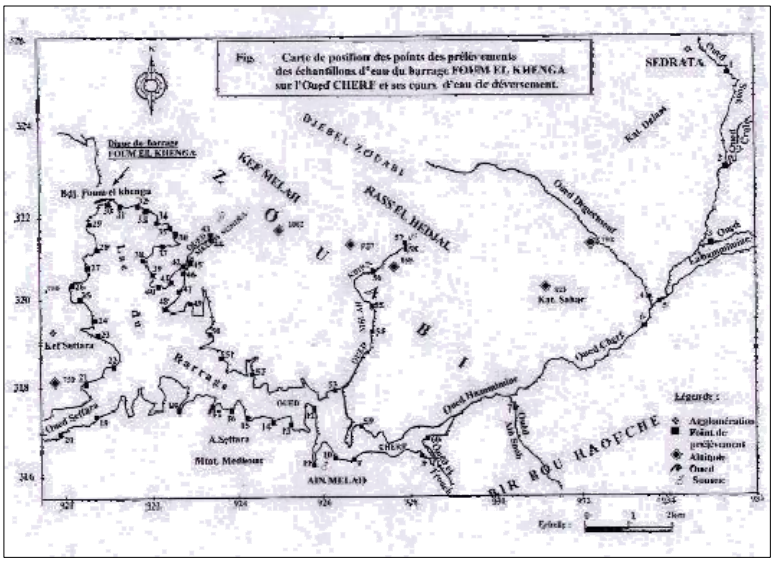
Dans un contexte chimique et qualité des eaux, les eaux du cours d'eau principal du bassin versant de l'oued Cherf ont été, avant la mise en eau du barrage, fréquemment chargées en chlorures et en sodium en donnant une prédominance du faciès chloruré sodique. Les faciès secondaires sont sept et n'apparaissent qu'à des très faibles proportions. Cette nature de composition chimique est certainement due au lessivage des formations évaporitiques du Trias et des terrains marneux affleurants en amont . Le principal faciès chloruré sodique se développe d'une façon considérable en période des basses eaux à l'inverse de la réduction des autres faciès. Ceci est évidemment liées aux conditions hydroclimatiques qui favorisent par évaporation la précipitation des sels et l'augmentation des ions de chlorure et de sodium.

- ***Après la mise en eau du barrage (*** **FIG. 01)**

Après la mise en eau du barrage, le prélèvement de 115 échantillons d'eau du lac et des cours d'eau de déversement réalisé dans des circonstances où le barrage connaît ses niveaux d'eau extrêmes ; niveaux de déstockage et de stockage relatifs aux périodes des basses et hautes eaux des cycles hydrologiques 1999/2000 et 2000/2001 (Août 2000 - Mai 2001) ; et le traitement de leurs résultats d'analyse physico – chimique ont révélé que les eaux du barrage de Foum el khenga sur l'oued Cherf sont toujours chloruré sodique. Les masses énormes de sel gemme appartenant au Trias qui affleure dans la région limitrophe ; en particulier Djebel

Zouabi sont les principales causes de cette remarquable salinité « chloruré-sodique » qui caractérise en totalité des eaux du périmètre du lac.

Figure 1: Carte de position des points des prélèvements
Des échantillons d'eau du barrage FOUM EL KHENGA
Sur l'oued CHERF et ses cours d'eau de déversement



Traitement Statistique des Données

Le traitement statistique par les lois fréquentielles et A.C.P. des données de ces éléments chimiques caractéristiques de la formation évaporitique a révélé une certaine hétérogénéité dans la répartition spatiale de ces ions. A des variances élevées, l'effet de la minéralisation totale a été mis en évidence par en particulier la grande recharge en chlorures, en sodium et en sulfates. La pollution des eaux par les nitrates due à l'intensification de l'irrigation a été évidemment visualisée en période des basses eaux.

Qualité des eaux du Barrage en vue de l'alimentation en eau potable (A.E.P)

- ***Avant la mise en eau du barrage***

De point de vue qualité en vue de l'alimentation en eau potable(A.E.P), les eaux de surface ont été, avant la mise en place du barrage, généralement de qualité passable à mauvaise. La classe de qualité médiocre à saveur peu prononcé est la plus dominante. Les classes extrêmes de potabilité « qualité bonne et celle impotable » apparaissent rarement. Une légère dégradation de la qualité des eaux est visualisée en période des basses eaux pour devenir mauvaise à saveur peu désagréable et une eau momentanée à saveur désagréable. En général, l'amélioration de la qualité des eaux ne se fait qu'en saisons froides et pluvieuses.

- ***Après la mise en eau du barrage*** **(FIG. 02)**

Après la mise en eau du barrage, Le traitement graphique des résultats d'analyses chimiques de cent quinze (115) échantillons prélevés autour du lac du barrage et aux points de jonction des affluents avec l'oued principal, a révélé la dominance, dans le temps et dans l'espace, de la classe médiocre à saveur peu prononcé. Une certaine amélioration de la qualité se fait en période des hautes eaux (Mai 2001). Les cartes d'aptitude ont révélé, en période des basses eaux, l'apparition de la qualité passable au niveau de l'oued Settara. Cependant en période des hautes eaux, elle est localisée au niveau de l'oued Cherf et à l'exutoire du barrage. Les eaux impotables sont celles du ruissellement de Djebel Zouabi qui sont drainées d'une façon permanente par les deux oueds Melah Kbira et Melah Seghira.

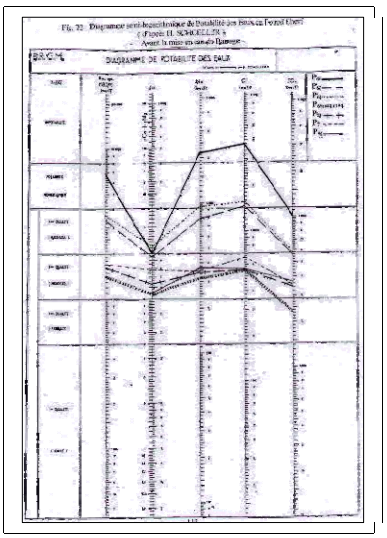


Figure 2: Diagramme semi-logarithmique de Potabilité des Eaux du Barrage De FOUM EL KHENGA sur l'oued CHERF (d'après H. SCHOELLER) Période des Basses Eaux : août 2000

Qualité des eaux du Barrage en vue de l'irrigation

(Méthodes Graphiques : Sodium Adsorption Ratio (Richard, 1954) et Wilcox, 1948)

De point de vue qualité en vue de l'irrigation: Les applications des deux méthodes graphiques respectivement du S.A.R (Richard 1954) et le pourcentage du sodium absorbé (Wilcox 1948), ont révélé que :

- ***Avant la mise en eau du barrage***

Avant la mise en place du barrage, les eaux de l'oued Cherf étaient fréquemment de qualité mauvaise à médiocre, elles ne conviennent à l'irrigation qu'à certaines conditions : cultures bien tolérantes au sel ; sols très perméables, bien drainés et bien lessivés. La qualité bonne n'apparaît que rarement. En période des hautes eaux, ces eaux sont de qualité variable ;

- ***Après la mise en eau du barrage***

Après la mise en eau du barrage, les eaux du lac sont devenues, en période des basses eaux, de qualité médiocre et admissible respectivement sur la rive nord et sur la rive sud. Cependant en période des hautes eaux, en raison d'une recharge pluviométrique élevée et d'un ruissellement intense sur des pentes fortes, l'activité du phénomène de dissolution chimique des ions en particulier les plus solubles, a provoqué une dégradation de la qualité en vue de l'irrigation. En cette période, l'émergence des eaux salées des sources de Ain Melah kebira et Ain Melah Seghira, contribuent aussi à cette dégradation. Ces eaux sont généralement de qualité médiocre et mauvaise. La qualité admissible à l'irrigation ne se visualise qu'à la zone d'entrée des eaux de ruissellement de l'oued Cherf.

CONCLUSIO

Enfin, il est clair que ces constatations restent limitées a un échantillonnage réalisé seulement autour de la cuvette. ceci laisse le bilan de la salinité entre zones d'entrée et de sortie du barrage, la détermination de l'aptitude de l'eau à leurs utilisations, la suggestion d'un projet de lutte adéquat et le taux réel d'envasement comme sujet à traiter d'une façon approfondie avec des moyens et des campagnes d'investigation plus appropriés.

A cet effet, comme perspectives de recherche, nous suggérons le programme complémentaire suivant :

1. *Réalisation des campagnes de prélèvement sur deux cycles hydrologiques et au pas de temps très réduit, il est souhaitable à fréquence bimensuelle. Les échantillons doivent être prélevés suivant des profils transversaux et longitudinaux coupant la retenue. Ces campagnes permettent :*
2. *de déterminer le bilan de la salinité entre zones d'entrée et de sortie du barrage et en fonction du temps climatique et hydrologique ;*
3. *d'établir des coupes et des cartes de stratification de la salinité jusqu'au fond du barrage et comprendre le mécanisme chimique du milieu;*
4. *Réalisation au moins de deux campagnes de levé topographique, au pas de temps annuel, du fond du lac du barrage suivant un réseaux de mailles de dimension très petite afin d'établir la carte isobathe du fond de la retenue et déterminer avec précision le taux d'envasement du barrage ;*
5. *Prélèvement des échantillons de vase suivant le même réseaux de mailles afin de définir la nature sédimentologie de cette vase et l'identification de ses propriétés géotechniques. A ce niveau des essais de laboratoire et de terrain doivent être exécutés.*

BIBLIOGRAPHIE

1. BAKALOWICZ M. (1979)- contribution à la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de karstification. Thèse de doctorat ès sciences. Univ. P. & M. curie parie VI,
2. BLAYAC J. (1912) – Esquisse géologique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines. Bulletin du service de la carte géologique de l'Algérie, 2ème série n°6 490 pages.
3. BOUAZIZI H. (1981) – Etude de la salinité et de l'envasement de la retenue du barrage Nebeur sur l'oued Mellegue (Tunisie). Thèse de 3ème cycle, université de Franche-Comté, 168 pages.
4. B.R.G.M. (1974) – Essais de classification et de cartographie de la qualité chimique des eaux souterraines. Rapport interne du département géologique et de l'aménagement. 37 pages, Paris.
5. CASTANY G. (1980) – L'eau propre.Hachette édition, 192 pages, Paris.
6. DUBORDIEU G. (1958) – Esquisse géologique du djebel Mesloula (Algérie). Nouvelle série, Bulletin n°21, 162 pages.
7. MOKEDDEM A. (2000) – Qualité physico-chimique des eaux de l'Oued Cherf et leur aptitude à l'irrigation. Mémoire de fin d'étude (Ingénieur) 85 pages, C.U. de Tébessa
8. ROCHE M. (1963)- Hydrologie de surface.Gautier – Villars édition, Paris, 430 pages.
9. RODIER J. (1978) – Analyse de l'eau. Dunod édit. Paris.
10. SCHOELLER H. (1962) – Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. recherche, exploitation et évaluation des ressources. Edition Masson & Cie, 642 pages.
11. TODD D.K. (1980)- Groundwater hydrology. J.Wiley et Sons édition , New York, 510 p.
12. SCHLOSSER F. (1983) – Mécanique des sols. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, 151 pages
13. VILA J.M. (1973) – Notice explicative de la carte géologique au 1/50.000ème de Sédrata. Sonatrach édit. en 1977.

MODELLING OF VARIATION WITH TIME OF FLOW OF MEMBRANE DESALINATION PERMEATORS: B10 AND B9 CASES

M. METICHE [1, 2] and A. KETTAB [1]

[1] Research Laboratory of Water Sciences, National School Polytechnic (ENP)

[2] Department of Architecture, Béchar University, LP 417 Béchar, Algeria,
Fax/Tél.: 213 (0)49-81-52-44, Email: metiche022000@yahoo.fr

INTRODUCTION:

A desalination plant by reverse osmosis is formed mainly by modules, like the B9 case for brackish water desalination, and B10 case for seawater desalination. These types of permeators which are the more used in the desalination plants in the world [1], [2], are formed by hollow fine fibre membrane made from aramid polymer (polyamid) manufactured by the Dupont Company and currently by the Company Toyobo (Japan) [3].

The design and the calculation of the reverse osmosis desalination plants, pass by the good evaluation of the modules flow, with operation pressure, with feed water temperature and also with time (operation life of modules). We note that the permeator flow decreases progressively during her operation and functioning. By consequence, the permeator flow is equal to its flow under the standard conditions of operation (tested at the laboratory) corrected by three factors [4], [5], [6], [7], [8], [9]: a pressure correction factor PCF, a temperature correction factor TCF, and the membrane flux retention coefficient MFRC. As the only factor which depends on time; it is the MFRC, the study of the flow variation with time consists to the study and the modelling of MFRC during the operation life of permeators.

The MFRC values given by the supplier tables [4], [5], [6], allow only one tiresome manual calculation at the end of the first, the third and the fifth year of exploitations of permeators.

The existing mathematical models to calculate the MFRC enables us to estimate it as well as the flow only at the end of the lifetime permeators (theoretically five years) [10], [11], [7].

For certain cases of exploitation, and like it is also mentioned by the supplier, these permeators can function a long time under good conditions out the theoretical lifetime: 7 to 10 years [12], [13]; the Tunisian experiment show it. In this case, it is of primary importance to have a tool of forecast of the permeator flow out of lifetime (> 5 years).

The objective of this paper is to work out a reliable and effective mathematical model for the calculation of the permeateur flow (modules) of membrane desalination, through the modelling of the MFRC. To arrive at that, we must work out the mathematical models of MFRC behaviour, with pressure and temperature at the end of the first and the third year for the two cases: B9 and B10 permeators. For that of MFRC behavior at the end of the fifth year; they already exists [10], [11], [7].

MEANS AND METHODS:

The flow of a permeator (module) of membrane desalination of B10 and B9 types, is given as being the product of four parameters [4], [5], [6]: The pressure correction factor PCF, The temperature correction factor TCF, The membrane flux retention coefficient MFRC and Initial permeator capacity at standard test conditions. The only parameter which depends on time is MFRC. The tables giving the MFRC, gives measurements for nine values of temperature and seven values of pressure –only four values of pressure for the B9 permeators, - at the end of the first, the

third and the fifth year of operation [4], [5], [6]. We follow in this work, the same base of methodology that we worked out, used and published in preceding work to study the behavior of the MFRC (Metaiche and al.. (2003) [10], Metaiche and al.. (2003) [11]), we will pass by: 1- Study and modelling of MRFC behavior with the pressure at constant temperature, and with the temperature at constant pressure.The more adapted model is :MFRC = F (P) = $A.e^{B.P}$. 2- To calculate the values of A and B. 3- Study and modelling of A and B behaviour with the temperature: A= F (t) and B = F (t). The more adapted model is the polynomial type, in the form: A = $a_1.t^3 + b_1.t^2 + c_1.t + d_1$ and B = $a_2.t^3 + b_2.t^2 + c_2.t + d_2$. 4- To calculate the values of the coefficients: a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2 and d_2 . 5- To draw the model MFRC = F (P, T) at the end of the first year. 6- To take again the preceding steps for the end of the third and the fifth year. 7- To calculate the values of the coefficients a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2 and d_2 . 8- To study and model the variation with time (number of years of operation) of a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2 and d_2 coefficients. 9- To draw and form finally the model MFRC = F (P, T, N); N: it is the number of years.

RESULTS AND DISCUSSION:

*** B 10 permeators case:** MFRC = $(A_1.t^3 + B_1.t^2 + C_1.t + D_1).e^{(\alpha_1.t^3+\beta_1.t^2+\gamma_1.t+\theta_1).10^{-3}.P}$

P: pressure in Psi , T: the temperature in °C, n: it is the number of years of operation. With:

$A_1 = (0{,}1676.n^2 - 2{,}3640.n - 24{,}0380).10^{-6}$.

$B_1 = (0{,}6708.n + 12{,}1270).10^{-4}$.

$C_1 = (-0{,}0005.n^2 - 0{,}0317.n - 0{,}5764).10^{-2}$.

$D_1 = (-0{,}0006.n^2 + 0{,}0069.n + 1{,}0587$.

$\alpha_1 = (-0{,}0409.n^2 + 0{,}7160.n + 11{,}949).10^{-6}$.

$\beta_1 = (0{,}0385.n^2 - 0{,}5963.n - 8{,}6164).10^{-4}$.

$\gamma_1 = (0{,}00485.n^2 - 0{,}0356.n - 0{,}048).10^{-2}$.

$\theta_1 = 0{,}00102.n^2 - 0{,}0109.n - 0{,}0961$.

*** B-9 permeators case:** MFRC = $(A_2.t^3 + B_2.t^2 + C_2.t + D_2).e^{(\alpha_2.t^3+\beta_2.t^2+\gamma_2.t+\theta_2).10^{-3}.P}$

P: pressure in Psi, T: the temperature in °C, n: it is the number of years of operation. With:

$A_2 = (0{,}07106.n^2 - 0{,}46645.n + 0{,}5005).10^{-6}$.

$B_2 = (-0{,}0516.n^2 + 0{,}3262.n - 0{,}384).10^{-4}$.

$C_2 = (0{,}0096.n^2 - 0{,}0598.n + 0{,}0714).10^{-2}$.

$D_2 = -0{,}0003.n^2 + 0{,}0018.n + 0{,}9973$.

$\alpha_2 = (-1{,}4635.n - 35{,}934).10^{-6}$.

$\beta_2 = (0{,}0844.n^2 - 0{,}0885.n + 11{,}654).10^{-4}$.

$\gamma_2 = (-0{,}0166.n^2 + 0{,}0324.n - 1{,}8823).10^{-2}$.

$\theta_2 = 0{,}00238.n^2 - 0{,}0234.n - 0{,}1718$.

The errors made on the estimate of all coefficients, are lower than 3‰. By the use of the same steps of the method that we already published in the articles: «Mathematical modeling of desalination parameters: one stage reverse osmosis case» [14], «New approach for computation of RO desalination parameters» [15] and « Nouvelle méthode pour le calcul des centrals de dessalement par osmose inverse» [16].

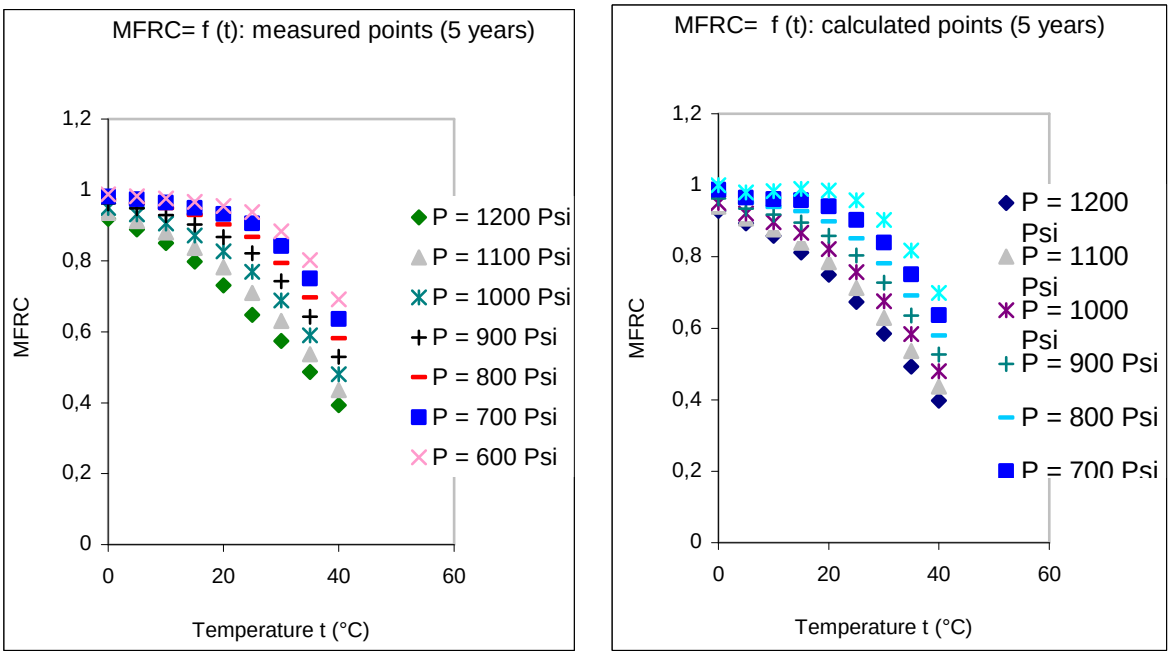


Figure 1 : The curves MFRC = f(t), B10 permeators case.

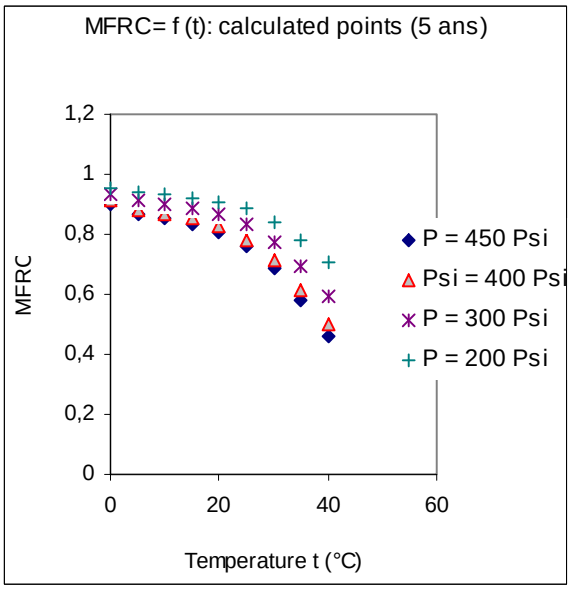


Figure 2 : The curves MFRC = f (t) , B9 permeators case.

CONCLUSION:

A long and complicated work was carried out; test of 1019 mathematical models, i.e. to also evaluate 1019 coefficients of correlation, and to choose most powerful at each stage. And by consequence, to calculate a more significant number of coefficients, by the means of the data-processing programs which we have to work out for these ends. A computational model of permeator flow for reverse osmosis desalination (sea waters and water brackish), reliable and effective is elaborate. The production of a RO desalination plant can be evaluated automatically in any moment of exploitation. The error analysis showed that the model that we established is very quite representative and reliable. This model which is formed by nine equations, does not prove practical for numerical calculations, but -and as all other stages of calculation of desalination systems is carried out on computers and PC- it is very useful, and its role is of primary importance for automatic calculations, and forms an important tool in the programming work data-processing. The importance of the model carried out for work of optimization of desalination systems, is

certain, because it is obvious now, that the unrolling of this calculations type, is carried out neither starting from the tables nor with the hand.
We add at the end that, to know the production of a desalination system under the various conditions and constantly at the exploitation, can better converge works which aims at reducing the costs more.

BIBLIOGRAPHIES:

1 « Guide Général des Produits pour Osmose Inverse », du Pont Company, 1994.
2 « General Guide to Products, Technology and Services », du Pont Company, 1997.
3 « Osmose Inverse: Technologie », SophieBertrand, Manuel du cours en tensif sur « techniques à membranes et dessalement de l'eau de mer et des eaux saumatres : principes-etat de l'art, Tunis(Tunisia) 23-27 Février 2004.
4 « B-9 Permasep* Permeators Factors Influencing Performance: Bulletin 3020 », du Pont Company, 1994.
5 « B-10 Permasep* Permeators Factors Influencing Performance: Bulletin 2020 », du Pont Company, 1994.
6 « Permasep Products Engineering Manual », Du Pont Company, 1992.
7 «Parametric Cost Analysis Study of Seawater Reverse Osmosis Systems Design in Kuwait» , A.A.J.Al Zubaidi, Desalination, 76(1989).
8 « Contribution à la Modélisation du Prix de Revient de l'eau Dessalée par un Système d'Osmose Inverse Mono étage», M.Metaiche ,A.Kettab and B.Bengueddach, Actes du colloque international sur l'eau : gestion quantitative et qualitative des ressources en eau, Chlef (Algeria), February 2002.
9 « Design and Economics of Seawater Desalination», A.Malek, M.N.Hawlader and J.C.Ho, Desalination 105(1996).
10 « Contribution à la modélisation du facteur de correction de flux de rétention de la membrane « MFRC » de dessalement de l'eau de mer : cas des modules B-10 », M.Metaiche, A.Kettab and B.Bengueddach, Desalination, 158(2003).
11 « Contribution à la modélisation du facteur de correction de flux de rétention de la membrane « MFRC » ; cas des modules B-9 », M.Metaiche and A.Kettab , Proceeding of National Seminar about Water and Environment, Béchar (Algeria), September 2003.
12 « Permasep* B-10 TWIN™ Permeator: Bulletin 2040 », Du Pont Company, 1992.
13 « The B-10 Single Bundle Permasep* Permeator: Bulletin 2010 », Du Pont Company, 1992.
14 « Mathematical Modeling of Desalination Parameters: Mono Stage Reverse Osmosis Case », M. Metaiche and A. Kettab, article accepted for to publish in Desalination Journal.
15 «New Approach for Computation of RO Desalination Parameters», M.Metaiche and A.Kettab, article soumis à la revue 'International Journal of Nuclear Desalination'.
16 «Nouvelle Méthode pour le Calcul des Centrals de Dessalement par Osmose Inverse», M.Metaiche and A.Kettab, Proceeding of 3th National Seminar about Water resources, Mascara (Algeria), May 2004.

ETUDE QUALITATIVE DES EAUX DANS LE MOYEN SEBOU (REGION DE FES)

L. BENAABIDATE[1], M. BRIKA[2], B. KOUKAL[3], B. OUDDANE[4] & J. DOMINIK[3].

[1]F.S.T Saïss, B.P. 2202 Fès, Maroc. E-mail : benaabidate@yahoo.fr

[2]F.L.S.H. Saïss, B.P. : 59, Fès, Maroc

[3]Inst. F.A Forel, 10, route de Suisse, CH-1290, Versoix, Suisse.

[4]Lab. de chimie analytique et marine, UMR 8013 CNRS, UST Lille1, France.

INTRODUCTION

Le bassin versant de Sebou constitue l'un des plus grands bassins versants du Maroc (Fig.1) sur le plan superficie et ressources hydriques. Cependant, il souffre d'une précipitation mal répartie dans le temps et dans l'espace, laquelle est combinée à la dégradation des ressources existantes. Cette dégradation touche surtout les eaux de surface de ce bassin (Azzaoui, 1999). Cette détérioration de la qualité des eaux est une conséquence directe du déversement des rejets d'eaux usées de toutes catégories, notamment industriels et domestiques. Ces rejets font de ce bassin versant la région socio-économique du pays la plus touchée par la pollution. Les métaux lourds constituent une grande partie des substances polluantes dans ce bassin versant. Ces métaux lourds proviennent des activités industrielles traditionnelles et modernes.

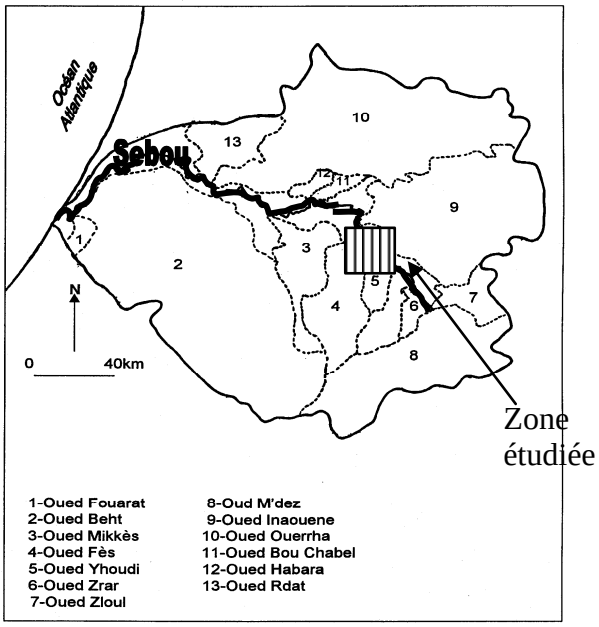


Figure1: Bassin versant de l'Oued Sebou

MATERIELS ET METHODES

Les points d'échantillonnage sont situés dans la région de Fès, sur les lits de l'oued Fès et du Sebou (Fig.2). Les analyses de ces échantillons ont été effectuées dans le Laboratoire de l'Institut F. A Forel de Genève et ont intéressés les métaux lourds suivants ; Al, As, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, et le Zn.

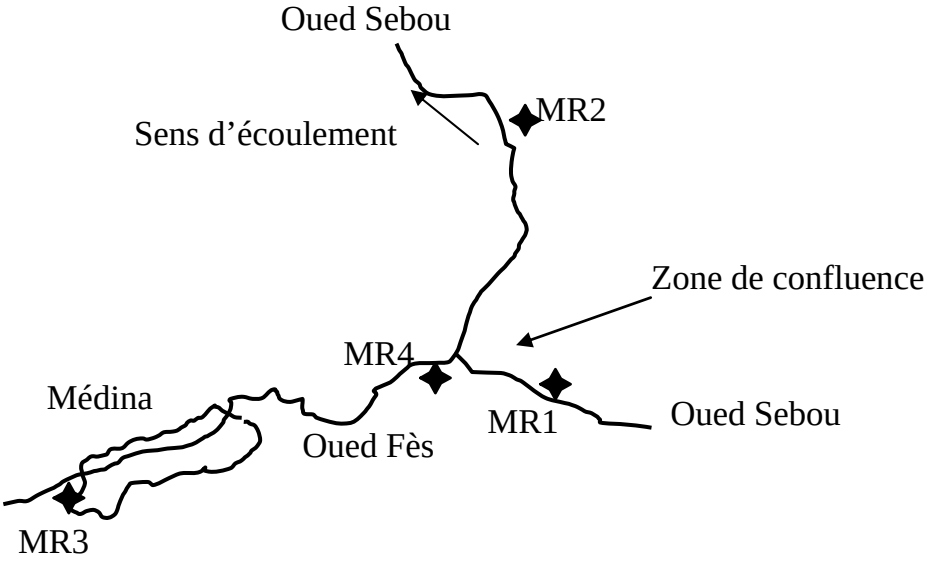


Figure2: Situation des points d'échantillonnage des eaux de surface

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les sources de pollution

Le flux de la pollution affectant les ressources hydriques de l'Oued Fès et par conséquent celles du Sebou correspond surtout aux effluents industriels et domestiques. Dans cette étude on va s'intéresser seulement à la pollution industrielle. Pour celle-ci, les grandes unités industrielles sont (Fig.3) (Brika, 2001) :

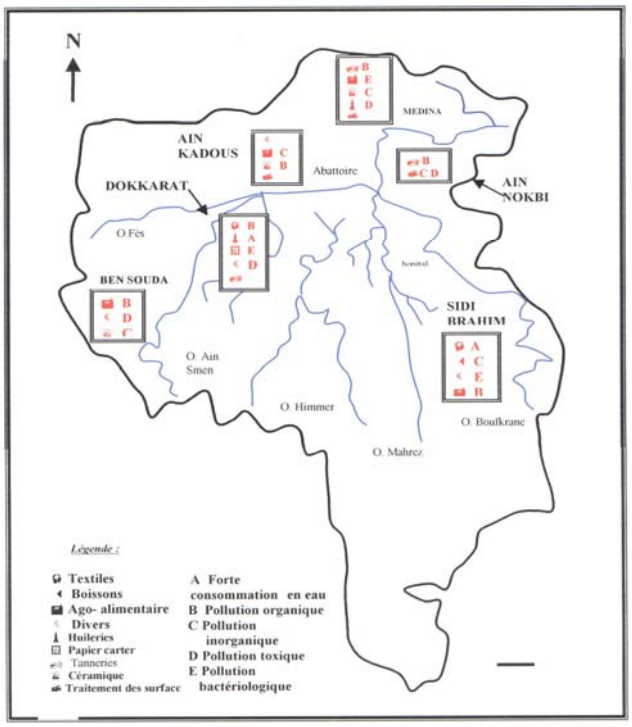


Figure3 : Les grandes unités industrielles dans le périmètre urbain de la ville de Fès

En période oléicole, les huileries constituent environ 45% de la pollution industrielle totale (Fig.4). Ces huileries rejettent un liquide visqueux rouge noirâtre qui représente 50 à 70% des eaux résiduelles d'olives (margine). La plus part de ces rejets sont collectés dans des camions citernes et pour être évacués dans des zones d'épandage dans le Prérif. *Cependant* d'autres huileries continuent à déverser leurs rejets clandestinement dans l'Oued.

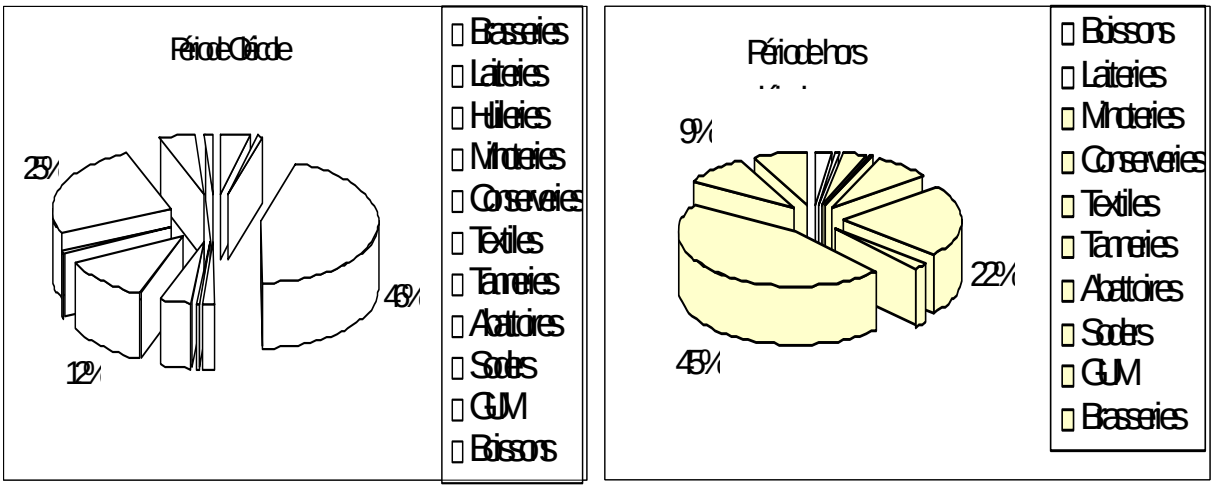


Figure 4 : Répartition des flux polluants par activité

En dehors de la période oléicole c'est l'usine de production de levure qui génère plus de pollution dans les eaux. Dans les deux situations, les tanneries constituent le second pôle pollueur. Ces tanneries (Fig.5) utilisent des produits à base de chrome dans le lavage des peaux, lequel libère des quantités importantes de Cr. D'autres activités artisanales telles que les ateliers de traitement de l'or et de l'argent seraient libèrent dans les eaux d'importantes teneurs en Cuivre (El Haite, 1991).

Figure 5 : Image des tanneries de la Médina de Fès

Les analyses des points d'eau échantillonnés sont données par le tableau suivant (Tab.1) :

Site	MR1	MR2	MR3	MR4
Al (µg/l)	4.3	17.4	8.4	7.9
As	0.7	0.8	0.9	1.2
Cr	1.2	9	214	75.5
Co	0.15	0.4	0.48	1.06
Cu	11.5	10.5	29.3	40
Pb	0.05	0.5	29.3	40
Mn	3.54	34.8	26	50
Zn	2.39	14.69	55	130

Tableau1: Analyses chimiques dans les 4 sites

On remarque, qu'à part l'aluminium, tous les éléments analysés présentent une augmentation de teneur entre le point MR1 et le point MR4. En effet, le point MR1 est situé sur l'Oued Sebou en amont de la confluence avec l'Oued Fès, c-à-d en amont de toutes les sources de pollution. Le point MR4 est situé en aval de tous les rejets en eaux usées de la ville de Fès et avant confluence avec le Sebou. De ce fait, ce point enregistre le maximum de pollution. Le point MR3 est situé en amont de l'ancienne Médina mais en aval des zones contenant les autres activités industrielles déjà mentionnées dans la figure 3 ; Ain Kaddous, Dokkarat, Bensouda… Le point MR2 est situé sur le Sebou à une dizaine de km de la confluence. Les eaux y sont relativement moins polluées, probablement par le mécanisme d'autoépuration des eaux et / ou par fixation des métaux lourds dans les eaux pendant leur écoulement vers ce point MR2.

CONCLUSION

Les eaux de surface du plus important bassin versant du Maroc sont affectées par la pollution surtout d'origine industrielle, qui provient dans la zone étudiée du centre urbain de la ville de Fès. Les rejets relatifs sont déversés dans les cours d'eau de surface (oued Fès et ses affluents) sans aucun prétraitement. On note ainsi une augmentation des teneurs de ces métaux suivant le sens d'écoulement de l'Oued Fès. Après confluence avec l'Oued Sebou, les eaux de ce dernier, naturellement non polluées participent à la dilution des eaux mélangées (oued Fès et Oued Sebou). Pour remédier à cette pollution des eaux de surface de la région de Fès, l'état, d'une part, a lancé un projet de transfert des activités polluantes de la Médina de Fès à la région d'Ain Nokbi, loin de cours d'eau de l'Oued Fès, et ce pour bien contrôler les rejets de ces activités. D'autre part, il a installer une station de déchromatage dans le quartier Dokkarat (en amont de la Médina) où sont réunies d'autres activités artisanales.

BIBLIOGRAPHIES

1. AZZAOUI S., 1999 : Les métaux lourds dans le bassin versant du Sebou : géochimie, sources de pollution et impact sur la qualité des eaux de surface.
   Thèse de doctorat, Fac Sc. Kénitra, Maroc.
2. BRIKA M., 2001 : Evolution quantitative et qualitative des eaux de l'Oued Fès : amont – aval de la ville de Fès.
   Mémoire de DESA, Fac. Lettres et Sc. Humaines Saïss Fès. Maroc
3. EL HAITE H., 1991 : Eléments de réponse pour une meilleure maîtrise des pollutions et gestions des eaux usées à Fès.
   Thèse 3 cycle, Univ. My Ismail, Meknès, Maroc.

UTILISATION DU FER A LA VALENCE ZERO POUR L'ELIMINATION DE CERTAINS PESTICIDES ORGANOPHOSPHORES PRESENTS DANS LES EAUX DE REJET

R. BOUSSAHEL[1], B. WELTE[2], M. BAUDU[3], A. MONTIEL[2]

[1]Hôpital Central de l'Armée. Service de Toxicologie BP 244 Kouba 16050 Algérie.
Fax : 021 54 52 38 Email : r_boussahel@yahoo.fr
[2]Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris (SAGEP),9 rue Schoelcher 75014 Paris, France.
[3]Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement, Faculté des Sciences,123 Avenue Albert Thomas 87060 Limoges, France.

INTRODUCTION:

Les pesticides sont devenus un outil incontournable de l'agriculture moderne. Leur utilisation à une grande échelle et parfois abusive a généré des pollutions inquiétante de l'environnement en général et des eaux souterraines et de surface en particulier. Compte – tenu du danger qu'ils présentent pour la santé humaine (certains d'entre eux sont suspectés d'être cancérigènes et / ou mutagènes) leurs résidus dans les eaux potables ont été sévèrement limités par les instances sanitaires internationales. Ces contraintes ont obligé les producteurs d'eau potable à insérer dans leur filières de traitement des procédés d'élimination de ces polluants. Le charbon actif en poudre (CAP) ou en grains (CAG) est largement utilisé pour ses capacités adsorbantes. Très efficace avec les produits apolaires, il l'est beaucoup moins avec les produits polaires (1). On utilise aussi l'ozone qui dégrade ces composés par oxydation. Il doit être couplé à un filtre en CAG pour affiner le traitement (2). Ces polluants sont aussi éliminés par des techniques membranaires telles que l'ultrafiltration couplée au CAP (3) ou la nanofiltration (4). L'élimination de ces contaminants par la réduction chimique avec du fer à la valence zéro est de plus en plus citée dans la littérature. Ainsi, la dégradation de certains herbicides de la famille des s – triazines est décrite comme une réaction rapide de déshalogénation et / ou de désalkylation (5), (6), (7). Les capacités réductrices de ce métal ont aussi été montrées pour certains pesticides organochlorés (8), de même que pour certains herbicides (9) ou carbamates (10). En présence d'eau la réduction du composé organique chloré est la suivante :

$$Fe_0 + RCl + H_+ \rightarrow Fe_{2+}\ RH + Cl_- \qquad (1)$$

Dans une récente étude nous avons mis en évidence l'efficacité de ce métal dans la dégradation de certains pesticides organochlorés (lindane, heptachlore, DDE, DDT, endosulfan). Les résultats obtenus ont montré que la vitesse de déchloration est proportionnelle à la surface spécifique du fer et aussi dépendante du pH de la solution (11). L'objectif de la présente étude est d'explorer ces mêmes capacités réductrices pour trois pesticides organophosphorés (diazinon, malathion et parathion méthyl).

MATERIEL ET METHODES

Le fer en poudre 100 mesh pur, à 99% utilisé lors de cette étude a été acquis chez Labosi. L'acide sulfurique Normapur à 95 % (Prolabo), de l'hydroxyde de sodium (NaOH) de chez Merck et du coton en verre (Prolabo) ont été aussi utilisés. L'eau distillée est produite dans le laboratoire sur un appareil Elix (Millipore). Le méthanol et l'acétate d'éthyle de qualité HPLC ont été acquis respectivement chez Prolabo et SDS. Les étalons de pesticides purs (diazinon, malathion et parathion méthyl) et le bromophos éthyl (étalon interne) ont été acquis chez Cluzeau.

Une quantité de 10 g de fer en poudre 100 mesh est introduite dans une bouteille en verre de l litre est lavée par 50 ml d'une solution de H_2SO_4 0,5 M pendant 10 minutes sous agitation avec un barreau aimanté. La solution de lavage est jetée et l'opération renouvelée une seconde fois. Un volume de 1 L d'une solution de pesticides de concentration de 200 $\mu g.L^{-1}$ préparée dans de l'eau distillée est ajouté Tout juste après, l'électrode du pH - mètre est immergée dans la solution. Dans le cas où nous avons travaillé à un pH de 4 (± 0,2), ce dernier est ajusté et maintenu à ce niveau par ajout de quelques gouttes d'une solution de H_2SO_4 3M.

Régulièrement, des prélèvements de volumes de 5 ml de cette solution sont effectués avec une pipette jetable de 10 ml. Ce volume prélevé est introduit dans une fiole jaugée de 1 litre contenant de l'eau distillée et 8 ml d'une solution de NaOH 2,5N. Cette dernière est utilisée afin d'arrêter la réaction de dégradation par le fer. Une fois que le volume est ajusté à 1 litre, l'échantillon est bien mélangé . Les pesticides restants (non dégradés) sont d'abord extraits de l'eau par SPE et ensuite analysés par CPG / NPD (12).

RESULTATS ET DISCUSSION

Les expériences initiales ont été mené sans intervention sur le pH de la solution à traiter. Les résultats obtenus montrent que :

- le parathion méthyl se dégrade rapidement, sa concentration chute sous les 10% de la concentration initiale au bout des 20 premières minutes,
- la dégradation du malathion est moins rapide, sa concentration atteint 20% de la concentration initiale au bout de 3 heures,
- le diazinon est la molécule la plus lente à se dégrader, seuls 40% de la concentration initiale sont éliminés au bout de 3 heures,
- le pH de la solution a augmenté durant les 10 premières minutes (de 4,0 à 6,1) et puis a diminué doucement tout le long du temps restant jusqu'à atteindre une valeur finale de 5,3.

Dans une deuxième étape, nous avons travaillé à un pH plus acide afin d'essayer d'améliorer les vitesses de dégradation de ces molécules et en particulier celle du diazinon. Le pH a été maintenu autour de la valeur de 4,0 ± 0,2 par ajout d'acide sulfurique. Les résultats obtenus ont été très remarquables. Les concentrations du parathion méthyl et du diazinon ont atteint des valeurs inférieures à 10% de leurs concentrations initiale au bout de 10 minutes. Le malathion a mis 20 minutes pour atteindre ce niveau de dégradation. Au bout de 30 minutes de traitement, seul ce dernier pesticide est encore détecté (concentration inférieure à 10 % de la concentration initiale).

Les coefficients de corrélation obtenus pour courbes log $(C_r / C_0) = f(t)$ dans le cas les deux expériences montrent que, comme pour les pesticides organochlorés (11), la dégradation des molécules organophosphorés étudiées par les fer à la valence zéro est une réaction de pseudo - premier ordre (tableau I). D'autre part, les constantes de vitesse de pseudo - premier ordre calculées pour ces pesticides montrent d'une façon très remarquable l'influence du pH de la solution traitée sur les vitesses de dégradation. Ainsi, cette constante est multipliée par 2,7 pour le parathion méthyl, par 13,4 pour le malathion et par 87 pour le diazinon.

Tableau I : constantes k de vitesse de pseudo - premier ordre calculées pour les pesticides organophosphorés.

	k (h^{-1})	**R^2**	**k (h^{-1}) à pH = 4**	**R^2**
Parathion méthyl	4,374	0,84	11,86	0,92
Diazinon	0,192	0,87	16,72	0,97
Malathion	0,493	0,99	6,62	0,98

Les mécanismes de dégradation des pesticides organophosphorés par le fer à la valence zéro n'ont pas été décrits dans la littérature. D'autre part, l'absence de l'atome de chlore (ou d'un autre halogène) dans ces molécules fait que nous n'avons plus affaire à une réaction de déshalogénation mais plutôt à des réactions de nitro - réduction et de désalkylation réductive.

La dégradation du parathion méthyl peut-être assimilée aux réactions de nitro - réduction abiotiques des groupes nitro - aromatiques déjà abordés dans la littérature (13).

La réduction du groupement nitro caractéristique des composés explosifs tels que le TNT par le fer en milieu acide a été déjà décrite en 1996 par Tratnyek (14). Cette hypothèse est d'ailleurs corroborée par l'élévation du pH durant l'étape de dégradation de ce pesticide. Grâce à sa stabilité en milieu acide et neutre comme tout les esters aryliques, cette molécule a été la moins influencée par l'abaissement du pH de la solution traitée.

D'autres voies de dégradation possibles du parathion méthyl peuvent être suggérées à savoir la désalkylation réductive par perte de un ou des deux groupements méthyl en même temps.

En s'inspirant des métabolites du malathion, les principales voies de dégradation de ce pesticide qui peuvent être proposées sont des réactions de désalkylation réductives, par la perte de groupements méthyl et / ou éthyl. La déséthylation qui se traduit par la formation d'acides organiques peut expliquer le phénomène de l'abaissement du pH de la solution traitée que nous avons constaté lors des premiers essais (figure 1). Le passage à un pH de 4 a favorisé la protonation de cette molécule et accéléré sa dégradation.

Compte-tenu de la configuration de la molécule du diazinon, les seules voies de dégradation de ce pesticide qui peuvent être avancées sont des réactions de désalkylation réductives par la perte de groupements méthyl et / ou éthyl. La protonation de la molécule à pH 4 a affaiblit certaines liaisons ce qui s'est traduit par une accélération très remarquable de la vitesse de dégradation de ce pesticide.

CONCLUSION

La réduction chimique par le fer à la valence zéro est un procédé prometteur dans le traitement des eaux contaminées par des pesticides organophosphorés. Les résultats obtenus dans ce travail montrent que le processus de dégradation des molécules étudiés est plus rapide et plus efficace à un pH acide. Compte tenu de l'absence de l'atome de chlore (ou d'un autre halogène) dans ces molécules, les principaux mécanismes de dégradation suggérés sont des réactions de nitro – réduction et de désalkylation réductive.

Cette étude montre l'intérêt pratique et économique de l'utilisation du fer à la valence zéro dans la décontamination in situ des eaux polluées par de tels pesticides.

BIBLIOGRAPHIE

1. MONTIEL et B.WELTE, L'affinage de l'eau par filtration sur charbon actif en grains. Les contraintes imposées par cette étape de traitement, *Sources et Ressources*, N° 4, pp. 25 – 30, (1997).
2. D. CLERET, TSM, N° 2, 54 – 56, (1999).
3. J.P. DUGUET, F. BERNAZEAU et A. BRUCHET, *XIXst International Water Suply Association Congres and Exibition " water and the environment " : a commun cause*, Budapest, 1 – 5, (1993).
4. R. BOUSSAHEL, M. BAUDU et A. MONTIEL, *TSM*, N° 4, pp. 49-53, (2001).
5. GHAUCH, J. RIMA, C. AMINE et M. MARTIN - BOUYER, *Chemosphere (Oxford)*, vol. 39, N° 8, pp. 1309 – 1315, (1999).
6. GHAUCH et J. SUPTIL, *Chemosphere*, N° 41, pp. 1835 – 1843, (2000).
7. T. DOMBEK, E. DOLAN, J. SCHULTZ et D. KLARUP, *Environmental Pollution*, N° 111, pp. 21 – 27, (2001).
8. D. G.SAYLES, G. YOU, M. WANG et M. J. KUPFERLE, *Environ. Sci. Technol*., N° 31, pp. 3448 – 3454, (1997).
9. G. R. EYKHOLT et D. T. DAVENPORT, *Environ. Sci. Technol*., N° 32, pp.1482-1487, (1998).
10. T. J. STRATHMANN et A. T. STONE, *Environ. Sci. Technol*., N° 35, pp. 2461-2469, (2001).
11. R. BOUSSAHEL, B. WELTE, J. AYELE, M. BAUDU, K.M. MOUSSAOUI et A. MONTIEL**,** *The Sixth International Conference and Exibition on Potable Water Management & Water treatment Technolgies*, 21-23 February, Cairo – Egypt, pp. 221 – 229,(2001).
12. R. BOUSSAHEL, S. BOULAND, K. M. MOUSSAOUI et A. MONTIEL**,** *23rd International Symposium on Chromatography*, 1st-5 st October, Olympia London – Great Britain, p. 122, (2000).
13. P.G. TRATNYECK et D. L. MACALADY, *J. Agric. Food Chem.*, N° 37, pp. 248 – 254, (1989).
14. P.G. TRATNYECK, *Chemistry and Industry*, July, pp. 499 – 503, (1996).

Etude Métallogénique du gisement aurifère d'Iourirne (Boutonnière de Tagragra d'Akka, Anti-Atlas occidental, Maroc)

Mohamed BENBRAHIM[1], Mohamed AISSA[1], Moulay Lahsen MAHDOUDI[1] et Mohamed ZOUHAIR[2]

1 Département de Géologie, Faculté des Sciences Université Moulay Ismaïl, B.P 4010 Bni M'Hamed Meknès 50 000 MAROC. E.mail : mbrah@yahoo.fr
2 Société A.G.M, MANAGEM / groupe ONA Casablanca, MAROC.

INTRODUCTION

La minéralisation aurifère a été découverte dans la boutonnière de Tagragra d'Akka par Thiebault en 1939 lors d'une compagne de prospection de l'or dans l'Anti-Atlas occidental. La présente étude a pour objectif d'examiner l'expression minéralogique de l'or dans les filons quartzeux et sa relation génétique avec les sulfures.

METHODOLOGIE

Pour répondre à l'objectif fixé pour cette étude, des échantillons ont été récoltés dans les filons aurifères (B, C, D', F) à différentes profondeurs. Ils ont fait l'objet d'une étude microscopique détaillée en lames minces et en sections polies. Les sulfures, notamment l'arsénopyrite, la pyrite et la pyrrhotite, ont été analysés à la microsonde électronique et les grains d'or ont été étudiés au microscope électronique à balayage.

CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL ET LOCAL

Le gisement d'Iourirne est situé à 260 Km au Sud-Est d'Agadir. Il fait partie de la boutonnière de Tagragra d'Akka (Anti-Atlas occidental) (Fig. 1). Cette dernière est composée d'un socle protérozoïque (PI, PII-III et PIII) et d'une couverture adoudounienne (Mortaji, 1989; Ikenne, 1997) Les filons aurifères d'Iourirne se présentent sous forme de filon de direction EW. Elles sont à texture bréchique et recoupent les formations métamorphiques et magmatiques encaissantes en développant un jeu décrochant dextre. Ces terrains ont subi une histoire tectonique complexe responsable de l'individualisation de deux types de schistosité S_1 (d'age éburnéen) et S_2 (d'age panafricain) (Marignac, 1990 ; Zouhair, 1992). Un certain nombre de filons aurifères sont exploités au niveau d'Iourirne (filons B, C, D, D', F, F', H, NE1 et NE2).

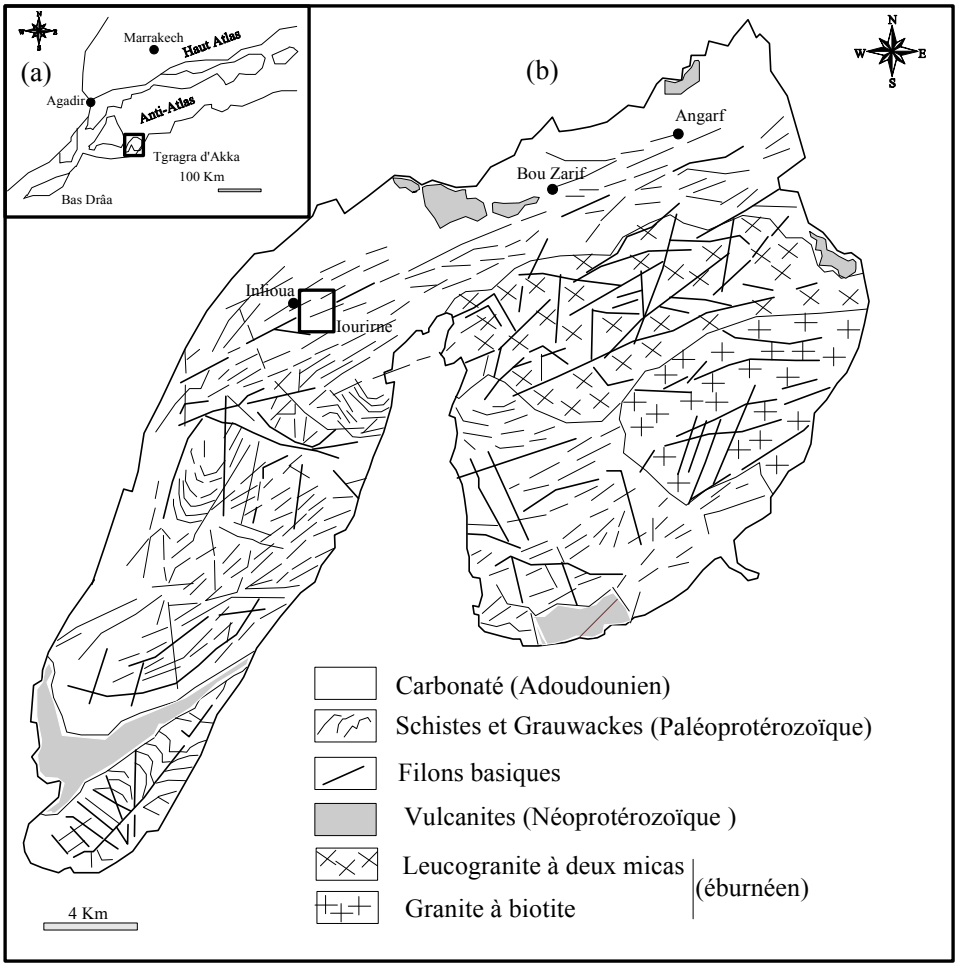


Figure 1 : Carte géologique simplifiée montrant. (a) Situation de la boutonnière de Tagragra d'Akka, (b) Carte géologique de Tagragra d'Akka et situation du secteur d'Iourirne (Choubert, 1963, Mortaji, 1989).

GEOCHIMIE DES SULFURES AURIFERES.

Les filons à quartz aurifère d'Iourirne présentent une texture brèchique. Les paragenèses minéralogiques sont constituées par le quartz, la chlorite, la muscovite, la séricite, les carbonates, la tourmaline, l'arsénopyrite, la pyrite, la pyrrhotite, la chalcopyrite, la galène, la covellite, la malachite, l'azurite, la magnétite, l'hématite et d'autres oxydes. Les principaux sulfures aurifères constituant les filons minéralisé (arsénopyrite, pyrite et pyrrhotie) ont fait l'objet d'une série d'analyses chimiques ponctuelles à la microsonde électronique. Les éléments analysés sont : le fer, l'arsenic, le soufre, le cobalt, le nickel et l'or.

 Arsénopyrite : xénomorphe, de taille variable (quelques µm) et s'exprime en abondance au niveau des brèches et dans les microcouloirs de cisaillement. Les analyses chimiques effectuées sur ce minéral ont permis de montrer que les coefficients de corrélation calculés entre l'or et les éléments majeurs Fe, As, S sont très faibles. Ils sont respectivement de l'ordre de 0.25, -0.17, 0.07.
 Pyrite : sub automorphe ou en plage xénomorphe, elle se développe progressivement au détriment de l'arsénopyrite et/ou de la pyrrhotite. Les corrélations de l'or avec les éléments Fe, As, S, sont également faibles. De l'ordre de 0.09, -0.11 et 0.

 Pyrrhotite : Elle est xénomorphe et moins abondante que les autres sulfures. Comme pour les sulfures précédents, on note une très faible corrélation entre l'or et les éléments analysés dans ce minéral : Ni, S, Co, Fe et As avec des valeurs de 0.08, -0.05, 0.3, 0.08 et –0.29

METALLOGRAPHIE ET GEOCHIMIE DE L'OR

Les grains d'or ont une taille variable de 40 µm à 7 000 µm, ils se présentent en association avec l'arsénopyrite, la pyrite et la pyrrhotite ou sous forme de pépites isolées dans le quartz (QI-II et QII). La gangue des filons aurifères est constituée de quartz et de carbonates. Ces derniers se développent de manière secondaire par dissolution du quartz. Les pépites d'or observées à la loupe binoculaire montrent une forme spongieuse. Les cavités sont plus au moins sphériques, ou irrégulières dans le cas où elles sont plus massives. Elles sont en baguettes, en lamelles ou dentelées. Les pépites contiennent en inclusions des oxydes de fer, surtout dans les échantillons de surfaces. Les cristaux d'or examinés en sections polies sont d'un jaune variable manifestement en liaison avec leurs teneurs en argent.

L'étude au MEB de la chimie des grains d'or contenus dans l'arsénopyrite, la pyrite, la pyrrhotite et le quartz, a permis de mettre en évidence des teneurs variables en Ag. Le diagramme Au/Ag de la figure 2, montre une corrélation négative entre ces deux éléments et suggérerait la présence, au moins, de deux générations d'or, dont la plus précoce serait celle associée à l'arsénopyrite .

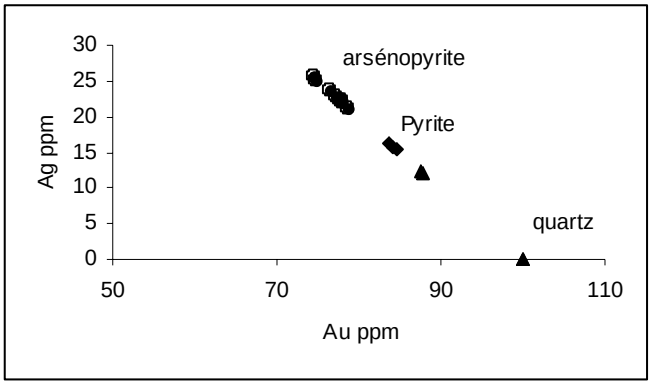


Figure 2 : Variation du rapport Au/Ag dans les grains d'or au contenus dans l'arsénopyrite, pyrite et quartz.

Par ailleurs, le report des analyses chimiques dans le diagramme Au /Ag, montre qu'il s'agirait d'un or mésothermal comme le montre la figure 3. Cette hypothèse est confortée par les résultats obtenus à partir de l'étude des inclusions fluides dont la température de piégeage de l'or est comprise entre 300°-350°C (Zouhair, 1992).

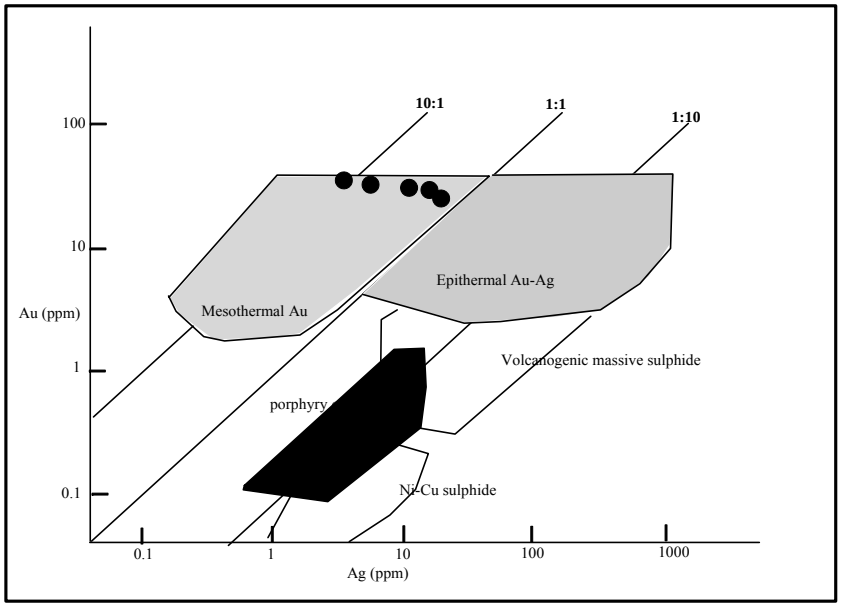


Figure 3: Diagramme montrant la projection de la composition chimique de l'or d'Iourirne se dans le domaine mésothermal (Marignac, 1998).

CONCLUSION

Les filons aurifères d'Iourirne correspondent à des zones de cisaillement affectant les formations métamorphiques du protérozoïque inférieur et les dykes de diorite quartzique intrusifs. L'étude métallographique et géochimique des sulfures et des grains d'or associés, a permis de conclure que : (1) au niveau des filons aurifères, la taille et la forme des grains d'or présentent une variation aléatoire ; (2) l'or incorporé dans les réseaux cristallins de l'arsénopyrite, la pyrite et la pyrrhotite est insignifiant; (3) le rapport Au/Ag dans les grains d'or observé au niveau de l'arsénopyrite, la pyrite et le quartz est variable ; (4) présence au moins de deux générations d'or et (5) le gisement d'Iourirne serait de type mésothermal.

BIBLIOGRAPHIE

1. Choubert G. 1963. Carte géologique de Foum El-Hassan-Assa. - *Notes Mémoires Service Géologique Maroc, Rabat*, échelle 1/100 000.
2. Ikenne M. 1997. La boutonnière précambrienne du Bas Draa (Anti-Atlas occidental, Maroc) :
3. Caractérisation pétrologique et géochimique des roches magmatiques et métamorphiques et leur relation avec la déformation. -Thèse Univ. Ibn Zohr, Agadir, Maroc, 285p.
4. Marignac C. 1990. Contribution à l'étude du potentiel aurifère des Tagragra d'Akka et de Tata. - *Rapport inédit BRPM*, Rabat, Maroc.
5. Marignac, C. 1998. Géologie des gîtes minéraux et métallogénie, 29p.
6. Mortaji A 1989. La boutonnière précambrienne de la Tagragra d'Akka (Anti-Atlas occidental ; Maroc) : Pétrologie et géochimie des granitoïdes, filons basiques et métamorphismes associées. - *Thèse 3ième cycle Univ. Nancy I. France*, 211 p.
7. Thiebault L. 1939. Rapport sur les opérations de prospection d'or dans l'Anti-Atlas. . *Rapport inédit BRPM, Rabat*, Maroc.
8. Zouhair M 1992. Les paleocirculations fluides dans la Tagragra d'Akka (Anti-Atlas ; Maroc). Etude combinée des inclusions fluides et de la déformation des quartz aurifère conséquences pour la métallogénie de l'or. - *Thèse 3ième cycle I.N.P.L Lorraine, France*, 393 p.

Le crétacé supérieur de la terminaison occidentale du plateau de tademaït (Sahara Algérien) : Biostratigraphie, Sédimentologie et Paléoenvironnement

BOUREGAA SLIMANE
Laboratoire de Paléontologie-stratigraphique et Paléoenvironement.
Département des Sciences de la Terre Université d'Oran
BP 1524 El Mnaouer Es-Sénia Oran 31000.
E-Mail : slimane1dz@yahoo.fr

INTRODUCTION

Contexte géographique et géologique de la région étudiée : le Plateau du Tademaït fait partie de la plate forme saharienne, il est limité au Nord et au Nord Est par l'Erg occidental et oriental, vers l'est par le Plateau de Tinrhert, à l'ouest par les régions de Gourara et de Touat.

La région étudiée constitue une partie de la terminaison occidentale du Plateau (fig. 1). Elle est occupée par des terrains laguno-marins du Cénomanien et du Turonien inférieur qui forme l'ossature principale du Plateau. Ces séries géologiques reposent en concordance sur les assises du continental intercalaire.

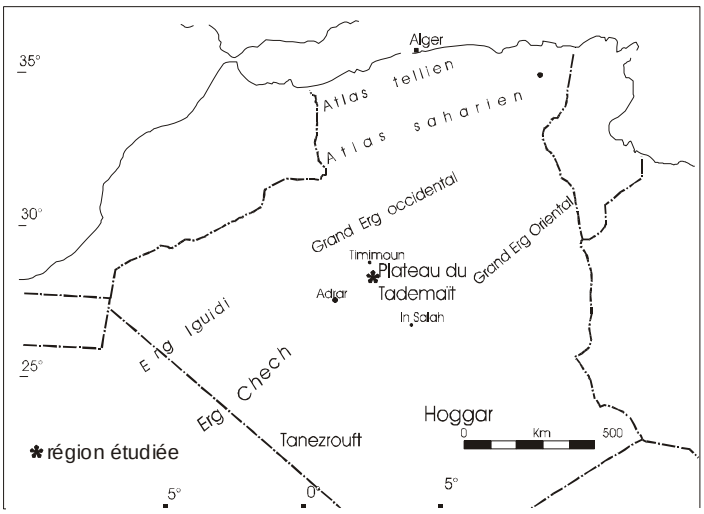


Figure 1 – Situation géographique du secteur étudié.

MATERIEL ET METHODES

L'étude géologique que nous avons menée sur le terrain et les coupes levées nous ont permis de mettre le point d'une part sur les figures sédimentaires (aspect sédimentologique)
et d'autre part sur la structure microscopique observée sur des plaques minces et ceci après un échantillonnage serré. En ce qui concerne la microfaune nous signalons que malgré les nombreux lavages effectués sur les argiles à gypses, ce faciès n'a livré aucune faune. Pour la macrofaune, un certain nombre de taxons a été récolté, étudié puis déterminé par des spécialistes.

RESULTATS ET DISCUSSION

I- Etude lithostratigraphique : l'étude géologique de la terminaison occidentale du plateau du Tademaït nous a permis d'individualiser deux formations géologiques distinctes et qui sont de bas en haut : (fig. 2)

- la formation d'argiles à gypses : elle est constituée par une série d'argiles à gypses, renfermant des traces de plantes. La couleur de ces argiles est versicolore (rouge, jaune, gris et vert). Les données de lavage ont révélé la présence de sel et de minéraux lourds en faible proportion, alors que la faune est absente. Cette série est attribuée au Cénomanien inférieur et moyen [1] et [2].

- La formation carbonatée : elle forme la carapace supérieure du Plateau. Cette formation est l'équivalent des « Calcaires inférieurs » (c2-t1) décrit par Busson dans le Tinrhert [1]. Cette formation est constituée par trois membres :

Le membre inférieur : (2.80 m) il est formé par des calcaires dolomitiques massifs à terriers, de couleur brunâtre ou grisâtre. Ce membre se termine par une surface de bioturbation.
L'étude paléontologique nous a permis d'identifier la faune suivante : fragments de *Neolobites vibrayeanus* (d'ORB.), *Neithea hispanica* (d'ORB.), *Costagyra olisiponensis* (SHARPE), *Ceratostreon flabellatum* (GOLDF), *Freneixostrea digitata* (SOW). Cette faune est caractéristique du Cénomanien supérieur [1], [2] et [3].

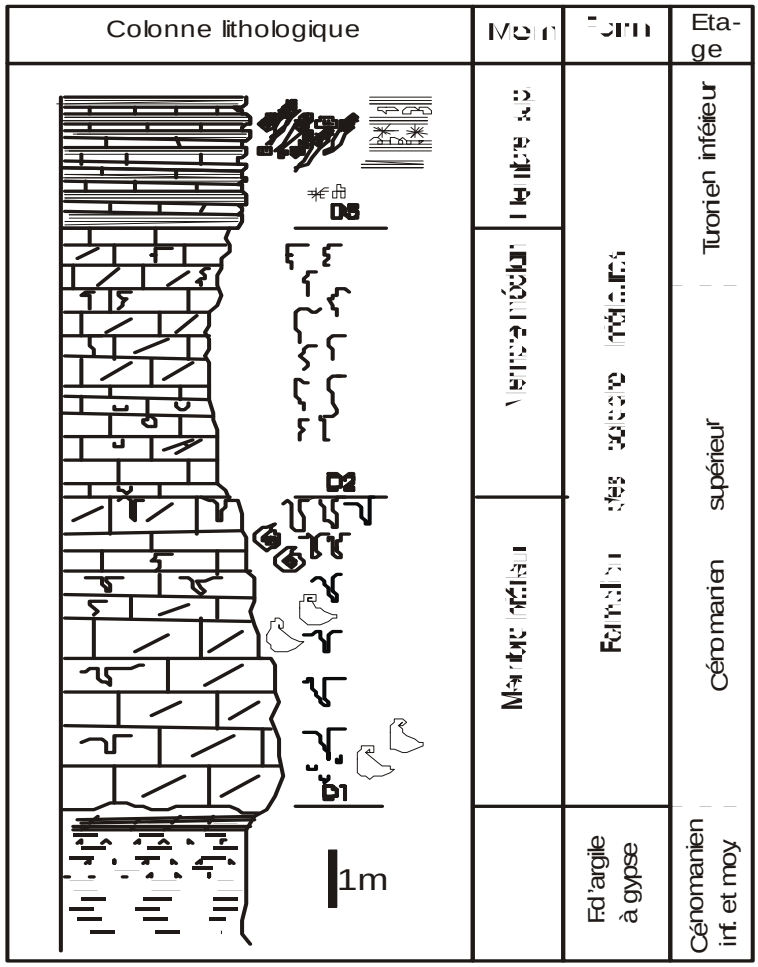


Fig. 2 – Colonne lithostratigraphique synthétique du secteur d'Aougrout (Tademaït occidental)

Le membre médian :
(4 m environ) il s'agit d'un calcaire jaune dolomitique légèrement crayeux renfermant des débris d'organismes (bivalves, articles de crinoïdes, radioles d'oursins, bryozoaires et foraminifères). La partie sommitale de ce membre renferme fréquemment des indices d'émersion. L'analyse microscopique de plusieurs échantillons montre :

- l'existence d'un calcaire vacuolaire à ciment de bordure fibreux aciculaire isopaque caractérisant la zone phréatique, les vides sont remplis par des cristaux en mosaïque ou de silicification.
- la présence de dolobiomicrosparite à débris de bioclast incertaine et inclusion d'oxydes de fer.
- une dolosparite à rhombes de dolomie, par endroit sont zonés, parfois entouré d'un liseré argileux, les argiles occupent les pores de dissolution.
- la présence d'un faciès de micrite dolomitisée et stylolitisée, ces derniers à enduit argileux, ferrugineux sont parallèles à la stratification.

Le membre supérieur : (3m environ.)

Il est constitué par une alternance de calcaire en plaquettes à laminations alguaires et de calcrète. L'étude microscopique des échantillons prélevés dans ce calcaire montre :

- Un calcaire à laminations correspondant à une alternance de micrite à foraminifères (milioles, cunéolines, indéterminés) et de lamines sparitiques affectée par les phénomènes de dessication donnant des vacuoles à allure stromatactis.
- Une calcrète ou « caliche » qui contient des gravelles et du quartz enrobé d'argiles (émersion), des birds eyes et des pisolites vadoses.

Le membre supérieur passe latéralement à un calcaire bioconstruit constitué par des Rudistes (*Hippurites*), de coquilles de lamellibranches brisées (alignés et disposés horizontalement), et de polypiers. La présence de quartz détritique indique que cet édifice récifale est probablement étouffé par l'arrivée des éléments détritiques terrigènes.

En l'absence de marqueurs biostratigraphiques dans le membre médian le passage Cénomanien supérieur-Turonien inférieur n'est pas établi, par contre la présence de rudiste du genre *Hippurites* dans le membre supérieur leur attribue un âge turonien inférieur [4] et [5].

II-Analyse sédimentologique et paléoenvironnementale : cette étude montre (Fig. 3)

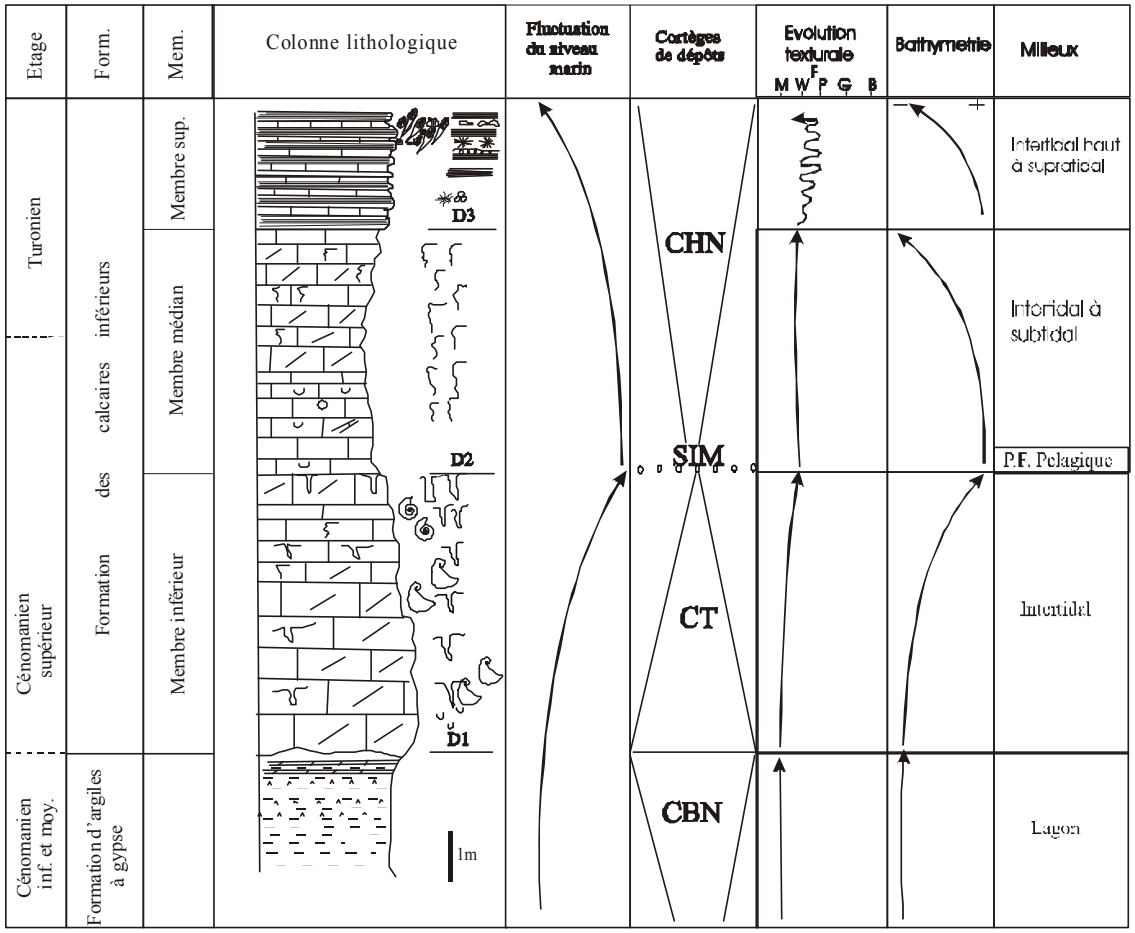


Figure 3 – Analyse et stratigraphie séquentielle de la terminaison occidentale du Plateau de Tademaït.

- La formation d'argiles à gypse : la présence d'argiles à gypse, avec de rares bancs carbonatés et le caractère azoïque indique un milieu lagunaire.

- La formation carbonatée : le membre inférieur présente des caractères sédimentaires indiquant un milieu de plate forme interne. Tandis que le membre médian montre un milieu pélagique ouvert vers le large, puis il devient subtidal à intertidal. Pour le membre supérieur, la présence des structures fénestrées et de caliche indiquerait un milieu plutôt intertidal haut à supratidal.

CONCLUSION

Une remontée eustatique du niveau marin en faveur d'une subsidence dans la plate forme saharienne, a généré une sédimentation de faciès carbonaté. Dans la région étudiée les faciès littoraux à épaisseur très réduite sont marqués au cour du Cénomanien supérieur Turonien inférieur avec la prolifération d'une faune diversifiée attribuée à la province sud téthysienne. [2], [6], [7] et [8]. Les différents processus diagénétiques distingués révèlent un milieu favorable à une dolomitisation intense par le modèle de « Dorag » justifié par la présence des rhombes de dolomie zonée. Ultérieurement, les dépôts ont subi une silicification par transformation de la calcite en ciment siliceux calcédonieux.

BIBLIOGRAPHIE

1. BUSSON G., DHONT A., AMEDRO F., NERAUDEAU D. & CORNET A. (1999) – la
2. grande transgression du Cénomanien-supérieur- Turonien inférieur sur la Hamada de Tinrhert (Sahara algérien) : datations biostratigraphiques, environnement de dépôts et comparaison d'un témoin épicratonique à matière organique du Maghreb. Cretaceous Research (1999) 20,academic press édit, pp. 29-46, 4 fig., 2 Tabl.
3. AMARD B. , COLLIGNON M. & ROMAN J. 1981 – Etude stratigraphique et paléontologique du Crétacé supérieur et Paléocène du Tinrhert-W et Tademaït- E (Sahara algérien). Doc. Lab. Géol. Lyon, H.S. 6, 15-173.
4. MEISTER C. & RHALMI M. (2002) – Quelques ammonites du Cénomanien-Turonien de la région d'Errachidia – Boudenib - Erfoud (partie méridionale du Haut Atlas Central, Maroc). *Revue Paléobiol*., Genève (2002) 21 (2) : 759-779.
5. ABDALLAH H., MEMMI L., DAMOTTE R., RAT P. & MAGNIEZ-JANNIN F. (1995) – Le Crétacé de la chaîne nord des Chotts (Tunisie du centre-sud) : biostratigraphie et comparaison avec les régions voisines. Cretaceous Research (1995) 16, 487-538.
6. CHIKHI-AOUIMER F. (2002) – Distribution biostratigraphique des Rudistes en Algérie : Etat des connaissance, Perspectives d'étude. *Mém. Serv. Géol. Alg.* n°11, pp.115-131, 1 fig., 2 tab., 4 pl., 2002
7. MEISTER C., MBINA MOUNGUENGUI M. & LANG J.(2003) – les ammonites du Cénomano-Turonien du bassin côtier nord- gabonais : systématique et intérêt paléogéographique pour la liaison Téthys-Atlantique *Sud. Revue Paléobiol*., Genève (juin 2003) 22 (1) : 341-355.
8. REYMENT R. A.& DINGLE R. V. (1987) – Paleogeography of Africa during the Cretaceous Period.

Caractéristiques Hydrodynamiques et géochimiques des eaux souterraines du Djérid (Sud ouest tunisien)

Samir Kamel[1, 2], Kamel Zouari [1], Lassaad Dassi[1]
[1] Ecole National d'Ingénieurs de Sfax, BP : W. 3038 Sfax, Tunisie
[2]CRDA, route de Nefta, 2200 Tozeur

INTRODUCTION

Le Sud Tunisien, par son climat semi aride à aride constitue une région naturelle où seules les ressources en eaux souterraines couvrent la principale source d'approvisionnement de l'Homme. Ces ressources se repartissent entre les nappes phréatiques et les nappes profondes. La nappe du complexe terminal contribue à elle seule à plus de 80 % des besoins de l'homme.

La surexploitation de la nappe du CT au niveau du bassin du Djérid avec des débits totaux avoisinants les 10.000 l/s entraîne une chute continue du plan d'eau dans des ouvrages (1m/an en moyenne) et faisant grimper les coûts du m^3 d'eau pompée. L'eau des nappes phréatiques est plus accessible à l'exploitation à l'aide des puits traditionnels (de petits diamètres et des profondeurs ne dépassant pas les 50 m). De ce fait l'exploitation de cette nappe n'a cessé d'augmenter et les prélèvements s'égalisent approximativement avec les ressources disponibles.

L'étude des caractéristiques géochimiques et isotopiques de ces nappes phréatiques permet de mettre en évidence son mode d'alimentation lié au retour d'irrigation des eaux de la nappe profonde.

MATERIELS ET METHODES

Une campagne d'échantillonnage, effectuée en 1999, a intéressé 143 points d'eau de la nappe du Complexe terminal (CT) et la nappe phréatique du plio-Quaternaire (PQ). Les échantillons ont fait l'objet d'analyses chimiques (Laboratoire de Radio-Analyses et Environnement de ENIS, Sfax) et isotopiques (Université Paris Sud, centre d'Orsay).

RESULTATS ET DISCUSSION

- **Faciès et parentés chimiques des eaux**

La nappe phréatique du bassin du Djérid est logée dans des formations alluviales récentes du PQ. Elle est alimentée par le surplus d'eau d'irrigation pompée de la nappe profonde du Complexe terminal (CT). Le faciès chimique des eaux de cette nappe est semblable à celui de la nappe du CT. L'ordre d'abondance des ions pour les eaux des deux nappes est le suivant : Ca = Na>Mg>K et SO_4 > Cl>HCO_3. Ce qui reflète probablement une origine commune de ces eaux.

- **Isotopes stables ($^2H/^{18}O$)**

La gamme des valeurs obtenues en □^{18}O exprimé en ‰ varie de -3 .85 à - 6.21 pour la nappe du Complexe terminal et entre -1.84 à - 4.22 pour la nappe phréatique. Les teneurs en deutérium varient entre -54 à -43.6 pour la nappe profonde et entre -28.9 à -42 ‰ pour la nappe phréatique.

Les points représentatifs des eaux du CT se localisent nettement en dessous de la droite des précipitations mondiales (Craig, 1961) et celle des précipitations de Sfax (Maliki, 2000). Cette observation, confortée par les activités ^{14}C relativement faibles, indique l'origine ancienne de ces eaux, probablement en relation avec leur recharge durant les périodes humides du Pléistocène. Ceci concorde avec les résultats obtenus au centre et au Sud tunisien. (Fontes *et al*., 1983; Ouda, 2000; Zouari *et al*., 2003).

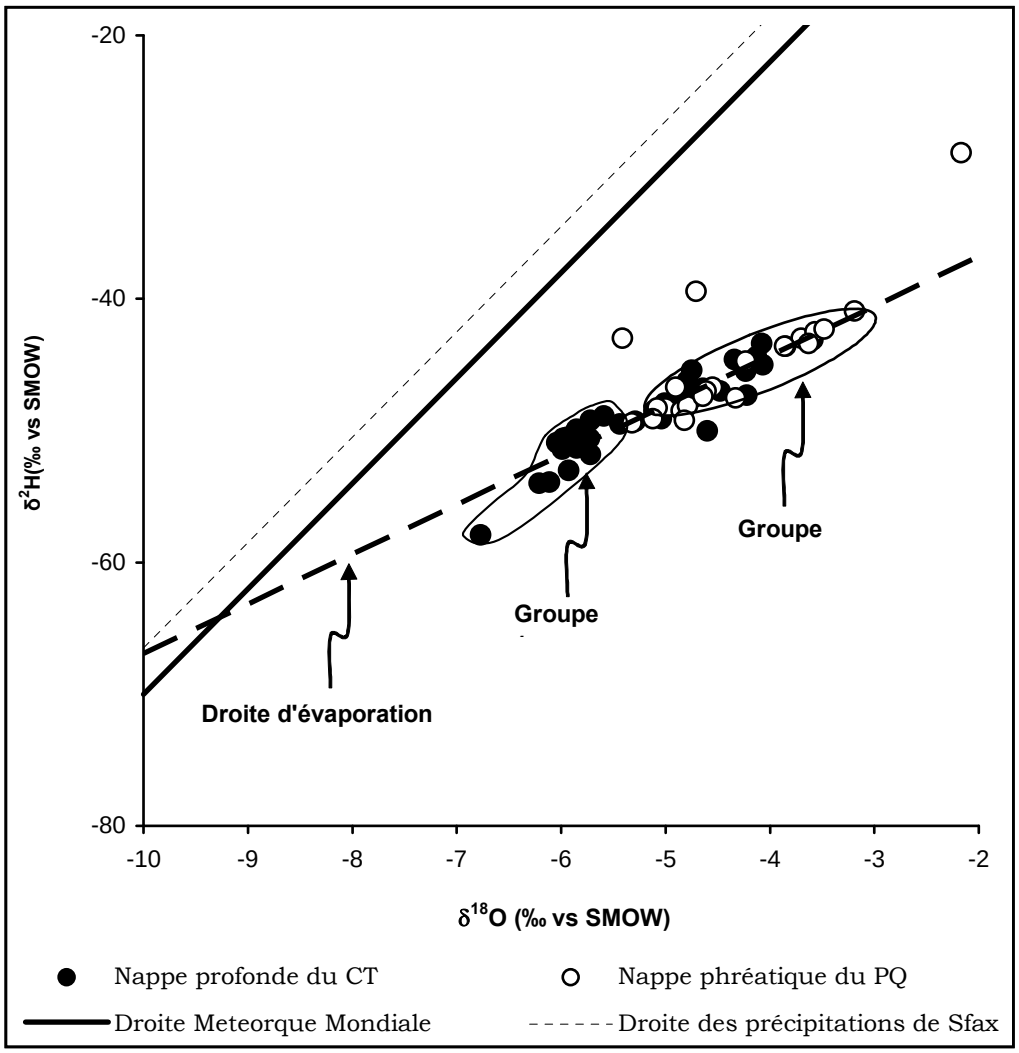


Figure 1 : Relation $^{18}O/^{2}H$ dans les eaux souterraines du Djérid

Les eaux de la nappe du CT se répartissent en deux groupes bien individualisés :

- Groupe 1 : se distingue par des teneurs appauvris en isotopes stables (de -7 à -5 ‰ pour l'^{18}O et de -58 à -49 5 ‰ pour le ^{2}H) et des faibles activités en carbone radioactif (entre 3,6 et 8 pcm). Ce groupe qui représente les forages profonds captant les niveaux aquifères les plus confinés (séparés des aquifères de surface par 300 m d'argiles compactes), reflète la signature isotopique des eaux anciennes paléoclimatiques.

- Groupe 2 : représente les eaux de la nappe du CT prélevées des niveaux aquifères les moins confinés (séparés des aquifères de surface par des argiles sableuses) et les eaux de la nappe phréatique. Les eaux du CT se distinguent par des teneurs plus enrichies en isotopes stables (de -4 à -5 ‰ pour l'^{18}O et de -49 à -50 ‰ pour le ^{2}H)) et des activités carbone-14 relativement plus fortes (entre 10 et 28 pcm). Les eaux de la nappe phréatique montrent des teneurs en isotopes stables également enrichies (de -5,12 à -3,2 ‰ pour l'^{18}O et -40,9 à -49,2 ‰ pour l'^{2}H) avec des activités ^{14}C très élevées (de 72 à 100 % pcm). Ceci traduit probablement une infiltration des eaux de l'aquifère de surface, alimenté par retour d'irrigation, vers les niveaux profonds à travers les couches argilo-saleuses semi-perméables.

Les eaux du groupe 2 s'alignent sur une droite de pente 3,7 témoignant d'un effet d'évaporation qui affecte les eaux d'irrigation à la surface du sol et pendant leur infiltration. Cette droite relie les eaux des deux groupes traduisant leur origine commune.

Les point d'eaux prélevées en dehors du domaine oasien occupent une position intermédiaire entre la droite d'évaporation et celle des précipitations mondiales. Ceci s'explique par l'absence d'eau de retour d'irrigation et une probable recharge récente.

- **Isotopes radioactifs (^{3}H, ^{14}C)**

Les activités ^{14}C des eaux du bassin du Djerid affichent des valeurs entre 3 et 100 pcm. Les eaux profondes de la nappe du CT, caractérisées par des faibles activités, se rajeunissent par équilibration avec le CO_2 atmosphérique lors de l'irrigation et pendant leur infiltration. Ceci explique les fortes activités enregistrées au niveau de l'aquifère de surface et au niveau de la partie la moins confinée de la nappe du CT.

Les concentrations en tritium ne dépassant pas l'unité pour tous les points échantillonnés confirmant l'origine ancienne et commune des eaux du CT et de la nappe phréatique.

La relation entre □ ^{18}O et les activités ^{14}C montre l'existence de différentes masses d'eau :

- Les eaux anciennes de la nappe du CT sans contribution des eaux de retour d'irrigation ;
- Les eaux anciennes de la nappe du CT avec contribution des eaux de retour ;
- Les eaux de la nappe phréatique du PQ, constituées exclusivement des eaux de la nappe profonde rajeunies et re-inflitrées par retour d'irrigation.

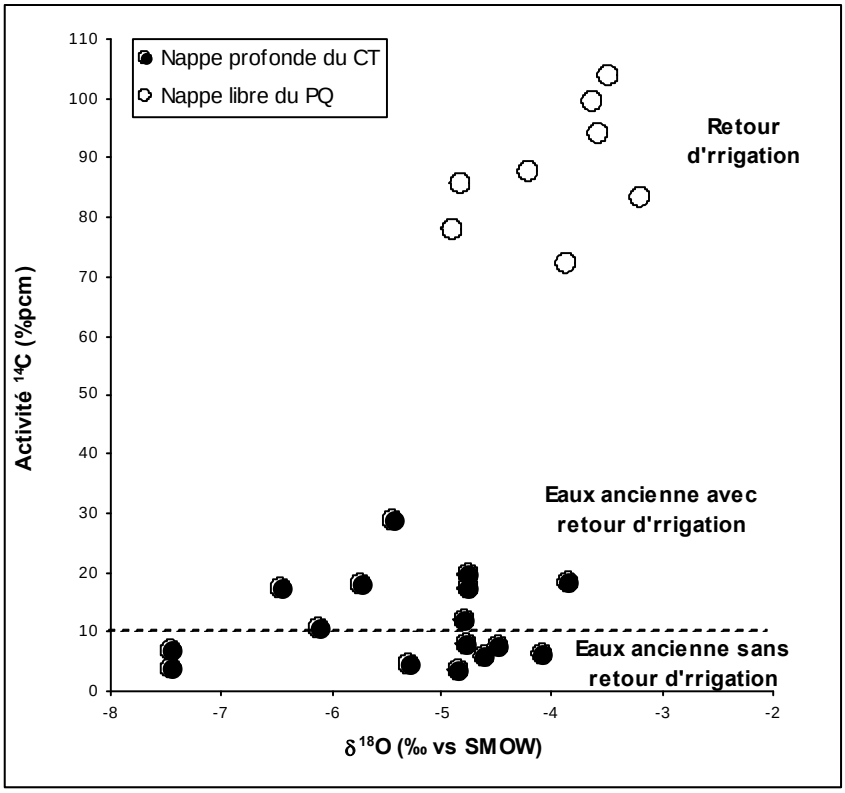


Figure 2 : Relation activité/^{18}O dans les eaux souterraines du Djérid

CONCLUSION

L'étude géochimique et isotopique des eaux du bassin du Djerid a mis en évidence l'origine et le mode de recharge des aquifères superficiel et profond. Les eaux profondes paléoclimatiques prélevées des niveaux aquifères les plus confinés du CT, sont à l'origine de la recharge de la nappe phréatique du PQ et en partie la nappe de l'aquifère le moins confiné du CT.

BIBLIOGRAPHIE

1. CRAIG H., 1961. Isotopic variation in meteoric water. Science 133, 1702-1703.
2. OUDA B., 2000. Paléohydrologie isotopique du bassin de Meknassi (Tunisie centrale) pendant le quaternaire récent. Thèse Doct. Univ. Tunis II, Tunisie, 240p.
3. MALIKI M. A., 2000. Etude hydrogéologique, hydrochimique et isotopique de système aquifère de Sfax (Tunisie). Thèse Doct. Univ. Tunis II, Tunisie. 301 p.
4. ZOUARI K., ARANYOSSY J. F., MAMOU A., FONTES J. CH., 1985. Etude isotopique et géochimique des mouvements et de l'évolution des solutions de la zone aérée des sols sous climat semi-aride (Sud tunisien). IAEA, Vienna, *Rapport technique,* 143 p.
5. ZOUARI K., CHKIR N., OUDA B., 2003. Paléoclimatic variation in Maknassi basin (central Tunisia) during holocene period using pluridisplinary approaches. IAEA, Vienna, CN 80-28.

Perspectives de développement de la réalimentation artificielle des nappes souterraines dans les régions semi-arides : cas de la nappe alluviale Ain-Chabro _ Tébessa (Est Algérien)

SEGHIR, K. et Pr. KHERICI, N.
Maître Assistante, Institut des Sciences de la Terre, Université de Tébessa
Professeur, Institut des Sciences de la Terre,Université Badji Mokhtar, Annaba

INTRODUCTION

La Wilaya de Tébessa a connu au cours des dernières années une période de sécheresse très intense, qui s'est traduit généralement par : un rabattement général du niveau statique des nappes ; un assèchement des puits de faible profondeur ; un dénoyage des équipements de pompage entraînant une réduction des débits de forages ; un tarissement générale des sources….etc. Devant la gravité de cette situation, il est important de mettre en place une politique de gestion durable et efficace qui permettrait d'accroître nos ressources en eaux. Cette stratégie doit reposer d'une part, sur la protection de la ressource en eau existante contre les pollutions éventuelles, et sur la recharge artificielle des nappes souterraines, si les conditions géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques sont favorables, d'autre part. La recharge artificielle des nappes souterraines a donné des résultats très positifs et encourageants dans différents pays dans le monde, notamment dans les payés maghrébins, par exemple, en Tunisie, elle a commencée au début des années 1980, et visait pour l'an 2000 par le stockage d'un volume de 100 Mm3 dans les aquifères. Au Maroc, cette technique est largement expérimentée depuis plus de 30 ans avec des résultats très excellents. Malheureusement, la recharge artificielle des nappes aquifères est absente dans l'Algérie et moins développée.

Pour le cas particulier de la W. de Tébessa, et pour répondre aux conditions de la réalimentation artificielle des nappes, nous avons étudier les possibilités de la récupération des eaux de précipitation (en particulier les eaux des crues..) d'oued Bouakous pour la recharge artificielle de la nappe Tébessa-Ain –Chabro. Il faut noter que ce projet est actuellement en cours d'étude et exécution par la direction de l'hydraulique et l'HCDS de la wilaya de Tébessa.

METHODOLOGIE

La technique de recharge artificielle adoptée est basée essentiellement,sur l'augmentation de l'infiltration efficace du sol, du site en question, par des puits verticaux de profondeur 30 m , remplies par des graviers (□ 2-5 mm), et bassins d'infiltration. Notre étude est divisée en deux parties essentielles:

a-La première partie (avant réalisation de l'ouvrage de recharge artificielle) : basée essentiellement sur l'analyse des données géologiques, hydrogéologiques, hydrologiques, géophysiques, et hydro chimiques anciennes et récentes sur la région d'étude (source d'alimentation : bassin versant de oued bouakous (Hammamet) ; et la nappe à rechargée (nappe Tébessa-Ain chabro). Généralement les résultats sont positifs et encourageants.

b-La deuxième partie sera réalisée après réalisation de l'ouvrage de recharge artificielle : Un suivie du niveau statique de la nappe et des analyses chimiques et bactériologiques, seront effectués juste après la réalisation de l'ouvrage et son mise en fonction.

PRINCIPAUX RESULTATS

L'étude préliminaire de la région en question a donné les informations suivantes :
La zone d'étude est située au NW de la ville de Tébessa. Elle a une superficie de 120Km^2. Elle est limitée dans sa partie Sud par une série des montagnes constituée principalement par Dj. Mistiri d'altitude égale 1338m. Généralement, la région fait partie du bassin d'effondrement de la plaine Tébessa-Morsott-Hammamet, qui est comblée par des sédiments d'origine continentale et entourée par des reliefs importants. En se basant sur des anciennes études hydroclimatologiques, la région d'étude est caractérisée par un climat semi aride de type continental, avec un été très chaud et sec et un hiver très froid et humide. La moyenne inter annuelle des précipitations tombées sur la région d'étude est de l'ordre de 350mm. Ces pluies sont souvent sous forme orageuses. D'après les renseignements de certains habitants de la ville de Hammamet, les fortes crues sont fréquentes dans la zone d'étude. Lors de ces crues, l'Oued Bouakous déborde par dessus de ses berges et un écoulement de débordement se forme aux plus bas biefs et les plus plats du réseau de drainage. Le calcule du bilan hydrique de la région d'étude sur deux périodes différentes a permis de tirer les informations suivantes : sur une période de 29 ans allant de l'année 1974 /1975 à l'année 2002/2003, la région d'étude est caractérisée par une évapotranspiration très forte qui égale respectivement 313.56 mm à Tébessa et 253.99 mm à Hammamet, d'une part, et un excédent très faible, égale respectivement 6.43 mm à Tébessa et 20.74 mm à Hammamet, d'autre part. Concernant le bilan hydrique de l'année 2002/2003, les résultats obtenus sont très positifs et satisfaisants. Ils sont marqués par un excédent important égale respectivement 223.16 mm à Tébessa et 117.96 mm à Hammamet.

A/Conditions hydroclimatologiques du sous bassin versant de Bouakous (source d'alimentation) : Le sous bassin versant de Bouakous a une superficie environ 16 km^2, il est drainé par l'oued Bouakous a circulation irrégulière et est alimenté en amont par la source de Bouakous. Il reçoit une pluie moyenne annuelle égale 310 mm et un apport liquide annuel très important (de 2 à 4.96 millions de m^3 environ), La couche superficielle du sol au niveau de oued bouakous, est généralement constituée par des cailloutis de calcaires et galets peu argileux à perméabilité très bonnes favorisant davantage l'infiltration. Les pluies tombent souvent sous forme diluviale, entraînant avec elles des apports solides très remarquables sur le lit d'oued Bouakous (5.272 t/an avec un taux d'abrasion égal 606 t/km2/an)[4]

B/ Etude hydrogéologique de la nappe Alluviale Ain chabro –Hammamat (Nappe souterraine à recharger) : De point de vue hydrogéologique, nous avons pu établir une carte piézométrique relative à la période haut eaux 2003/2004 (FigN°1) a partir des données de la compagne piézométrique effectué le 10/05/2004. L'analyse de la carte piézométrique établie montre que, le sens d'écoulement général est W-E. Dans la zone de Ain chabro, les courbe hydro-iso-hypses , sont moyennement espacées , le gradient hydraulique est de l'ordre de 0,024 à 0,03 soit 20 à 25 % , avec la présence d'une dépression de la surface piézométrique au niveau du orage J2-3 bis, et E1 dans la partie E et au NE au niveau d'un puit d'un propriétaire, cela est due certainement à une exploitation intensive. Pour la zone de Hammamet, les courbes, sont presque serrées au voisinage des forages (YS4, YS4-5, YS5, AC1 bis), le gradient hydraulique, est de l'ordre de 0.03 soit 30 %. Il faut signaler la présence de 4 sous systèmes aquifères séparés par 3 lignes de partage des eaux. Cette dernière se développe autour de la zone Ain Chabro-Hammamet et fait l'individualisé du reste de la nappe alluviale Tébessa-Morsott-Hammamet, ce qui nous laisse dire que cette zone constitue un sous système aquifère isolé de l'ensemble.

C/Etude de la variation du N.S en fonction de P (mm) : L'analyse des figures (FigN°2) a montré que : Le N.S augmente d'une valeur d'ordre de 2,11 à 1,24 m dans la zone de Ain-chabro, pendant l'année 2002/2003, d'une part, et par une valeur comprise entre 1,22 et 4,43 m pendant la même période dans la région de Hammamet, d'autre part. Cette élévation du N.S dans les deux zones, est dû certainement au précipitations tombées pendant la même période 2002/2003 où le calcul de bilan Hydrique a montré une part d'eau infiltrée très important . Ce ci explique bien l'alimentation des eaux de la nappe par les eaux de pluies.

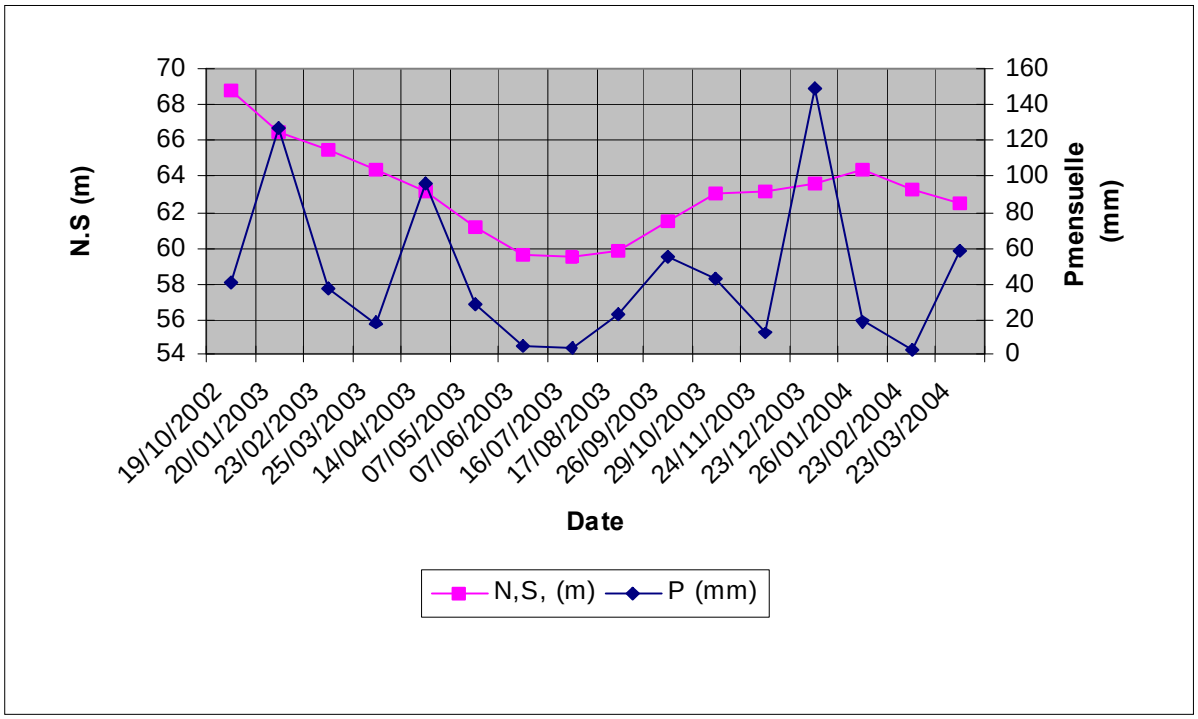


Figure N°2 : Variation du niveau piézométrique en fonction des précipitations mensuelles (Ainchabro) [5]

D/Qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la région d'étude :

Tableau N°3 : Les résultats obtenus sont regroupés au tableau suivant :

N° de point d'eau Paramètres	Source Youks	Puits **N° 9**	Puits N° 1	Puits N° 7	Puits N° 13	Puits N° 3	Oued Bouakous Amont	Oued Bouakous Aval
PH	7.38	6.93	6.99	6.98	7.28	7.13	7.14	7.44
T °C	17.8	17.8	17.8	17.7	17.8	17.8	17.7	17.8
Conductivité µS/ Cm²	347	1590	1368	2013	800	1628	370	424
Résidus secs g/l	0.5	2	1	2	1	1.5	1	2
No3 (mg/l)	1.9	2.1	2.8	2.00	1.5	1.7	2.7	1.6
Zn (mg/l)	0.3	0.32	0.34	0.20	0.22	0.56	0.28	0.25
Mn (mg/l)	0.4	0.7	0.5	2.7	3.1	1.2	0.6	0.4
Fe (mg/l)	0.07	0.23	0.12	0.14	0.12	2.28	0.65	0.06
No2 (mg/l)	0.03	0.058	0.044	0.036	0.039	0.041	0.048	0.046
Faciès chimique	Sulfaté magnésien	Chloruré magnésien	Chloruré magnésien	Chloruré magnésien	Sulfaté magnésien	Sulfaté magnésien	Chloruré magnésien	Chloruré magnésien

Comme le montre le tableau ci-dessus, la qualité chimique des eaux varie entre deux faciès dominants (Sulfaté magnésien, Chloruré magnésien), ceci est du certainement à l'effet de la lithologie du terrains traversé qui est constitué de marnes gypsifères, cailloutis de calcaires, calcaires et dolomies des bordures, ce qui prouve l'effet d'une alimentation par les bordures SW de la région. En ce qui concerne les métaux lourds, les résultats sont acceptables et qui n'ont pas dépassé les limites admissibles par les normes [O.M.S]. De plus, Il faut noter la concordance de qualité physico-chimique entre l'eau de la nappe et l'eau de l'oued de Bouakous, ce qui nous encourage à recommander l'application de la recharge artificielle de la nappe par les eaux de l'oued. L'analyse bactériologique des eaux de la nappe alluviale Ain chabro-Hammamet, et les eaux de l'oued au laboratoire d'hygiène de la W. de Tébessa a donnée les résultats suivants :

Tableau N°2 : Résultats des analyses bactériologiques des eaux de la région [5]

Lieu de prélèvement / Paramètres recherchés	Puits N°1	Puits N°3	Puits N°9	Puits N°13	Oued Bouakous Aval (1)	Oued Bouakous Aval (2)	Oued Bouakous Amont	Normes Appliquées Algériennes
Germes aérobies à 37°C (g/1 ml)	288	288	320	368	320	432	560	20
Coliformes aérobies à 37°C/100ml	240	29	Absent	9	1100	450	450	<10
Coliformes fécaux/100 ml	Absent	9	Absent	9	9	29	18	Abs.
Stretocoques D /50 ml	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Abs.
Clostridium sulfito-réducteurs à 46°C/1 ml	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Abs.
Clostridium sulfito-réducteurs à 46°C/20 ml	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	<5
Salmonelles	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Abs.
Staphylocoques pathogènes	Absent	Absent	Absent (mais il faut signaler la présence d'un autre type du germes non pathogène)	Absent	Absent	Absent	Absent (mais il faut signaler la présence d'un autre type du germes non pathogène)	Abs.

CONCLUSION :

Les précipitations dans cette région, sont souvent orageuses et leurs écoulements ont tendance à ce rejeter sur oued El KEBIR pour finir en TUNISIE !!!
avec un apport liquide moyenne annuelle atteint 71.3664Mm^3 ,malheureusement, cet apport n'est pas capté depuis longtemps !!!. Pour profiter de ce volume considérable des eaux de surface, nous avons essayé d'introduire l'expérience internationale dans le domaine de la recharge artificielle de la nappe Tébessa-Ain Chabro par les eaux de petit sous bassin d'oued Bouakous.Concernant la qualité chimique et bactériologique des eaux de la région d'étude en se basant sur les résultats récents d'analyse physico-chimique et bactériologique, on peut dire que les eaux de la zone d'étude sont fortement minéralisé au niveau de la partie Est (Ain chabro au Nord et au centre), et ont tendance à devenir acide. En comparaison, les eaux de la région de Hammamet sont de bonne qualité physique et même chimique que les eaux de Ain chabro. Bactériologique ment, les eaux au niveau de la zone d'étude sont de mauvaise qualité (au niveau des puits visités et de l'oued de bouakous). Cela peut être expliqué par l'effet des eaux usées rejetées en surface et au niveau de oued, et aussi les rejets d'origine agricole.

Finalement, on peut dire que si les résultats, à obtenir après réalisation et suivi technique et scientifique du projet sur terrain, seront positifs, il est souhaitable de développer cette étude pour l'ensemble des bassins versants à l'échelle nationale, dont les nappes aquifères connaissent actuellement des problèmes de sur-exploitation.

BIBLIOGRAPHIE

1. Michel, D.(1997) « la gestion active des aquifères » Masson éditions, Paris,PP 416.
2. ROGNON, P.(2000) « comment développer la recharge artificielle des nappes en régions sèches ? « Revue Science et Changement Planétaires / Sécheresse, Vol, 11, Numéro 4, Décembre 2000.
3. SEGHIR, K. (2003) « Proposition d'alimentation artificielle du système aquifère Tébessa-Ain chabro par l'oued Bouakous-Hammamet » communication aux journées d'études sur la géologie algérienne, université d'Oran, décembre 2003.
4. TOUAM NAZIHA (2004) « Piézométrie de la nappe aquifère Tébessa-Hammamet pour la période des Hautes eaux de l'année 2003/2004 » mémoire fin d'étude DEUA, C.U.T Tébessa,37pages.

Les potentialités en eau souterraine dans les formations du Sous – groupe des Mines. Cas des mines de K.O.V et de Dikuluwe. Kolwezi – Katanga – R.D.Congo.

ANTOINE LUMU MOUSSA,
Département de géologie, Faculté des sciences, Université de Lubumbashi,
E-mail : antoinelumu@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'eau et le développement humain sont indissociables. Sans approvisionnement en eau adéquat, sans une gestion saine, tout développement socio – économique qu'on peut prétendre peut être remis en cause, et l'on peut affirmer que le défi de l'eau sera crucial pour les années à venir.

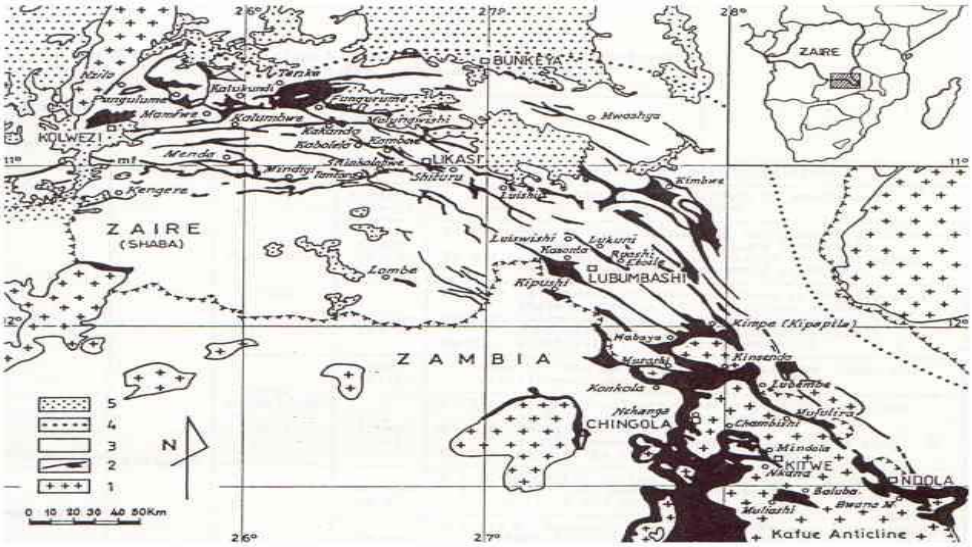
L'approvisionnement en eau est pour les Nations Unies, un secteur important qui s'intègre dans le programme de développement économique et social durable, et la lutte contre la pauvreté.

La R.D.Congo présente des potentialités en eau souterraine très énormes dont la gestion est déplorable. Pour illustrer cela, nous avons pris le cas de deux mines se trouvant dans le district miner de Kolwezi.

Le district minier de Kolwezi où se trouvent les mines de K.O.V (Kamoto – Oliveira – Virgule) et de Dikuluwe est situé à environ 350 km au nord – ouest de la ville de Lubumbashi dans le Katanga méridional.

Il a pour coordonnées géographiques : 10°45' de latitude Sud et 25°25' de longitude Est (Fig.1).

Figure 1 : Localisation et géologie du district minier de Kolwezi



Sur le plan géologique, les roches observées dans ces deux mines sont carbonatées et appartiennent au supergroupe du Katanga d'âge Néoprotérozoïque (le Katanguien) plus précisément au sous – groupe des mines, bordé au sommet et à la base respectivement par les roches gréseuses siliceuses (RGS) appartenant au sous – groupe de Dipeta et les roches argilo – talqueuses lilas appartenant au sous – groupe de RAT lilas.

Les formations appartenant au sous – groupe des mines sont les suivantes, de bas en haut :

- Roches argilo – talqueuses grises, R.A.T grises ;
- Dolomies stratifiées, D.STRAT ;
- Roches siliceuses feuilletées, R.S.F ;
- Roches siliceuses cellulaires, R.S.C ;
- Shales dolomitiques, S.D ;
- Calcaires à minéraux noirs.

Matériel et méthodes

Nous avons utilisé les matériels suivants : Boussole de géologue, sonde électronique, marteau de géologue, loupe, tarière, bâton lesté.

Pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de roches, nous avons utilisé la méthode de Theiss – Wenzel et de Theiss simplifié, méthode Porchet (essai porchet).

Résultats et discussions

L'observation révèle que les roches du sous – groupe des mines à K.O.V sont organisées en cinq mégafragments disposés d'une manière concentrique et séparés entre eux par les R.A.T. Et ces cinq mégafragments se présentent en forme d'un synclinal et sont les suivants :

b- Oliveira situé au Nord et Nord – ouest ;
c- Variante situé au Nord et Nord – est ;
d- Virgule – Kamoto – est situé au Sud et Sud – ouest ;
e- F.N.S.R (Flanc Nord South Ridge) situé à l'Est et
f- Oeuf situé au dessus de virgule.

Ces mégafragments sont séparés par une masse de R.A.T. Ce qui influe sur le comportement hydrogéologique de K.O.V.

A Dikuluwe, les roches se présentent également sous forme d'un synclinal.

Sur le plan hydrogéologique, dans l'ensemble de ces deux mines, l'eau est contenue dans les formations du sous – groupe des mines. Les essais ponctuels et les essais de pompage réalisés dans ces deux mines donnent, après interprétation, les valeurs de la conductivité hydraulique K, de la transmissivité T et du coefficient d'emmagasinement S, et cela en moyenne de différents mégafragments et formations observées. Ces valeurs sont exposées dans les tableaux 1 et 2.

Tableau 1 : Caractéristiques hydrodynamiques des formations de K.O.V

Mégafragment	Formations	Transmissivité (m²/s)	Coefficient d'emmagasinement	Conductivité hydraulique (m/s)
Oliveira	C.M.N	$5,4.10^{-3}$	5.10^{-4}	$7,07.10^{-7}$
	S.D.	$5,4.10^{-3}$	5.10^{-4}	$7,07.10^{-7}$
	Ore Body inférieur.	$5,4.10^{-3}$	5.10^{-4}	$7,07.10^{-7}$
Virgule	C.M.N	$1,15.10^{-3}$	5.10^{-4}	$5,7.10^{-8}$
	S.D.	$1,15.10^{-3}$	5.10^{-4}	$5,7.10^{-8}$
	Ore Body inférieur	$1,15.10^{-3}$	5.10^{-4}	$5,7.10^{-8}$
Variante	C.M.N	$6,3.10^{-4}$	$1,5.10^{-4}$	$1,4.10^{-7}$
	S.D.	$6,3.10^{-4}$	$1,5.10^{-4}$	$1,4.10^{-7}$
	Ore body inférieur	$6,3.10^{-4}$	$1,5.10^{-4}$	$1,4.10^{-7}$

Tableau 2 : Caractéristiques hydrodynamiques des formations de Dikuluwe

Formations	Transmissivité (m²/s)	Conductivité hydraulique (m/s)
C.M.N	$4,185.10^{-2}$	$4,185.10^{-3}$
S.D	$3,84.10^{-2}$	$6,4.10^{-4}$
R.S.C	$10,93.10^{-2}$	$5,465.10^{-3}$
R.S.F	$3,279.10^{-2}$	$5,465.10^{-3}$
D.STRAT	$2,7.10^{-2}$	$5,465.10^{-3}$
Sables	2.10^{-2} at 2.10^{-4}	10^{-3} at 10^{-5}

Après examen de ces valeurs, conformément à Castany (1967), nous avons mis en évidence les différentes formations aquifères et seules les R.S.C, D. STRAT, R.S.F, S.D et C.M.N à l'état altéré ou à l'état sain sillonné par des fissures, sont des aquifères, alors que les masses de R.A.T et de R.G.S sont quasi imperméable du fait de leur nature argileuse.
Notons que les roches dolomitiques ne présentent pas les mêmes caractéristiques hydrogéologiques. C'est ainsi que les R.S.C, du fait de leur forte porosité efficace, semblent être les plus aquifères de toutes ; les autres, leur conductivité hydraulique dépend de leur degré de fissuration et la nature de leur remplissage.

Connaissant le coefficient d'emmagasinement moyen S, le niveau actuel de la nappe, le niveau auquel nous voulons rabattre la nappe et la surface de la nappe, nous avons estimé le potentiel en eau dans ces deux mines qui représente en fait la réserve géologique exploitable de la nappe.
Nous avons utilisé l'expression suivante :

$$Re = (H_1 - H_2) \cdot Am \cdot S$$

Avec : • S : coefficient d'emmagasinement moyen
• H1: niveau actuel de la nappe,
• H2 : niveau auquel nous voulons rabattre la nappe
• Am : surface de la nappe

A K.O.V, nous avons estimé cette réserve à :

1. Variante (partie localisée à K.O.V).
- H1 – H2 = 117.46 m
- Am = 1.164 Km² = 1164000 m²
- S = 0.2

Re1 = 117.46 * 1164000 * 0.2 = 27344688 m3.

2. Oliviera mégafragment.
- H1 – H2 = 115.6 m
- Am = 0.6 Km² = 600000 m²
- S = 0.2

Re2 = 115.6 * 600000 * 0.2 = 13872000 m3.

3. Virgule mégafragment.
- H1 – H2 = 117.06 m
- Am = 0.849 Km² = 849000 m²
- S = 0.2

Re3 = 117.06 * 849000 * 0.2 = 19876788 m3.

Le potentiel en eau à K.O.V est de :

Re = Re3 + Re2 + Re1

Re = 19876788 + 13872000 + 27344688 = 61093476 m3.

A Dikuluwe, ce potentiel est estimé à :

- H1 – H2 = 100 m ;
- Am = 0.747 Km² = 747000 m² ;
- S = 0.112

$$\mathbf{Re = 100 * 747000 * 0.112 = 8366400\ m^3}.$$

A ce potentiel, il faudra ajouter l'eau de pluie qui est retenue ou piégée dans la mine à ciel ouvert dont le volume est calculé, connaissant la superficie de la mine et la hauteur de l'eau dans la mine, par l'expression :

$$V = A * H$$

Avec : • A : surface de la mine,
• H : niveau de l'eau dans la mine.

A Dikuluwe, ce potentiel est estimé à :

- A1 = 3 Km² = 3000000 m² ;
- H1 = 16.66 m.

$$\mathbf{V1 = 3000000 * 16.66 = 50000000\ m^3.}$$

A K.O.V, nous avons comme potentiel:

- A2 = 303 Km² = 3300000 m² ;
- H2 = 22 m.

$$\mathbf{V2 = 3300000 * 22 = 72600000\ m^3.}$$

CONCLISION

En conclusion, nous disons que les formations du sous – groupe des Mines contiennent beaucoup d'eau, et ces deux mines ne constituent qu'un exemple. Dans la province du Katanga, beaucoup de mines sont abandonnées par suite des venues importantes d'eau et nous pensons qu'il y a également beaucoup d'eau dans les autres supergroupes datés aussi du Néoprotérozoïque en R.D.Congo.

C'est pour cela, nous disons que l'Afrique doit se doter d'une politique de l'eau pour qu'il ait une bonne gestion de cette ressource afin d'éviter tout gaspillage comme cela se fait en R.D.Congo.

BIBLIOGRAPHIE

1. François , A. (1973) : l'extrémité occidentale de l'arc cuprifère Shabien. Etude géologique, Ed. Gécamines, Likasi (Zaïre), 65p.
2. Lumu, M. (2001) : Essai de corrélation entre les nappes de K.O.V et celle de la mine de Kamoto, et étude de drainage des eaux de K.O.V par la mine de Kamoto. Mem. Lic., Fac. Sciences, Dept. Geol., Univ. Lubumbashi, 144p.
3. Geomines, inc. (1984) : Groundwater computer modeling and recommandation for dewatering. Umpubl. report.
4. Fukiau, K. (1980) : Contribution à l'étude hydrogéologique de la région de Kolwezi (secteur Dikuluwe – Mashamba). Mem. Lic., Fac. Sciences, Dept. Geol., Univ. Lubumbashi, 69p.
5. Castany, G. (1967) : Traité pratique des eaux souterraines. Ed. Dunod, Paris, 263p.
6. De Marsily, G. (19) : Hydrogéologie quantitative. Ed. Masson, Paris, 215p.

Etude hydrogéologique de la vallée d'Ait Bouguemez (Haut Atlas d'Azilal, Maroc).

Khalid AMROUCH, Lhoussaine. BOUCHAOU et Youssef. HSISSOU
Laboratoire de Géologie Appliquée et Géo-Environnement (LAGAGE), Equipe d'Hydrogéologie.
Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc

PROBLEMATIQUE

Plusieurs études essentiellement anthropologiques ont été effectuées sur la vallée des Aït Bouguemez ces dix dernières années. Cependant, aucune de ces études ne s'est intéressée à l'aspect géologique et hydrologique de la vallée. En plus de l'alimentation en eau potable des habitants de la vallée, les nouvelles activités agricoles nécessitent des besoins supplémentaires en eau. La satisfaction de ces besoins croissants se trouve compliquée davantage à cause de l'effet de sécheresse qu'a connue la région ces dernières années d'une part et de la mauvaise gestion de la ressource disponible d'autre part. En plus de l'aspect quantitatif de l'eau, un aspect qualitatif n'est pas à exclure de la problématique de l'eau dans cette région. Pour répondre à ce type de problématique, nous nous sommes intéressés à décrire l'état des lieux en hydrogéologie en faisant appel à une description géologique et hydrogéologique.

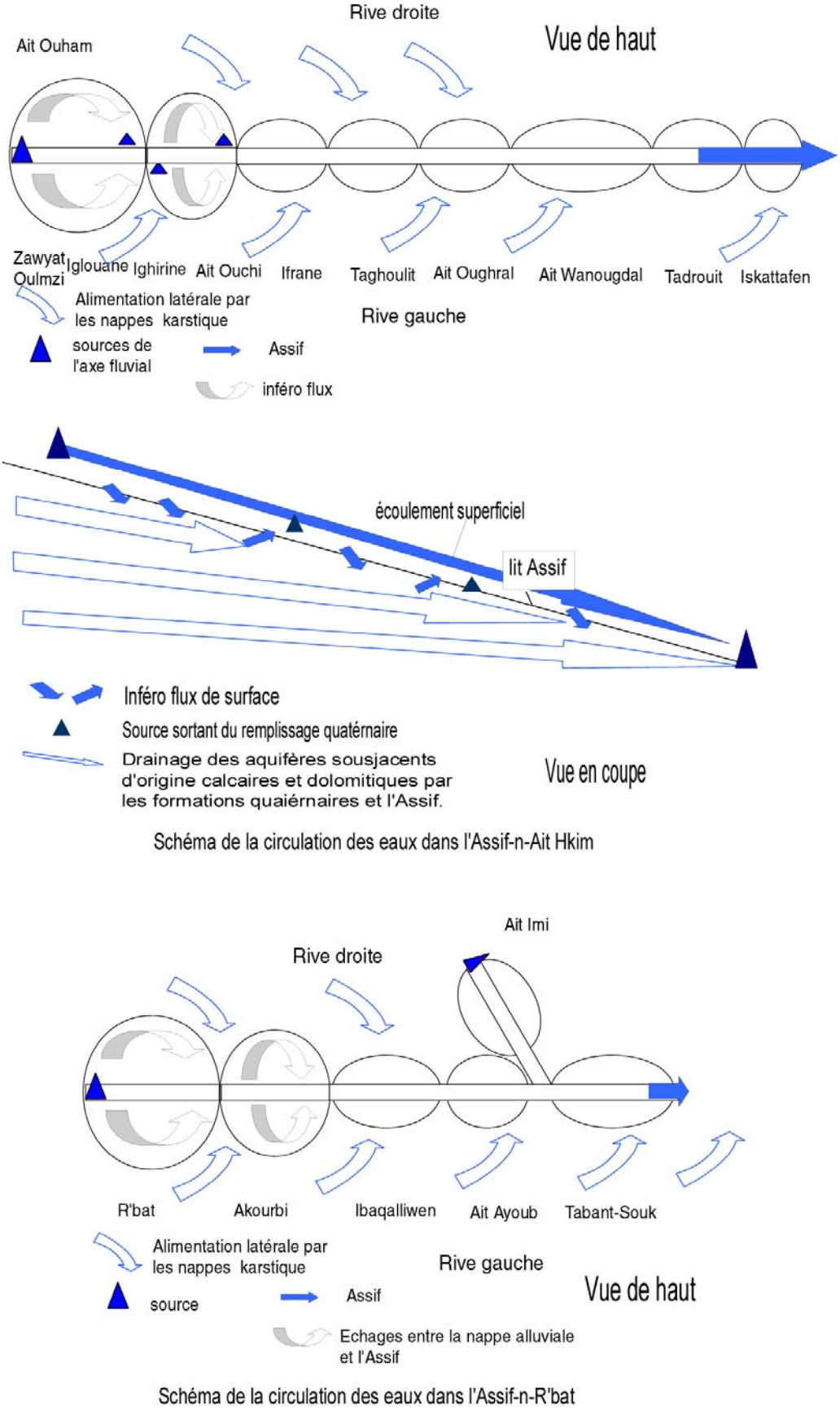
METHODOLOGIE

Etant donné qu'aucune étude hydrogéologique n'a été faite au préalable sur la vallée et que la bibliographie sur le site est très limitée, l'étude s'est basée sur les observations et les enquêtes sur le terrain et sur les informations tirées des analyses hydrologiques et physico-chimiques des différents points d'eau inventoriés.

RESULTATS ET CONCLUSION

La situation géographique et la morphologie de la région étudiée sont des conditions favorables à un climat montagnard du Haut Atlas marocain le plus arrosé (Pluie, neige). Malgré l'insuffisance de données hydrogéologiques classiques ou approfondies (Piézométrie, suivi systématique des sources, traçage, etc..) pour bien caractériser les aquifères de la région, l'abondance des points d'eau dans la vallée ne laisse aucun doute quant à ses potentialités hydriques. La dominance des faciès bicarbonatés et calciques témoigne de l'origine calcaire de ces eaux. Bien que les eaux d'origine karstique sont dominantes, l'aquifère contenu dans les formations alluviales de la vallée est aussi un réservoir très important de ressources en eau. La communication hydraulique entre les deux unités est évidente (Figure 1). Le soutien de l'alimentation par les pluies et la fonte des neiges explique la permanence de certains points d'eau pendant les périodes de sécheresse. La fracturation et la karstification observées dans les niveaux carbonatés sont le siège d'une circulation et mise en réserve des quantités d'eau. La grande perméabilité des alluvions au niveau de la vallée offre une homogénéisation des écoulements dans la plaine alluviale, ce qui permet une exploitation de cette ressource par les puits. La qualité de l'eau est très satisfaisante. Les eaux sont moins minéralisées indiquant l'influence directe des eaux de pluie et de fonte des neiges (Figure 2). Si cette faible minéralisation ne pose pas de gros problème pour la consommation humaine, elle peut être déficitaire en éléments nutritifs pour certaines plantes, ce qui pousse apparemment les agriculteurs à combler ce manque par les engrais. La présence des nitrates dans les points d'eau en est une preuve de l'impact de ces fertilisants. Cet impact agricole peut s'accentuer par les rejets d'eaux usées pour certains point d'eau. Cependant, malgré les potentialités de la région en eau, il est impératif de songer à la bien gérer, d'éviter de la contaminer et de la gaspiller.

Figure 1: Schéma de la circulation des eaux dans la vallée des Ait Bouguemez



REMERCIEMENTS
les auteurs tiennent à remercier le CICDA, l'Association Aghbalou et l'Association locale des Ait Bouguemez, pour l'aide apporter pour la réalisation de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

1. AMINOT. A.(1974): Géochimie des eaux d'aquifères karstiques. Les analyses chimiques en hydrogéologie karstique. Ann. Spéoléo., t.29, fasc.4, pp.461-483.
2. AUCLAIR L. (1991) : l'approvisionnement communautaires de forets dans le Haut Atlas marocain. Cah. Sri.hum.3.2(1, 1996. 177- 194) Appropriation forestière au Maroc p.181
3. BOUCHAOU. L (1988): hydrogéologie du bassin des sources karstiques du complexe calcaire Haut - Atlasien du Dir de Beni Mellal (Maroc). Doct. Univ. Franche, Sci. Terre, Besançon, 182p.
4. BOUCHAOU. L (1995): Apports des isotopes stables à l'étude des modalités d'alimentation des aquifères du Tadla (Maroc) sous climat semi-aride. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 320, série II .
5. FADILE A. (1987) : Structure et évolution alpine du Haut Atlas central sur la transversale Aghbala – Imilchil (Maroc). Thèse de 3ème cycle Univ. Paul SABATIER, Toulouse (France).
6. HAKIM B. (1982) : Recherches hydrologiques et hydrochimiques sur quelques karsts méditerraneens : Liban, Syrie et Maroc.
7. HSISSOU Y. (1991) : L'aquifère des calcaires du Turonien (bassin du Tadla, Maroc). Alimentations locales et lointaines à partir de l'Atlas. Thèse. Doct. De l'Univ. de Franche-Compte en sciences de la terre. 196p.
8. HSISSOU Y. (1999) : Impact de l'environnement naturel et anthropique sur la qualité des eaux alluviales en zone semi-aride: cas de la plaine du souss. Thèse. Doct. Etat, Univ. Ibnou Zohr, Agadir, Maroc, 228p.
9. JOSSEN J.A. (1987) : Plate forme carbonatée liasique du fond du golf hautatlasique (Maroc). Evolution paléogéographique. Ministère de l'énergie et des mines Rabat - Maroc (inédit).
10. LAVILLE E. (1978) : Incidence des jeux successifs d'un accident synsédimentaire sur les
11. structures plicatives du versant Nord du Haut Atlas Central (Maroc). Bull. Soc. Géol. France t.20, n°3, pp : 221-228.
12. LAVILLE E. (1981) : Rôle des décrochements dans le mécanisme de formation des bassins d'effondrement du Haut Atlas marocain au cours des temps triasiques et liasiques. Bull. Soc. Géol. France (7) t : XXIII, n°3, pp: 303-312.
13. LECESTRE-ROLLIER. B (1992) : L'anthropologie d'un espace montagnard (la Vallée des Aït Bougumez Haut Atlas Marocain). Thèse. Doct. Univ. René Descartes
14. MARTIN. P (2002) : Quel développement agricole pour la Vallée des Aît bouguemez ? Mémoire de fin d'étude.
15. MONBARON M. (1982) : Précisions sur la chronologie de la tectogénèse atlasique.
16. C.R. Acad. Sc. Paris: t. 294, série II pp: 883-885.

Le FLUOR DANS LES EAUX SOUTERRAINES DES AQUIFERES DE LA REGION ORIENTALE DU SAHARA SEPTENTRIONAL ALGERIEN

[1]BOUCHAHM. N et [2]ACHOUR. S

[1]Attachée de recherche au CRSTRA

[2]Maître de conférence Laboratoire LARHYSS

INTRODUCTION

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développent de ces pays (TRAVI, 1993)

Pour le Sahara septentrional algérien, l'essentiel des ressources est constitué par les eaux souterraines. Ces dernières, contenues dans les formations continentales du continental intercalaire (C.I) et du complexe terminal (C.T) constituent l'un des plus vastes réservoirs hydrauliques du monde (BEL et CUCHE, 1970 ; CDTN, 1992), dont les potentialités mobilisables sont estimées à 5 milliards de mètres cube d'eau (ANRH, 1986).

Les conditions lithologiques, hydrodynamiques et hydro chimiques sont variées, notamment dans la partie Est de la région, et confèrent de ce fait un intérêt particulier à ces nappes (ERESS, 1972). Par ailleurs, diverses études entreprises depuis une trentaine d'années, ont montré que les eaux de cette région sont caractérisées par une minéralisation totale excessive, le plus souvent associée à une dureté élevée et des concentrations élevées en fluorures (ACHOUR, 1990 ; AZOUT et ABRAHAM, 1978 ; PINET et al., 1961).

La découverte de nombreux foyers de fluorose dentaire et osseuse dans différentes régions explique l'intérêt porté, depuis le début du siècle, à la présence du fluor dans les eaux naturelles. Outre qu'ils réduisent le nombre de caries dentaires, les fluorures sont rapidement fixés par l'os, qualité pour laquelle le fluor est utilisé pour soigner les individus atteint d'ostéoporose (O.M.S, 1985).

Mais l'ingestion excessive de fluorures dans quelques régions (DEAN, 1942 ; BOUARICHA, 1971 ; TRAVI et LECOUSSTEUR, 1982) a montré que cet effet bénéfique peut s'inverser et porter atteinte à la santé publique, ce que l'on désigne par la fluorose dentaire et plus gravement fluorose osseuse.

En Algérie, le Sahara septentrional et notamment la zone orientale constitue la région la plus exposée au risque fluoritique (AZOUT et ABRAHAM, 1978 ; I.N.S.P, 1980).

Le principal objectif de cette étude est de donner un aperçu sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines du Sahara septentrional algérien. Grâce à un échantillonnage suffisamment représentatif de la nature des eaux de la région orientale, aussi bien les eaux destinées à l'alimentation en eau potable que les eaux d'irrigation.

Nous nous sommes plus particulièrement attardés sur la présence d'un excès en ions fluorures dans les eaux de nappes les plus exploitées.

METHODOLOGIE

Echantillonnage

La campagne d'échantillonnage a concerné les régions de Ouargla, Touggourt, El Oued, Biskra, les principales zones urbaines de la région orientale du Sahara septentrional. Nous avonschoisi de prélever des échantillons à chaque niveau aquifère exploité (nappe phréatique, nappe des sables ou du Miopliocène, nappe des calcaires ou du Sénonien et nappe Albienne).

Les prélèvements, au nombre de 118 ont été effectués manuellement dans des flacons en matière plastique de 1000 cm^3 de capacité. La conductivité et la température ont été mesurées in situ chaque fois qu'il a été possible. L'échantillon doit toujours être parfaitement identifié et porter le code du forage , la date, et si possible la profondeur et le niveau aquifère.

II. 2 Méthodes analytiques

Nous avons effectué les analyses physico-chimiques des échantillons d'eaux au sein du laboratoire Qualité et traitement des eaux souterraines et de surface ''LARHYSS''. Les procédures de dosage sont déduites des méthodes d'analyse standard.

Le fluor est dosé par la méthode potentiométrique grâce à une électrode spécifique aux ions fluorures (ISE 944098/11). L'établissement de courbes d'étalonnage reliant les concentrations de l'ion fluorure au paramètre mesuré a été nécessaire.

Une gamme variée de méthodes analytiques a dû donc être utilisée pour les différents essais expérimentaux, en passant des méthodes titrimétriques, aux méthodes électrochimiques ou spectroscopiques.

Teneurs en fluor :

Les teneurs en fluor les moins élevées se trouvent dans la nappe de l'Albien quelque que soit la région considérée (Tableau 1) :

Tableau 1 : Teneurs en fluor des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional.

Région	Nappe	F^- (mg/l) Valeur minimale	F^- (mg/l) Valeur maximale
Ouargla	Phréatique	0.14	3.05
	Miopliocène	0.90	2.26
	Sénonien	1.22	2.20
	Albien	0.56	0.65
El Oued	Phréatique	2.56	5.21
	Pontien	1.58	2.14
	Albien	0.36	0.8
Touggourt	Miopliocène	2.04	3.01
	Albien	0.5	0.7

Dans la nappe des sables (Miopliocène, Pontien) et des calcaires (Eocène, Sénonien), les teneurs dépassent dans tous les cas 1mg/l avec un accroissement suivant le sens de l'écoulement présumé des eaux considérées. La figure 1 présente une carte de la répartition des teneurs en fluorures de la nappe du Miopliocène dans la région de Ouargla.

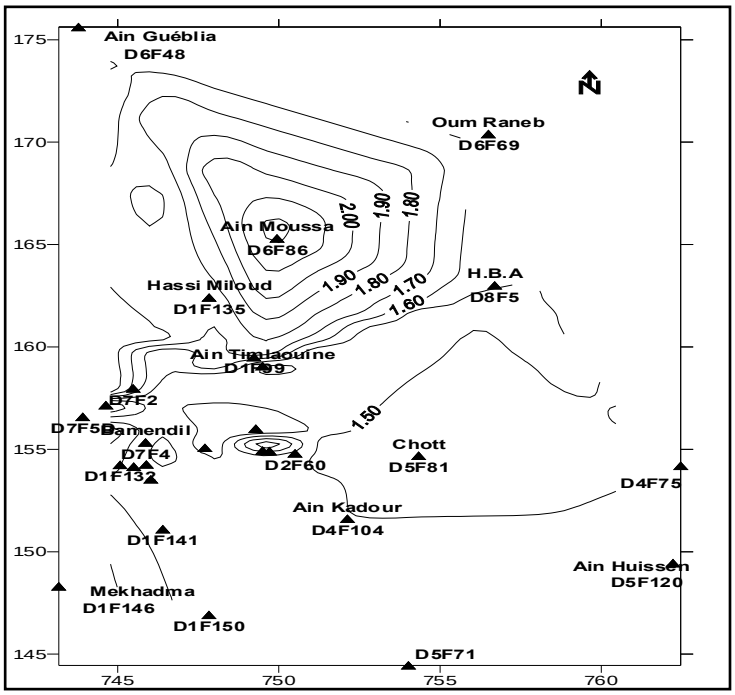


Figure 1: Carte de la répartition des teneurs en fluorures dans la nappe du Miopliocène région de Ouargla

Une carte des teneurs en fluor, (Figure 2), dans les eaux du Miopliocène est proposée pour toute la région orientale du Sahara septentrional. Elle montre que la région de Touggourt est celle qui présente les plus fortes teneurs en fluor.

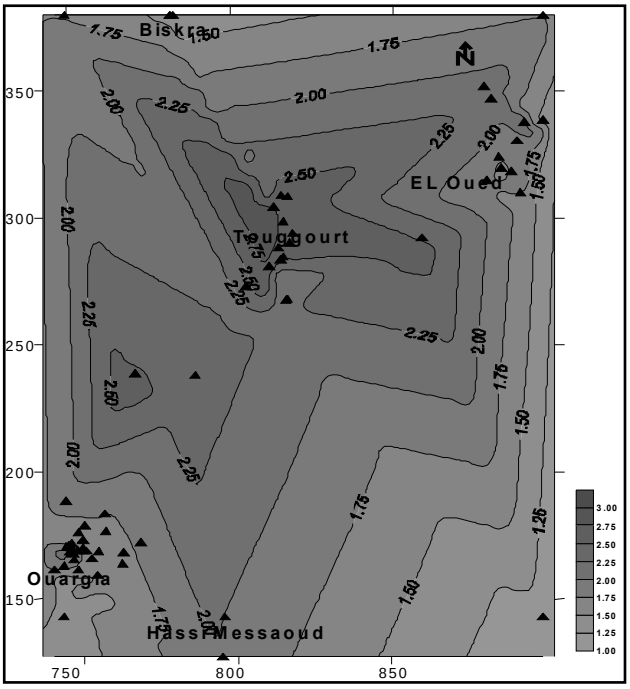


Figure 2 : Carte de la répartition des teneurs en fluorures

Dans la nappe du Miopliocène du Sahara septentrional.

CONCLUSION

Cette campagne a concerné les deux principaux aquifères du Sahara septentrional, le complexe terminal et le continental intercalaire dans les régions de Ouargla, Touggourt, El Oued et Biskra, à différents niveaux aquifères.

Nous avons utilisé une variété de méthodes analytiques dans le dosage des éléments minéraux.

Quant au fluor, les teneurs les moins élevées se trouvent dans la nappe de l'Albien quelque soit la région considérée.

Concernant la nappe des sables et des calcaires, les teneurs dépassent dans tous les cas la norme de potabilité.

D'une façon générale, les caractéristiques minérales des eaux de la région d'étude sont apparues globalement médiocres avec des valeurs non- conformes aux normes de potabilité, notamment en ce qui concerne les nappes les plus exploitées (Nappes du complexe terminal).

BIBLIOGRAPHIE

1. ACHOUR. S (1990): La qualité des eaux du Sahara septentrional en Algérie- Etude de l'excès en fluor, Tribune de l'eau, Cebedeau, n°6, 42 (542), 53-57.
2. A.N.R.H (1986): Ressources en eau et en sols de l'Algérie, rapport.
3. AZOUT. B., ABRAHAM. J (1978): Existence et causes des fluoroses humaines dans la région d'El Oued, Annales de l'I.N.A., Volume VIII, 3, 5-12 Alger.
4. BEL F., CUCHE D (1970): Etude des nappes du complexe terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématique, D.H.W., Ouargla.
5. BOUARICHA K (1971): contribution à l'étude de l'intoxication fluorée, chronique, osseuse dans la région su Souf (Algérie), thèse de Doctorat en Médecine, Université d'Alger.
6. C.D.T.N. (1992): Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla, rapport.
7. DEAN H.T. (1942): The investigation of phisiological effects by the epidemiological method. Am. Assoc. Adv. Sci., 19: 23-31.
8. E.R.E.S.S (1972): Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation, Vol. II, Vol. III, Vol. V.
9. O.M.S (1972) : Normes internationales applicables à l'eau de boisson, Genève.
10. O.M.S (1985) : Fluor et fluorures, Critères d'hygiène de l'environnement, 36, Organisation mondiale de la santé, Genèse, 150pp.
11. PINET F., BARRIERE J., BOUCHE B. (1961) : Endemic fluorosis of aqueous origin in Souf. Darmous and fluorosis osteoporoses. A report of 51 cases of condensing osteoses, Algérie Med, 65.
12. RODIER J. (1984): L'analyse de l'eau ; Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7ème Edition, Ed. Dunod, Paris.
13. SCHOELLER, H. (1948) : Les modifications de la composition chimique de l'eau dans une nappe. Assemblée générale d'OSLO de l'union Géodésique et Géophysique internationale.
14. TABOUCHE N (1999): Etude de la répartition spatiale des teneurs en fluorures des eaux souterraines du Sahara septentrional, Thèse de Magister en sciences hydrauliques , Université de Biskra, Algérie.
15. TRAVI Y (1993): Hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du Sénégal. Thèse de Doctorat.
16. TRAVI Y., LECOUSTEUR E. (1982): Fluoroses dentaires et eaux souterraines : l'exemple du Sénégal, eau du Québec, 15, 1, 9-12.

CARACTERISATION DU MODE DE FONCTIONNEMENT DES EXUTOIRES DE LA VALLE DE L'OUED CHICHAOUA (HAOUZ OCCIDENTAL, MAROC).

BOUKHARI Karima [1], ER-ROUANE Sadik [2], GOUZROU Abdeljalil [3].
(1), (2) Laboratoire d'Hydrogéologie, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Avenue Moulay Abdellah, Marrakech 40000, Maroc.
(1) k.boukhari@ucam.ac.ma (2) errouane@ucam.ac.ma
(3) Chef de service de l'eau, Direction Provinciale de l'Équipement de la Wilaya de Marrakech, Place du 16 novembre, Guéliz, Marrakech 40000, Maroc.
(3) agouzrou@yahoo.fr

INTRODUCTION

La plaine de Mejjate et sa bordure occidentale sont caractérisées par une abondance des sources par rapport au reste du Haouz, elles se localisent principalement au niveau de la vallée de l'oued Chichaoua, ceci est due à la structure profonde de cette vallée qui présente un piège idéal des eaux superficielles et souterraines, et rendant ainsi cette zone, la zone la plus riche en eau de tous les secteurs de la plaine. La vallée correspond à une vaste cuvette synclinale d'axe Est-Ouest, au niveau de laquelle on distingue une série lithologique du Trias au Plio-quaternaire, avec des faciès calcaire, marneux, argileux et gréseux. Cette structure géologique profonde de la vallée permet aux eaux souterraines et pluviales de s'accumuler et d'émerger par la suite à la faveur d'un ensemble de points bas (les sources).

MATERIEL ET METHODES

L'objectif principal de cette étude consiste en une meilleure compréhension du mode de fonctionnement des principales sources qui y émergent le long du secteur étudié. Pour cela, la méthodologie suivie consiste tout d'abords à étudier les variations des composantes mensuelles et annuelles des débits, afin de caractériser le mode de fonctionnement des cinq exutoires précédemment étudiés, l'application de la méthode proposée par A. MANGIN,1975, peut être tentée. Elle va permettre de dire si ces sources appartiennent ou non à des systèmes karstiques, si oui, déterminer leur degré de karstification l'une par rapport à l'autre.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Étude hydrologique des principales sources :

Parmi ces sources déjà signalées, on a choisi celles qui sont aménagées et dont les données sur une période de suivi assez longue sont disponibles (DRHT). Il s'agit des sources dont le débit est relativement important, ce sont des sources pérennes à débit important et leurs caractéristiques se résument au niveau du tableau 1.

Tableau 1: Caractéristiques des sources étudiées.

Sources	N°IRE	Coordonnées			Période d'observation	Usage	Observation
		X	Y	Z			
Abaïno	116/52	178.200	93.850	500	1972-2002	Irrigation	Source pérenne à débit important, aménagée
Aïn R'Mech	113/52	182.300	111.500	320	1972-2002	Irrigation	Source aménagée
Drain TP	45/52	180.500	97.000	461	1972-2002	Irrigation	Drain pérenne à débit important, aménagé
Ras El Aïn	115/52	177.500	93.500	505	1973-2002	Irrigation	Source aménagée
Imintala	2250/53	226.300	63.200	1400	1972-2000	Irrigation	Source pérenne, aménagée

a-*Analyse des débits mensuels :*

Les données des débits moyens mensuels sont enregistrées au niveau des cinq sources étudiées sur une période d'observation de 30 cycles (Tab2). La variabilité durant l'année, des débits moyens changent d'une source à l'autre, les sources d'Abaïno, Ras El Aïn et Aïn R'Mech ont des débits mensuels quasi stables, les autres sources varient sensiblement et montrent des valeurs minimales des débits aux mois de juillet, août, septembre et octobre, les valeurs maximales sont enregistrées aux mois de mars, avril et mai, on peut parler ainsi d'une augmentation du débit pendant la saison pluvieuse (période des hauts eaux) et une diminution pendant la saison sèche (période des basses eaux).

Tableau 2: Débits moyens mensuels des sources étudiées en l/s (DRHT, 1972-2001).

Sources	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	MOY
Abaïno	518.5	521.5	529.3	534.0	528.0	525.1	530.7	534.1	536.3	528.0	519.6	517.4	526.9
Ras El Aïn	37.4	37.8	39.2	44.6	46.3	47.3	49.9	49.1	54.0	44.5	37.1	38.6	43.8
Aïn R'Mech	26.1	24.6	39.9	28.3	41.2	31.3	35.8	34.9	39.8	32.9	31.2	24.9	32.6
Imintala	210.1	204.6	210.6	223.4	222.4	225.7	239.0	251.3	235.8	233.6	237.4	215.8	225.8
DrainTP	216.4	249.4	302.4	275.8	249.8	269.4	259.8	250.3	298.1	275.3	223.8	225.8	258.0

b-*Analyse des débits annuels :*

Les variations annuelles des débits sur une période de suivi de 30 ans (Fig1), distinguent nettement le cas de la source d'Abaïno, les variations sont très faibles avec un écart des débits des périodes humides et sèches de l'ordre de 1%, ceci traduit l'influence mineure des précipitations sur son alimentation. Par ailleurs, les variations annuelles pour les autres sources montrent des écarts assez importants, en général les années 1986-87 et 1992-94 ont connu une diminution importante des débits, d'où l'influence des périodes de sécheresse traduit par la diminution de l'alimentation des réservoirs. Les évolutions temporelles montrent l'importance des débits d'Abaïno, celles de Ras El Aïn et Aïn R'Mech, qui présentent des débits faibles. Le calage presque parfait entre ces deux dernières sources laisse supposer l'existence d'une forte relation hydrologique. Les sources d'Abaïno et de Ras El Aïn ont la même origine et leurs débits sont largement différents, ceci confirme bien l'hypothèse qui considère Ras El Aïn le trop plein de la source d'Abaïno et les fortes valeurs des débits risque d'avoir une influence négative sur les émergences de la source de Ras El Aïn.

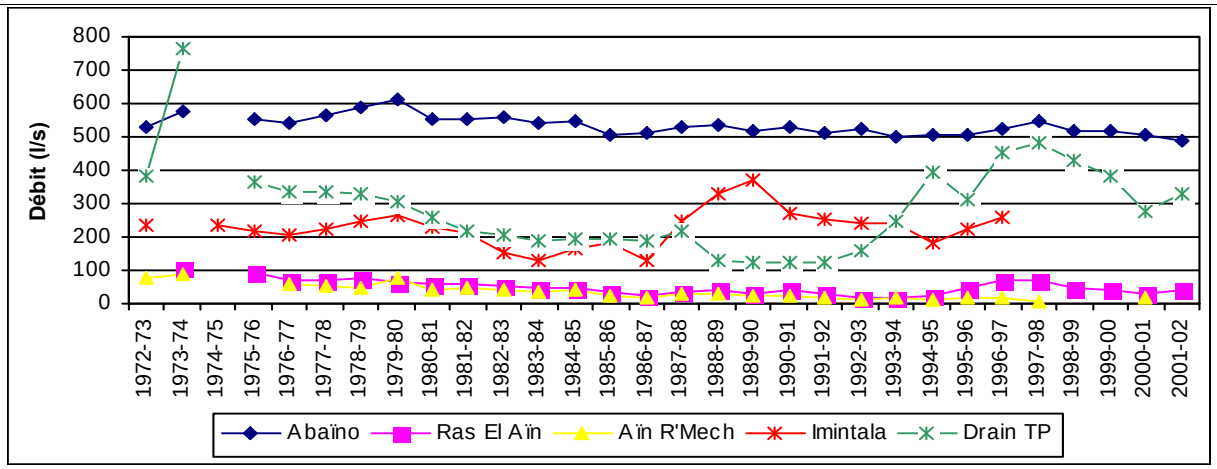


Figure 1: Débits moyens annuels des sources étudiées en l/s.

Caractérisation du mode de fonctionnement des sources étudiées :

Afin de caractériser le mode de fonctionnement des cinq exutoires précédemment étudiés, l'application de la méthode proposée par A. MANGIN (1975), peut être tentée. Les phases de récession sont les plus riches en détails car, en l'absence de toute pluie, elles montrent la succession de décrues et de tarissements qui régissent la vidange des nappes. La décomposition de la courbe de récession d'une source est une donne importante de renseignements qui peut renseigner sur la géologie de l'aquifère, sa morphologie, sa géométrie et les modalités de l'écoulement. Le problème rencontré dans l'utilisation de la méthode de A. MANGIN réside sur le bon choix de la phase de décrue et du tarissement, surtout, si elles sont perturbées par des précipitations estivales. L'analyse sera donc effectuée sans tenir compte de l'influence possible de ces pluies qui sont rares et négligeables au niveau de notre secteur d'étude.

Une fois les différentes illustrations graphiques sont faites, on calcule selon la méthode précédemment décrite, les différents paramètres, qui vont renseigner sur le mode de fonctionnement des aquifères et permettent ainsi de caractériser les cinq sources étudiées, le tableau 3 résume tous ces paramètres calculés.

Tableau 3: Paramètres obtenus à partir de l'étude des courbes de récession.

	Période étudiée	Q_0 10^{-3} m3/s	Q_{R0} 10^{-3} m3/s	Q'_0 10^{-3} m3/s	Q_f 10^{-3} m3/s	q_0 10^{-3} m3/s	t_i jours	t_f jours	n j^{-1}	E j^{-1}	Vd 10^6 m3	Vt 10^6 m3	K	i
Source d'Abaïno	sep88-jan89	571	552	548	544	19	60	120	0,0167	-0,007	387,77	391,88	0,990	0,980
	juin99-oct99	538	527	524	522	11	60	120	0,0167	0,021	710,34	713,46	0,996	0,928
	déc00-avr01	530	509	507	505	21	60	150	0,0167	0,018	997,43	1009,43	0,988	0,933
Source De Ras El Aïn	mar85-juin85	65	51	45	42	14	60	90	0,0167	0,015	1,69	1,90	0,890	0,939
	juil96-nov96	68	55,75	47	44	12,25	90	120	0,0111	0,013	1,85	2,11	0,877	0,953
	avr00-oct00	44	38	35	32	6	90	180	0,0111	0,011	3,04	3,14	0,967	0,957
Source De Aïn R'Mech	nov88-fév89	54	40,5	35	32	13,5	60	90	0,0167	0,035	1,01	1,50	0,882	0,903
	juin90-sep90	29	24,5	21	18	4,5	50	90	0,0200	0,043	0,47	0,50	0,947	0,884
	mar94-juin94	30	23,5	19	15	6,5	50	90	0,0200	0,034	0,28	0,30	0,913	0,899
Source d'Imintala	mai75-sep75	293	197	194	193	96	90	150	0,0111	0,014	194,60	219,93	0,885	0,951
	oct85-fév86	236	174	160	147	62	60	120	0,0167	0,0004	9,79	10,78	0,908	0,966
Drain TP	nov90-jan91	163	130	124	121	33	30	90	0,0333	0,102	26,25	27,45	0,956	0,858
	juin01-sep01	426	335	329	316	91	30	90	0,0333	0,013	42,30	43,77	0,967	0,910

Les faibles valeurs de **n** traduisent de faibles vitesses d'infiltration et de longues durée de celle-ci, ces valeurs restent faibles et proches pour les cinq sources étudiées, ceci les oppose à des systèmes très karstifiés et témoigne d'une même origine aquifère, avec des degrés de karstification peu variées.

La distinction des périodes différentes entraîne des **E** légèrement différents. Ce coefficient est relativement élevé (0.102 j^{-1}) pour le cas du Drain TP (nov90-jan91), ceci laisse supposer une décrue relativement très et traduit une hétérogénéité de l'écoulement, l'explication la plus probable, c'est l'origine des eaux de ce drain, issues des périmètres irrigués et des seguias. La faible valeur du coefficient d'hétérogénéité indique la prédominance d'une infiltration lente par le biais des fractures et fissures du système karstique.Les réservoirs souterrains **Vd** traduisent des systèmes aquifères non influencés qui possèdent des réserves importantes, c'est le cas de la source d'Abaïno, ce qui montre l'importance du karst noyé à ce niveau, et montre la grande capacité d'emmagasinement, donc l'effet capacitif du réservoir aquifère, Ras El Aïn présente des volumes faibles, c'est le trop plein d'Abaïno. La source de Aïn R'Mech montre les volumes les plus faibles, donc des réserves moins importantes, expliquées par sa position en aval du bassin. Pour la source d'Imintala, les volumes initiaux varient sensiblement selon la période étudiée, traduisant un système très influencé où le manque de recharge donne des débits mesurés très faibles en fin de la période.

Pour toutes les sources, le pouvoir régulateur **K**≈1, et il reste invariable pour chaque période, ceci montre un pouvoir régulateur élevé du karst, des réserves énormes et une grosse inerte. Pour les valeurs du coefficient **i**, elles sont presque invariables pour toutes les sources et restent supérieurs à 0.85, ceci confirme bien la grande dimension du système aquifère et son fort degré de complexité. K et i supérieurs, c'est-à-dire un retard à l'infiltration plus grand, ainsi que des réserves importantes au niveau du karst noyé, la présence d'épaisses formations superficielles au niveau de l'aquifère, explique ce retard d'infiltration qui représente le temps de réponse du réservoir. Les réserves du système des sources étudiées sont situés géographiquement dans les calcaires à niveau de silexites surmonté de calcaires dolomitiques à gros bancs et présentant une karstification très accentuée, les conduits karstiques permettent l'écoulement d'un certain volume d'eau jusqu'aux exutoires du système.

CONCLUSION

Les évolutions temporelles des débits des cinq sources montrent l'importance des débits de la source d'Abaïno par rapport aux autres sources, celles de Ras El Aïn et Aïn R'Mech, qui présentent des débits faibles. On peut aussi signaler le calage presque parfait entre ces deux dernières sources qui laisse supposer l'existence d'une forte relation hydrologique. D'une autre part, les sources d'Abaïno et de Ras El Aïn ont la même origine et leurs débits sont largement différents, ceci confirme bien l'hypothèse qui considère Ras El Aïn le trop plein de la source d'Abaïno et les fortes valeurs des débits risque d'avoir une influence négative sur les émergences de la source de Ras El Aïn.

Suite à l'utilisation de la méthode de MANGIN, deux aspects de comportements du réservoir Cénomano-turonien sont mis en évidence, un aspect réserve de l'aquifère qui assure un rôle essentiellement capacitif et peu transmissif (matriciel), et un autre de système karstifié qui assure un rôle essentiellement transmissif. Tout ceci confirme bien l'importante karstification du système aquifère cénomano-turonien, sa grande dimension et son important degré de complexité, avec une faible participation des eaux des crues.

BIBLIOGRAPHIE

1. AMBROGGI R., et THUILLE G., (1952). – Haouz de Marrakech. Hydrogéologie du Maroc. Notes, Mém., Serv., Géolo., Maroc, n° 97.
2. BERNERT G., (1973). - Etude hydrogéologique et aménagement hydraulique de la vallée de l'oued Chichaoua. MTPC / DH / DRE.
3. COCHET A., (1965). - Haouz du Marrakech et bassin du Mejjate, d'Imintanout et de Chichaoua, ONI, Service Régional de Marrakech.
4. ENANAA N., (2000). – Etude hydroclimatologique et hydrogéologique des aquifères de la plaine de Mejjate et sa bordure occidentale, simulation numérique des écoulements souterraines de la plaine de Mejjate (Maroc). Thèse de Doctorat, Univ. Tunis II, Fac. Sc. Tunisie, 205p
5. LYAKHLOUFI S., (1994). – Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Mejjate et sa bordure occidentale, CEA Hydrogéologie, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sc. Marrakech.

GROUNDWATER RECHARGE, CIRCULATION AND GEOCHEMICAL EVOLUTION IN THE SOURCE REGION OF THE BLUE NILE RIVER, ETHIOPIA

Seifu Kebede[1,2], Jean-Michel Puig[1], Yves Travi[1]
[1]Laborarory of Hydrogeology, University of Avignon, 33 Rue Louis Pasteur, 84000, Avignon, France
[2] Department of Geology and Geophysics, Addis Ababa University, POBox: 1176, Addis Ababa, Ethiopia

INTRODUCTION

This work uses geochemical and isotope hydrological approaches to provide an initial schematic geo-hydrological model on groundwater recharge, circulation, chemical evolution and its subsurface residence time in the poorly known hydrogeologic system of the upper Blue Nile River basin of Ethiopia. The specific objectives of this work are: 1) to characterize the isotopic ($\delta^{18}O$, δD, $\delta^{13}C$, ^{3}H) compositions of the groundwaters of the Blue Nile River basin; 2) to determine sources and mechanisms of recharge of groundwaters in the Blue Nile River basin; 3) to determine the dominant geochemical processes that influence groundwater chemical composition; and, 4) to schematize groundwater flow patterns and nature of aquifers in selected important hydrogeological regions of the basin.

The Blue Nile River basin is located in the Northwestern Ethiopian Plateau. The Main Nile River gets 70 % of its flows from the Blue Nile emerging from the Ethiopian Plateau. The major part of the region is covered by basalt. Mesozoic sedimentary seccession are exposed locally. The lowlands bordering Sudan are covered by Precambrian metamporphic rocks and alluvium. There are two prominent tectonically deformed regions on the plateau. These are the Lake Tana Graben (LTG) and the Yerer-Tullu Wellel Volcanic Lineament zone (YTVL). The majority of geothermal springs, Quaternary volcanoes, and quaternary basalt flows that exist in the Blue Nile basin are located in these two zones. With the exception of the eastern sector of the basin just east of the water divide of the Blue Nile basin where thick intermountain alluvial sediments bear high groundwater yield, the majority of groundwaters in the Blue Nile basin are abstracted from the fractured basaltic or metamorphic rocks. Aquifer transmisivity is highly variable ranging from 1 to 700m^2/day. The Quaternary basalts surrounding Lake Tana are characterized by high transmisivity (100-200m^2/day) compared to the basalts of the trap series. Quaternary alluvial sediments have the highest transmisivity (in places more than 700m^2/day). The metamorphic rocks in the western lowland have the lowest transmisivity (as low as 1m^2/day).

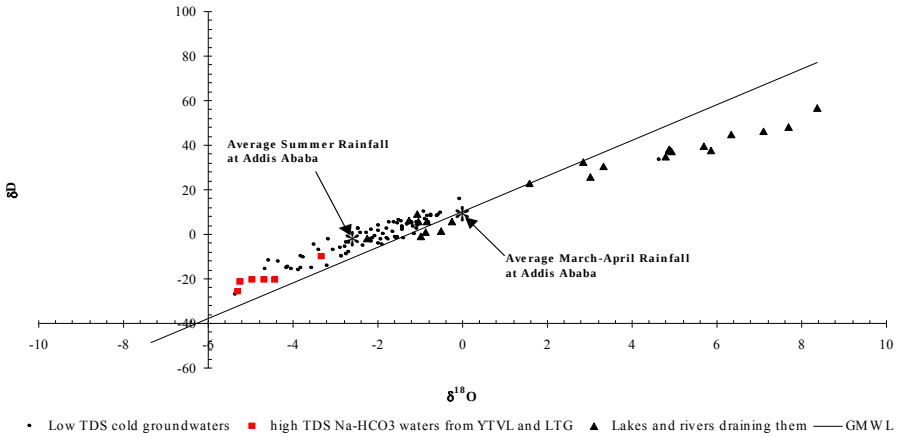
METHODOLOGY AND MATERIALS

The methods used to achieve the objectives includes; a) direct analysis of the raw isotope hydrological and geochemical data; b) statistical classification of the data set accompanied by associating the statistical classes of the waters with hydrogeological variables; and, c) geochemical modeling. Furthermore $\delta^{13}C$, P_{CO2}, pH and carbonate species compositions of the groundwaters were used to gain additional insight on groundwater geochemical evolution.

RESULTS AND DISCUSSION

The majority of the groundwaters are Ca-Mg-HCO3 type. Unlike the Ethiopian Rift groundwaters and the groundwaters of shallow systems of the Sahel region, the groundwaters of the Blue Nile basin are characterized by high (>15) deuterium excess and they all plot above the GMWL (figure 1). The Blue Nile River sampled at Khartoum (Farah et al., 2000) shows similar $\delta^{18}O$ and δD

compositions to the groundwaters of the Blue Nile basin. A clear difference exists between the $\delta^{18}O$ and δD compositions of surface water originating from the Equatorial lakes region and the $\delta^{18}O$ and δD compositions of meteoric waters of the Blue Nile River.



Statistical classification of the hydrochemical data is used here to elaborate the geochemical types and associated chemical processes. We considered 11 variables (pH, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, HCO_3^{-}, CO_3^{2-}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, TDS) to classify the 86 groundwater samples with complete chemical analysis. In HCA the variables are log transformed and normalized so that each variable will have equal weight. Groups were selected visually from the dendrogram which is the output of the clustering. From the dendrogram, two major groups and nine subgroups were chosen using index of similarity = 0.25.

The two groups have also distinct $\delta^{18}O$, δD, ^{3}H and $\delta^{13}C$ compositions. Group I waters are depleted in $\delta^{18}O$ and δD, they are nearly tritium free, and they are enriched in $\delta^{13}C$. Group II waters are generally enriched in $\delta^{18}O$ and δD, they contain appreciable amount of tritium and have depleted $\delta^{13}C$. Group I waters have five subgroups and Group II waters have four subgroups. Group I contains five fairly distinguishable subgroups. Group II have three distinguishable subgroups.

We conducted inverse geochemical modeling on the water subgroups that resulted from HCA. The average chemical composition of waters of subgroup IX was assumed to represent a pristine recharge area groundwater. Its composition is therefore taken as 'initial' water in the inverse geochemical modeling. The remaining subgroups were considered to be derived from this subgroup.
The result of the inverse geochemical modeling shows that, except in the evolution towards subgroup I, the hydrolysis of silicate minerals (principally feldspars and ferromagnesian minerals) without a major involvement of the sedimentary minerals (e.g. carbonates, evaporites) satisfy the simulation. The major minerals that are required to dissolve were olivine, pyroxene, plagioclase, K-micas and K-feldspars. Dissolution of gaseous CO_2 is required in all cases. Removal of clay minerals such as illite or Ca-montmorillonite was required during groundwater transition in the aquifers. Precipitation of calcite or chalcedony or both were required in the models. Dissolution of gypsum, dissolution of dolomite and cation exchange ($CaX \leftrightarrow NaX$) were required to simulate the composition of subgroup I.

CONCLUSIONS

The Hierarchical Classification Analysis elaborately classified the groundwaters of the upper Blue Nile basin into two major groups and 9 subgroups. The advantage of the method was

that the subgroups were objective and a clear geohydrological patterns were recognized. The nine subgroups show different degree of water rock interaction, subsurface residence time, aquifer composition, influence of CO_2, and exposure to anthropogenic pollution etc. In a poorly known hydrogeological system the exercise of associating the results of the cluster with geo-hydrological conditions facilitates the understanding of the groundwater flow systems in the basin. Traditionally, it was thought that two groundwater layers (shallow/deep; fresh/saline, unconfined/confined) exist in volcanic aquifers of the region (Chernet, 1982; Chernet, 1990). However, the Hierarchical Classification Analysis and the geochemical approach show that more groundwater flow patterns can be distinguished in the region adding more understanding to the previous knowledge of the Ethiopian plateau volcanic hydrogeology.

The geochemical, isotopic, stratigraphic, structural data and the Hierarchical Classification Analysis helped to schematize geo-hydrological characteristics of important zones in the Blue Nile basin and to gain for the first time a general picture of the groundwater circulation and its chemical evolution in the basin. Conceptual models that schematize the major geochemical processes and recharge source for the two important regions are presented in figure 3.

In the basaltic plateau recharge is rapid, groundwater circulation is shallow and the waters are characterized by low TDS. Two structurally deformed zones, namely the LTG and the YTVL plays a major role in favoring the existence of regional and probably deeper groundwater flows. The geologic processes which formed the two structural basins resulted in juxtaposition of the Mesozoic sediments with the Cenozoic volcanic cover and this promotes the presence of artesian springs at the contact between the Mesozoic sediment and Cenozoic volcanic cover. Furthermore carbon dioxide from deeper sources (CO_2 produced by metamorphic decarbonation of the Mesozoic sediments underlying the basaltic trap) along the deformed zones influences geochemical evolution of the high TDS thermal groundwaters of the YTVL and the LTG. The CO_2 gas from depth promotes acid hydrolysis of the volcanic covers, which explain generally low pH and high HCO_3^- of these groundwaters.

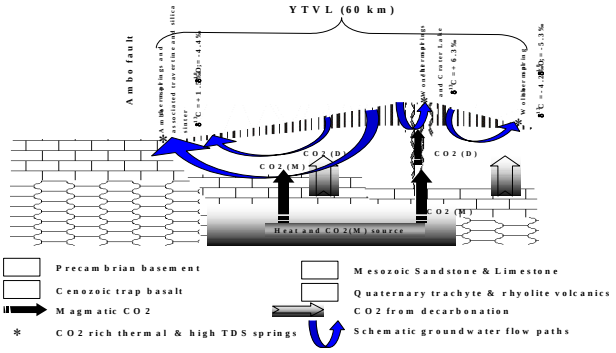
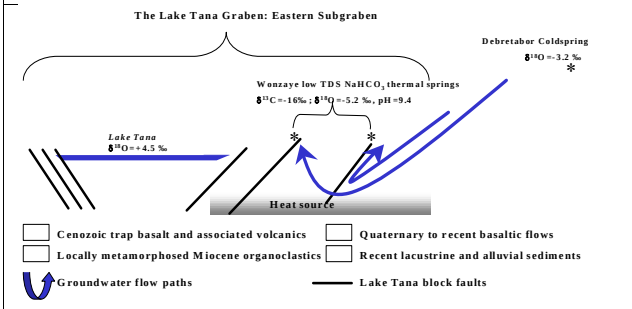
Schematic groundwater flow pattern	***Source of recharge and main geochemical processes***
	**1.** Recharge at high altitude by *Ca-HCO$_3$* type waters, major residence in acid volcanic rocks, open system hydrolysis of silicate minerals, lowering of pH by addition of CO_2 from metamorphic decarbonation of the underlying Mesozoic sediments or from direct CO_2 input form deeper sources along the fault zone, release of CO_2 on emergence or before emergence and deposition of travertine and silica sinter, waters with *Na-HCO$_3$* characteristics as final composition.
	**2.** Recharge at around Guna Shield volcanoes, flow of *Ca-HCO$_3$* type water through a metamorphosed zone of the Miocene lignite beds and sink of CO_2, exchange of Ca for Na and K in the zone, formation of high pH and high SiO_2 water plume, emergence of *Na-HCO$_3$* water plume at low TDS and high pH.

Figure 3: Schematic sections showing origin and evolution of selected groundwater systems/springs. 1-Thermal springs in the YTVL, 2-Wonzaye thermal springs in LTG

Despite the similarity in climatic conditions and the general similarity in Mesozoic lithology, the hydrogeological characteristics of the Blue Nile basin are different from Hydrogeology of Sahelian Africa. The majority of groundwaters of the Blue Nile basin are often highly flushed, young, low TDS groundwaters with rapid recharge through fractured rocks. These characteristics are mainly the result of uplifting and erosional fragmentation of the aquifers of the Blue Nile basin. In the shallow sedimentary aquifers of the Sahel, evaporation prior to recharge seems an important hydrologic process (Sonntag et al., 1982; Dodo and Zuppi, 1997). This process seems unimportant in the upper Blue Nile basin. The classical sedimentary basin aquifer (Intercalaire aquifers) that underlie the majority of the Sahel and Northern African countries (Sudan, Chad, Senegal, Mali, Niger, Tunisia, Egypt etc) containing the late Pleistocene or early Holocene groundwaters (Sonntag et al., 1982; Andrews et al., 1994; Edmunds et al., 2003; Dabous and Osmond 2001) is represented by uplifted Mesozoic sediments which are not accessible to groundwater circulation due to the thick (often greater than 1km) basaltic cover. In some places such as the LTG and the YTVL, however the Mesozoic sediments play an indirect role in influencing the hydrogeochemistry of the groundwaters by supplying CO_2 for water-rock interaction.

BIBLIOGRAPHIE

1. Andrews, J.N., Fontes, J.-Ch., Aranyossy, J.-F., Dodo, A., Edmunds, W.M., Joseph, A., Travi, Y., 1994. The evolution of alkaline groundwaters in the Continental Intercalaire aquifer of the Irhazer Plain, Niger. Water Resour. Res. 30, 45–61.
2. Asrat, A., Barbey, P., Gleizes, G., 2001. The Precambrian geology of Ethiopia: a review. African Geosci. Rev. 18, 271–288.
3. Chernet, T., 1982. Hydrogeology of the Lakes Region, Ethiopia. Ministry of Mines and Energy, Addis Ababa.
4. Chernet, T., 1990. Hydrogeology of Ethiopia and water resources development, Ministry of Mines and Energy report, 157p.
5. Chernet , T., Travi, Y., Valles, V., 2001. Mechanism of degradation of the quality of natural water in the lakes region of the Ethiopian Rift Valley. Water Reser.35, 2819–2832.
6. Dabous, A.A., Osmond J.K., 2001. Uranium isotopic study of artesian and pluvial contributions to the Nubian Aquifer, Western Desert, Egypt. J. 243, 242- 253.
7. Dodo, A., Zuppi G.M., 1997. Groundwater flow study in the Bilma-Djado Basin (Niger) by means of environmental isotopes. Earth and Planetary Sci. 325, 845-852.
8. Edmunds, W.M., Guendouz, A.H., Mamou, A., Moulla, A., Shand, P., Zouari, K., 2003. Groundwater evolution in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: trace element and isotopic indicators. Appl. Geochem. 18, 805–822.
9. Farah, E.A. Mustafa, E.M.A., Kumai, H., 2000. Sources of groundwater recharge at the confluence of the Niles, Sudan. Env. Geol. 39, 667-672.
10. Sonntag, C., Thorweihe, U., Rudolph, J., 1982. Isotopenuntersuchungen zur Bildungsgeschichte Saharischer Paläowässer. Geomethod. 7,55-78.

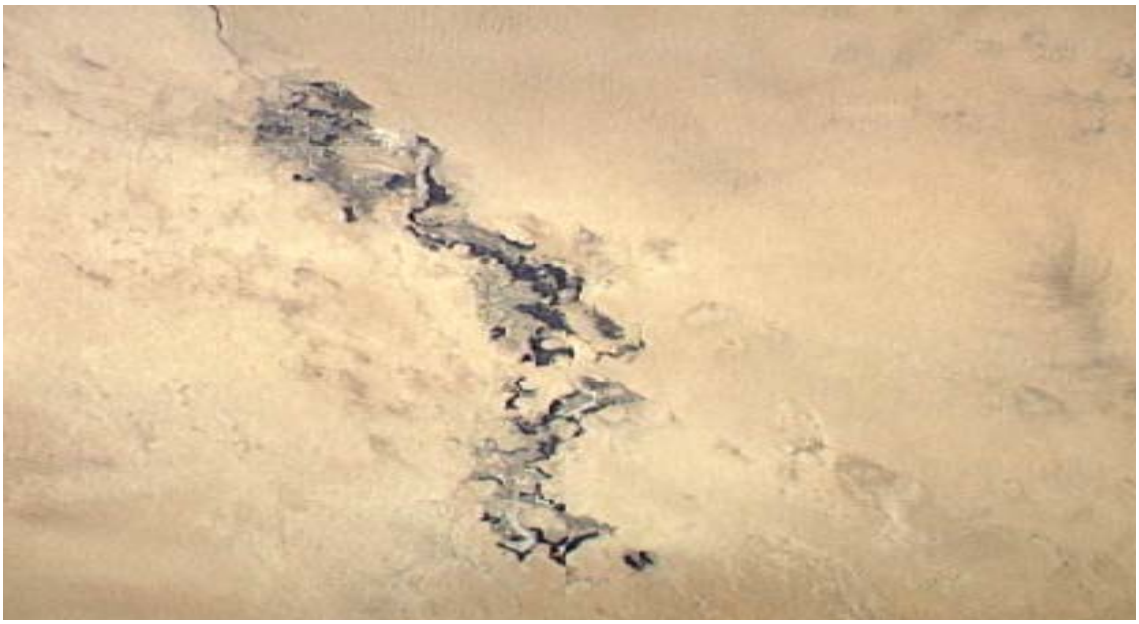
LA NAPPE DE L'ALBIEN ET LES PROBLÈMES TECHNIQUES POSÉS PAR SON EXPLOITATION À TOUGGOURT

[1]Saighi O. [1]Helal F, [1]Ourihane D. [2]Benzaoui A.

[1]Faculté des Sciences de la Terre, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger.
[2] Faculté de Physique, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger.

INTRODUCTION

La région de Touggourt occupe un large fossé en forme d'arc orienté nord-sud, dénommé « oued Righ ». Les reliefs y sont peu marqués et les pentes topographiques, très faibles. Cette région est connue aussi sous le nom de Bas Sahara, à cause de son altitude inférieure au niveau de la mer dans la zone des chotts. Le débit du canal de l'oued Righ qui draine cette dépression varie de 260 l/s, à l'amont, 2450l/s, à l'aval.



Cette région recèle des potentialités hydriques considérables emmagasinées dans son sous-sol et n'a, jadis, jamais connu le manque d'eau. Actuellement, elle est cependant de plus en plus confrontée à la mauvaise qualité chimique des eaux souterraines. Pour ses besoins en eau potable, elle est contrainte au colportage d'eau de meilleure qualité chimique, depuis le Sud du massif des Aurès.

La présente étude porte sur les aspects hydrochimiques et piézométriques ainsi que sur les problèmes techniques posés par l'exploitation des différentes nappes de la région.

MÉTHODOLOGIE

Une campagne hydrogéologique a été effectuée en octobre 2003, au cours de laquelle, grâce à l'aide de l'équipe locale de l'ANRH (Agence Nationale des ressources Hydrauliques), un certain nombre de travaux hydrogéologiques et d'enquêtes, ont été réalisés. Ainsi, des mesures physicochimiques in situ, des prélèvements d'échantillons des différents niveaux aquifères, ainsi que des observations concernant l'état de fonctionnement du canal de drainage de l'oued Righ, ont été faits. Les refroidisseurs des forages albiens, l'état des leurs tubages et les conduites de distribution, ont retenu toute notre attention.

Les analyses chimiques des échantillons prélevés ont été effectuées par nos soins, au laboratoire de l'INRA (Institut National de Recherche en Agronomie, à Touggourt-Sidi Madi.

Parallèlement aux opérations de terrain, des log des forages et des enregistrements de diagraphies, ont été examinés, pour la définition, à l'échelle locale, de la nature, la géométrie et la structure des aquifères. Les grands ensembles hydrogéologiques post paléozoïques (Continental Intercalaire et Complexe Terminal) ont ainsi été minutieusement étudiés, pour ce qui concerne le secteur de Touggourt :

- Au somment, le Complexe Terminal est composé de plusieurs ensembles aquifères d'âge et de lithologie différents, séparés par des formations semi-perméables ou imperméables. Il se compose de plusieurs horizons superposés, dont les plus importants sont les sables du Mio-Pliocène, et les calcaires du Sénono-Eocène et du Turonien.
- A la base, le Continental Intercalaire, défini par deux niveaux gréso-sableux, aquifères (Albien et Barrémien) séparés par une couche semi-perméable d'âge Aptien, et recouvert par une couche argilo marneuse et argileuse à évaporites, d'âge Cénomanien.

La région des chotts constitue l'exutoire naturel de ces systèmes hydrauliques multi couches, qui renferment des réserves en eaux importantes, mais faiblement réalimentés actuellement.

Les problèmes de l'entartrage des conduites, la corrosion des tubages de forages, la salinisation des sols agricoles et les problèmes de santé dus aux maladies à transmission hydrique, ont été largement abordés dans cette étude.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Ces différentes nappes superposées sont en charges et leurs niveaux hydrostatiques, proches les uns des autres. Elles renferment des ressources en eaux importantes dont les caractéristiques hydrochimiques ne permettent malheureusement pas tous les usages. Leur utilisation n'est pas sans conséquences sur la santé, en cas d'usage domestique, ou sur les risques d'alcalinisation des sols, en cas d'irrigation. Les nécessitent en effet, une déminéralisation électrolytique (osmose inverse) ou chimique (hexamétaphosphate), avant usage. Leur gestion et protection de leur qualité devraient faire l'objet de toute l'attention voulue de la part des pouvoirs publics.

Les conséquences d'une surexploitation de ces aquifères sont multiples :

- un rabattement important des niveaux hydrostatiques des nappes supérieures (plus de 80 m à Touggourt),
- une salinité croissante des eaux, avec des résidus secs variant entre 3 et 10 g/l, le magnésium, le sodium, les chlorures et les sulfates , étant des éléments dominants,
- une remontée de la nappe phréatique, par accumulation des eaux d'irrigation mal drainées, qui provoque la salinisation de l'eau et du sol.
- Et enfin, des problèmes d'environnement, en cas de détérioration des tubages de forages, et dissolutions de couches salifères.

Ces eaux chargées, dures et parfois chaudes inondent certaines zones et forment des lacs quelques fois insalubres.

Une approche statistique des analyses chimiques a été élaborée, suivie d'une analyse en composante principale (ACP), dont l'interprétation met en évidence les conséquences néfastes de la surexploitation et du non traitement des eaux de rejets et risques sur l'environnement.

Parmi ces aquifères, la nappe de l'Albien qui est relativement moins minéralisée, est la plus convoitée. Profonde (1400 m environ), artésienne (24 bars à Touggourt) sous forte pression, animée d'une grande vitesse ascensionnelle et chaude (55 °C), elle reste, malgré certains problèmes techniques, très utilisée pour l'alimentation en eau potable. Pourtant, les coûts de réalisation des forages et des indispensables refroidisseurs, les corrosions et perforations des tubages de forages, mettent en inter-communication cette nappe avec d'autres niveaux hydrogéologiques ou salifères.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Afin de palier à ces problèmes il est indispensable programmer un certain nombre d'opérations, comme par exemple :

- *Utiliser des méthodes d'irrigation moins gaspillantes en eaux tel que le « goûte à goûte »,*
- *Epurer, traiter et recyclage des eaux domestiques avant leur rejet vers le canal et les nappes phréatiques,*
- *Approfondir, élargir et entretenir le canal de l'oued Righ,*
- *Utiliser des tubages plastiques pour les forages du Complexe Terminal notamment pour les deux premières nappes du Mio-Pliocène,*
- *Contrôler (par digraphie) les forages albiens anciens ou moins touts les cinq ans.*
- *optimiser les forages dans le Continental Intercalaire,*
- *Boucher les forages vétustes.*

BIBLIOGRAPHIE

1. A.N.R.H : Inventaire 2002 et 2003, archives.
2. BELLON-JASEIX. R : Essai de bilan de la nappe du Continental Intercalaire.
3. BOUDOUR N & MAHDJOUB K (2002) : Etude hydrogéologique du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire, dans le tiers sud de la vallée d'oued Righ Touggourt. Mémoire d'Ingénieur. Université de Constantine.
4. Bulletin d'Agronomie Saharienne (1983) : Utilisation agricole des eaux chaudes, au bas Sahara.
5. BUSSON.G (1970) : Le Mésozoïque saharien (essai de synthèse des données de sondages algéro-tunisiens. Tome II).
6. CASTANY. G (1982) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod –univ. Bordas. Paris.
7. CORNET. A (1964) : Introduction à l'hydrogéologie du sahara.
8. DUBIEF J. (1953) : Le climat du Sahara (Tome 1).
9. Journées d'études (2002) : sur "l'eau de l'albien et ses problèmes techniques actuels." Touggourt. Recueil des communications
10. Journées techniques (1999) : sur le bouchage des forages pétroliers reconvertis en forages hydrauliques. Hassi R'mel. Recueil des communications
11. MENNOUR N & M.H (2000): contribution a l'étude piézométrique et hydrochimique de la première nappe du Mio-Pliocène dans la région d'ouedRigh nord. Mémoire d'Ingénieur, USTHB/FSTAT.
12. O.N.M (Dar El Beida) : Données climatiques sur la région de Touggourt.
13. SOUID A, B W (2000) : Contribution a l'étude hydrogéologique de la plaine deTouggourt. Mémoire d'Ingénieur. Université de Constantine.

IMPACT DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE ET DE L'EXPLOITATION SUR LE SYSTEME AQUIFERE DE MORNAG

Rim MHAMDI[1], Rachid KHANFIR[2], Chedly BEN HAMZA[3]

[1] 123 rue Habib Bou Gatfa 9030 Amdoun Béja. Tunisie

[2] Faculté des sciences de Bizerte, Jarzouna, Bizerte.

[3] DGRE. Monflery .TUNIS

INTRODUCTION

Le concept d'alimentation artificielle est récent. En ce qui concerne l a Tunisie, pays dont les ressources en eau sont limitées et où le problème de l'eau ne fait que s'aggraver surtout lors de ces dernières années, la technique de l'alimentation artificielle comme outil d'une gestion plus rationnelle des ressources en eau en tant souterraine que de surface a été utilisé. Cette étude présente un cas d'alimentation avec les eaux conventionnelles.

La nappe de Mornag est soumise à une surexploitation intensive qui a provoqué des baisses de niveau plus ou moins importantes selon les circonstances climatiques. Cette situation a imposé le recours à la recharge artificielle de cette nappe à partir des eaux de surface du canal Méjerda Cap-Bon.

Cette étude présente l'impact de la recharge artificielle de cette nappe sur la piézomètrie et la qualité de l'eau.

MATERIELS ET METHODES

1) Présentation de la zone d'étude :

La plaine de Mornag se trouve à 20 km au sud est de la ville de Tunis.

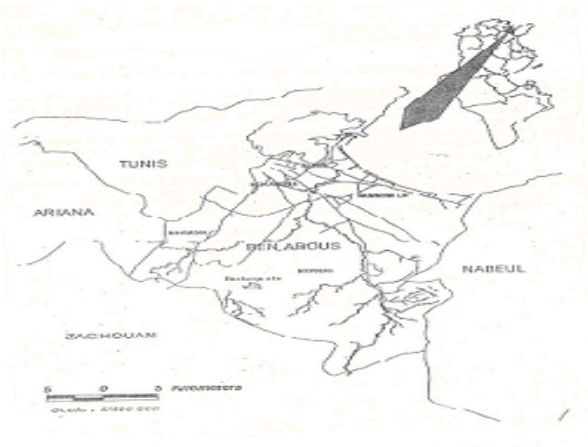


Fig.1 : situation du zone d'étude

- **Contexte géologique:**La série stratigraphique des terrains comporte les calcaires de l'Ipréso Lutétien, les argiles et les marnes du Lutétien, les séries de l'Oligocène inférieur, les séries de l'Oligocène supérieur, les dépôts de Miocène, le complexe plio-Quaternaire et les dépôts du quaternaire.

La tectonique de cette région est caractérisée par une dépression synclinale faisant partie du grand synclinal entre

- **Climat :**Le climat est caractérisé par un été chaud et sec et un hiver doux, une

pluviomètrie moyenne inter annuelle égale à 490 mm et une température annuelle de 18°c.

- **Contexte hydrogéologique :**La plaine de Mornag regroupe un système aquifère

complexe au sein duquel, on distingue (Ennabli M, 1980) : une nappe phréatique cantonnée dans le Quaternaire récent et une nappe profonde représentée par un aquifère complexe profond.

2) Recharge artificielle de la nappe :

La recharge de la nappe à partir des eaux de canal a été adoptée en tant que solution

- **Dispositif de recharge :**Le site de recharge de la nappe de Mornag à Khlédia consiste en une carrière abandonnée. L'eau injectée dans la carrière est prise sur le canal Mejerda –Cap Bon.
- **Dispositif de suivi :**Le dispositif de réseau est constitué de 36 puits et d'un piézomètre permet d'avoir des relevés piézomètriques .

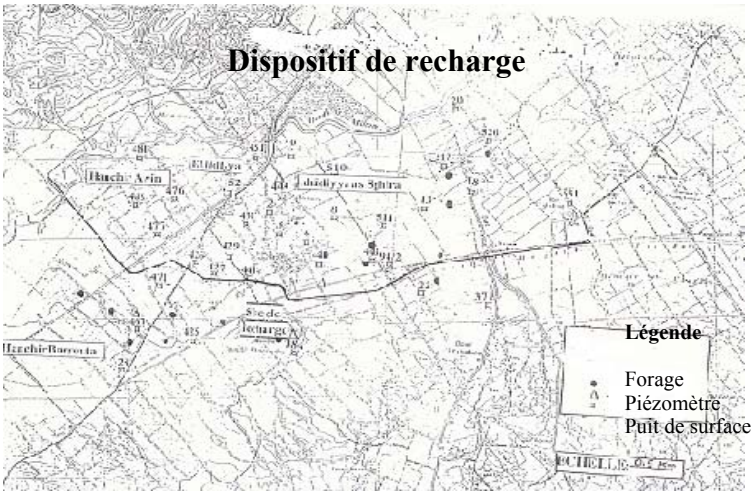
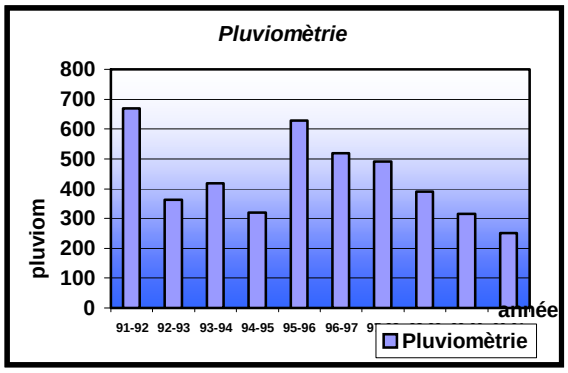


Fig.2 : Dispositif de recharge

RESULTATS ET DISCUSSION :

1-Evolution de la pluviomètrie :(fig.3)

2-Evolution des volumes injectés dans la carrière de Khlédia (fig.4):



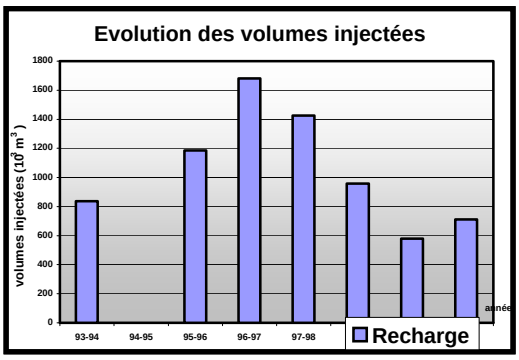


Fig.3 : évolution de la pluviomètrie **Fig.4: évolution des volumes injectées**

2) Bilan du système aquifère durant la période de recharge:

La variation du niveau piézomètrique d'une nappe au niveau d'un point de surveillance traduit les variations du bilan du système aquifère qui est dû aux entrées à savoir la recharge et la pluviométrie et aux sorties souvent représentées par son exploitation et l'écoulement souterrain vers l'exutoire.

a) Fluctuation du niveau piézomètrique :

Carte piézomètrique Mars 1994 : (sans recharge) , Carte piézomètrique Mars 1997 (avec recharge)

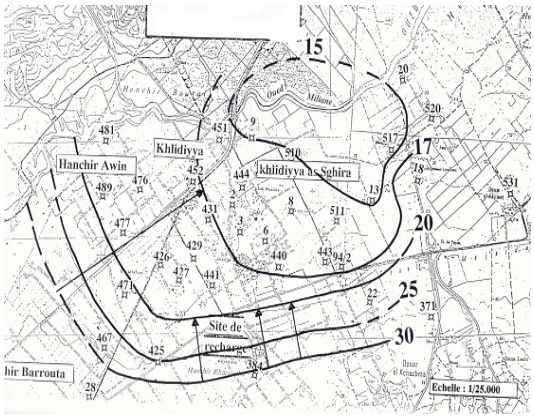


Fig.5 : carte piézomètrique, mars 1994

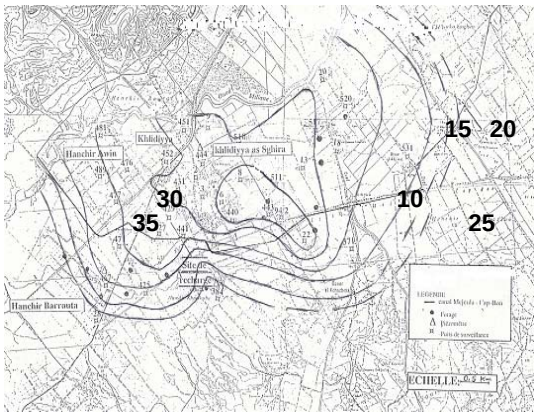


Fig.6 : carte piézomètrique, mars 1997

b) Bilan de la nappe durant la période septembre 1993-2001 :

Entrée = sortie ± Δv ⇔ R + I = E ± Δv , avec R= volume infiltré à partir des de recharge, I= volume infiltré à partir des pluies, Δv : apport ou perte de la nappe , E : volume pompé (exploitation)

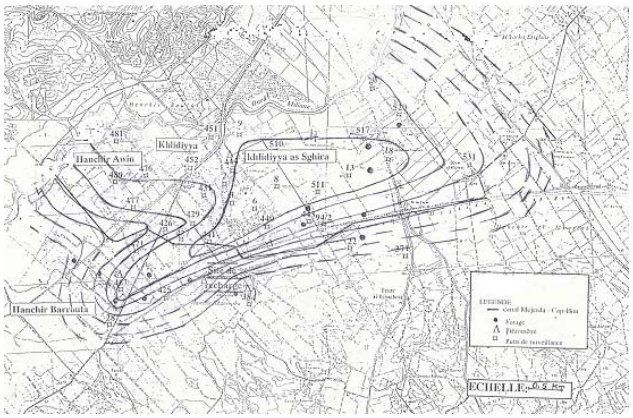
- Durant la période de deux ans de recharge allant de septembre 1993 au septembre 2001 le volume total injecté a été de 8.101 Mm^3.

Le volume d'eau évaporé E= S'.h, S' : superficie = 1250 m² , h : la lame d'eau évaporée = 1m /an. On considère les 100% atteignant la nappe.

- Le volume exploité à partir des puits de surface et les forage est de l'ordre de 2 .4 Mm^3 /an, donc la nappe a été sollicitée durant cette période avec une exploitation E de l'ordre de 19.2 Mm^3 .

- Le volume qui rejoint ou exhaure la nappe, est estimé à partir des courbes d'iso-remontées. En effet,

le planimétrage des différentes plages d'égale remontée ou baisse, permet l'évaluation du volume de terrain saturé VS. Ainsi, si on applique un coefficient un d'emmagasinement ϕ déduit des essais hydrodynamiques effectués sur les forages, le ΔV qui rejoint la nappe ou qui en sort Δv = Vs.ϕ, avec ϕ = 6%. Δv = -0.271 Mm^3 ⇒ I = 11 Mm^3



Plage	S (Km²)	H (m)	Δv (Mm^3)
< 6	2.27	7	0.953
4→6	2.36	5	0.677
2→4	2.64	3	0.475
0→ 2	2.83	1	0.17
-2→0	4.05	-1	-0.243

Fig.6 : Carte des courbes d'iso-remontées (septembre 1993-septembre 2001)

4)Impact de la recharge artificielle sur la salinité:

Dans la région de Khlédia, les puits et les forages sont creusés dans les grés de l'oligocène et les alluvions. Le résidu sec des eaux des grés de l'Oligocène varie de 0.4 à 0.78 g/l et les eaux provenant des basses terrasses quaternaires on un rédidu sec de 0.7 g/l. L'eau injectée respectivement, aux stations de Foundok Ejedid et Ghédir El Golla, présente en hiver une salinité variant de 0.5 à 1g/l et en été 1.3 à 1.9 g/l. Ces ordres de grandeur aboutissent à une conservation de la qualité chimique de la nappe.

CONCLUSION :

Pour la nappe de Mornag , les conditions de cette recharge durant les années (93 → 2001) sont :

- *Le volume injecté : 8.1 Mm^3*
- *Durée de recharge : 74 mois*
- *Pluviomètrie moyenne : 470mm*
- *Exploitation moyenne : 2.4 Mm^3/an*

Malgré cette recharge, on constate :On a une perte d'eau au niveau des réserves de la nappe Δv de 0.3 Mm^3 qui n'est pas très importante.

BIBLIOGRAPHIE :

1. H.SCHOLLER, 1932 : Etude hydrologique du synclinal de Khlédia d'Oudna à la mer Tunis, service des mines 1932.
2. SCET: Bassin versant de l'oued Miliane, étude hydrologique à l'aval de Bir M'cherga , SCET, 1965

APPROCHE A L'ETUDE D'UN AQUIFERE KARSTIQUE DANS LA REGION DE TEBESSA.CAS DE LA ZONE DE YOUKKOUS.

GUEFAIFIA.O[1], DJABRI.L[2].

[1]Centre universitaire Cheikh Laarbi Tebessi,Tébessa.Departement de géologie.

[2]Université Badji Mokhtar,Annaba.Département de géologie.

INTRODUCTION

Cet article,dont l'objectif est de montrer le comportement du système karstique de la zone de Youkkous,s'inscrit dans la continuité des travaux de recherches des auteurs sur l'approche fonctionnelle du système aquifère karstique.

Les données sur quatre cycles hydrologiques succéssifs,effectués durant les années 1974,1975,1976 et 1977 ont permis de visualiser les éventuelles ruptures de pente de la droite des débits classés conformément aux cinq cas les plus fréquents.

L'étude de la variation des débits en fonction des précipitation a permis de remarquer que le système a un comportement régulateur à l'echelle pluri-annuelle.

STRATIGRAPHIE DE LA ZONE D' ETUDE (FIG. 1)

L'inclinaison assez grande des calcaires du Turonien à Djebel Es-Senn,fait contraste avec l'inclinaison faible du Maestrichtien du même anticlinal de la zone de Gaaga.Cela semble indiqué la présence en profondeur, du fossé de Hammamet au voisinage de Djebel Es-Senn du diapir des évaporites triasiques,d'ailleurs bien visibles au Sud–Est de Djebel Belkfif plus au Nord–Est de la zone d'étude.

A la base des calcaires du turonien au versant oriental de Djebel Es-Senn existe des marnes du Cenomanien , qui sont ,pourtant en grande partie effondrées au dessous de la série quaternaire du remplissage du fossé.

Les calcaires du Turonien de Djebel Es Senn sont très riches en *rudistes* , par contre dans les calcaires du même age à Hammamet à l'arrêt septentrional de la vallée de Youkous on note l'absence de ces fossiles.

Coniacien et Santonien (Emcherien) sont représentés par les marnes ,avec relativement rares intercalations de calcaires lumachelliques.Les sédiments de l'Emcherien occupent la zone abbaissée, entre Djebel Es Senn et Djebel Gaaga ,et la partie inférieure des versants des montagnes limitant le coté Sud du fossé de Hammamet.

La partie inférieure, des versants du plateau de Chéria –Bir Mokadem, est représentée par des calcaires blancs–crayeux d'age Campanien à la base et les marnes du Maestichtien inférieur au sommet.

Au-dessus ,les versants accidentés et abruptes qui entourent le plateau de Chéria – Tazbent-Troubia sont formés de calcaires durs du Maestrichtien supérieur.

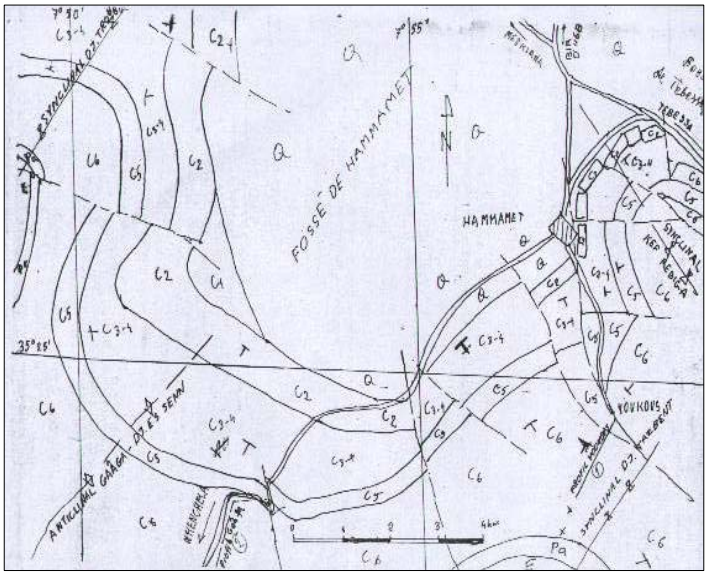
Dans la zone de Tazbent et à l'Ouest de Djebel Troubia, ces calcaires sont séparés des calcaires d'age Eocene par la zone peu abaissées des marnes du Paleocene.

Neogene est représenté dans la partie orientale du fossé de Hammamet sous forme de sédiments rouges.

Quaternaire existe seulement dans les vallées, comme celle de Youkkous (cônes alluviaux, écoulements, éboulis ,sédiments des terrasses),mais aussi il constitue le remplissage des fossés d'effondrements tels que ceux de Tébessa, .Morsott et Hammamet (W.M.KOWALSKI & AL.,1997,2002, sous presse.)

Figure1 : ESQUISSE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE HAMMAMET.

Légende :
C_6 : Maestrichtien (calcaire).
C_5 : Campanien (marnes).
C_{3-4} : Emscherien
(marne et marno-calcaire).
C_2 : Turonien (calcaire).



MATERIEL ET METHODES

Les mesures des débits ont été réalisées suivant des campagnes de jaugeage Mensuels et d'après les courbes de tarage tracées pour chaque cycle hydrologique.L'approche fonctionnelle a été abordée par l'analyse des débits classés.
Dans le cas de l'étude des aquifères karstiques, l'approche est de type descriptive: le but du classement est la compréhension du système.
L'ajustement des débits est fait selon une relation logarithmique.Cette relation est caractéristique d'une infiltration rapide.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats obtenus d'après l'analyse des débits classés se présentent comme suit :

1/-Pour l'année hydrologique 1974 : le graphe N°1 montre que la position de la rupture de la pente correspond à un fort pourcentage avec $\alpha_2 > \alpha_1$ et d'où l'interprétation suivante :

- une mise en fonctionnement de trop plein
- fuite vers un autre système.
- Stokage momentané.

2/-Pour l'année hydrologique 1975:le graphe N°2 ,on note le meme cas que celui du cycle 74.

3/-Pour l'année hydrologique 1976: le graphe N°3 ,montre que la position de la rupture de la pente correspond à un faible pourcentage avec $\alpha_1 > \alpha_2$ et d'où l'interprétation suivante :
*Apport d'une réserve issue d'un cycle antérieur.

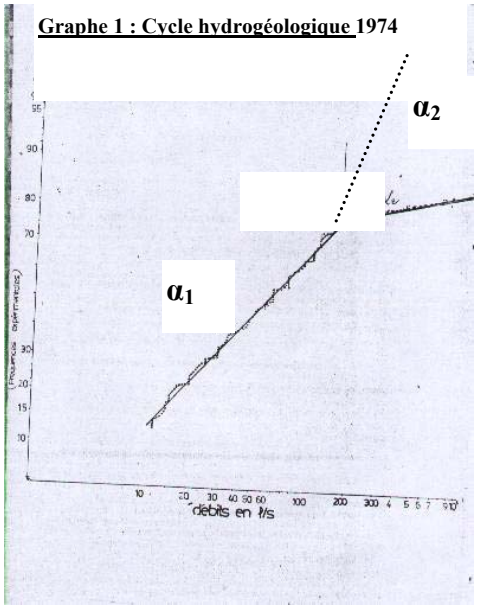
4/-Pour l'année hydrologique 1977:le graphe N°4 ,on note le meme cas que celui du cycle 76.

En se référant aux variations des précipitations en fonction des débits, on remarque le caractère déficitaire des cycles 1976 et 1977,alors que les cycles 1974 et 1975 sont excédentaires.

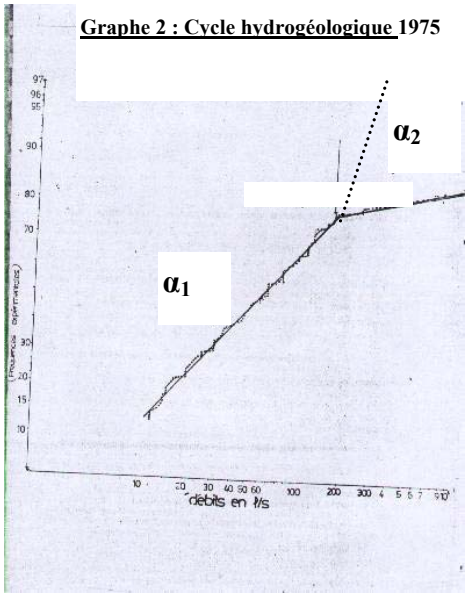
On note aussi, que les débits du cycle 1976 ne sont pas affectés par la déficience des récipitations du meme cycle.La diminution des débits ne se fait sentir qu'au cours du cycle 1977.

Ceci montre que le système a un comportement régulateur important à l'echelle pluriannuelle.

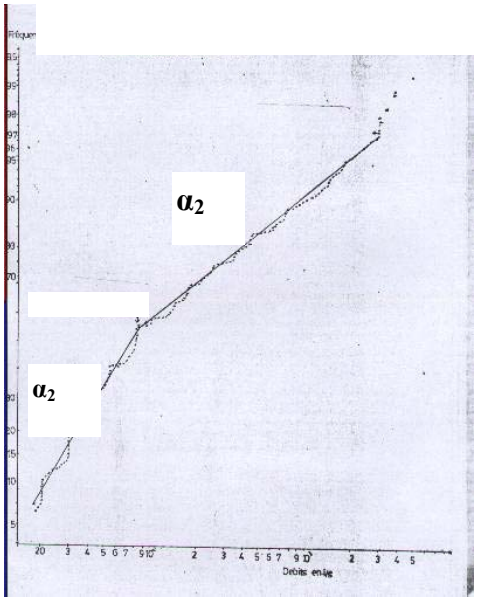
Graphe 1 : Cycle hydrogéologique 1974



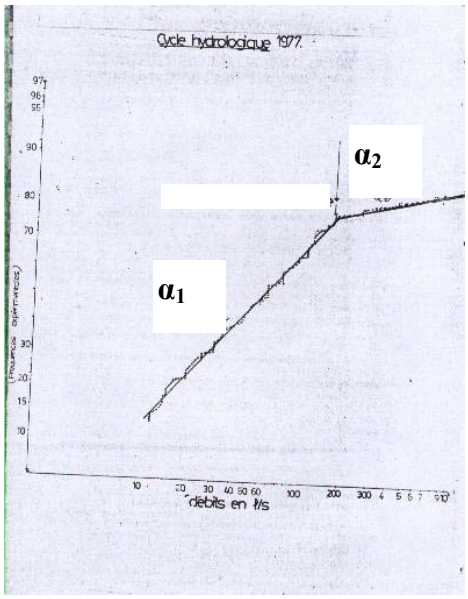
Graphe 2 : Cycle hydrogéologique 1975

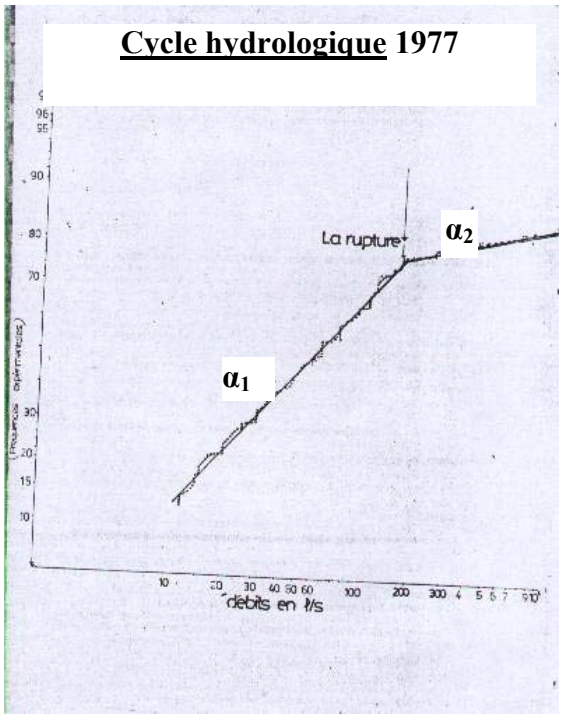


Graphe 3 : Cycle hydrologique 1976



Graphe 4 : Cycle hydrologique 1977





CONCLUSION

Bien que la présente étude ayant touché partiellement la phase de caractérisation du système karstique de Youkkous,par l'analyse des débits classés et le traitement par les moyen- -nes mobiles,le système en question apparaît intéressant d'un point de vue hydrogélogique,car il posséde un fort pouvoir régulateur,qui garantit à priori une ressource durant les périodes des étiages.

BIBLIOGRAPHIE

1. ANRH, secteur deTébessa, 1974/1978. – hydrogramme et limnigramme à la station de Youkkous.
2. KOWALSKI W. M., BOUDOUKHA A., HEMILA M. L. PHARISAT A., 1997.- Les stades d'effondrement du graben de Tébessa (confins Algéro-Tunisiens) et la tectonique plicative Plio-quaternaire.
3. KOWALSKI W. M., GUEFAIFIA O., 2003, Profil sédimentologique et pétrographique de la zone de Gaaga et Youkkous (Campanien terminal et Maestritchien
4. PLAGNES V., Thèse de doctorat 1997- structure et fonctionnement des aquifères karstiques. Caractérisation par la chimie des eaux.
5. Séminaire National, Nov. 1996, Montpellier- Pour une gestion active des ressources en eau d'origine karstique.

CARACTERISTIQUES HYDROGEOCHIMIQUES ET ISOTOPIQUES DE LA NAPPE DU COMPLEXE TERMINAL EN ALGÉRIE

MOULLA[1], A.S. et GUENDOUZ[2], A.
[1]Centre de Recherche Nucléaire d'Alger, Département des Applications en Hydrologie et Sédimentologie, 2, Bd F. Fanon, BP 399, Alger-Gare, 16000, Alger, EMails: as.moulla@comena-dz.org, asmoulla@hotmail.com
[2]Université de Blida, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département de Génie Rural, B.P. 270, Route de Soumaâ- BLIDA

INTRODUCTION

La région d'étude (Fig.1) est sise dans le bassin sédimentaire du Sahara nord-est septentrional qui s'étend sur une grande partie en Algérie et au sud de la Tunisie. Elle représente actuellement une zone aride avec une pluviométrie annuelle moyenne ne dépassant guère les 150 mm. La partie nord de ce bassin comprend deux grands ensembles aquifères qui sont le Continental Intercalaire (CI) contenu dans les formations du Crétacé inférieur et le Complexe Terminal (CT) contenu essentiellement dans les formations continentales continues du Mio-Pliocène (sables et sables argileux). Ce travail s'intéressera à la variation des caractéristiques hydrogéochimiques et isotopiques des eaux souterraines du Complexe Terminal en Algérie, le long d'une direction d'écoulement Sud-Nord sur près de 700 km, s'étalant du plateau du Tinrhert vers la zone des Chotts Merouane et Melrhir sur ~350.000 km^2 en Algérie. Du point de vue hydrogéologique et géochimique, les caractéristiques globales de ces eaux ont été bien établies par plusieurs auteurs[1,2,3,4,5,6]. Les techniques isotopiques ont commencé à être utilisées dès la fin des années 1960 par l'UNESCO dans le cadre du Projet ERESS[1]. Dès lors, plusieurs études[2,4,5,6,7,8] et campagnes de terrain ont été menées dans la région.

MATERIEL ET METHODES

Quarante six échantillons ont été recueillis à partir de la nappe du CT dans des bouteilles en polyéthylène durant des missions de terrain effectuées en 1994, 1995 et 1996. Il s'agissait principalement de forages captant les niveaux sableux et sablo-argileux du Mio-Pliocène. Les mesures enregistrées in-situ comprenaient les paramètres physico-chimiques susceptibles d'être altérés par le stockage de pré-analyse à savoir : la température, la conductivité électrique, l'alcalinité totale (HCO_3^-) par titrimétrie, le pH, et l'oxygène dissous (DO). Les échantillons à analyser en laboratoire subiront une filtration à l'aide de membranes à pores de Ø 45 µm et acidifiés pour ceux devant subir une analyse en cations (1% v/v HNO_3). Les anions ont été analysés par colorimétrie automatisée. Les sulfates, les cations et une grande panoplie d'éléments en traces ont été déterminés par ICP-OES ou ICP-MS. Les analyses en isotopes stables (^{18}O, ^{2}H, ^{13}C) ont été effectuées par spectrométrie de masse.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Pour simplifier la compréhension des phénomènes auxquels est soumis le système aquifère en question, les résultats obtenus sont interprétés selon la direction d'écoulement principale (Fig. 1). Pratiquement, il est fort possible qu'un flux quelconque puisse pénétrer cette ligne d'écoulement de la dorsale du M'Zab à l'ouest. De plus, il est aussi probable qu'il y ait une contribution à partir du CI sous-jacent à la faveur des failles d'Amguid El-Biod au sud. La profondeur des forages considérés est similaire et est comprise entre 100 et 200m ; elle augmente dans le sens de l'écoulement comme indiqué par la coupe de la Figure 1.
La conductivité électrique mesurée augmente progressivement de 1000 µS/cm à moins de 9000 µS/cm le long de cette ligne d'écoulement.

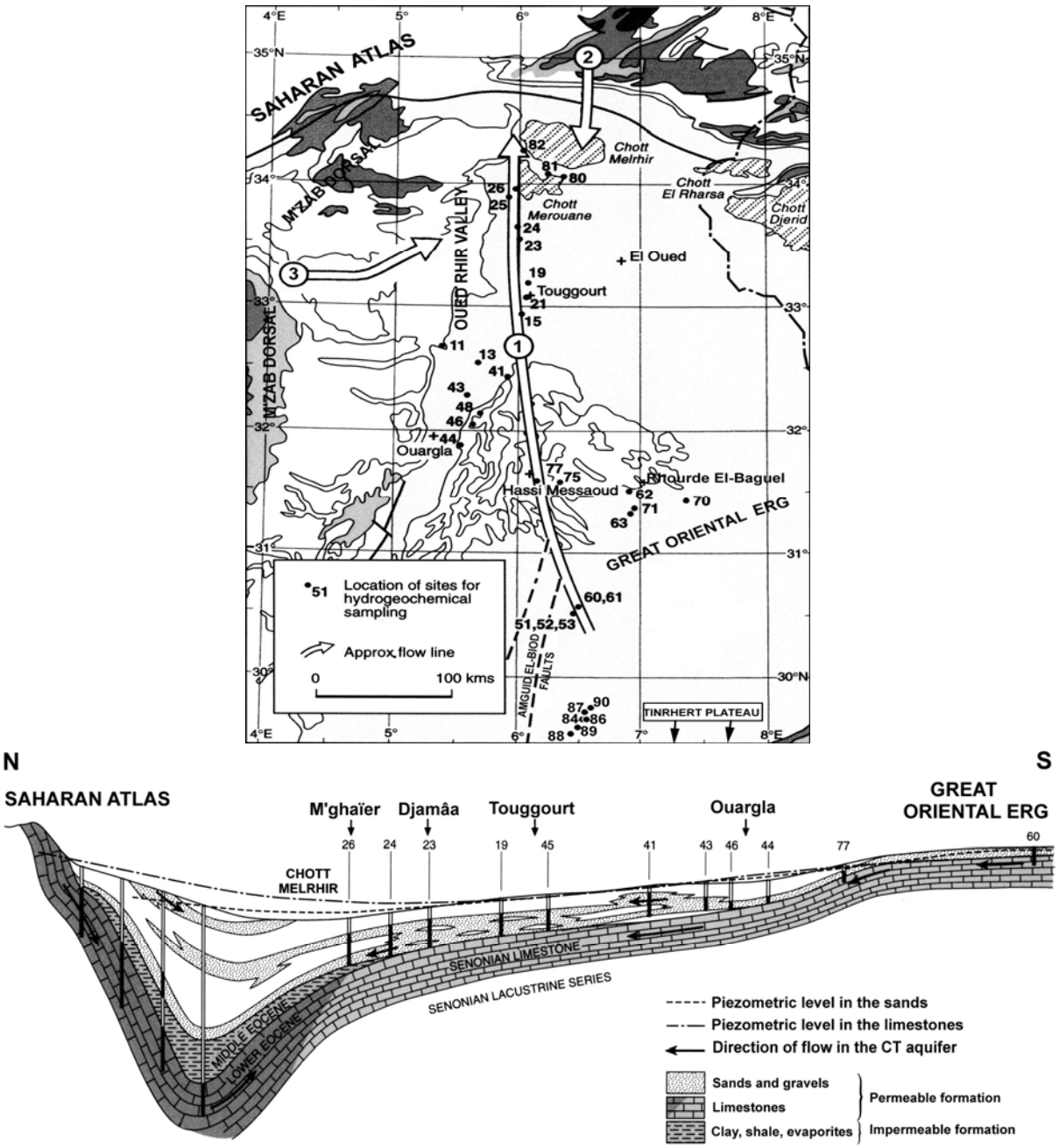


Figure1 : Présentation de la zone d'étude, de la direction principale d'écoulement étudiée et de la coupe hydrogéologique N-S de la nappe du CT.

Les chlorures étant des espèces dissoutes conservées, ils rendent compte des conditions de recharge. Leurs teneurs peuvent ainsi être appréciablement modifiés par des apports à partir des eaux de formations ou d'évaporites[9]. Les concentrations minimales mesurées tournent autour de ~200 mg/l sur les zones de recharge et sont probablement dues à l'évaporation des solutés des eaux de pluies. Elles augmentent pour atteindre les ~2500 mg/l dans la zone des Chotts, exutoire de la nappe (Fig. 2). Le rapport Br/Cl donne des indications sur l'origine de la salinité[10] Il équivaut à 0.0035 en rapport massique pour l'eau de mer et se rapproche de cette valeur pour les pluies d'origine océanique. De plus grandes valeurs peuvent être attendues lorsque de la matière organique est présente dans la matrice de l'aquifère. Dans notre cas, les points s'alignent en dessous de la droite de l'eau de mer, indiquant une grande influence des évaporites comme source principale de Cl dans les eaux.

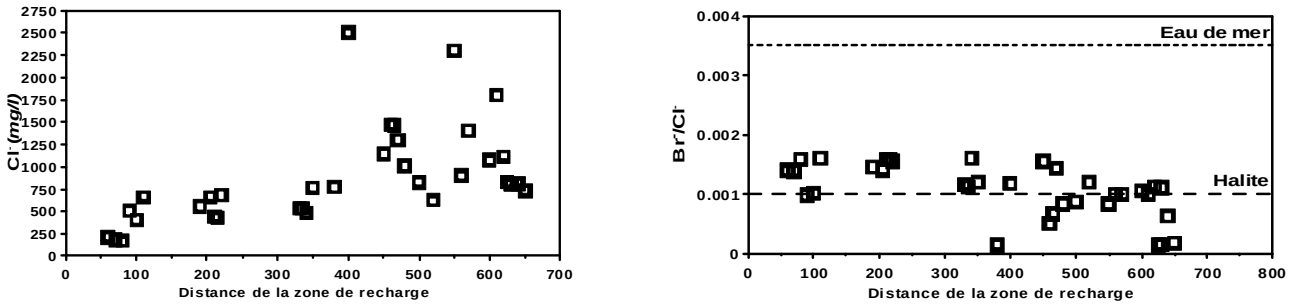


Figure 2 : Variation des chlorures et du rapport Br/Cl le long de la direction

Les données isotopiques sont aussi utilisés comme traceurs conservés de l'origine de l'eau. Ils exhibent une large variation s'échelonnant entre –4.9‰ et –9.2‰ pour le $\delta^{18}O$ et -44‰ à -72‰ pour le $\delta^{2}H$ le long de la section considérée[11]. Ceux ci montrent donc un appauvrissement par rapport à la droite des eaux météoriques mondiale (DMM) ainsi qu'à la pluie contemporaine représentée par la moyenne enregistrée sur trois ans à Ain-Oussera (Fig. 3). Ceci veut tout simplement dire que les eaux étudiées ne sont pas affectées par une recharge moderne. De plus, comme la tendance de la variation n'est pas linéaire et directe, il ressort une discontinuité dans le renouvellement des eaux qui est due principalement au changement des conditions climatiques ayant prévalu en ces temps là.

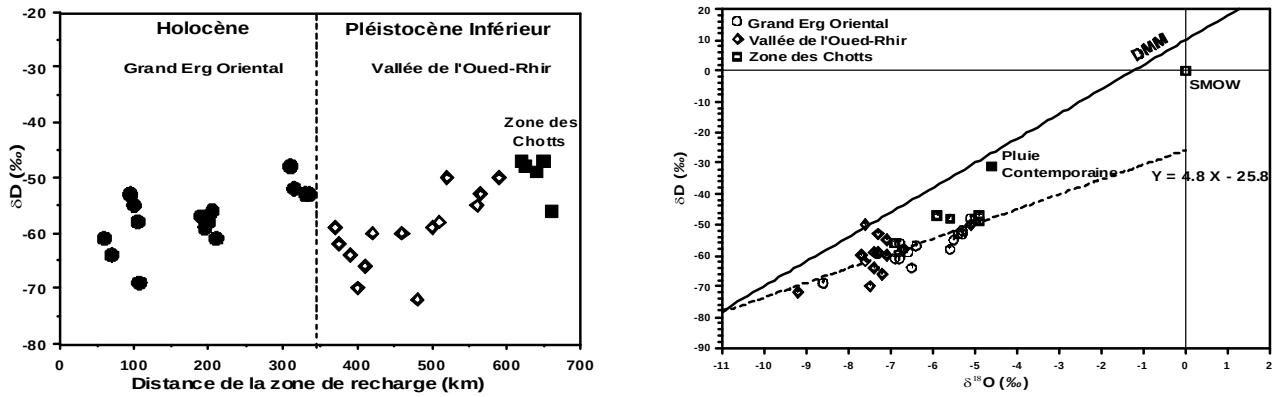


Figure 3: Données en isotopes stables

Les résultats en C-14 (Fig. 4) quant à eux montrent deux tendances : une plus ou moins stable avec des activités comprises entre 20 et 40 pmc dans la partie sud du profile avant Hassi-Messaoud sur environ 400 km, puis décroissante de 8.4 à 0 pmc au delà à partir de la vallée de l'Oued-Rhir vers les Chotts. Les teneurs en C-13 du Carbone Inorganique Total Dissous (CITD) sont comprises entre –10.5 et –4.70 ‰ vs PDB. Elles sont donc toutes enrichies par rapport à la valeur de l'équilibre stœchiométrique de –12.5 ‰ vs PDB, indiquant ainsi un échange avec la matrice qui dilue les concentrations en carbone-14. A l'exception des quelques valeurs de la proximité des zones d'affleurement, les valeurs montrent une tendance à l'augmentation dans le sens de l'écoulement en accord avec l'augmentation du temps de résidence.

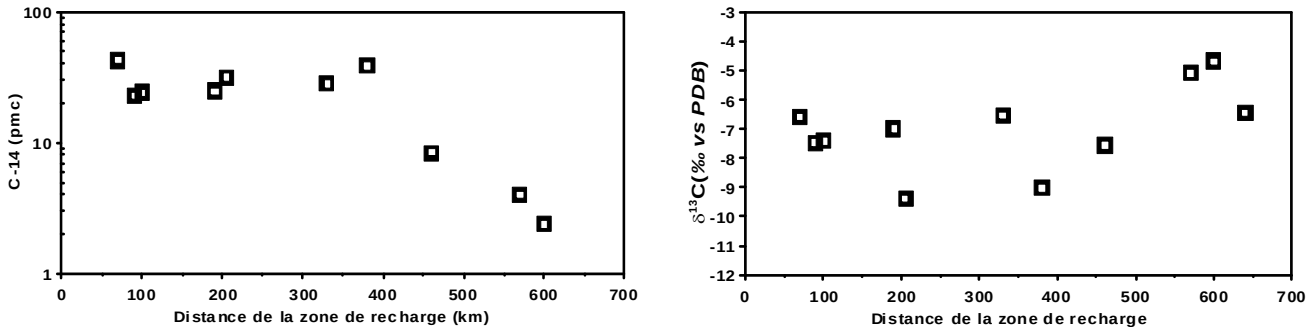


Figure 4: Variation du C-14 et du $\delta^{13}C$ en fonction de la distance à la zone de recharge

CONCLUSION

La caractérisation hydrogéochimique et isotopique des eaux du CT en Algérie nous a permis de déduire les conclusions suivantes. La minéralisation augmente dans le sens de l'écoulement et est acquise durant le transit souterrain par des réactions d'échange et de lessivage au sein de la matrice. Deux régions de salinités différentes ont été distinguées : une avec une minéralisation <2 $g \cdot l^{-1}$ qui couvre la partie sud et une autre qui s'étend de la vallée de l'Oued-Rhir jusqu'à la zone des Chotts où l'on atteint des valeurs plus hautes qui trouvent leur origine dans le lessivage d'évaporites.

Par ailleurs, les isotopes stables et le C-14 démontrent que les eaux étudiées sont anciennes et quelles ont été rechargées en discontinuité durant les périodes humides passées de l'Holocène et du Pléistocène inférieur.

BIBLIOGRAPHIE

1. United Nations Educational Scientific and Cultural Organisation, 1972. Projet ERESS, Etude des Ressources du Sahara Septentrional, Rapport final, 7 plaquettes, UNESCO, Paris.
2. PAIX, P., 1956. Les nappes artésiennes de l'Oued Rhir, Thesis, Algiers Univ., Science Faculty, 125 p.
3. CORNET, A., 1964. Introduction à l'hydrogéologie Saharienne, Géogr. Phys. Géol. Dyn. 61 : 5-72.
4. GUENDOUZ, A., 1985. Contribution à l'étude hydrochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara septentrional, Algérie, Thèse Doctorat 3ème cycle, Paris-XI Univ. (Orsay), 243 p.
5. GUENDOUZ, A., MOULLA, A.S., 1993-95. Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla, Algérie. Internal reports CDTN/DDHI, Algiers, Unpublished.
6. GONFIANTINI, R., CONRAD, G., FONTES, J.Ch., SUZY, G., PAYNE, B.R., 1974. Etude isotopique de la nappe du Continental Intercalaire et de ses relations avec les autres nappes du Sahara septentrional. IAEA SM-182/25 in 'Isotope Techniques in Groundwater Hydrology' IAEA, Vienna, **1** : 227-241.
7. ANDREWS, J.N., FONTES, J.Ch., GUENDOUZ, A., 1986. Résultats inédits de la campagne d'échantillonnage effectuée en Algérie (Sahara nord-est septentrional) en Avril 1985 sur les gaz nobles, isotopes stables (^{18}O, ^{2}H, ^{13}C) et radioactifs (^{14}C), Unpublished.
8. EDMUNDS, W.M., SHAND, P., GUENDOUZ, A., MOULLA, A.S., MAMOU, A., ZOUARI, K., 1997. Recharge characteristics and groundwater quality of the Grand Erg Oriental basin, Final report. EC (Avicenne) Contract CT93-AVI0015, BGS Technical Report WD/97/46R, Hydrogeology series.
9. HERCZEG, A.L, EDMUNDS, W.M., 1999. Inorganic ions as tracers. In Cook P.G., Herczeg A.L. (eds), Environmental tracers in subsurface hydrology. Kluwer, Boston, pp 31-77.
10. EDMUNDS, W.M., 1996. Bromine geochemistry of British groundwaters. Mineralog. Mag. 60, pp. 275-284.
11. GUENDOUZ, A., MOULLA, A.S., EDMUNDS, W.M., ZOUARI, K., SHAND, P., MAMOU, A. ; (2003): Hydrochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara, Hydrogeology Journal, Vol. **11,** No. **4**, pp.483-495.

EFFET DE LA SEBKHA SUR LE CHIMISME DES EAUX DE L'AQUIFERE SUPERFICIEL DE ZAAFRANE(DJELFA)

MAOUI .A[1], KHERICI .N[2], DJABRI .L[2]

[1]Maître assistant Centre Universitaire de Djelfa .Algérie , emeil:maoui_ammar@yahoo.fr,

[2]Professeur à la Faculté des sciences de la terre et agronomie, Université de Annaba Algérie,fax:00213386562.

INTRODUCTION :

La zone d'étude est située à l'intérieur des limites territoriales de la commune de Zâafrane qui fait partie du bassin des Zahrezs(figure 1) , l'une des dépressions intra montagneuses situées en bordures septentrionale de l'atlas Saharien qui constitue une entité hydrogéologique formée d'environ 5000km2de superficie(Sidi Moussa MF ,1996) .Elle reçois une précipitation moyenne annuelle de 290mm ,la température moyenne annelle est de 14.72°C donc elle est soumise à un climat semi-aride(Donnée station météorologique,2002) .

Figure1: Situation géographique

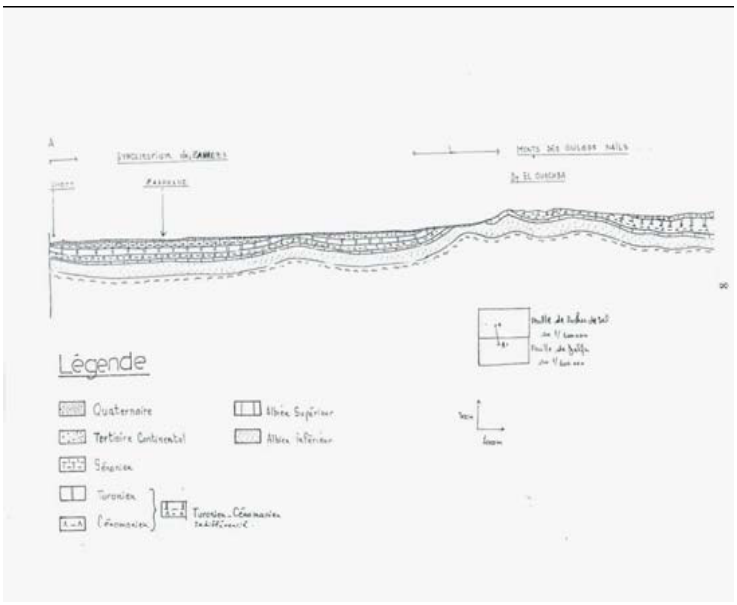


Figure 2: Coupe géologique interprétative

APERÇUS SUR LA GEOLOGIE DE LA REGION :

La région des chotts forme un grand synclinorium dans l'axe passe par les rivages(figure2) ,le tertiaire et la quaternaire occupent généralement les zones basses et plates ainsi que les lits des oueds, couvrant toutes les structures des formations anciennes(Trayssac J, 1980).

Les formations qui peuvent avoir une importance hydrogéologiques soit par leurs lithologies soit par

leurs extensions et leurs épaisseurs, sont de bas en haut:

- le grés du Valanginien-Barréinien
- le grés de l'Albien
- les calcaires du Turonien

En plus des formations du tertiaire et du quaternaire qui feront l'objet de notre suivie hydro chimique vu leurs potentiel hydrique et la qualité de leurs eaux moins salé que celles des aquifères

profonds (Turonien et Albien)(Etude hydrogéologique,2002).

MATERIELS ET METHODES :

Afin de réalisé un suivie hydrochimique et piézométrique sur deux périodes (basses et hautes eaux) 27 échantillons ont été prélevés à partir de puits captant la nappe superficielle .Après mesure immédiate de la conductivité et du PH les échantillons placés dans des bouteilles en plastics sont conservées à une température de -4°C.

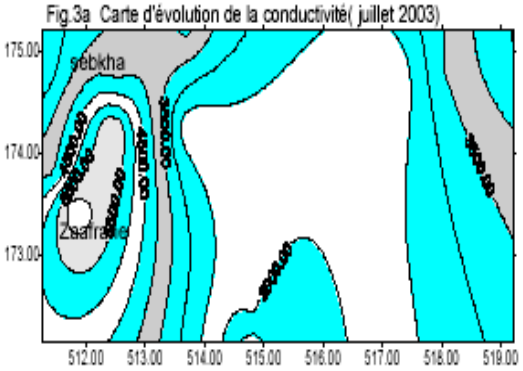
Les teneurs de calcium, sodium et potassium sont déterminées par spectrophotométrie d'émission de flamme .les chlorures sont déterminées par volumétrie selon la méthode de Mohr , pour la dureté totale elle est obtenue par complexométrie ,connaissons la dureté calcique on peut calculé la dureté magnésienne par différence (Tardat.L,Henry M,1992).La méthode néphélometrique est utilisé pour la determination de la teneur des sulfates avec un spectrophotomètre uv- visible de marque JANWAY réglé à une longueur d'onde de 420nmet étalonné avant toute détermination de la concentration des sulfates qui est reliée à la turbidité de la suspension ($BaSO_4$).La silice est dosé avec une méthode colorimétrique utilisant le molybdate d'ammonium ,l'acide oxalique et une solution étalon de silice. Pour ce qui est du bore, fluore et ortho phosphates le dosage est fait par une méthode colorimétrique à l'aide d'un coffret test-spectroquant ,la lecture est effectuée par un spectrophotomètre adapté.

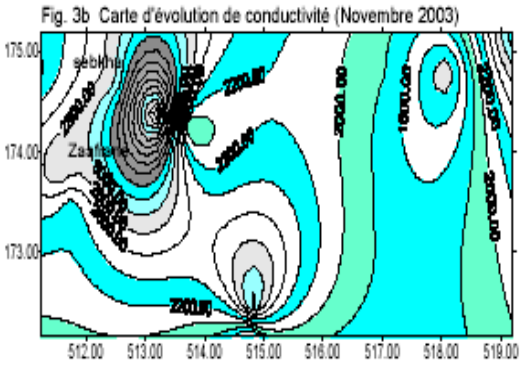
ANALYSE DES RESULTATS:

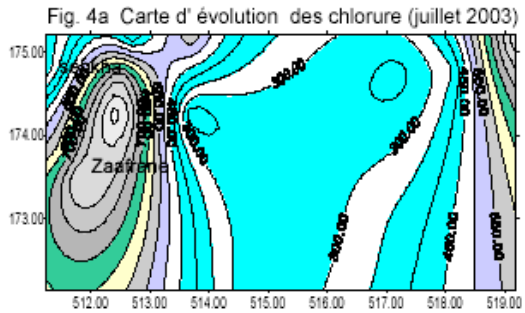
L'examen des résultats montre la prédominance des faciès chloruré-sodique et sulfaté calcique.

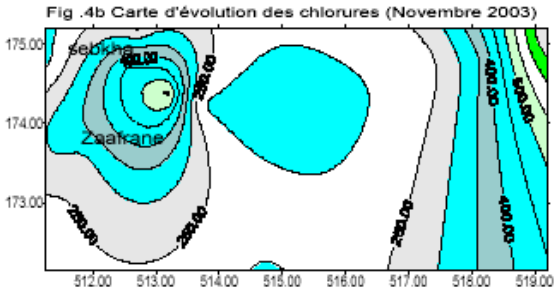
Les point d'échantillonnages sont répartis sur une superficie de 30km2, afin de suivre l'évolution du chimisme de l'aquifère superficielle, on a utilisé le logiciel Surfur6.0 permettant de dresser des cartes d'iso teneures par krigeage.

La carte d'évolution de la conductivité électrique qui nous renseignent sur la minéralisation souvent élevées dans les eaux de la région, montre l'existence de deux zones la premières se situent au Nord-Ouest où les valeurs peuvent dépasser les 3500?s/cm d'une part , d'autre part on note une diminution de la conductivité pour la période des hautes eaux (Novembre 2003)(figure3a et 3b) se qui semble logique compte tenu de la recharge de la nappe par les pluies qui diminuent la minéralisation des eaux de l'aquifère.









La sebkha située au Nord de la région d'étude qui par le lessivage de ses formations evaporitiques contribuera à l'enrichissement des eaux de la nappe superficielle en chlorure (figure4a et 4b) la dissolution des sels (gypse) présents dans les formation evaporitique du Nord de Zâafrane et dans les formations argilo-sableuses recouvrant la carapace du quaternaire contribue à l'enrichissement des eaux en sulfates. Les teneures en calcium et magnésium diminuent en allant du Nord ou Sud de la région, c'est-à-dire en s'éloignant de la sebkha, les concentration assez élevées de ces deux éléments peuvent être liés au lessivage des formations calcaire et marno-calcaire aussi que les formations triasique (gypse). La fraction sableuse est plus dominante que la fraction argileuse dans le sols de la région de Zâafrane (ouget M,1980) , donc des teneurs en quartz importantes d'où les concentration élevées de silice dans les eaux des puits(figure5) ,cependant dans la période des hautes eaux en enregistre une augmentation de la teneure en silice qui peut être expliquée par une oxydation des eaux de la nappe par les pluies d'automnes mais cette hypothèse reste à vérifié. Notons que sens d'écoulement comme l'indique la figure est Sud-Est –Nord –Ouest (figure6) se qui concorde avec la topographie car c'est dans la partie Nord où se trouve la partie basse du synclinorium qui est la sebkha.

Figure5 :Carte d'évolution de la silice(Novembre2003)

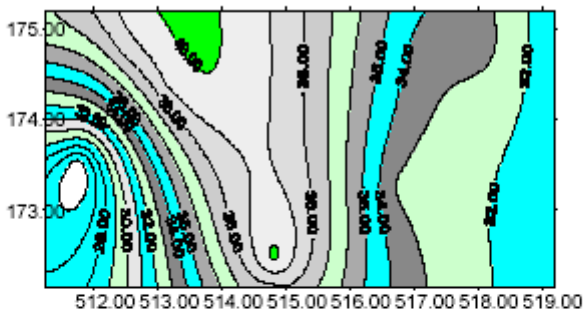
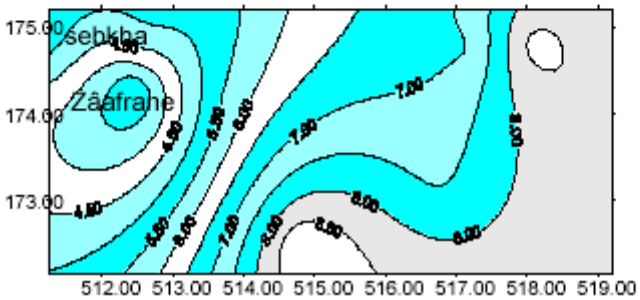


Figure6 carte piézometrique (juillet 2003)

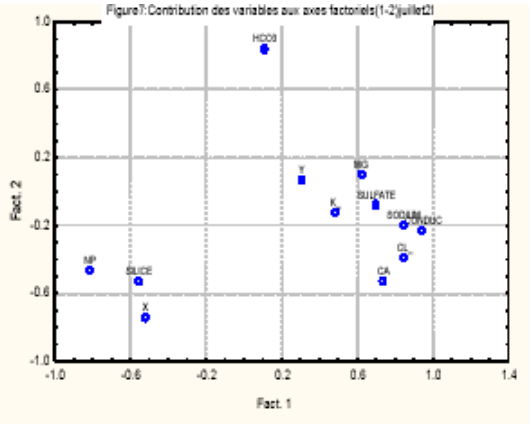


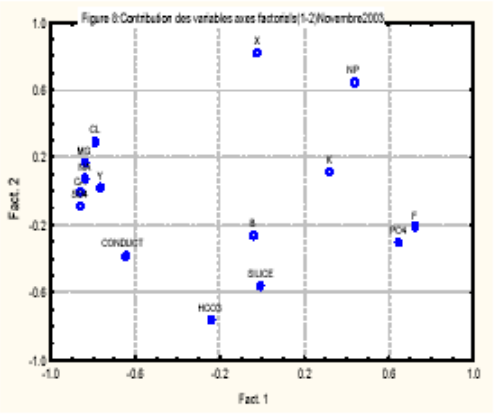
Les teneures du bore, fluores et ortho phosphates enregistrées pour la compagne de Novembre 2003ne dépasse pas souvent les normes préconisés par l'O.M.S mais la présence foyers de pollution n'est pas écarté vu la structure de l'aquifère et l'absence des périmètres de protection autour des puits.

Le traitement statistique est réalisé par le logiciel Statistica. Les matrices de corrélation sont constituées de:les coordonnées géographiques X,Y , le niveau piézometique N.P , la conductivité électrique , le PH et le paramètres chimiques:

Ca2+ ,Mg2+, Na+, K+, SO42-,Cl-, HCO3-,B,F,PO4 2-etSi02

Pour la compagne de Novembre les plus fort coefficient de corrélations sont ceux caractérisant les dépendances Cl-Na+(r=0.92), Mg2+-Cl-, Conductivité -Na+, Conductivité- Cl-, Ca2+-SO42-et Ca2+-Cl-.les associations les plus significatifs pour la compagne de juillet sont : Na+-Cl-, Conductivité- Na+,Conductivité -Cl-, Ca2+-Cl- -et Ca2+-SO42-. Les variables les mieux expliquées par l'axe 1 sont respectivement la conductivité, le sodium, les chlorure le niveau piezométrique et le magnésium. (figure9), notons que les 3 premières composantes principales explique 75.26% de la variance initiale (période de juillet 2003) et 71.34%pour la compagne de Novembre 2003. Donc l'axe 1 peut être considéré comme un axe caractérisant la minéralisation des eaux par le lessivage des formations géologiques. Pour l'axe 2 le poids factoriel le plus important est celui des bicarbonates on peut dire que ce facteur caractérise l'enrichissement de l'aquifère en bicarbonates par le lessivage des calcaires .En ce qui concerne la compagne de Novembre la plus part des éléments majeurs et la conductivité électrique ont les poids factoriels les plus importants donc c'est un axe caractérisant bien la minéralisation (figure7), Les eaux de la nappe superficielle de Zâafrane sont très chargées, donc leurs utilisations comme eau de consommation s'avèrent très risqués, en plus les indices de pollution révélés par la présence des ortho phosphates, nous amènent à proposer des mesures de surveillances plus rigoureuses autour des puits, les teneurs en fluores bien que assez faible n'exclus pas le risque que peut provoquer cet élément sur la dentition du consommateur. Les eaux sont de qualité médiocre pour l'irrigation.





D'une manière générale la vitesse d'infiltration croit avec la salinité et diminue lorsque la salinité décroît , ou quand la teneur relative en sodium augmente par rapport au calcium et au magnésium(le coefficient d'absorption ratio) donc il faut tenir compte de l'ensemble des deux facteurs salinité et S.A.R pour évaluer correctement les conséquences de la qualité de l'eau sur la vitesse d'infiltration (Ayers RS et Wescot DW,1988)ce qui est le cas des eaux de la nappe superficielle de Zâafrane où le S.A.R et la salinité sont élevées .Le bore est un élément essentiel à la croissances des plantes , il faut 0.2mg/l pour la croissance de certaines cultures , la toxicité peut apparaître a partir de 1à2mg/l

,dans notre cas on à des teneures de 0.16à 0.61mg/l bien que il existe un large éventail de tolérance chez les plantes cultivés , mais certaines cultures sont plus sensible au bore comme le citronnier .Les arbres fruitiers ,caducifoliés, les noyers,les agrumes ,les avocatiers et les haricots sont sensibles au sodium ,donc il est nécessaire d'adapter les cultures à la qualité médiocre des eaux de la région pour espérer un meilleure rendement.

CONCLUSION:

La nappe superficielle de Zâafrane peut profonde avec des niveaux piézométriques variant de 0.90 à 17 m, elle surmonte la nappe profonde du Turonien constitués par des calcaire en plaquettes légèrement marneuse elle constitue un bon réservoir mais vu la salinité trop élevée elle n'est pas exploitée. L'aquifère superficielle moins salés est très sollicité par la population de la région .l'étude hydrochimique bien que portant sur un nombre réduit d'échantillon à montré l'influence du contexte pédologique et géologique sur le chimisme des eaux de la nappe surtout l'influence des formations évaporitiques très répondus dans la région d'où la prédominance du faciès chlorurè-sodique .On se référant aux normes de l'O.M.S les eaux de cet aquifère sont de qualité mauvaise pour consommation humaine les teneurs en ortho phosphate et fluores enregistrés exigent un contrôle plus rigoureux de la nappe et l'instauration de périmètre de protection autour des puits. La minéralisation élevée des eaux où la conductivité électrique dépasse les souvent les2000¼s/cm en plus de la salinité des sols, nous oblige à adapter les cultures à cette contrainte majeure.Cette étude n'est qu'une modeste contribution pour l'étude d'un phénomène complexe et dangereux qui est la salinité des eaux et des sols, handicape majeures pour les projets de mise en valeurs programmés par le gouvernement Algériens ses dernières années afin de crée des postes d'emplois et redynamiser le secteur agricole.

BIBLIOGRAPHIE:

1 Anonyme .(2003).Données climatiques, Station météo de Djelfa
2 Anonyme.(2002).Etude hydrogéologiques des Zahrezs, Agence nationale des ressources hydriques (A.N.R.H).
3 Ayers RS,Wescot DW.,(1988).La qualité de l'eau en agriculture,Bulletin F.A.O d'irrigation et de drainage n°29,179p.
4 Pouget M.(1980). Les relations sols végétations dans les steppes Sud algéroise Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille III,cahiers de l'O.R.ST.O.M, 555p.
5 Sidi Moussa MF. (1996)-Ressources hydrauliques, Etude réalisée dans le cadre d'une coopération Algéro-Allemende projet: H.C.D.S- GTZ ,180p
6 Tradat .L ,Henry .M.(1992)-Chimie des eaux ,Edition le griffon d'argile,Canada,536p.
7 Trayssac J. (1980). Etude géomorphologique du bassin versant de l'Oued Djelfa-Mellah, versant Nord des montsdes Ouled Nail (Algérie), Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université de Poitiers, 221p.

USE OF ISOTOPES TO IDENTIFY SALINE GROUNDWATER RECHARGE IN THE MERGUELLIL RIVER BASIN (TUNISIA): IMPLICATION OF DAM RESERVOIR WATER ACCOUNTING

Lassaad Dassi [1,2], Kamel Zouari [1]
[1] Ecole National d'Ingénieurs de Sfax, BP : W. 3038 Sfax, Tunisie
[2] GSF-National Research Centre D-85764, Munich, Germany

INTRODUCTION

The Merguellil river basin, which covers an area of 1330 km^2, is located in central Tunisia between the longitudes 9°50' and 10°30'E, and the latitudes 39°50' and 39°70'N. It is characterized by a semi-arid "Mediterranean" climate, with mean annual precipitation of 340 mm and mean annual temperature of 19 °C.

In this basin, the groundwater aquifer is lodged in the Tertiary and Quaternary detrital sedimentation, which consists of clay, sand and gravel. Since the late 1970s, urban and agricultural expansions have caused an ever-growing need for fresh water. These expansions have generated a steady increase in groundwater withdrawal. This latter has raised concerns relating to the effects of the numerous new implemented wells have on this valuable groundwater resource since amount of replenishment has not been ascertain. Within this context, the Tunisian government had undertaken a strategy of mobilizing the surface water runoff in the region by constructing the Haouarb dam (in 1989) in the Merguellil Wadi course. This dam was constructed in order to impulse artificial recharge of the aquifer system, and also to prevent the region from the periodic floodings during the rainy season.

Despite this water development scheme, an acute environmental problem of groundwater salinization arose in the western part of the basin, close to the Haouareb dam, which has put a strain on the existing fresh water.

In order to analyse the relationship between the dam reservoir water and the groundwater salinization, an isotopic study using stable ($\delta^{18}O$, $\delta^{2}H$) and radiogenic (^{3}H, ^{14}C) isotopes was performed with the primary goal of determining whether the dam water is recharging the aquifer with saline water. In addition to this goal, the investigation aimed to identify the origin, age and mixing process in the Merguellil basin in order to have a better insight of the aquifer system functioning for viable long-term groundwater development in the region.

MATERIAL AND METHODS

A set of 32 groundwater samples was collected from boreholes tapping the aquifer at depth between 90 and 700 m. The groundwater sampling network was completed by 2 dam water samples collected in September and November 1999.

Stable isotopes ($^{18}O/^{16}O$ and $^{2}H/^{1}H$) and Tritium analyses were performed at the laboratory of the International Agency of Atomic Energy (IAEA) in Vienna. Radiocarbon analyses were done at the laboratory of Radio-analyses and Environment/National Engineering College of Sfax (ENIS) in Tunisia.

RESULTS AND DISCUSSION

1. Stable isotopes ^{18}O, ^{2}H

Stable isotopes in the groundwater show a wide range varying from -5.6 to -2.5 ‰ for $\delta^{18}O$ and from -37 to -24 ‰ for $\delta^{2}H$. The spatial distribution of $\delta^{18}O$ shows a gradual depletion from the southwestern part of the basin, where the Haouareb dam, toward the discharge area at the northeast. In order to evaluate the contribution of the dam water to recharging the groundwater, the $\delta^{18}O$ values have been plotted against the distance along a flow line. The results indicate a strong influence of the high saline dam water notable up to a distance between 6 and 7 Km.

Plots of the $\delta^{18}O$ and $\delta^{2}H$ values of the groundwater samples together with the dam water reservoir against the Sfax meteoric line (SML) (Celle-Jeanton et *al.*, 2001) and the Tunis-Carthage meteoric line (Celle, 2000) show two patterns (Fig. 1):

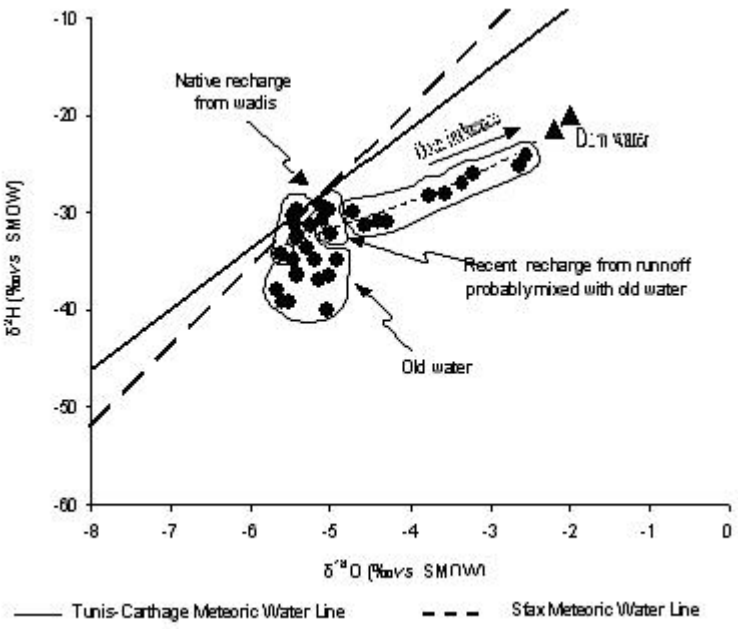


Figure 1: $\delta^{18}O/\delta^{2}H$ diagram of groundwater in the Merguellil river basin

- an enriched trend trailing away from the dominant cluster and toward the dam water reservoir "end-member" which indicates a mixing process between the infiltrated reservoir water and the groundwater. Applying the isotopic mass balance equation between the dam reservoir water "end-member" and the non-influenced groundwater "end-member", the contribution of the dam reservoir water component represents between 10 and 80%.
- a depleted isotopes cluster which plots roughly on and below the local meteoric lines (LWL) of Sfax and Tunis-Carthage. This unusual loosely clustering presumably represents stable isotopes signatures related to different sources and/or times of infiltration. The poorly distinguished clusters in the $\delta^{18}O/\delta^{2}H$ plot are:

- a "recent" water cluster which concerns the wells tapping the aquifer at the piedmont mountains zones and at the vicinity of the wadi courses. These waters are enriched relative to the local meteoric water and are presumably inferred from rainfall runoff infiltration at the piedmont zones and also from the wadi seepage.
- an "old" water cluster which data plot below the LWL. This group concerns the wells, which are located towards the NE of the region and are not likely to be affected by the wadis influence.
- a "native" recharged water infiltrated at the wadis prior to the Haouareb dam interferences and characterised by a relatively enriched trend found in the wells located mainly at the vicinity of wadi courses. These waters plot on LWL and/or slightly below.

2.Radiogenic isotopes (^{3}H, ^{14}C)

Plots of ^{3}H *vs.* δ^{18}O (Fig. 2) and ^{14}C *vs.* ^{3}H (Fig 3) distinguish fairly well the distinctive water types reviewed above and especially the implication of the dam water reservoir to recharging the groundwater. These plots show consistently the "old" water end-member with ^{3}H contents below detection limit, ^{14}C activities varying from 1 to 40 pmc and depleted stable isotopes. This trend of depleted stable isotopes is in agreement with other results (Fontes et *al*,. 1983; Zouari et *al.*, 2003) obtained in the south and central Tunisia where the groundwaters are interpreted as recharged during the late Pleistocene to early Holocene period, under cooler palaeoclimatic conditions. The "recent" recharged water, which occurs at the piedmont mountains area and the wadis vicinities, is characterised by low ^{3}H contents which is a reflection of the low ^{3}H level in the atmosphere of the northern hemisphere, but their low ^{14}C activities suggest a probable mixing with the "old" water component when infiltration reaches the water table.

Distinctive signatures are obtained with "native" recharge water and the dam infiltrated water, which trail away one to the other as end-members. The "native" recharge water end-member with ^{3}H content between 6.5 and 15.5 TU, and ^{14}C activities from 35 to 43 pmc suggests a recharge period as early as post nuclear bomb tests, if we take in account ^{3}H natural decay since this period.

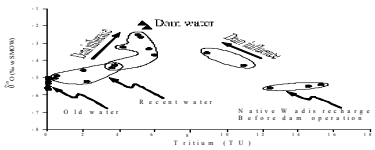


Figure 2: δ^{18}O /^{3}H relationship

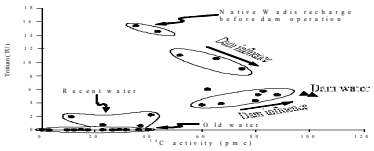


Figure 3: ^{14}C activity/ ^{3}H relationship

CONCLUSION

The use of stable and radiogenic isotopes to identify groundwater recharge sources and mixing process in the Merguellil aquifer system has been demonstrated to well suite for these purposes. Based on the stable isotopes of the oxygen and deuterium as "conservative" tracers of the potential recharge sources together with tritium and ^{14}C contents, it has been possible to confirm the impact of the dam saline water, which contributes as much as 80% in the wells located in the south-western part of the aquifer. The stable isotopes used in conjunction with radiogenic ones evidenced two mixing trends of the dam recharge water; with the "native" recharged water and the "old" water, respectively.

This study has shown that stable and radiogenic isotopes contribute to a better understanding of the aquifer hydrodynamics, times of recharge and the mixing process occurring once infiltration reaches the water table. They provide also a precious tool on the dam reservoir implications in the groundwater system.

Acknowledgments: *This study was financially supported by a grant from the German Academic Exchange Service (DAAD) to the first author. The authors would like to thank the staff members of Kairouan Water Resources Division/Agriculture Ministry.*

BIBLIOGRAPHIE

1. Celle H. Caractérisation des précipitations sur le pourtour de la méditerranée occidentale. Approche isotopique et chimique : PhD Thesis 2000, Univ d'Avignon et des Pays-de-Vaucluse, France 222p.
2. Celle-Jeanton H., Zouari K., Travi Y., Daoud A. Caractérisation isotopique des pluies en Tunisie. Essai de typologie dans la région de Sfax. C.R. Acad. Sci. 2001; 6 : 625-631.
3. Fontes J.C., Coque R., Dever L., Filly A, Mamou A. Paléohydrologie isotopique de l'wadi el Akarit (sud tunisien) au Pléistocène et à l'Holocène [Palaeohydrology isotopic study of the Pleistocene and Holocene in the wadi el Akarit (South Tunisia)]. Pal. Pal. Pal 1983; 43: 41-61
4. Zouari K., Chkir N., Ouda B. Palaeoclimatic variation in Maknassi basin (central Tunisia) during Holocene period using pluridisplinary approaches. IAEA, Vienna, 2003, 2: 80-28

GENESE ET EVOLUTION D'UNE NAPPE ENDOREIQUE COTIERE : L'AQUIFERE DU CONTINENTAL TERMINAL DU TRARZA (MAURITANIE)

Michel Lacroix[1] , Bakari Séméga[2]
[1]Labo GIS, Université de Nîmes, 150, Rue G. Besse, 30035 Nîmes
michel.lacroix@unimes.fr
[2]Université de Nouakchott, FST, B.P. 5026 – Nouakchott, Mauritanie
semega@univ-nkc.mr

INTRODUCTION

L'Afrique Sahélienne est connue depuis une cinquantaine d'années pour la présence de nappes endoréiques (Archambault, 1960).

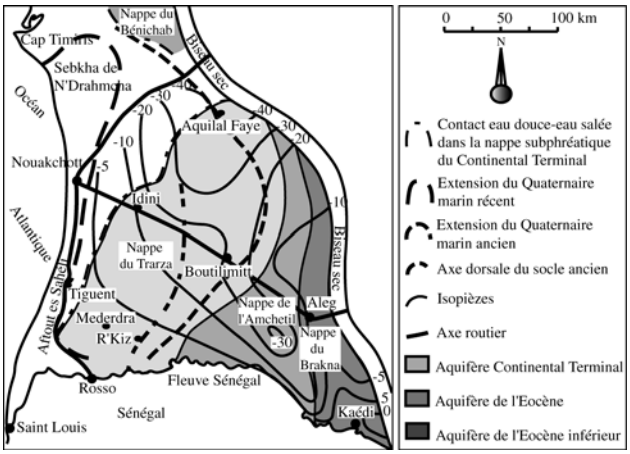


Figure 1 - Aquifère du Trarza

Dans le cas des aquifères côtiers, l'augmentation du gradient hydraulique dirigé vers l'intérieur des terres risque de provoquer l'avancée du biseau salé marin et la salinisation d'une ressource en eau douce fondamentale pour les agglomérations côtières dans les zones arides.
Ce travail traite de l'origine d'une dépression piézométrique du Trarza (Mauritanie) à la lumière de ses caractéristiques hydrochimiques et de son évolution récente. Il résulte de la thèse de Doctorat de BM Séméga basée sur des suivis de la qualité chimique des eaux souterraines du Trarza.

MATERIEL ET METHODES

Cette étude est localisée dans le bassin sédimentaire côtier du Trarza (fig. 1), entre l'affleurement du socle métamorphique et granitique à l'est, l'océan atlantique à l'ouest et le fleuve Sénégal au sud.
Le Continental Terminal, une des principales formations géologiques du bassin sédimentaire, est constitué d'un ensemble détritique de niveaux d'argiles, sables grossiers, sables fins argileux, grès et grès argileux versicolores disposés en lentilles ou en niveaux localement continus.
L'aquifère du Trarza est une nappe déprimée et multicouche. Des prélèvements et des analyses hydrochimiques mensuels sur l'axe Tiguent-Rosso et bimensuels à Idini, ont été effectués sur une quarantaine d'échantillons pendant le cycle annuel de septembre 1992 à août 1993.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Une représentation par un diagramme triangulaire de Piper (Piper 1944 ; Derec et *al.*, 1973) permet d'établir les profils ioniques et les caractères prédominants et de classifier les eaux en familles hydrochimiques. Dans le diagramme de Piper de minéralisation (fig. 2), le triangle des anions montre que les eaux les plus chargées d'Idini sont regroupées en position médiane des pôles chloruré et sulfaté et diminuent vers le milieu en direction du pôle bicarbonaté. Ceci traduit le caractère mixte chloruré et sulfaté des eaux minéralisées et chloruré et bicarbonaté des eaux douces. Par contre, les eaux chargées entre Tiguent-Rosso, sont situées au niveau du pôle chloruré et diminuent à la fois vers l'axe chlorures-bicarbonates et vers le pôle sulfaté. Les eaux minéralisées sont exclusivement chlorurées caractéristique des eaux marines pures alors que les eaux intermédiaires et douces sont mixtes chloruro-sulfatées et chloruro-bicarbonatées caractéristiques d'un apport ionique lié à de la dissolution de minéraux de l'encaissant.

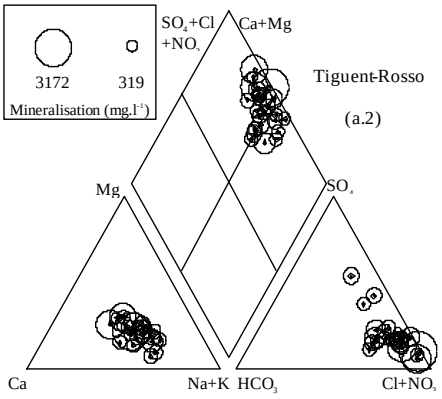


Figure 2 - Diagrammes de Piper

Le faciès dominant chloruro-sulfaté avec deux tendances secondaires sulfato-chlorurée et chloruro-bicarbonatée, est caractéristique d'influences diverses dans le système aquifère. Les eaux du sud-ouest, peu mélangées, expriment un caractère marin plus évident et de légères influences continentales.

SYNTHESE ET PERSPECTIVES

Les informations liées à la chimie des eaux de la nappe du Trarza précise l'influence de l'évapotranspiration.

La limitation à moins d'une cinquantaine de kilomètres de la frange salée indique que l'origine du gradient hydraulique n'est pas uniquement liée à une montée du niveau marin. La présence de lentilles d'eau douce en surface malgré ce gradient continental ne peut pas être imputée aux précipitations compte tenu du déficit hydrique local. Les travaux de Diagana (1984) sur les relations O18-D, complétés par ceux de BM Séméga (1995), donnent une origine holocène avec des eaux comparables à celles s'écoulant dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal.

Compte tenu de l'évaporation de l'eau douce en sub-surface, le biseau salé marin remonte vers l'affleurement en période de déficit et l'interface descend lors des périodes plus pluvieuses.

Cette variabilité spatiale est d'autant plus importante que la période considérée est longue. En effet les reconstitutions paléoclimatiques (J, Jouzel, 2003 …) montrent qu'au cours du Quaternaire, il y a eu des phases plus ou moins sèches ou humides. De plus les variations du niveau marin ont provoqué des avancées et des reculées du trait de côte et donc de l'incursion du biseau salé vers le continent. Giresse et al (2000) estiment le maximum de la transgression au cours du Tafaritien à 140 km à la latitude de Nouakchott avec des niveaux supérieur de 12 à 15 mètres par rapport à l'actuel.

Du point de vue hydrogéologique, nous pouvons extrapoler la position du biseau salé au cours du Quaternaire (fig 7 a, b, c d).

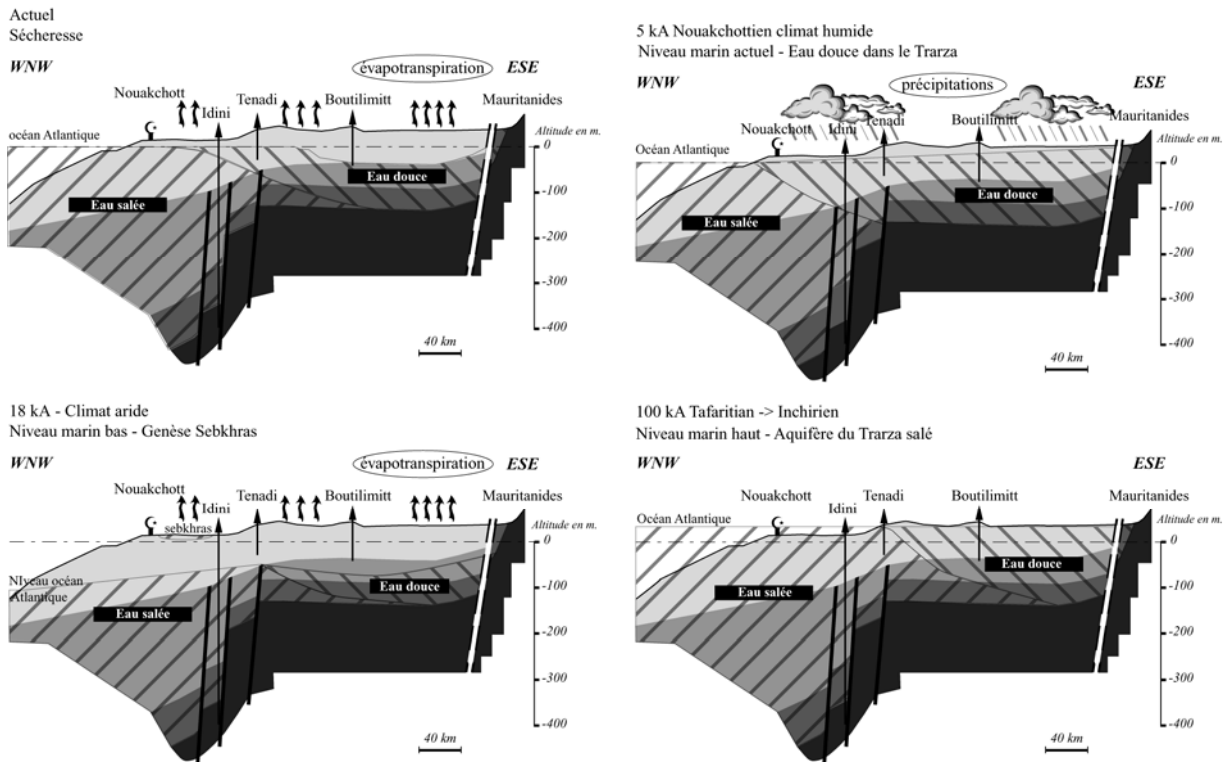


Figure 3 - Evolution de l'aquifère du Trarza

Au passage de l'Aioujian à l'Inchirien (100ky), le niveau océanique était élevé avec un climat de type sahélien (d), la situation hydrologique héritée du Tafaritian et de l'Aioujian moins aride que dans l'Actuel a provoqué l'infiltration d'eau salée dans la partie occidentale du Trarza et une lentille d'eau douce en aval des Mauritanides résultant des précipitations sur les reliefs.

La fin de l'Inchirien (18 ky) (b) marque le minimum du niveau marin au Quaternaire (Delibrias, 1986). L'aquifère du Trarza, contenant de l'eau salée dans sa partie occidentale et douce dans la partie orientale se vidange, abandonnant des saumures dans le réservoir. La partie amont, soumise à un climat très sec se tarit par évapotranspiration (nappe en creux identique à l'actuelle morphologie).

Le Nouakchottien (5ky) (c) est marqué par un climat humide pour un niveau marin voisin de l'actuel. La recharge de la nappe du Trarza est alors maximale avec un biseau marin abrupt compte tenu de la charge hydraulique d'eau douce en amont. La lentille d'eau douce est à son maximum et les gradients hydrauliques sont orientés vers l'océan. Dans sa partie aval, le réservoir est lessivé et les eaux perdent le caractère chimique marin franc

Actuellement (d), l'évapotranspiration domine de nouveau, la nappe se déprime et le biseau salé progresse avec des lentilles d'eau douce surnageant. Le phénomène de remontée saline est amplifié localement par les pompages destinés à l'Alimentation en Eau Potable (Idini).

L'eau douce est moyennement minéralisée avec un profil chimique acquis par la dissolution de l'encaissant carbonaté et des saumures héritées de l'Inchirien.

Dans les années à venir la situation hydrologique en Afrique sub-Saharienne, et particulièrement en Mauritanie, devrait donc être soit stable soit plus déficitaire du point de vue de la ressource en eau douce souterraine.

CONCLUSION

La présence simultanée de caractères marins et continentaux des eaux souterraines est du à l'alternance des phases de transgressions – régressions au cours du Quaternaire, le biseau salé migrant d'Est en Ouest avec un plongement plus ou moins important en fonction du gradient hydraulique de l'eau douce en amont, ce gradient étant fonction de la dominance de l'évaporation ou des infiltrations sur le bilan hydrique. La présence actuelle de lentilles d'eau douce à des distances de moins de 20 kilomètres de l'océan en dépit de l'importante évaporation implique que la montée du niveau marin ne peut pas expliquer à elle seule la morphologie en creux de la nappe du Trarza.

L'augmentation prévisible du déficit hydrique dans la bande sahélienne devrait augmenter son caractère endoréique et provoquer une avancée du biseau salé marin vers le continent.

Remerciements :

Les auteurs remercient le MAE et l'AUF pour le concours matériel et financier apporté, dont une bourse d'excellence accordée à BM. Séméga.

BIBLIOGRAPHIE

1. Archambault J., 1960. Les eaux souterraines de l'Afrique occidentale. Ed. Berger-Levrault, Nancy, France.139p.
2. Piper. M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Transactions American geophysical Union, Papers Hydrology, 914-928.
3. Derec. F. et Louvier. M. , 1973. Représentation graphique des analyses d'eau - le programme Piper, Bull. BRGM (2) III, n°2, 107-112.
4. Diagana A., 1994. Etudes hydrogéologiques dans la vallée du fleuve Sénégal de Podor à Bakel : relations eaux de surfaces et eaux souterraines. Thèse université Dakar, Sénégal, 130p.
5. Séméga. B. M., 1995. Interactions physico-chimiques des eaux de la nappe côtière du Trarza (Mauritanie) à Idini et le long du littoral sud. thèse de doctorat, Université de Nice, 232 pages.
6. Giresse P., Barusseau JP., Causse C., Diouf B.,2000. Succession of sea-level changes during the Pleistocene in Mauritania and Senegal distinguished by sedimentary facies study and U/Th dating. Marine Geology, 170, 123-139.
7. Delibrias G., 1986. Le niveau de la mer au Congo pendant le dernier interstade. In F Favre éditeur. Symposium Dakar, 21-26 avril.
8. Jouzel J., 2003. Climat du passé (400000 ans) : des temps géologiques à la dérive actuelle.

   C.R. Geosciences, 335, 509-524.

Minéralisation de l'eau de la zone non-saturée du karst : résultats de prélèvements dans des cavités du plateau d'Albion (Vaucluse et Alpes de Haute Provence, Sud-Est de la France)

Jean-Michel PUIG*, Christian BOUCHER, Michel DANIEL***
* Université d'Avignon (France), 33 rue Louis Pasteur, 84000 AVIGNON - E-mail : jean-michel.puig@univ-avignon.fr
****** CDS Vaucluse

INTRODUCTION

Les chroniques de données hydrochimiques aux exutoires de sources karstiques sont classiquement utilisées pour comprendre le fonctionnement hydrocinématique des aquifères. On utilise aussi parfois des données concernant la qualité des précipitations. En revanche, on a peu d'éléments pour comprendre l'évolution de la minéralisation entre l'infiltration et l'émergence, bien que les méthodes d'interprétation de l'évolution chimique utilisent des postulats sur la partie de l'aquifère dont proviennent les eaux ou les mélanges d'eaux s'écoulant aux exutoires.

Des prélèvements effectués à des profondeurs différentes dans plusieurs cavités amènent des éléments d'information sur l'évolution hydrochimique dans la première partie du trajet souterrain de l'eau, la traversée de la zone non-saturée. Les premières données acquises viennent confirmer des observations ou des hypothèses antérieures, mais aussi apportent des éléments nouveaux sur les évolutions chimiques et thermiques de l'eau d'infiltration.

MATERIEL ET METHODE

1) Le site d'étude

Le plateau d'Albion appartient au bassin d'alimentation de la Fontaine de Vaucluse. On y trouve à l'affleurement les calcaires du Crétacé inférieur (Barrémien, Aptien inférieur). Ses limites géographiques (fig 1) sont au Nord la montagne de Lure et la montagne d'Albion, qui forment une chaîne est-ouest culminant à plus de 1800 m. Les fossés oligocènes de Sault et de Banon bordent le secteur à l'Ouest et à l'Est respectivement. Au sud, le massif de Lagarde sépare la zone des plateaux du bassin d'Apt, synclinal parallèle à la chaîne septentrionale. A l'intérieur de ces limites s'étendent plusieurs centaines de km^2 de plateaux calcaires peu accidentés situés entre 800 et 1000 m d'altitude. Sur ces surfaces à réseau de drainage absent ou caduc, on compte de très nombreuses dolines et plusieurs avens de grande profondeur. Le style spéléologique de la zone correspond à des enchaînements de grands puits verticaux. Peu de cavités présentent des développements horizontaux importants

Le climat est de type méditerranéen influencé par l'altitude. Les précipitations moyennes inter annuelles dépassent 1100 mm. Du fait des températures moyennes relativement basses, de la faible rétention de l'eau dans les sols et du régime pluviométrique, l'infiltration a été évaluée à 600 mm environ (PUIG, 1987).

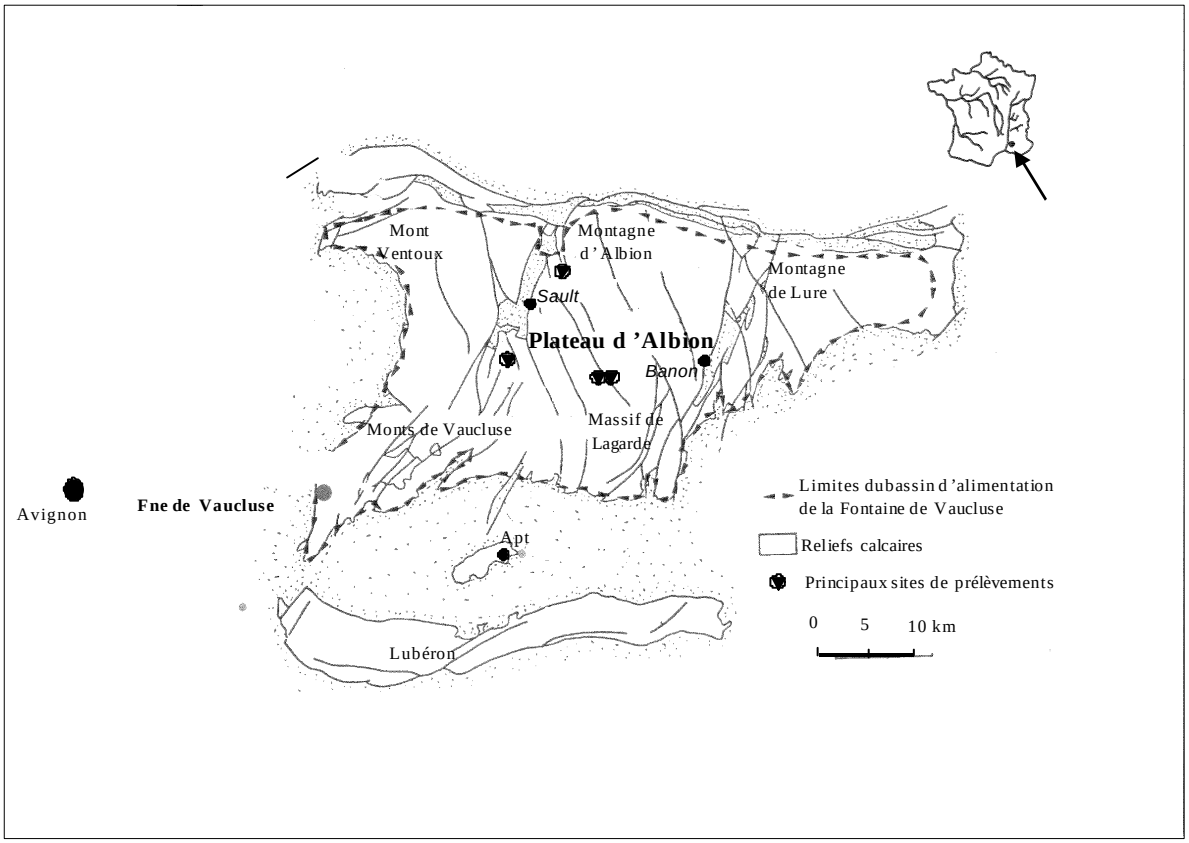


Figure 1 : Situation du plateau d'Albion et des points de prélèvement.

Des traçages ont montré le drainage exclusif par la Fontaine de Vaucluse située à une trentaine de km à l'Ouest Sud-Ouest (PUIG 1987, COUTURAUD 1993). Le signal d'entrée a été caractérisé du point de vue chimique et isotopique (LASTENNET, 1994; EMBLANCH, 1997). L'exutoire du système a fait l'objet de suivis hydrodynamiques et hydrochimiques prolongés (MUDRY, 1987; EMBLANCH, 1997). COUTURAUD (1993) a effectué plusieurs prélèvements dans des cavités des plateaux, avec des mesures précises des paramètres physico-chimiques et des mesures *in situ* des bicarbonates et du CO_2 de l'atmosphère des grottes. On dispose donc d'une bonne caractérisation des signaux d'entrée et de sortie, et de jalons sur l'infiltration assez intéressants pour inciter à des recherches plus systématiques.

2) Echantillonnage et analyses

Le principal problème posé par l'échantillonnage est bien sûr la difficulté d'accès aux écoulements souterrains. Nous avons bénéficié de la collaboration des membres du Comité Départemental Spéléologique du Vaucluse que nous tenons à remercier ici. Les cavités concernées et leurs caractéristiques sommaires sont portées au tableau 1 (d'après GAUBERT et *al.* 1990, 1995).

Cavité	Prof.	Altitude	Nombre	Période
Autran	655	940	16	11/98-2/99
Château	90	860	1	févr-99
J-Nouveau	578	830	3	nov-98
Marquisan	79	840	1	févr-99
Souffleur	610	850	2	févr-99

Tableau 1 : Cavités prélevées

Dans cette première phase, on a choisi de prélever systématiquement les écoulements rencontrés à des profondeurs différentes dans des cavités faisant l'objet de travaux spéléologiques de longue durée, donc équipés pour plusieurs semaines ou plusieurs mois. Mais au hasard des expéditions, des échantillons ont pu être récoltés dans des cavités plus modestes ou lors de visites de courte durée. Les volumes prélevés ont été réduits le plus possible et fractionnés : en général, chaque échantillon est de 300 ml en deux flacons. Pour des raisons de coût (multiplicité des équipes pouvant opérer simultanément), d'encombrement et de fragilité, on a renoncé aux mesures *in situ* des paramètres physico-chimiques. Seule la température a été relevée systématiquement, encore qu'avec un matériel sommaire. Un délai de plusieurs jours, parfois plusieurs semaines a pu s'écouler entre le prélèvement et l'analyse. Pour les 23 échantillon collectés de Novembre 1998 à Février 1999, ce délai ne semble pas avoir affecté les résultats : les balances ioniques sont toutes comprises entre +4 et –2 %, dont 17 dans la fourchette +1 à –1.
Les ions majeurs ont été systématiquement analysés, les cations par spectroscopie d'absorption atomique sur un des flacons acidifié au préalable, les anions par chromatographie ionique, à l'exception des bicarbonates, dosés par pHmétrie. La conductivité et le pH ont été mesurés au laboratoire sur la plupart des échantillons, la dernière de ces données étant peu utilisable en raison du délai de mesure.

RESULTATS ET DISCUSSION

D'après les travaux antérieurs cités, on s'attend à ce qu'une bonne part de la minéralisation totale soit acquise dans la zone non-saturée. On peut cependant postuler que les trajets pour parvenir à une certaine profondeur (voire à un point donné) sont multiples et correspondent à des vitesses d'écoulement différentes, donc à des temps de séjour et, partant, des minéralisations différentes. On peut s'attendre à ce que les marqueurs classiques du temps de séjour (minéralisation totale, Mg++) traduisent ces différences d'histoire

La première observation porte sur la **minéralisation totale** des eaux prélevées. Les valeurs de conductivité sont comprises entre 200 et 400 S/cm. Une seule valeur dépasse cette gamme pour atteindre 487. Ces valeurs correspondent tout à fait à celles observées à la Fontaine de Vaucluse. Cette observation confirme la démonstration de EMBLANCH (1997), basée sur l'interprétation des teneurs en $_{13}C$, de la prépondérance de la mise en solution dans la zone non-saturée du karst de Vaucluse. Faute de disposer de la conductivité pour toutes les eaux, la bonne corrélation avec la teneur en Calcium (r = 0.99) nous permet d'utiliser cette dernière valeur comme représentative de la minéralisation globale. Le graphe de la relation Ca++ en fonction de la profondeur montre une totale déconnexion des deux variables (fig. 2). Cela montre bien la diversité des vitesses de circulation, donc des temps de séjour, dans la zone non-saturée et y laisse envisager un stockage prolongé d'une partie de l'eau infiltrée.

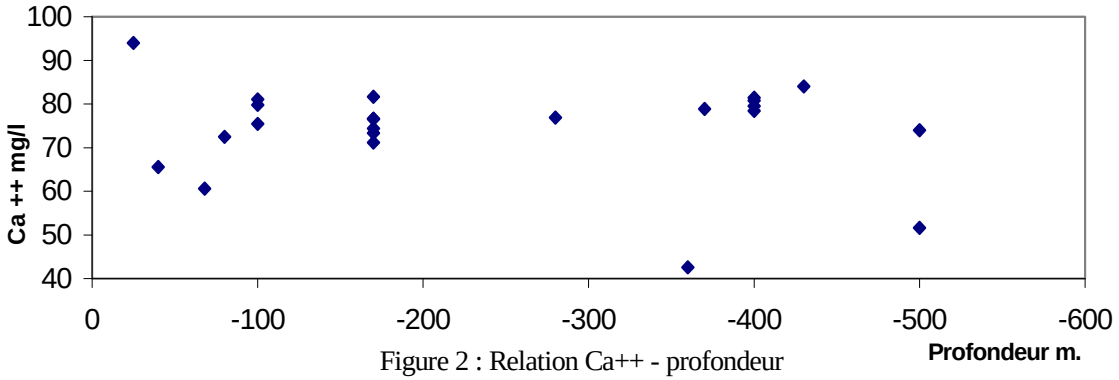


Figure 2 : Relation Ca++ - profondeur
Figure 2 : Relation Ca++ - Depth

La **température** de l'eau peut d'une certaine manière refléter le temps de séjour : on peut admettre qu'il faut un certain temps à l'infiltration pour se mettre en équilibre thermique avec le milieu. La figure 3 montre la relation qui existe entre la température des écoulements et la profondeur. On observe qu'il existe une relation d'ensemble, meilleure qu'entre calcium et profondeur, mais cependant peu rigoureuse (r = 0.715). On voit aussi que pour une même profondeur, on peut avoir des températures sensiblement différentes. C'est surtout observable au point de profondeur 170, prélevé 6 fois à l'aven Autran, et dans une moindre mesure à la profondeur –100. Si on peut invoquer une différence de température initiale à l'infiltration (pluie, fonte de neige), du moins est-il établi que l'équilibre thermique avec l'encaissant n'est pas réalisé toujours de la même façon à une même profondeur. Notons que ces deux points montrent également une dispersion des teneurs en calcium. Au contraire, il n'y a pas de différence de température entre les deux points montrant (à –500 m à Jean-Nouveau) une grande différence de teneurs en calcium.

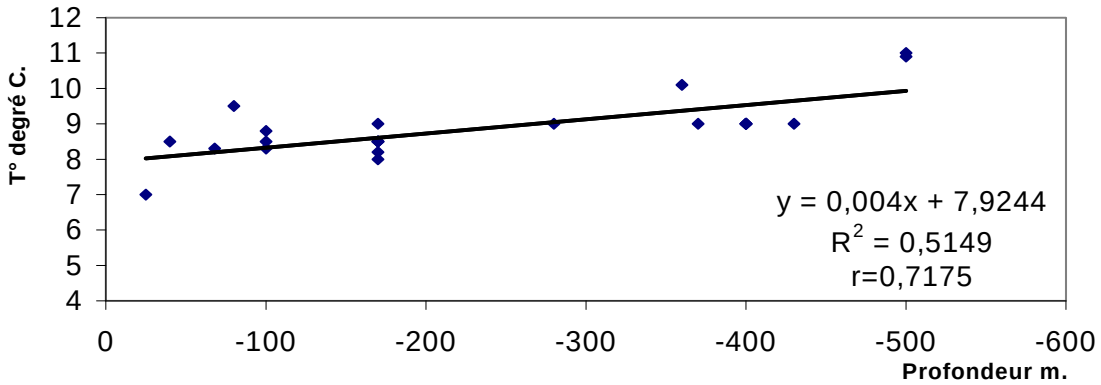


Figure 3 : Relation T°- Profondeur
Figure 3: Relation T°versus depth

Par ailleurs, on notera la faiblesse du gradient relevé : 0,4 degré par 100m seulement, donc bien au-dessous du gradient géothermique normal. Ce gradient est même légèrement inférieur au gradient atmosphérique (environ 0,5 degré par 100 m. sur le bassin de la Fontaine de Vaucluse). Il faudra éventuellement rapprocher ces observations du déséquilibre thermique permanent enregistré à la Fontaine de Vaucluse où les eaux sont un peu trop froides par rapport à l'altitude d'émergence, mais surtout trop froides de 9 degrés par rapport à la profondeur du conduit noyé.

CONCLUSION

Cette première approche permet de confirmer des hypothèses déjà énoncées sur le stockage, le cheminement et la régulation chimique, thermique et hydrodynamique dans la zone non-saturée du karst de Vaucluse. La permanence des écoulements dans la zone non-saturée oblige à y envisager un stockage important. L'absence de corrélation profondeur / minéralisation, la mauvaise relation T°/ profondeur et les variations enregistrables en un même point de prélèvement traduit la diversité des cheminements et des temps de séjour dans cette partie du karst. On peut supposer que la zone noyée reçoit de la zone non-saturée des volumes d'eau dont le signal chimique global intègre ceux d'apports très divers. On peut admettre que ce signal global évolue vers des minéralisations de plus en plus fortes au cours de la saison sèche, et se rapprocher des teneurs maximales, que l'on avait l'habitude d'attribuer à un temps de séjour prolongé dans la zone noyée.

BIBLIOGRAPHIE

1. COUTURAUD A. (1993) : Hydrogéologie de la partie occidentale du système karstique de Vaucluse. . Thèse de doctorat de l'université d'Avignon, 159 p.
2. EMBLANCH C. (1997) : Les équilibres chimiques et isotopiques du carbone dans les aquifères karstiques : étude en région méditerranéenne de montagne. Thèse de doctorat de l'université d'Avignon, 197 p.
3. GAUBERT G., LE FAHLER B. & coll. (1990, tome 1-1995, tome 2) : Hydrologie et spéléologie des territoires alimentant en eau la Fontaine de Vaucluse. T 1 « Les cavernes d'Albion ».*AREHPA éd.* Saint-Christol d'Albion, 234 p, 2 pl. h.t. et 338 p.
4. LASTENNET R. (1994) : Rôle de la zone non saturée dans le fonctionnement des aquifères karstiques, approche par l'étude physico-chimique et isotopique du signal d'entrée et des exutoires du massif du Ventoux. Thèse de Doctorat, Hydrogéologie, Univ. Avignon, 239 p.
5. MUDRY J. (1987) : Apport du tracage physico-chimique naturel à la connaissance hydrocinématique des aquifères carbonatés. Thèse Sciences Naturelles, Univ. Besançon, 378 p.
6. PERRIN JEROME (1997) : Géologie et géochimie des eaux dans le réseau du Grand Cor (Valais – Suisse). Proceedings of the 12th International Congress of Speleology. La Chaux de Fonds Switzerland, 10th 17th August 1997, vol 2, p 99-102.
7. PUIG J. M. (1987) : Le système karstique de la Fontaine de Vaucluse. Thèse Hydrogéol., Univ. Avignon (doc BRGM, 180, 1990) 208 p.

QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE DE LA CRAIE DANS UNE ANCIENNE ZONE MINIERE

Frédéric Barrez, Jacky Mania , Jean-Louis Mansy , Francis Meilliez, Bogdan Piwakowski et Brigitte Van Vliet-Lanoe
UMR CNRS 8107 (LML) , UMR CNRS 8110 (PBDS) et Groupe électronique acoustique : IEMN-DOAE-UMR CNRS 8520
Université des Sciences et Technologies de Lille

INTRODUCTION

Le bassin minier représente une zone géographique qui réunit un ensemble de points sensibles dont celui de montrer une forte dégradation de la qualité des eaux souterraines du réservoir crayeux et des eaux superficielles. Le but est d'établir une synthèse des problèmes liés à l'eau (notamment sa pollution) sur le secteur de Carvin/Hénin-Beaumont/Douai et entre dans le cadre du Programme de Recherche Concertée avec la région Nord-Pas-de-Calais. De nombreux problèmes environnementaux sont rencontrés dans cette zone, liés particulièrement à une forte industrialisation et urbanisation. L'aquifère crayeux, utilisé comme principale ressource en eau, est souvent pollué par des nitrates, des sulfates ou par certains métaux lourds comme le nickel (Denimal et al., 2001).

GEOLOGIE GENERALE HYDROGEOLOGIE

La structure géologique de la zone d'étude peut être simplifiée à deux ensembles anisotropes se superposant. La couverture Crétacé/Tertiaire contenant le réservoir crayeux possède une structure horizontale plane. Elle surmonte un massif Paléozoïque nettement plissé et faillé.
L'aquifère exploité dans la zone Carvin/Hénin-Beaumont/Douai est celui de la craie. Les écoulements dans le massif crayeux sont facilités surtout par les fissures et secondairement par la matrice poreuse. La craie apparaît fortement productive sur les premiers mètres (largement fissurés par la décompaction actuelle et passée pour les niveaux situés sous le Tertiaire) ainsi que dans les zones fracturées et en fond de vallée. En profondeur, la porosité et la perméabilité diminuent significativement la caractérisant parfois comme un milieu aquiclude (Bracq, 1995).

Objectif : Il est de cerner au mieux la structure de la craie. Elle régit une grande partie des orientations naturelles des écoulements. Il sera donc nécessaire d'établir une géologie fine du secteur et de repérer les failles drainantes de celles qui peuvent servir de barrage à l'écoulement (emploi de la sismique haute résolution, sondages, prospection électrique…). L'ensemble des informations de la structure sera à mettre en relation avec les autres paramètres comme les variations piézométriques caractérisant le comportement hydraulique de la nappe.

Evolution piézométrique *:* La carte piézométrique « hautes eaux 2001 », a été obtenue par krigeage à partir des données fournies par le BRGM. Le sens général de l'écoulement de la nappe est dirigé du Sud-Ouest vers le Nord-Est. La surface de la nappe décrit un cône de rabattement dont le centre est localisé à proximité de La Neuville. Cette tendance a longtemps été amplifiée par les prélèvements d'une activité sucrière. Globalement, la nappe libre au Sud du canal de la Deûle passe progressivement à un état captif sous les formations du Tertiaire.

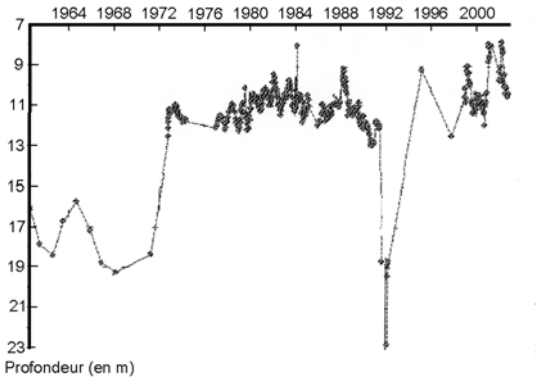


Figure 1 : Evolution du niveau piézométrique du forage d'Annay depuis 1960 (données ADES).

Ce forage est à proximité d'anciennes mines, c'est pourquoi la remontée de la nappe est si amplifiée. D'après l'étude 3H (Etude hydraulique, hydrogéologique et hydrochimique du bassin minier charbonnier du Nord-Pas-de-Calais, 1999), le relèvement du niveau de la nappe pourrait être sur l'ensemble du secteur compris entre 2 et 4 m. Cette remontée doit modifier les lignes d'écoulement et peut constituer de sérieux problèmes d'inondation dans les zones où la nappe est peu profonde.

EVOLUTION DE LA CONCENTRATION EN NITRATE ET SULFATE.

EVOLUTION DE LA CONCENTRATION EN NITRATE :.De nombreux facteurs peuvent être pris en compte : le flux spécifique d'azote émis à la surface du sol, la nature des formations superficielles, la dilution par la pluie.Les teneurs en nitrate les plus élevées sont situées au Sud du Canal de la Deûle où affleure la craie, ce qui la rend plus vulnérable. Ces terrains sont largement cultivés au Sud d'Hénin-Beaumont et très urbanisés dans le triangle Carvin/Hénin-Beaumont/Douai.Au Nord et à l'Est du Canal de la Deûle une réaction de dénitrification se produit sous le recouvrement du Tertiaire. Il est possible que la réaction puisse être en partie hétérotrophe en utilisant la matière organique (comme nutrient) et l'oxygène des nitrates , ou autotrophe en utilisant la pyrite (Bernard et Caulier, 1990).

EVOLUTION DE LA CONCENTRATION EN SULFATE : Dans ce secteur, les travaux antérieurs de Bernard (1979) et Droz (1985) supposent plusieurs sources de sulfates possibles dans l'origine de la minéralisation de l'aquifère de la craie :la dissolution des minéraux évaporitiques présents dans la formation des Calcaires carbonifères qui est à l'origine d'eaux fortement minéralisées pouvant localement contaminer l'aquifère de la craie par drainance per ascensum ;l'infiltration d'eaux sulfatées issues de la mise en solution du gypse contenu dans la couverture cénozoïque (argiles de Louvil et sables d'Ostricourt) par drainance per descensum ;les ions sulfate d'origine anthropique provenant des rejets et traitement d'eaux usées et/ou des pratiques agricoles ; les pluies polluées de la région urbaine (foyers domestiques ou fumées industrielles) avec 180 mg/l dans la pluie d'octobre 1988 ! ;l'altération météoritique des terrils pour lesquels l'oxydation de la pyrite contenue dans les schistes houillers peut conduire à un transfert d'ions sulfates vers la nappe (Denimal et al. ; 2001).

Le passage de la nappe en captivité conduit à un milieu réducteur, permettant à l'action des bactéries sulfato-réductrices de diminuer en grande partie la concentration en sulfate.

Le niveau de la nappe, la quantité et la fréquence des pluies, les remobilisations naturelles (glissements) ou anthropiques (nivellement) des terrils… sont autant de facteurs qu'il faudrait prendre en compte. Ici, la quantité des données ne permet pas d'apprécier justement l'évolution des sulfates sur ce secteur.

INFLUENCE DES TERRILS SUR LES SULFATES ET NITRATES

Les données de quatre captages ont été analysées (données DDASS). Deux forages sont en amont d'un terril (F1 et F2, amont du terril Ouest) et deux autres sont en aval hydraulique d'un autre terril (F3 et F4 en aval du terril Est).

Les données en sulfate et nitrate de ces captages sont représentées en figure 3. On note que les forages situés à l'amont hydraulique du premier terril ont une forte concentration en nitrate (de l'ordre de la centaine de mg/l) mais faible en sulfate (50mg/l environ). Les forages situés en aval hydraulique du terril plus à l'Est ont une eau nettement plus chargée en sulfate (très souvent supérieur à la C.M.A.) mais beaucoup moins riche en nitrate. Il semble y avoir un lien entre la concentration en sulfate et celle en nitrate : il apparaît graphiquement pour les forages F3 et F4 que plus la concentration en sulfate est élevée, plus celle en nitrate est faible. Si l'on considère que l'eau qui serait en amont hydraulique du terril Est aurait à peu près la même composition chimique en sulfate et nitrate que celle en amont hydraulique du terril Ouest, il y aurait alors une dénitrification. La nappe est libre dans ce secteur et la craie est sub-affleurante.

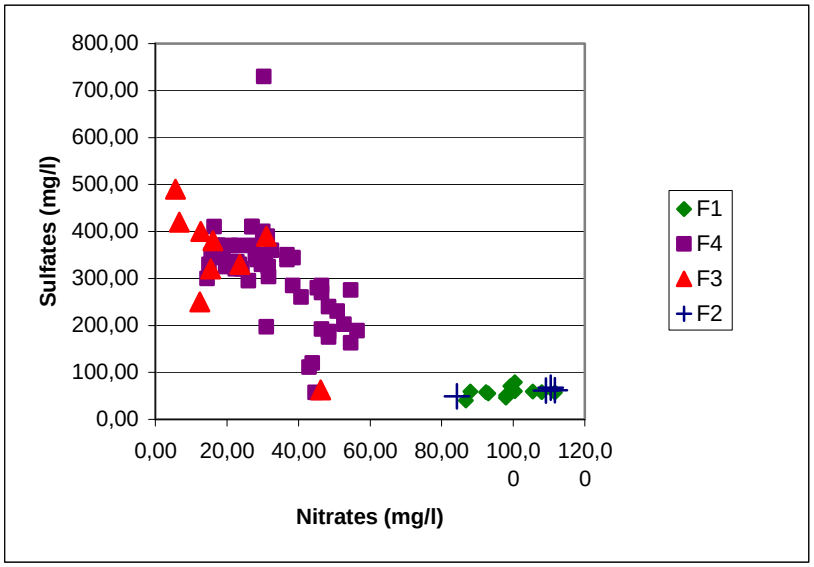


Figure 3 : Concentrations en sulfate et nitrate de quelques forages de Noyelles-sous-Lens (données DDASS de 1980 à 2001).

Le drainage acide minier résulte de l'oxydation des sulfures. L'oxydation de la pyrite est une réaction exothermique qui conduit à la formation d'ions sulfates. Les réactions correspondent à différents stades de la réaction complète (Rose and Cravotta, 1998) :

Les réactions peuvent être catalysées par différentes espèces de bactéries (*Thiobacillus*). Denimal et al. (2001) ont mis en évidence un départ de sulfates dans la nappe de la craie à partir des terrils dû à l'oxydation de la pyrite contenue dans les stériles houillers.

La pyrite peut aussi conduire à une dénitrification en milieu acide. La réaction peut de même que celles précédemment vues être catalysée par différentes bactéries telles que *Thiobacillus*. Elle s'écrit alors (Pauwels and Talbo, 2004):

On peut alors imaginer l'hypothèse suivante:

- L'oxydation de la pyrite conduit à la formation de sulfate ainsi que de protons,
- Les protons issus de cette réaction sont récupérés et, associés aux nitrates et à la pyrite conduisent à la formation de N_2 et donc à une forme de dénitrification, ainsi que la formation de sulfates.

Cet ensemble de réactions expliquerait l'importance des concentrations en sulfate (plusieurs réactions s'ajoutent pour aboutir à une mise en solution massive des sulfates) et la diminution de la quantité de nitrate (mais relativement moindre que le départ de sulfate).

CONCLUSIONS

L'arrêt des prélèvements dus aux activités minières a permis un relèvement du niveau de la nappe non négligeable. Ceci aboutit directement à une redistribution des écoulements et des zones inondables particulièrement à proximité du Canal de la Deûle, secteur marécageux. Mais le triangle Carvin/Hénin-Beaumont/Douai est aussi marqué par une dégradation des eaux de la nappe due à une forte industrialisation et urbanisation. L'augmentation des concentrations en nitrate serait à rattacher aux rejets agricoles et urbains. Plusieurs sources de sulfate ont pu être mises en évidence par le passé : les industries, les terrils, l'oxydation de la pyrite des terrains du Cénozoïque…En même temps, des processus naturels de dépollution apparaissent : en passant en captivité les concentrations en sulfate de la nappe de la craie diminuent sous l'impulsion des bactéries sulfato-réductrices et l'oxydation de la pyrite contenue dans les terrains du Tertiaire conduit à une dénitrification. Ces phénomènes sont assez complexes dans le détail dépendant des paramètres physico-chimiques tels que le potentiel d'oxydo-réduction. Enfin, il est possible que les terrils, conduisent à un processus de dénitrification. La prochaine étape consistera à vérifier cette hypothèse en nappe libre, avec absence de recouvrement tertiaire, par des mesures en amont et aval hydraulique de part et d'autre d'un terril.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bernard D. (1979).- Contribution à l'étude hydrogéochimique de la nappe de la craie dans le Nord de la France. Etat et acquisition du chimisme de l'eau. *Thèse de 3e cycle, Université de Lille.*
2. Bernard D., Caulier P. (1990).- Exploitation d'eau souterraine potable dans la nappe de la craie en position captive dans le Nord-Pas-de-Calais. *Ann. Soc. Géol. Nord* CIX, 121-124.
3. Bracq P. (1995).-« L'effet d'échelle sur le comportement hydrodynamique et hydrodispersif de l'aquifère crayeux : apports de l'analyse morphostructurale ». *Ann. Soc. Géol. Nord*, t.4 (2éme série), p. 21-29
4. Denimal S., Barbecot F., Dever L., Tribovillard N., Meilliez F. (2001).- Traçage chimique et isotopique des eaux souterraines en relation avec les eaux de lixiviation de terrils, bassin minier du Nord-Pas-de-Calais (France). Bull. Soc. Géol. France, t. 172, 111-120.
5. Pauwels H, Talbo H. (2004).- Nitrate concentration in wetlands : assessing the contribution of deeper groundwater from anions. *Water Research*, 38, 1019-1025.
6. Rose A.W., Cravotta III C.A. (1998). Geochimistry of coal mine drainage. *In*: The Pennsylvan Department of Environmental Protection (ed.), *Coal mine drainage prediction and pollution prevention in Pennsylvania*, 1-22.

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES EAUX MINERALES FRANÇAISES. INCIDENCES SUR LA DIURESE.

Docteur Claude Y. GERBAULET
Diplômée de Néphrologie
Qualifiée en Médecine thermale
F - Evian-les-Bains

INTRODUCTION

La nature géologique des terrains aquifères détermine les caractéristiques physicochimiques des eaux minérales naturelles qui y prennent naissance.
On peut en inférer une classification hydrogéologique des eaux minérales naturelles.

La connaissance des caractéristiques physicochimiques d'une eau minérale naturelle est indispensable au bon usage de ses potentiels diurétiques.
En particulier, la minéralisation, la teneur en ions bivalents (Ca, Mg), ont une incidence sur le risque lithogène ou son inhibition.

En conclusion

La connaissance des terrains aquifères peut orienter les recherches vers des ressources prédictibles.
Le conseil au consommateur repose sur une bonne connaissance des risques dont il est porteur et des caractéristiques des eaux minérales naturelles qui lui sont conseillées.

Classification hydrogéologique des eaux minérales naturelles françaises

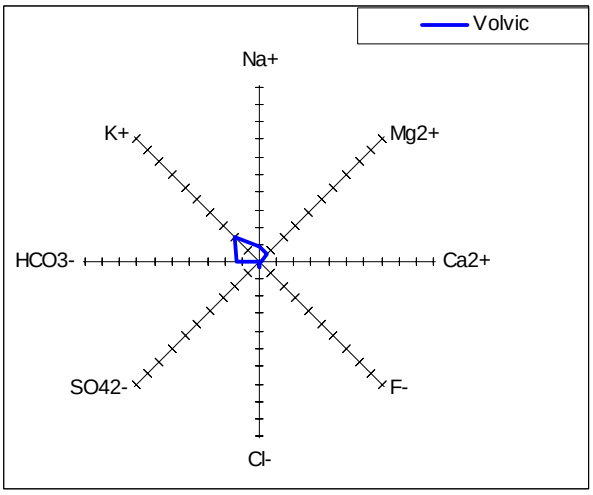
L'examen des caractères physico-chimiques des eaux minérales naturelles à partir de leurs minéraux constitutifs majeurs permet d'établir, en première approximation, une classification en quatre grandes familles :

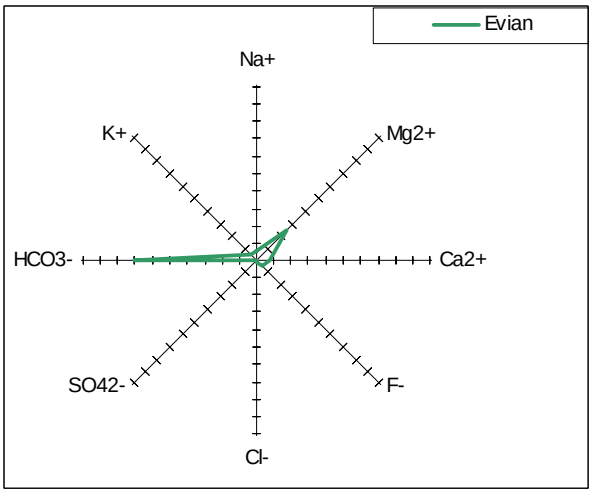
- les eaux plates oligominérales (résidu sec < 200 mg/l)
- les eaux plates bicarbonatées calciques
- les eaux plates sulfatées calciques
- les eaux « gazeuses » (sursaturées en CO2)

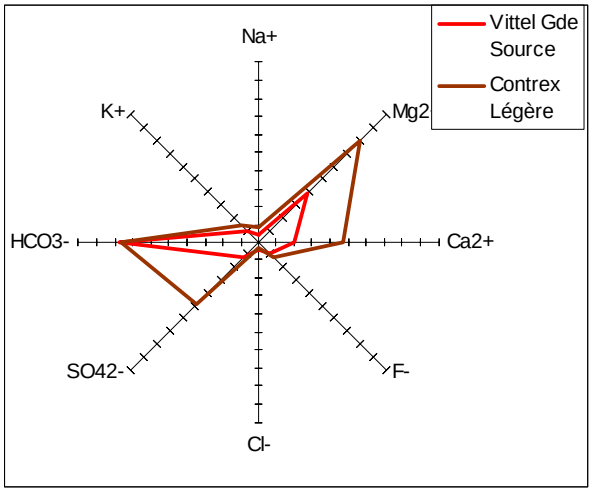
Une représentation en diagrammes peut aider au classement chimique des eaux minérales naturelles.

Eaux plates :

Echelle diagrammes	Na+	Mg2+	Ca2+	F-	Cl-	SO42-	HCO3-	K+
mg/graduation	10.00	10.00	100.00	0.25	25.00	250.00	50.00	2.50

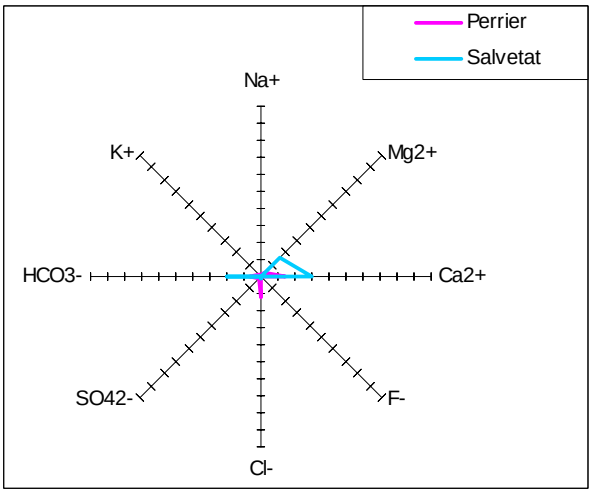


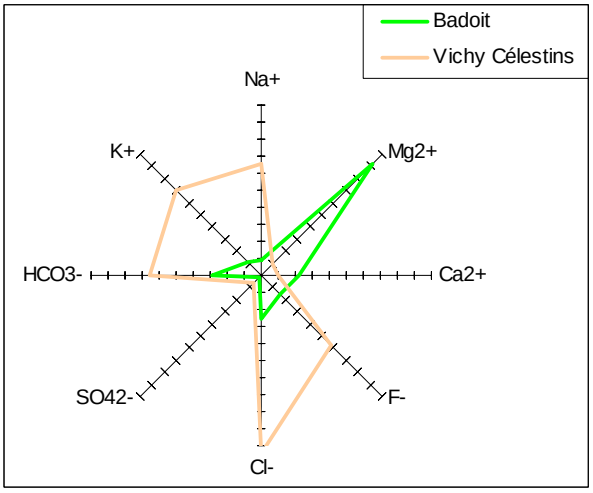




Eaux gazeuses :

Echelle diagrammes	Na+	Mg2+	Ca2+	F-	Cl-	SO42-	HCO3-	K+
mg/graduation	200.00	10.00	100.00	1.00	25.00	250.00	500.00	10.00





La confrontation de ces données à la nature géologique des terrains aquifères correspondants est instructive :

- L'eau de **Volvic** (Puy de Dôme) percole dans des terrains volcaniques très perméables dans lesquels elle altère des aluminosilicates (feldspaths, micas,…) pour donner naissance à une eau très faiblement minéralisée (Ca autour de 10 mg/l).
- L'eau d'**Evian** (Haute-Savoie) résulte de l'infiltration et de la lente progression des eaux de pluie à travers des formations d'origine glaciaire (moraines, terrains fluvio-glaciaires) où elle acquiert ses caractéristiques d'eau bicarbonatée calcique et magnésienne.
- Les eaux de **Vittel** et de **Contrexéville** (Vosges) se forment dans la couverture sédimentaire d'un massif granitique, riche en gypse (Trias) dont la dissolution conduit à des eaux sulfatées calciques et magnésiennes.
- Les eaux carbogazeuses ont en commun d'incorporer du CO2 d'origine magmatique remontant le long de fractures du socle granitique. L'acidité résultant de la dissolution de CO2 facilite la mise en solution des cations de l'environnement immédiat (Na, Ca, …), notablement différent d'un site à l'autre (**Perrier** : pauvre en Na ; **Vichy** : très riche en Na).

On peut ainsi établir une corrélation entre nature de l'aquifère et caractéristiques chimiques de l'eau minérale.

Famille	Aquifère	Exemple
oligominérale	cristallin	Volvic
bicarbonatée calcique	calcaire	Evian
sulfatée calcique	gypse	Vittel - Contrex
gazeuse	remontée de CO2 magmatique	Perrier - Vichy

Hydrologie et géologie sont donc inséparables :

- Une bonne connaissance du profil géologique des terrains aquifères permet d'orienter la recherche en ressources naturelles vers des terrains susceptibles de fournir une eau dont les caractéristiques physico-chimiques seront conformes aux normes attendues.

- A l'inverse, la découverte d'une source, et l'étude de ses caractéristiques, constituent de précieux éléments de connaissance de l'aquifère qui lui donne naissance.

INCIDENCE DES CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX MINERALES NATURELLES SUR LA DIURESE

Considérée comme un médicament, une eau minérale naturelle est légalement autorisée à s'écarter des normes chimiques de potabilité d'une eau de consommation courante.

Si l'on confronte la composition des eaux minérales naturelles françaises à la directive européenne qui fixe les normes de potabilité des eaux de consommation courante, on constate que plusieurs d'entre elles ne sont pas conformes à ces normes, pour un ou plusieurs de leurs constituants.

mg / l	Résidu sec	HCO3	SO4	Na	Ca	Mg
Volvic	102	63.4	5.8	8.2	9.4	5.6
Evian	314	352.0	11.3	5.5	76.6	24.7
Vittel Grande Source	813	388.0	323.0	3.7	201.0	38.7
Contrex légère	2 018	379.4	1 208.0	8.0	473.8	80.5
Perrier	447	336.7	51.1	13.8	145.3	3.5
Badoit	1 367	1 420.7	48.1	171.0	222.0	92.5
Vichy Célestins	3 486	3 280.6	137.0	1 305.0	97.0	9.7

En rouge, les taux supérieurs aux « normes de potabilité chimique ».

De ce fait, il importe

- de conseiller pour la consommation courante des eaux « médianes », conformes aux normes de potabilité chimique
- de réserver les eaux « extrêmes » à des indications précises
- de bien connaître les indications et contre-indications des eaux « extrêmes », et donc leur composition précise et détaillée

Un certain nombre de règles simples sont à souligner :

- Les biberons ne doivent pas être confectionnés avec une eau riche en sulfates, qui chélatent une partie du calcium du lait
- Les eaux riches en sodium sont absolument contre-indiquées chaque fois qu'existe un risque de surcharge hydrosodée : hypertension artérielle, insuffisance cardiaque, insuffisance rénale, …)
- Les eaux riches en calcium et/ou en magnésium représentent un substitut intéressant à l'administration médicamenteuse de ces sels minéraux.
  Il convient d'y penser, en particulier, après 50 ans (déminéralisation osseuse).
- Les eaux alcalinisantes doivent être évitées en cas de pyélonéphrite avec risque de développement de lithiase de phosphates ammoniaco-magnésiens.
- La question, souvent posée, des meilleures eaux à prescrire en cas de lithiase rénale mériterait un long développement.
  Nous nous limiterons ici à l'un des aspects de cette question, sur lequel nous avons beaucoup travaillé à Lyon.

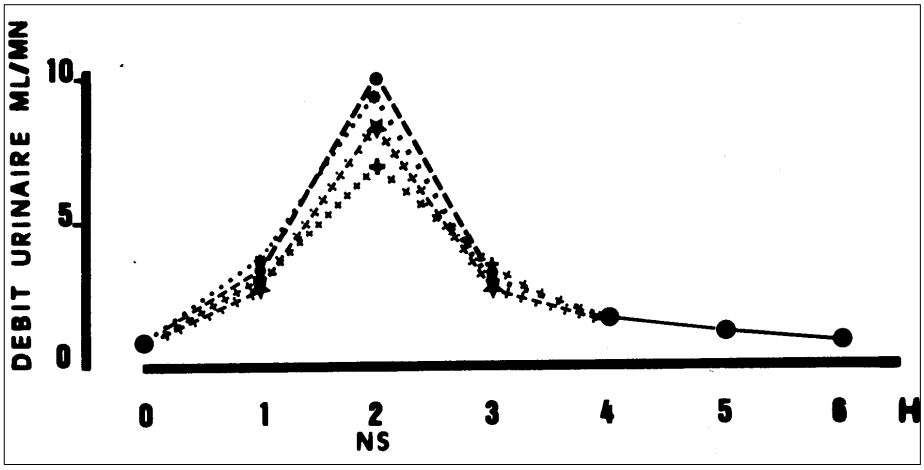
Un exemple : eaux minérales naturelles plates, calciurie, magnésurie

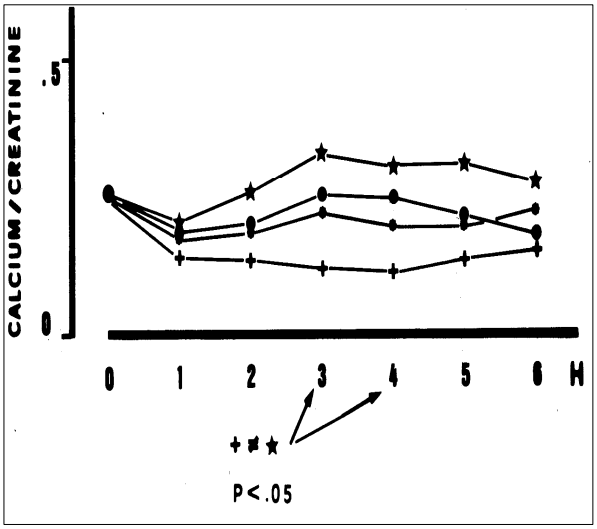
Lors de l'ingestion aiguë d'eau, la calciurie est corrélée à la teneur en calcium de l'eau ingérée. Selon la teneur en magnésium de l'eau ingérée, la magnésurie induite a un effet inhibiteur de la cristallisation.
Le patrimoine hydrominéral français met à notre disposition un éventail d'eaux minérales naturelles plates très large quant à leur teneur en calcium et magnésium. Toutes ces eaux sont utilisées, en particulier dans le cadre de cures thermales, pour prévenir la récidive de lithiases oxalocalciques.
Sont-elles équivalentes dans leurs effets ?
Nous avons comparé, chez 5 sujets adultes sains, de sexe masculin, l'incidence de l'ingestion d'une eau d'adduction publique et de 3 eaux minérales naturelles différentes (Volvic, Evian, Vittel Grande Source) sur différents paramètres de leur diurèse dans les 6 heures suivant l'ingestion de 15 ml d'eau par kg de poids.

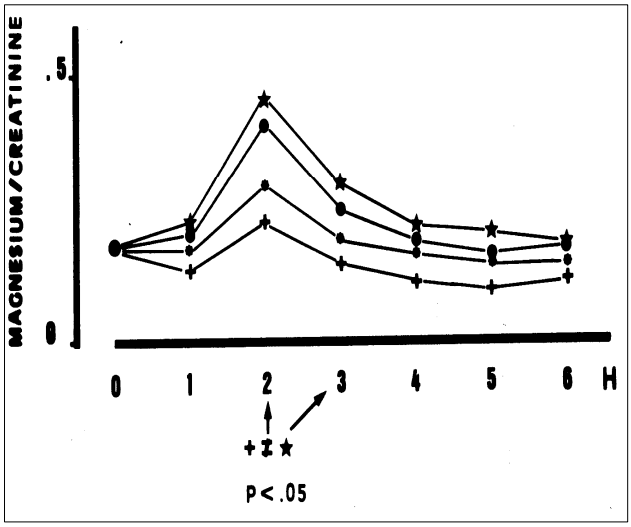
Composition des eaux utilisées

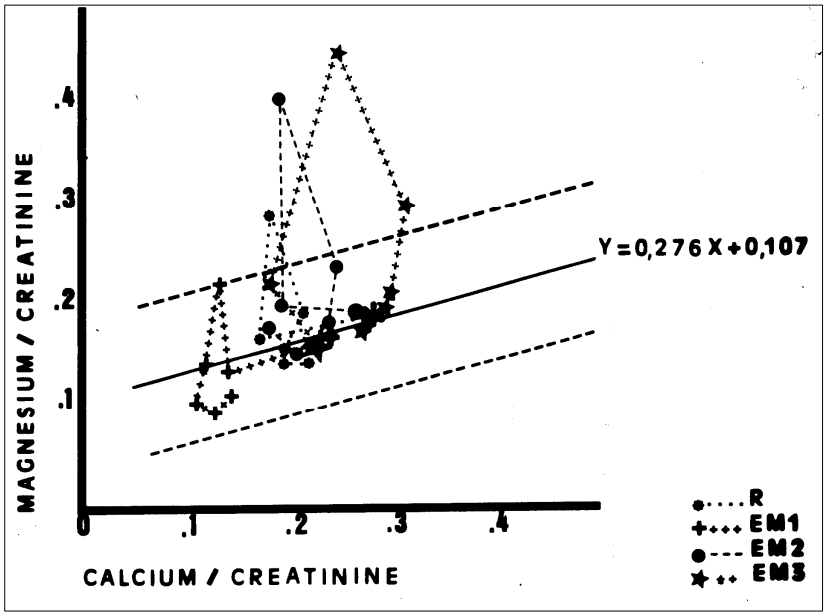
MG/L	ROBINET	VOLVIC	EVIAN	VITTEL G.S.
CALCIUM	69,6	10,0	77,0	193,0
MAGNESIUM	6,0	5,7	25,0	40,0
SODIUM	4,7	8,9	5,7	3,8
BICAR	212	61	360	418
SULFATE	32	7	11	315
CHLORURE	7	6	3	7
EXTRAIT SEC A 180°C	290	100	310	900

Evolution des paramètres de la diurèse







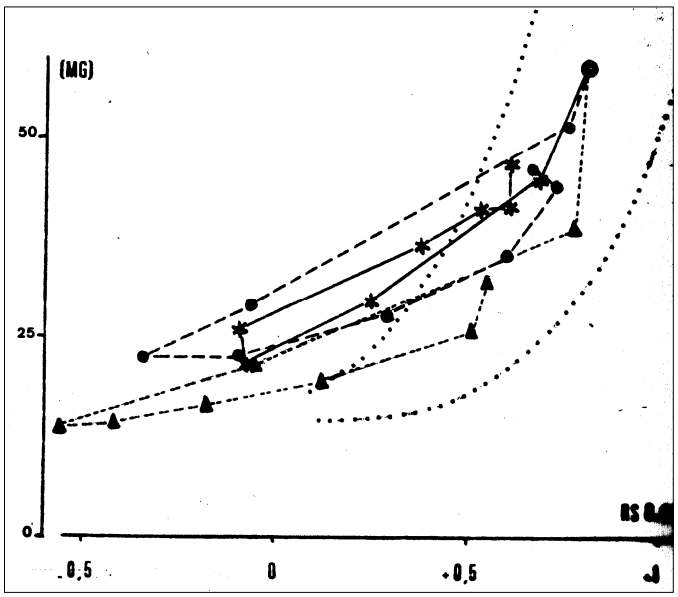


Commentaires

Quelle que soit l'eau ingérée, il apparaît, à la 2ème heure après ingestion aiguë, une dissociation entre calciurie et magnésurie au profit de cette dernière.

L'hypermagnésurie transitoire constatée est fortement corrélée à la teneur en magnésium de l'eau ingérée.

Une autre étude, effectuée par la même équipe lyonnaise sur un protocole similaire, a étudié l'évolution parallèle de la saturation relative des urines en oxalate de calcium et de la magnésurie.



RS CaOx

Cette étude semble montrer qu'à aucun moment, quelle que soit l'eau ingérée, les sujets ne se trouvent en zone lithogène « dangereuse ».

Discussion des résultats

Ces études ont été effectuées sur des sujets non lithiasiques.

Il convient de s'interroger - et de mettre en oeuvre des études - sur les différents types de sujets lithiasiques :

- Hypercalciuriques hyperabsorbeurs, chez qui la capacité d'inhibition par hypermagnésurie risque d'être débordée en cas d'ingestion d'eau riche en calcium
- Hypercalciuriques par défaut de réabsorption tubulaire, chez lesquels le même défaut peut jouer en faveur d'une hypermagnésurie concomitante
- Hypercalciuriques par hyperparathyroïdie primitive, qui relèvent de la chirurgie

L'étude est donc loin d'être close, d'autant plus si l'on veut bien prendre en compte les évènements digestifs liés à la consommation alimentaire d'anions susceptibles de fixer partiellement, chez les sujets sains comme chez les sujets lithiasiques, les cations bivalents apportés par l'eau ou l'alimentation.

CONCLUSION

- *La connaissance géologique des terrains aquifères peut orienter les campagnes de forage vers des ressources prédictibles.*
- *Le conseil au consommateur repose sur l'analyse*
    - *- des risques dont il est porteur*
    - *- des caractères des eaux minérales conseillées.*
    - *(HTA ou risque cardiovasculaire, et teneur en sodium ;*
    - *risque lithogène, et teneur en calcium et magnésium ; …)*
- *afin d'adapter l'eau conseillée aux effets recherchés*
  En tout état de cause, ce qui prime est de pouvoir BOIRE EN SUFFISANCE UNE EAU SAINE, de préférence conforme aux normes de potabilité chimique et, bien évidemment, bactériologique, tout au long de la journée, en prenant en compte, autant que possible, les éventuelles contre-indications identifiables.

BIBLIOGRAPHIES

1. C. GERBAULET, N. POZET, M. LABEEUW. Presse Therm. Climat. 2, 120-122, 1979.Action de l'hyperdiurèse sur l'urine des lithiasiques : approche par l'étude des saturations relatives.
2. M. LABEEUW, N. POZET, C. GERBAULET, P. ZECH, J. TRAEGER. 8e Colloque sur le Magnésium. Paris, 1980.Relation entre la concentration en magnésium et la saturation relative en oxalate de calcium des urines de sujets porteurs d'une lithiase récidivante d'oxalate de calcium.
3. A. HADJ-AISSA, C. GERBAULET. Majallat al Tabib, 13, 1982.Le rôle de l'hydratation dans la prévention des facteurs de risque de la lithiase rénale.
4. C. GERBAULET, N. POZET, M. LABEEUW, P. ZECH, J. TRAEGER. Société pour le Développement de la Recherche sur le Magnésium, Paris, 1982.Dissociation des débits urinaires de calcium et de magnésium par l'ingestion de certaines eaux.
5. C. GERBAULET, M. LABEEUW, N. POZET. Presse Therm. Climat. 120, 1, 49-53, 1983.Hypercalciurie, facteur de risque lithiasique, et cures de diurèse.
6. M. LABEEUW, C. GERBAULET, N. POZET, P. ZECH, J. TRAEGER. Magnesium, 2, 156-163, 1983.Dissociation of magnesium and calcium urinary excretions following water ingestion.
7. M. LABEEUW, N. POZET, C. GERBAULET, P. ZECH, J. TRAEGER. Néphrologie, 5, 101-105, 1984.Diagnostic d'une hypomagnésurie relative dans la lithiase calcique: valeurs de référence d'un nouveau paramètre.
8. C. GERBAULET. Conférence Médicale Internationale, FITEC-ISMH, Spa, 1987.Modifications urinaires induites par l'ingestion aiguë de différentes eaux minérales naturelles plates.
9. P. OLIVE, C. GERBAULET. MEDEC, 1999.La variété des sources d'eau en France, la variabilité de leur composition et de l'intérêt de changer d'eau.
10. C. GERBAULET, P. OLIVE. Entretiens de Bichat, 1999.Vers une prescription géographique des eaux.

ESTIMATION DU TAUX DE RECHARGE ET D' EVAPORATION A TRAVERS LA ZONE NON SATUREE EN ZONE ARIDE : Application des techniques nucléaires et hydrogéochimiques

GUENDOUZ.A[1]. et MOULLAA.S[2].

[1] Université de Blida Faculté des Sciences de l'ingénieur, B.P.270-Blida

[2] COMENA/CRNA/DAN-Bd.Frantz Fanon,B.P.399-Alger-16000

INTRODUCTION :

Face à l'accroissement des besoins en eau dans les pays en voie de développement et en particulier dans les zones arides et semi arides toutes les méthodes d'investigation des eaux souterraines ont été mis en oeuvre. Au cours de ces trente dernières années s'est développée une nouvelle méthodologie basée sur l'application des techniques nucléaires en hydrologie et hydrogéologie, elle est devenue actuellement l'une des principales méthodes appliquée aux sciences de l'eau.

Le recours systématique aux réserves en eau souterraine est devenu partout une nécessité et notamment dans les zones et semi arides qui disposent d'immenses réserves souterraines (exemple des grands aquifères captifs des grands bassins sédimentaires) et la même question revient continuellement aux hydrogéologues : les ressources exploitées sont-elles renouvelées ? Si oui, comment et à quel taux ?

L'exploitation de ces aquifères pose d'énormes problèmes aux gestionnaires des ressources en eau relatifs d'une part à l'estimation précise des paramètres de leur bilan hydrique (taux de recharge et évaporatoire), et d'autre part, à leur qualité chimique

Les études dans ce sens sont relativement aisées et rapides a mettre en oeuvre dans les pays développés qui disposent d'une vaste technologie et d'une connaissance globale des caractéristiques hydrodynamiques de leurs aquifères. Il n'en va pas de même dans la plupart des pays en développement où les données de bases en climatologie, hydrologie et en hydrogéologie sont habituellement éparses, incomplètes ou en cours d'acquisition.

A ces « Contraintes techniques et logistiques » s'ajoutent notamment dans les pays arides et semi-arides, les conditions climatiques extrêmes qui les caractérisent et c'est dans ce cas que les méthodes nucléaires apparaissent non seulement comme des techniques d'appoint mais indispensables.Nous nous attacherons dans cette communication a présenter un des aspect relatif a ces applications en Algérie et dans le monde sur les transferts hydriques a travers la zone non saturée pour l'évaluation des taux évaporatoires en régime permanent des nappes d'eau souterraines et le calcul de l'infiltration efficace

METHODOLOGIE GENERALE :

Sur le plan méthodologique, les possibilités du traçage isotopique naturel ont été utilisées pour préciser des mécanismes difficiles où impossibles à déterminer par les méthodes classiques dans les cycles des solutions naturelles, ainsi ont été étudiées :

A l'échelle réduit- Etude quantitative de la zone non saturée des aquifères en zone aride et semi aride par l'estimation des paramètres du bilan hydrique:

- Estimation du taux d'évaporation des nappes d'eau souterraine en zone aride
- Détermination de la recharge(taux d'infiltration)

La zone non saturée **(ZNS),** tranche de sol comprise entre la partie supérieure de la frange capillaire et la surface du sol, régit en grande partie la répartition de l'eau selon les différents termes du bilan hydrique. Trois principales approches sont communément mises en oeuvre pour son étude :

Techniques lysimétriques : longtemps utilisée du fait de la complexité des phénomènes mis en jeu dans la ZNS, elle traite cette zone comme une **boite noir .** L'enregistrement des fonctions d'entrée et de sortie permet de déduire une fonction de transfert à l'intérieur du système.

Techniques physiques : consistent à décrire le transfert de l'eau à partir de la connaissance des paramètres hydrodynamiques du sol. Elles conduisent à des modèles déterministes qui permettent théoriquement de prédire le mouvement de l'eau.

Techniques Nucléaires : la méthode consiste à prélever, à la tarière à main, des carottes de sol de la zone non saturée et de procéder aux analyses isotopiques et chimiques de l'eau interstitielle extraite à différentes profondeurs. L'extraction se fait par distillation sous vide sur des portions aliquotes des échantillons de sol. La mesure de l'état final du profil permet de déterminer le flux évaporé ou infiltré.

TECHNIQUES GEOCHIMIQUES ET ISOTOPIQUES *:*

Ces méthodes sont basées sur l'estimation de l'infiltration efficace par le bilan des chlorures et le modèle déterministe pour l'évaluation de l'évaporation basé sur les profils d'isotopes stables dans la zone non saturée.Estimation de l'évaporation : Lois de transfert d'eau en zone non saturée

De nombreux auteurs ont montré que la circulation de l'eau en zone saturée se fait sous deux formes (Philip et De Vries, 1957). Deux types de flux d'eau peuvent être distinguées, un flux en phase vapeur et un flux en phase liquide. Suivant les conditions d'humidité du profil de sol, on peut simplifier le mode de circulation : en phase liquide seule et en phase liquide et vapeur. L'équation de base utilisée est celle qui dérive de la loi de Darcy et établi par Philip et Devries (1957) :

$$q = - K\nabla H = - K (\partial\psi/\partial T)\nabla T - K (\partial\psi/\partial\theta)\nabla\theta - Ki \quad \text{avec } (H = \psi - z) \quad (1)$$

d'ou l'équation globale du transfert liquide et vapeur dans la zone non saturée s'écrira sous la forme :

$$q_{liq} = - DT(\nabla T) - D\theta(\nabla\theta) - Ki \quad (2)$$

Avec :

D_T : diffusivité thermique
Dθ = diffisuvité isothermique liquide
K*i = composante gravitaire, terme convectif
Dans l'étude des phénomènes d'évaporation d'un sol, deux facteurs sont particulièrement importants à connaître :

- Le mode de transfert de l'eau jusqu'à l'atmosphère : celui ci peut se faire selon trois modèles de
  circulation : phase liquide, phase vapeur et phase liquide-vapeur.
- La quantité d'eau évaporée par le sol ce paramètre étant très important pour une bonne connaissance des ressources en eau souterraines.

Estimation de la recharge

Deux méthodes sont utilisées en hydrologie isotopique et ont été appliquées dans plusieurs régions au monde pour l'estimation de la recharge (infiltration efficace) : L'une isotopique basé sur utilisation du tritium et l'autre géochimique basé sur l'utilisation du bilan des chlorures.

Méthode géochimique

L'utilisation du bilan des chlorures pour l'estimation de l'infiltration efficace repose sur la connaissance du rapport de concentration en ions conservatifs entre l'eau des pluies et l'eau du sol, en admettant que l'apport en chlorures provienne uniquement des précipitations et qu'après évaporation, tous les chlorures restent dans l'eau interstitielle de la zone non saturée. Ce rapport est directement imputable à la reprise évaporante qui s'effectue sans départ des ions. Les chlorures apparaissent comme l'élément conservatif le plus approprié pour de telles mesures.

Méthode isotopique: Pic du tritium thermonucléaire

L'estimation de l'infiltration efficace par la localisation du pic du tritium provenant des explosions thermonucléaires atmosphériques du début des années 60 (pic de 1963) a été efficacement utilisée pendant une vingtaine d'années. L'estimation quantitative des teneurs en tritium (^3H) utilise la distribution de ces teneurs dans les précipitations (fonction entrée) à laquelle sont comparées les teneurs mesurées sur les eaux prélevées

Cependant, cette méthode n'avait de chance de fonctionner que pour les climats arides où les flux nets infiltrés annuellement sont très faibles et où la surface piézométrique est suffisamment profonde pour que l'on espère retrouver la trace du pic de 1963 dans la zone non saturée.

RESULTATS

Afrique du nord : Bassin sédimentaire Saharien

Les travaux entrepris depuis une vingtaine d'année sur le grand bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie et Tunisie) dans le domaine de l'application des techniques isotopiques à la déterminations des taux évaporatoires et de recharge des nappes ont permis d'obtenir les résultats suivants :

Taux d'évaporation à travers la zone non saturée des nappes dont la profondeur est < à 20 m variant de ***1 mm à 10 mm/ an***.
Taux de recharge (méthode isotopique et géochimique) des valeurs variant entre ***5 et 10 mm/an***
Ces taux sont conformes aux valeurs déterminés ailleurs dans le monde en zone aride (Australie, Niger, Arabie, Sénégal, Égypte)

CONCLUSION :

La modélisation isotopique d'un sol soumis à l'évaporation fait appel à un grand nombre de paramètres tels que : la température, la valeur de la composition du réservoir, la tortuosité (structure du sol), la valeur de la composition isotopique du front d'évaporation, la profondeur du front d'évaporation, et la profondeur de la nappe. Si l'un de ces paramètres est mal estimé cela induit une influence sur l'ajustement du profil isotopique simulé au profil isotopique expérimental et/ou sur la valeur calculée du flux évaporatoire..
Les résultats des taux d'évaporation déterminés à travers le bassin sédimentaire du Sahara septentrional varient entre ***1 et 10 mm.an^{-1}*** *et s'inscrivent sur la courbe de tendance générale déterminée pour plusieurs sites à travers le monde (climat aride et semi aride).*
La méthode du bilan des chlorures constitue actuellement une des plus prometteuses dans la détermination de l'infiltration efficace et cela pour la simplicité de sa mise en œuvre. Son application à travers le monde en zone aride et semi aride a permis d'obtenir des résultats très représentatifs du taux de recharge dans ces zones.

BIBIOGRAPHIES

1. DEVRIES, D.A. KRUGER, A. J., (1967): On the value of the diffusion coefficient of water vapour in air. In « Phénomènes de transport avec changements de phases dans les milieux poreux ou colloïdes . Colloques Internationaux. CNRS, Symp. Paris : pp. 61-72
2. ERIKSSON, E., (1976) The distribution of salinity in groundwater of the Delhi region and recharge rates of groundwater (*In interpretation Environmental Isotope and hydrochemical Data in groundwater Hydrology).* AIEA, 17-171-177
3. GUENDOUZ, A., MOULLA, A.S., REGHIS, Z., (1993) Etude de la remontée des eaux de la nappe phréatique de la région de Oued-Souf (Erg Oriental, Sahara nord-est Septentrional) par les méthodes isotopiques et hydrochimiques. Deuxièmes Journées de Géologie Appliquée. Actes du Séminaire, Sfax, Tunisie (17-19 Mai 1993), pp. 289-299.
4. GUENDOUZ, A., MOULLA, A.S.; (1999) : Application des Techniques Isotopiques en Zone Aride (cas des aquifères du Sahara nord est septentrional, Algérie). *Colloque International sur l'Apport de la Géochimie Isotopique dans l'Etude du Cycle de l'Eau. Prof. J. Ch. Fontes' Memorial.* Hammamet, Tunisia (06-08 April 1999).
5. GRUNBERGER, O., (1989) Etude géochimique et isotopique de l'infiltration sous climat tropical contrasté- Massif du Piton des neiges- Ile de la réunion. *Thèse Doct. es Sciences. Univ. Paris-Sud. Orsay, 269p.*
6. HELLWIG D.H.R., (1973) Evaporation of water from sand ; The influence of the depth of the water-table and the particle size distribution of the sand. J. Hydrol., 21: 101-110
7. MOULLA, A.S., GUENDOUZ, A., CHERCHALI, M.E.H., (2002) : Contribution des isotopes à l'étude des ressources en eau transfrontalières en Algérie. International Workshop on Internationally Shared (Transboundary) Aquifer Resources Management in Africa, held under the auspices of IHP/UNESCO in Tripoli, Libya, 02-04/06/2002.

APPORT DES OUTILS CHIMIQUES A L'IDENTIFICATION DES SOURCES DE SALINITE ET DES PROCESSUS GEOCHIMIQUES DANS LA NAPPE DU SALOUM (SENEGAL)

SERIGNE FAYE
Département de Géologie
Faculté des Sciences et techniques
Universite Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal
(fayes@ucad.sn)

INTRODUCTION

Dans beaucoup de régions côtières du Sénégal, la présence d'eaux salées dans les nappes est un phénomène commun qui peut souvent endommager de façon irréversible le devenir de ces ressources. La salinisation des eaux est particulièrement aigue dans les nappes en dessous des systèmes estuariens et deltaïques comme c'est le cas du Saloum. Ce système caractérisé par un régime hydrologique inverse présente un gradient de salinité vers l'amont du fleuve de 36 à 90‰ au niveau de Kaolack.

Du point de vu géologique, la zone est recouverte par les formations du Continental terminal qui constituent le réservoir de la nappe superficielle. Ce sont des formations cénozoïques, détritiques constituées de grains de quartz, d'argiles (kaolinite principalement), de plages micritiques (10-20 µm) de calcite, d'oxydes et hydroxydes de fer (goethite et hématite). Les eaux sont généralement douces, par contre au niveau de la frange côtière et aux environs du fleuve la nappe devient salée. La présente étude vise à identifier les sources de salinité, les mécanismes et degré de salinisation en terme de processus directionnels et les processus géochimiques eau/encaissant responsable des changement de faciès des eaux a partir des digrammes binaires et des modèles binaires de mélange.

METHODES

En Novembre 2003, une campagne de mesure a été réalisée sur un réseau de 74 sites constitués de 71 points d'eau et de 3 sites le long du fleuve Saloum. Au niveau de chaque point d'eau échantillonné le pH, la température, la conductivité électrique (CE), et l'alcalinité de l'eau ont été mesurés in situ. Les ions majeurs (Ca, Mg, K, Na, Cl, SO_4, NO_3, Br) ont été analysés par chromatographie ionique sur des échantillons filtrés. Le bore a été analysé par ICP-AES sur des échantillons préalablement filtres et acidifiés.

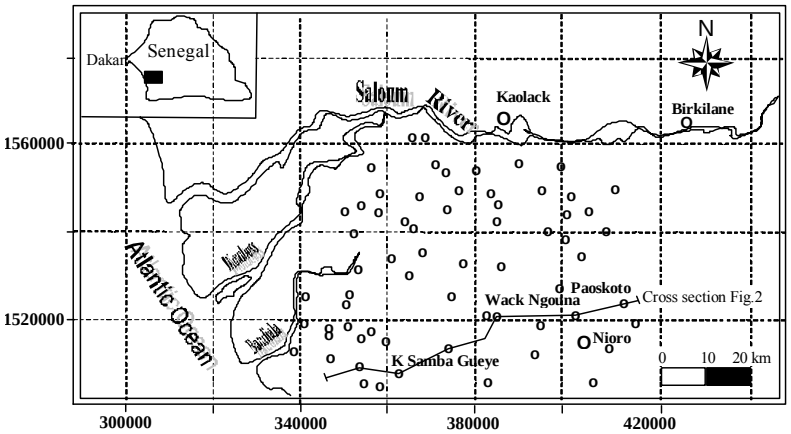


Figure 1 : Situation géographique et localisation des points de mesure

RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'utilisation des diagrammes binaires permet non seulement de différencier les types d'eau mais également d'identifier les processus géochimiques responsables des variations chimiques observées. Les figures 2 et 3 permettent de distinguer 3 types d'eau :

- Les eaux douces localisées essentiellement à l'ouest de la région sont caractérisées par de faibles valeurs de CE (37–205 µS/cm) et de faibles concentrations en ions. Ces eaux de type Na-Cl et Ca-Cl ;
- Les eaux bicarbonatées calciques présentent une prédominance en ions HCO_3 (80–218 mg/L) et Ca (30–60 mg/L) comparés aux ions Na et Cl. Ces eaux sont caractérisées par un pH plus élevé et des valeurs de CE comprises entre 285 et 685 µS/cm. Dans le diagramme binaire (Fig.2), les points d'eau représentant ce faciès et situés pour la plupart à l'est de la région d'étude vers Nioro sont disposés proches de la droite théorique de dissolution de la calcite ;
- Les eaux salées localisées essentiellement au niveau de la zone côtière et de la bande longeant le fleuve Saloum sont caractérisées par de valeurs de CE comprises entre 700 et 11.180 µS/cm et des concentrations élevées en Na (100–1300 mg/L), et Cl (214–3195 mg/L). Cependant, dans la Figure 2, un gain net en [Ca+Mg] par rapport à la concentration [HCO_3+SO_4] est observé pour la plupart des eaux salées.

Dans le but d'expliquer ces différences dans la composition chimique des eaux salées et les réactions géochimiques qui accompagnent l'intrusion saline, le diagramme de la Figure 3 a été construit. L'intérêt d'un tel diagramme c'est qu'il soustrait les apports d'ions provenant de la dissolution des minéraux (calcite, gypse, dolomite, halite). Certains points se positionnent très proches de la droite théorique de mélange avec une faible déviation par apport supplémentaire de [Ca+Mg] mais Na demeure toujours le cation dominant et le faciès Na-Cl reste inchangé. Par contre, les autres puits salés montrent un net gain en [Ca+Mg]; et leur rapports ioniques Na/Cl et SO_4/Cl proches de ceux de l'eau de mer et le rapport Ca/Cl plus élevé décrivent le processus d'échange de base inverse (Howard et Lloyd, 1983 ; Appelo et Postma, 1993) où Na remplace graduellement Ca au niveau des sites négatifs des argiles. Comme conséquence à ces modifications chimiques, le faciès chimique montre une gradation de Na-Cl, Na-Ca-Cl à Ca-Cl.

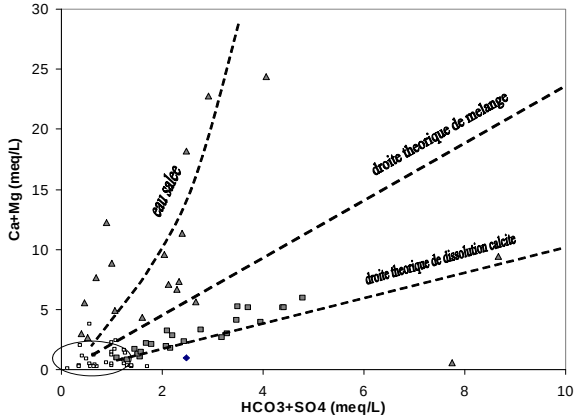


Figure 2: (HCO_3+SO_4) *vs.* (Ca+Mg)

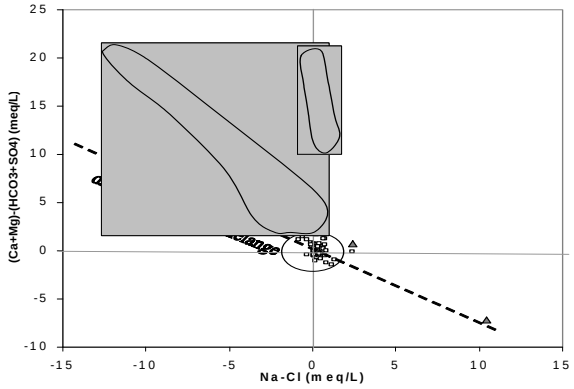


Figure 3 : (Na-Cl) vs. (Ca+Mg)-HCO_3+SO_4)

Les concentrations en Br dans les eaux douces varient de 4 à 840 µg/L, tandis celles des eaux salées varient de 253 à 4750 µg/L. Reportées dans le diagramme Cl vs. Br (Fig. 4), la majorité des eaux (salées et douces) sont très proches de la droite de mélange avec un coefficient de corrélation de r^2 : 0,94. Cette linéarité met en évidence l'origine commune de ces ions conservatifs Br et Cl. Cependant, on note quelques points d'eau douce qui s'éloignent de la droite de mélange. Ces déviations peuvent provenir de la pollution anthropique, de l'effet de mélange avec des eaux de concentrations différentes, des eaux d'infiltration à travers les horizons organiques du sol, qui stockent les bromures (Gerritse et George, 1997).

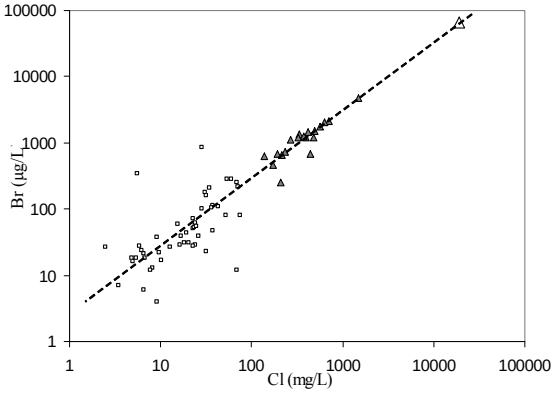


Figure 4 : Cl vs. Br

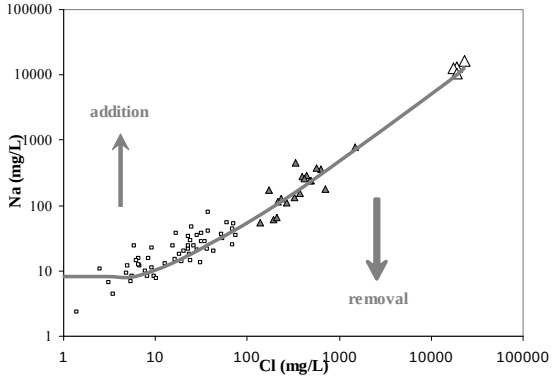


Figure 5 : Modèle binaire Cl vs. Na

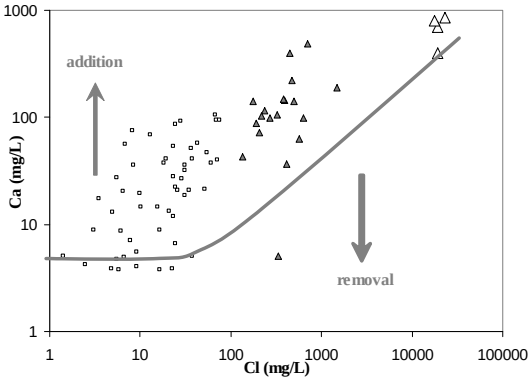


Figure 6 : Modèle binaire Cl vs. Ca

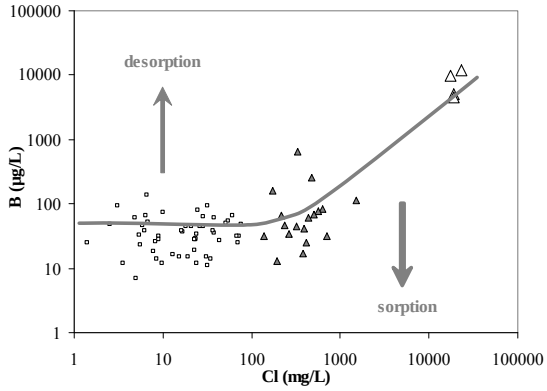


Figure 7: Modèle binaire Cl vs. B

Dans les eaux souterraines, le B est présent naturellement à des concentrations très faibles. Les sources en concentrations élevées peuvent provenir de la pollution anthropique, de l'évaporation des eaux d'irrigation, de la dissolution des évaporites, de la présence d'eau de mer résiduelle et de l'altération des minéraux. Toutefois, les processus d'adsorption et de désorption du B à la surface des minéraux ont un effet considérable sur sa teneur dans les eaux. Dans la nappe du Saloum, les teneurs en B varient de 7 à 139 µg/L dans le groupe des eaux douces et de 13 à 650 µg/L dans le groupe des eaux salées. Les fortes teneurs en B dans les eaux salées sont généralement associées à des concentrations élevées en Na et par conséquent indiquent la contamination par intrusion saline. Dans l'hypothèse que les enrichissements/appauvrissements en ions B, Na et Ca sont en rapport avec les processus de désorption/adsorption, et d'échange de bases, les concentrations de ces éléments sont reportées avec le Cl dans les modèles binaires de mélange (Jones et al. 1998). Ces modeles partent du principe que si un mélange conservatif entre deux types d'eau de concentrations différentes s'effectue, l'eau résultant du mélange aura une composition chimique intermédiaire qui sera fonction des proportions de mélange entre les deux pôles. Les pôles sont représentés respectivement par l'eau douce et l'eau de mer.

Dans le modèle Na *vs.* Cl (Fig. 5), la plupart des eaux salées se positionnent proche ou légèrement en dessous de la droite théorique de mélange, indiquant ainsi un faible appauvrissement en Na qui accompagne les processus de salinisation de la nappe aux abords des sources. Dans le groupe des eaux douces, les enrichissements /appauvrissements en Na sont très probablement le fait de réactions d'échange de bases qui responsable de la gradation des faciès de Ca-Cl ou Na-Cl ou Ca-HCO_3 à Na-Cl ou Na-HCO_3 (Faye et al., 2003). Les concentrations élevées en Ca observées dans le groupe des eaux douces (Fig. 6) résulteraient de la dissolution de la calcite dans la zone Est de la région (vers Nioro). Dans le groupe des eaux salées par contre, les réactions d'échange inverse seraient responsables du changement de faciès au niveau de certains puits de Na-Cl, Na-Ca-Cl à Ca-Cl.

Dans le modèle Cl vs.B, la plupart des eaux salées se situent en dessous de la droite théorique indiquant ainsi un appauvrissement en B. Les puits de ce groupe sont tous localisés dans la zone au voisinage du fleuve Saloum. Par contre, 3 puits à eau salée se positionnent au dessus de la droite théorique de mélange, indiquant ainsi un enrichissement en B. Ces processus de désorption de B sont décrits dans le modèle de mélange comme l'eau douce de la nappe repoussant par écoulement le front salé vers la source. Deux des puits sont localisés à l'ouest au niveau de la zone côtière ; ils subissent l'effet de l'écoulement à partir du dôme piezométrique qui repousse le front salé vers le Bandiala. D'autre part, les eaux douces enrichies en B comparées à la moyenne sont exclusivement localisées a l'ouest de la région (zone de dôme piezométrique) où Ca de la solution est graduellement remplace par Na par processus d'échange de bases. Ce processus s'accompagne d'un enrichissement par désorption du B. D'après Rowe (1999), la désorption du B commence quand la chlorinité des eaux est aux environs de 100 mg/l et ce procédé pourrait augmenter la concentration en B jusqu'à des valeurs supérieures à 10 mg/L. Lorsque l'eau de mer envahit la nappe par intrusion saline (salinisation), Na et B sont libérés des sites négatifs et Ca est retenu. Ceci conduit à un caractère enrichi en Ca et appauvri en Na et B. A partir de ces observations, il s'en suit que les phénomènes d'enrichissement et d'appauvrissement des ions dans les eaux souterraines fournissent un outil « indicateur » de direction d'écoulement des nappes côtières qui peut être soit vers une « salinisation » (appauvrissement en Na et B, enrichissement en Ca), soit vers un « adoucissement » (appauvrissement en Ca et enrichissement en Na et B). L'adsorption de B, l'appauvrissement en Na au dépend de Ca et les processus responsables sont particulièrement dominants dans cette partie de l'aquifère du fait que la direction d'écoulement de la nappe est essentiellement à partir du fleuve Saloum vers l'intérieur de l'aquifère où les charges hydrauliques sont négatives.

CONCLUSION

L'utilisation des ions majeurs et mineurs calibres sur l'ion conservateur Cl a permis de révéler des réactions hydrogéochimiques importantes qui accompagnent la salinisation des eaux du Saloum. Parmi les processus identifies, les réactions d'échange de bases, d'adsoption et de désorption sont principalement responsables de la typologie des facies qui montrent une gradation suivant l'écoulement de la nappe, mais également les réactions en terme directionnel de salinisation (intrusion) et d'adoucissement (extrusion) des eaux déjà contaminées.

BIBLIOGRAHIE

1. Appelo CAJ, Postma D (1993). Geochemistry, groundwater, and pollution. *A.A. Balkema, Rotterdam*
2. Faye S, Cissé Faye S, Ndoye S, Faye A (2003). Hydrogeochemistry of the Saloum (Senegal) superficial coastal aquifer. *Environmental Geology; 44: 127-136*.
3. Gerritse RG, George RJ (1988). The role of soil organic matter in the geochemical cycling of chloride and bromide. *Journal of Hydrology 1988; 101: 83-85.*
4. Howard KWF, Lloyd JW (1983). Major ion characterization of coastal saline ground waters. *Groundwater 1983; 21: 429-437.*
5. Jones BF, Vengosh A, Rosenthal E, Yechieli Y (1988). Geochemical investigations. *In: Bear J, Cheng AHD, Sorek S, Ouazar D, Hererra I (Eds) Seawater Intrusion in coastal Aquifers: Concepts, Methods and Pactices. Kluwer Academic Publishers.*
6. Rowe G (1999). Surveying boron and naturally soft groundwater with a computer database. *Environmental Health 1999; 14-18.*

LES EAUX DU CONTINENTAL INTERCALAIRE DU TIDIKELT (REGION D'IN-SALAH) : APERÇU HYDROCHIMIQUE ET ISOTOPIQUE.

CHERCHALI Mohammed-El-Hocine, REGHIS, Z, ; LARBES. M, ; CHAID. Z ; REZKA. A ; OUAREZKI. SA.,
CRNA/DAHS, 02Bvd F.Fanon, Alger
AMROUS Karima,
DHW Tamanrasset.

INTRODUCTION.

Le Tidikelt, vaste plateau Mésozoïque daté Crétacé Inférieur (A.F. de Lapparent), est situé dans le Sahara Central, à mi-chemin (Fig.1) entre le Grand Erg Occidental au Nord et le Hoggar Central au Sud. Le réservoir aquifère principal de la région est le Continental Intercalaire, qui consiste en une alternance de calcaire gréseux, de grès rouges à durs sableux, et d'argiles sableuses à passées durcies.L'étude des eaux du Continental Intercalaire du Tidikelt (région d'In-Salah) a eu pour but d'apporter des éléments de réponse aux responsables de l'hydraulique de Tamanrasset autant sur la qualité de l'eau que sur son devenir. Cette étude a été intégrée au projet RAF/8/022 mené en collaboration avec l'AIEA de 1997 à 2000. Cette étude revêt pour la région en elle-même et celle du Hoggar en particulier un caractère important car elle est pressentie comme zone d'alimentation en eau potable de Tamanrasset et des localités avoisinantes.

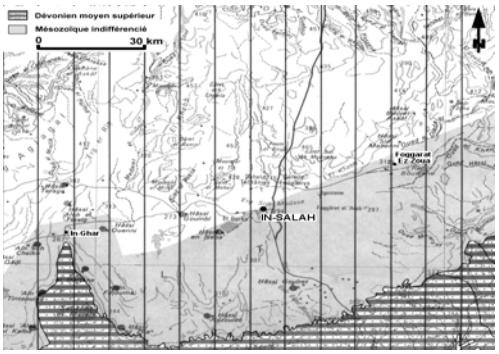


Figure 1: Carte hydrogéologique du Tidikelt, région d'In-Salah

MATERIEL ET METHODE.

En raison de l'éloignement de la région, un seul échantillonnage des points d'eau (23 forages et deux foggaras) captant le C.I a été effectué. Il a concerné les localités de Foggarate-Ezzoua, In-Ghar et In-Salah. Des échantillons d'eau ont été prélevés aussi bien pour l'analyse en isotopes stables, en tritium que pour la chimie des ions majeurs. Alors que les bicarbonates dissous du C.I.T.D (carbone inorganique total dissous) ont été précipités in-situ (selon le protocole de l'AIEA) après titrage de l'alcalinité et le tout envoyé au laboratoire par fret sur Alger.Sur le terrain, et en chaque point, certains paramètres physico-chimiques ont été mesurés. Ainsi, la température, le pH, la conductivité et le TDS l'ont été par l'intermédiaire d'un équipement de type chek-mate (M90) de Mettler-Tolédo. Ce dernier a deux sondes combinées de mesure, une de température et pH et une de Conductivité et TDS. Pour l'analyse en laboratoire les moyens utilisés ont consisté pour la chimie des ions majeurs en l'utilisation d'un photomètre à flamme (Corning) pour l'analyse des cations, et d'un spectrophotomètre UV-visible (Uvikon 930, Kontron) pour l'analyse des anions. Pour la mesure de l'activité en tritium, ^{3}H, et en carbone-14, ^{14}C, le comptage s'est fait à l'aide d'un compteur à scintillation liquide Packard 2550 TRLL à bas bruit de fond. Pour la mesure des isotopes stables, pour ^{18}O il y a eu équilibration et balancement sur une ligne automatique de VG-Isogas, entre l'eau et le CO_2 sous vide dans des bulles de verre de 3ml de volume et à température constante (25.2°C) afin que l'échange isotopique soit total et passage automatisé sur spectromètre

de masse, alors que pour ^{2}H il a été utilisé une ligne manuelle afin de procéder à une réduction de l'eau sur du zinc granulé porté à une température de 480°C pour obtenir de l'hydrogène. Pour le ^{13}C il a été également utilisé une ligne manuelle de préparation des échantillons de bicarbonates en gaz CO_2 et ce par attaque à l'acide phosphorique, H_3PO_4 pur (100%). Les rapports isotopiques $^{13}C/^{12}C$, $^{18}O/^{16}O$ et $^{2}H/^{1}H$ ont été mesurés à l'aide d'un spectromètre de masse MAT250 (CNOS) de Finnigan et comparés par rapport à un standard de référence international, le PDB pour le 1er et le SMOW pour les deux autres.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Hydrochimie.

L'analyse chimique permet de classer les eaux du Tidikelt selon un faciès chimique chloruré et sulfaté sodique. Les indices de saturation, calculés selon le programme SOLMINEQ, montre une sous-saturation généralisée vis-à-vis des principaux minéraux (calcite, gypse et anhydrite), alors que l'indice est supérieur à 0 pour le quartz et la dolomite. L'évolution des éléments en fonction de la salinité permet de voir que la majorité des éléments se distribuent à partir d'une salinité supérieure à 1500mg/l. On constate également que la distribution de Ca et SO_4 est identique ce qui laisse pensé à une dissolution de gypse. L'évolution du rapport molaire Na/Cl proche de 1 plaide pour une origine commune des deux éléments, à savoir la dissolution de l'halite.

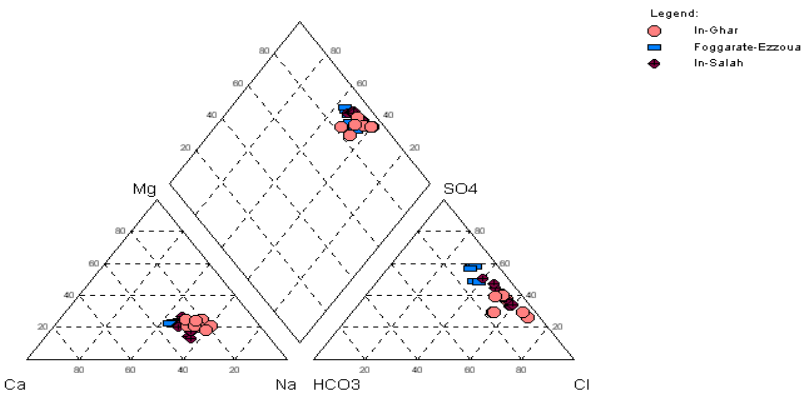


Fig.2 : Classification des eaux du Tidikelt selon Piper.

2. Données isotopiques :

Les mesures en isotopes stables des eaux souterraines du Tidikelt montrent que ces dernières sont appauvries aussi bien en ^{2}H qu'en ^{18}O. Les eaux ont ainsi le même cachet que celles du grand Erg Oriental. La signature isotopique est parfaite, et témoigne d'une homogénéité de l'aquifère. Les valeurs en ^{18}O varient de –7.04 à –9.826 ‰ vs SMOW, alors que pour le ^{2}H elles varient de –56.8 à –75.6‰ vs SMOW. La relation $\delta^{2}H/\delta^{18}O$ (Fig.3), montre que les eaux du C.I. s'alignent selon une droite d'équation : $\boldsymbol{\delta^{2}H=7.24\delta^{18}O-5.24}$, légèrement parallèle à la droite mondiale, et en dessous de la droite des paléo-eaux (Sonntag et al, 1978). Ceci implique que les eaux du Tidikelt se sont infiltrées sous un climat plus froid et plus humide que l'actuel. La pente de la droite 7.24, à peu de choses près identique de celle de la droite mondiale indique que l'infiltration s'est faite à l'équilibre. L'excès en Deutérium de –5.24 traduit des conditions particulières, de température et de climat, liées à la situation géographique.

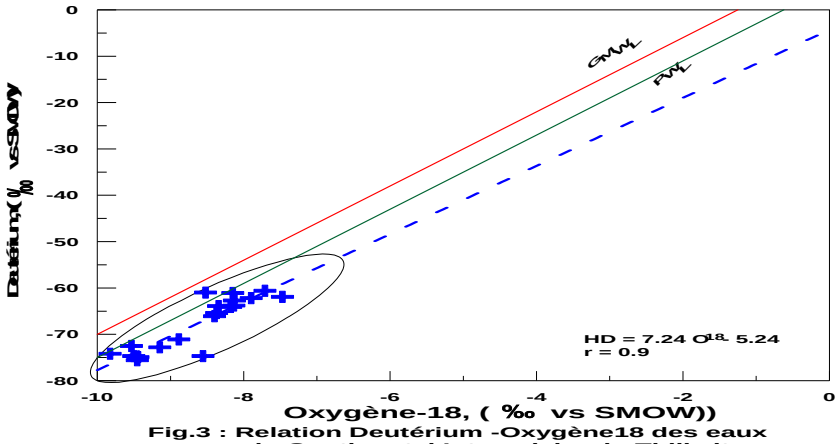


Fig.3 : Relation Deutérium -Oxygène18 des eaux du Continental Intercalaire du Tidikelt.

La variation des chlorures en fonction de ^{18}O (Fig.4) semble montrer différentes tendances. La première, concerne les eaux de la localité de Foggarate-Ezzoua où l'on a des valeurs très appauvries (moyenne de –9.485‰) et une moyenne en Cl- de 300mg/l, qui pourraient correspondre à des pluies appauvries d'épisodes successifs anciens ou encore de pluies (également anciennes) dont l'influence du front polaire aurait été plus marquée. Les sels dans ce cas seraient acquis par dissolution au cours du trajet. La seconde tendance est celle concernant la localité d'In-Salah, avec des valeurs enrichies d'un δ (moyenne de –8.347‰) et une moyenne en Cl- de 630mg/l. Pour ces dernières on pourrait invoquer un enrichissement par évaporation et enfin la troisième tendance, celle d'In-Ghar avec des valeurs plus diffuses avec une moyenne en Cl- de 600mg/l et des valeurs plus enrichies de -7.869‰. L'acquisition des chlorures étant dans ce cas aussi liée à l'évaporation.

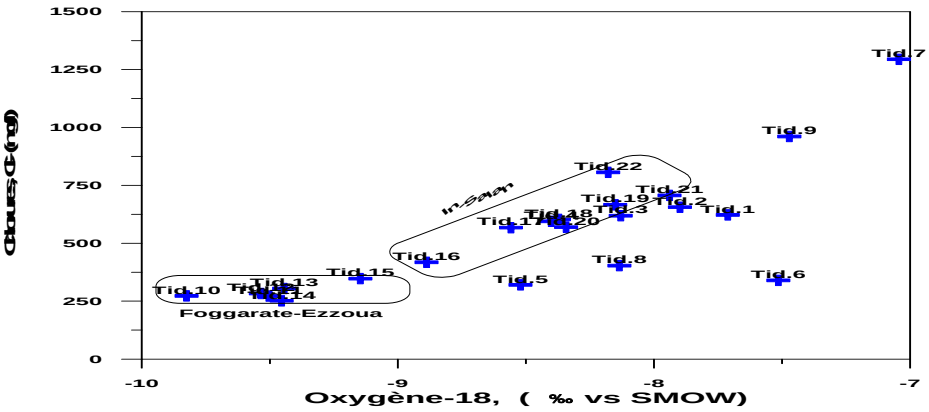


Fig. 4: Relation Chlorures-Oxygène-18

3. Le tritium.

Le tritium, mesuré sur l'ensemble des points, montre que les eaux du Continental Intercalaire ont des activités très faibles, inférieures à 5 U.T. En deux points cette activité dépasse 2 U.T, ils se situent dans la localité d'In-Salah. Comparées aux valeurs mesurées sur les quelques échantillons de pluies de la région et du Hoggar Central, on constate que la moyenne des pluies qui est de 11U.T est nettement supérieure à la valeur moyenne 0.8U.T mesurée sur les eaux du C.I. Ceci nous permet de dire que les eaux sont très peu ou pas rechargées et que l'on a des eaux anciennes différentes de celles de l'actuel.

4. Le ^{13}C et ^{14}C.

La précipitation des bicarbonates dissous a concerné une dizaine de points. Les mesures effectuées en $\delta^{13}C$ et $A^{14}C$ montrent que la variation moyenne en $\delta^{13}C$ est de -10‰ alors que la moyenne en ^{14}C est inférieure à 10% de Carbone Moderne. La variation en $\delta^{13}C$ exprime un échange avec l'encaissant et que les eaux du Tidikelt sont en contact avec le CO_2 gaz du sol, l'aquifère affleure au sud de la région. L'activité ^{14}C obtenu sur la plupart des points exprime et

confirme ce qui a été dit plus haut, à savoir que les eaux souterraines sont anciennes. Les âges conventionnels ou corrigés selon les différents modèles, varient de 19000ans à la limite de détection de la méthode soit supérieurs à 40000ans. Les âges trouvés s'inscrivent entre une période maximum de l'humide Holocène (10000ans) et supérieure au dernier aride Pléistocène (20000ans). L'homogénéité des eaux du Continental Intercalaire donne à penser que celles-ci seraient issues du dernier Pluvial frais, qui aurait débuté vers 14500ans (Gibert, 1989) dans la Sebkha Mellala (au NE du Tidikelt).

CONCLUSION.

L'hydrochimie comme la géochimie isotopique, nous a permis de caractériser les eaux du Continental Intercalaire du Tidikelt.

- *Le faciès est chloruré et sulfaté sodique, avec une charge minérale importante qui a le même caractère que les eaux du C.I du Grand Erg Oriental. L'origine minérale est identifiée et issue de la dissolution des principaux sels.*
- *Les isotopes du milieu, ^{18}O et ^{2}H nous permettent de dire que les eaux ont une signature isotopique identique à celles des grands aquifères anciens (Sonntag et al, 1978). Le caractère appauvri ainsi que l'homogénéité des teneurs nous permet de dire que ces eaux se seraient infiltrées sous un climat plus froid et plus humide que l'actuel.*
- *Les données en ^{3}H et ^{14}C confirment le caractère ancien de ces eaux ou l'on note des âges allant de 15000 à 40000ans.*

La recharge de l'aquifère du Continental Intercalaire à l'échelle du plateau du Tidikelt est insignifiante et il faudra tenir compte des résultats obtenus car le projet de transfert des eaux de la région d'In-Salah vers Tamanrasset ne se fera pas sans causer certains déséquilibres à l'échelle de la région.

BIBLIOGRAPHIE.

1. J. Dubief : Essai sur l'hydrogéologie au Sahara (1963).
2. Office National de la Météorologie : Résumés Annuels du Temps en Algérie (1995 et 1996).
3. J. Fabre : Introduction à la Géologie du Sahara, SNED, Alger 1976.
4. J.Ch. Fontes : Les isotopes du milieu dans les eaux naturelles. Quelques aspects. Thèse de Doctorat ès-sciences. Université de Paris VI. Paris , 1976.
5. A. Guendouz : Contribution a l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara Nord-Est Septentrional, Algérie. Thèse de 3ème cycle, Université de Paris Sud, Centre d'Orsay, 1985.
6. E. Gibert : Géochimie et paléohydrologie des bassins lacustres du nord-ouest saharien. Programme Palhydaf, site 2. Thèse de Docteur en Sciences, Université de Paris Sud, Centre d'Orsay, 1989.
7. D. Daoud : Caractérisation géochimique et isotopique des eaux souterraines et estimation du taux d'évaporation, dans le bassin du Chott Chergui (zone semi-aride), Algérie. Thèse de Docteur en Sciences, Université de Paris Sud, Centre d'Orsay, 1995.

LA SALINITE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA REGION EST DE LA PLAINE D'EL-OUTAYA (BISKRA) ALGERIE .

Nafaâ Brinis[1], Larbi Djabri[2], Ramdane Kardache[3]

*1.***Université de Batna, Algérie E.mail : Nafaa_brinis@yahoo.fr.**
2 Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie. E.mail : Djabri_larbi @yahoo.fr.
3 Université de Tizi-ouzou, Algérie.

INTRODUCTION

L'un des grands problèmes liés aux zones arides et semi-arides est sans doute la salinité des eaux souterraines. C'est un des facteurs importants qui provoquent la dégradation de la qualité des eaux naturelles. Elle est souvent liée à la nature lithologique des roches réservoirs, à l'évaporation intense et au régime pluviométrique faible.

Les eaux de la nappe du Mio-pliocène de la zone Est de la plaine d'El-Outaya présentent une salinité assez élevée variant entre 1 et 5 g/l .

Cette plaine se trouve dans la partie nord des territoires de la wilaya de Biskra au sud algérien, à environ 500 kms au sud d'alger. (Figure 1)

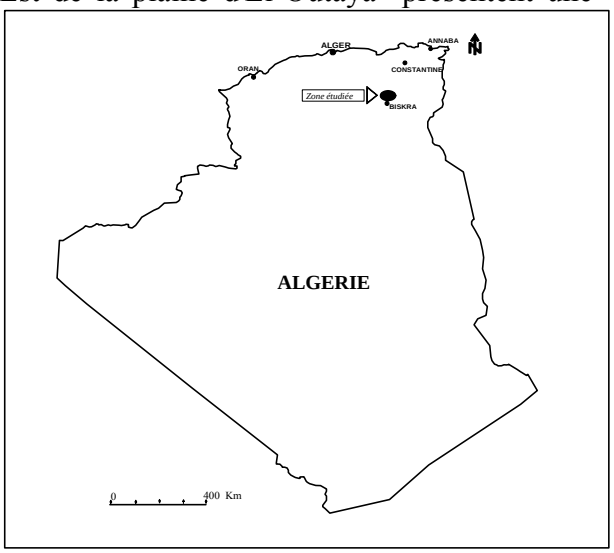


Figure 1. Situation de la plaine d'El-Outaya

Elle est le résultat d'un remplissage Mio-Pliocène –Quaternaire
caractérisé par :

- Des dépôts quaternaires très hétérogènes (Alluvions, sables, travertins, dunes et poudingues) sont développés dans les lits des oueds et les zones basses.

- Des dépôts mio-pliocènes caractérisés par des graviers, des grès conglomératiques à grains fins à moyens, avec des passages d'argiles et de marnes gypseuses.

Le diapir de sel (Trias) au nord de la plaine reste l'élément le plus important dans la géologie et la tectonique de la région, il est représenté par le Djebel Melah. L'étude de la série lithologique de ce dernier met en évidence la présence de roches évaporitiques et des contactes anormaux. (Tractionnel 1974)

La nappe du mio-pliocène dans la région étudiée est constituée de deux niveaux pouvant contenir de l'eau séparés par un niveau imperméable supposé marneux. Elle est constituée de sables, graviers, argiles et marnes gypseuses.

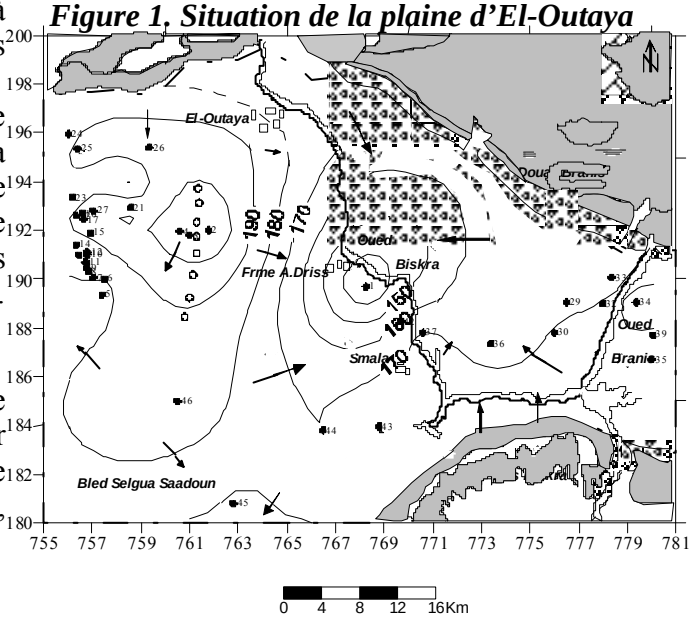


Fig.2 Carte piézomètrique (Fev 2000)

La présence d'argile dans des proportions variables et les passages latéraux de faciès ont

rendu cette nappe hétérogène d'où la difficulté d'une corrélation fine entre la géophysique et les sondages mécaniques.

L'écoulement converge vers le centre de la zone étudiée (Figure 2). L'alimentation de la nappe se fait à partir des reliefs au Nord, à l'Est, au Sud-Est et au Nord-Ouest. Elle n'est séparée de la surface que par une couverture quaternaire d'épaisseur variable selon les endroits.

La région possède un climat aride avec une moyenne annuelle des précipitations de l'ordre de 108 mm (1973-2001). Le calcul du bilan hydrologique montre que l'évapotranspiration réelle consomme pratiquement toutes les précipitations donnant ainsi un déficit sur toute l'année de l'ordre de 1130 mm. Le ruissellement et les infiltrations sont négligeables voire nuls.

METHODOLOGIE

L'objectif de cette étude est d'essayer de trouver une explication à cette salinité et son origine en utilisant l'évolution des éléments chimiques et le contexte géologique.

Pour cela nous avons exploité les résultats de 48 analyses chimiques ce qui nous a permit de dégager 3 familles d'eau qui feront la base de notre recherche :

- Familles des eaux chlorurées sodiques.
- Familles des eaux sulfatées magnésiennes.
- Famille des eaux sulfatées sodiques.

Par ailleurs nous avons remarqué plusieurs corrélations significatives liant les différents éléments chimiques (tableau : 1). Une forte corrélation ($r \geq 0.8$) existe entre les éléments chimiques Ca, Mg, Na, Cl, SO4. Pour expliquer quelques liens qui semblent exister entre les éléments chimiques surtout qui apparaissent comme faciès dominants, nous avons tracé quelques graphes.

	Ca	Mg	Na	Cl	SO4
Ca	1.00				
Mg	0.68	1.00			
Na	0.90	0.65	1.00		
Cl	0.87	0.65	0.97	1.00	
SO4	0.90	0.85	0.86	0.79	1.00

Tableau 1 *: corrélation entre les éléments chimiques*

Nous avons aussi fait appel à la thermodynamique pour vérifier les résultats issus des graphes.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

<u>Le couple SO4 - Cl</u> : Fig 3.

L'importance des faciès chloruré et sulfaté nous conduit à vérifier la relation entre ces deux éléments.

Le graphe montre une tendance à l'alignement des points, indiquant probablement une origine commune cependant quelques points présentent un excès de sulfates. D'autres un excès des chlorures. L'importance de l'excès de l'un ou de l'autre détermine la dominance du faciès de l'un sur l'autre.

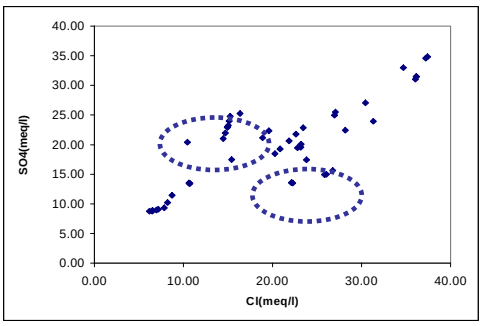


Figure3: Le couple SO_4 – Cl

Le couple Cl/SO4 – Conductivité : Fig 4

On constate en général que pour les valeurs de conductivité inférieure à 3500 µ Siemens/cm , la conductivité est plus influencée par les sulfates. Alors qu'au dessus de cette valeurs la conductivité est influencée par les chlorures (incidence de diapir).

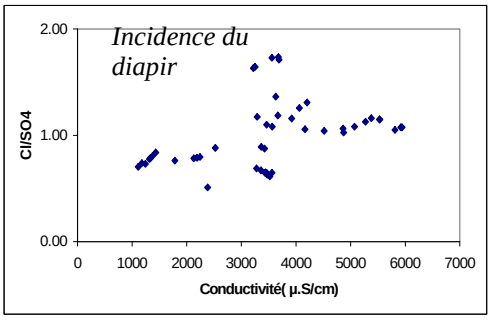


Figure 4 : Le couple Cl/SO_4 – Conductivité

Le couple Na – Cl : Fig 5.

Le graphe montre un alignement des points ce qui implique la même origine des deux éléments chimiques probablement la dissolution de la halite (NaCl) se trouvant au nord (Djebel Melah)..
Cette relation confirme l'existence du faciès chloruré sodique.

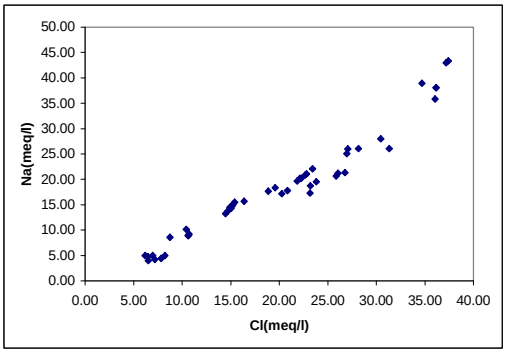


Figure 5: Le couple Na – Cl.

Le couple Mg-Na : Fig 6.

Le graphe mis en évidence trois tendances :

- Le magnésium évolue indépendamment du sodium *(origine autre que les évaporites*)
- Evolution simultanée du sodium et magnésium *(dissolution des évaporites)*
- Diminution du magnésium alors que le sodium reste en évolution *(Echange de base entre sodium et magnésium)*

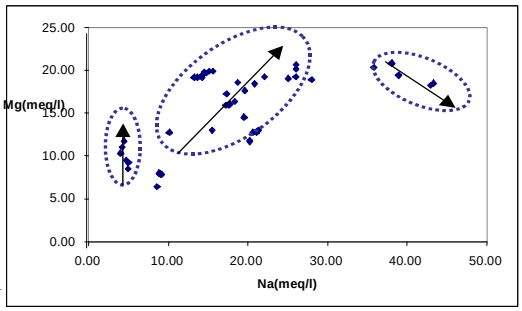
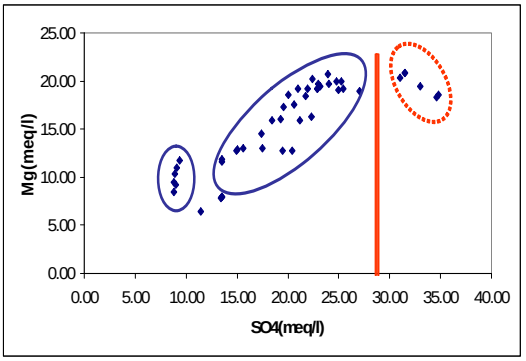


Figure 6 ***Le couple Mg – Na***

Le couple Mg – SO4: Fig 7.

L'évolution du magnésium se fait avec les sulfates jusqu'à une valeur des sulfates (de 28 meq/l) où le magnésium diminue systématiquement alors que les sulfates reste en évolution. Ces derniers continuent à évoluer avec un autre élément (supposé être le sodium).



g
ure 7 : Le couple Mg – SO_4

Le couples Na – SO4 : Fig 8.

Le graphe montre une tendance à l'alignement des points, cependant quelques uns montrent un excès en sulfates ou en sodium. Ce qui est important ici c'est que pendant que le magnésium diminue comme indiqué précédemment, le sodium reste en évolution avec les sulfates et remplace le magnésium (échange de base).

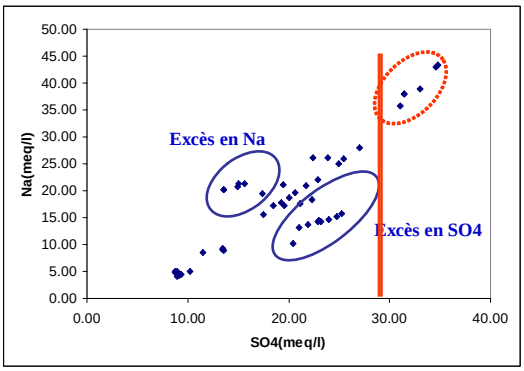


Figure 8 : Le couple Na – SO_4 .

Echange de base (ieb) et les minéraux à l'origine de la salinité des eaux :
i.e.b= r Cl – r(Na +K)/rCl (Si l'i.e.b est positif , un échange des alcalins de l'eau contre les alcalino-terreux de l'eau).
87% des eaux de la région étudiée présentent un indice d'échange de base positif allant de 2.10^{-3} à $4.21.\ 10^{-1}$. On peut donc confirmer que les eaux sulfatées sodiques sont le résultat d'un échange de base qui s'effectue entre le sodium et le magnésium à partir des eaux sulfatées magnésiennes.

L'interprétation thermodynamique en utilisant du logiciel **WATEQ** (Larry Rollins, 1987) pour le calcul de (SI) a permis la détermination de l'influence des minéraux évaporitiques sur la composition chimique des eaux. Ces minéraux qui sont en réalité des sels sont à l'origine de la salinité des eaux de la région. L'indice de saturation (SI) montre que ces eaux sont sous saturées vis-à-vis du **gypse** (-1,09), de l'**anhydrite** (-6,6) et de la **halite** (-6,29) ce qui provoque une dissolution continue entraînant un enrichissement des eaux par les éléments de ces minéraux. On constate, par ailleurs, que les minéraux carbonatés se trouvent sursaturés et tendent à se précipiter notamment sous forme de dolomite et de magnésite.

CONCLUSION :
L'étude hydrochimique des eaux de la partie Est de la plaine d'El-Outaya (zone aride) montre une salinité assez élevée.
L'origine de cette salinité est liée d'une part à la géologie de la région par la dissolution des roches évaporitiques du mio-pliocène , et d'autre part le diapir de sel (la halite) qui se trouve au nord de la région,.
La manière selon laquelle évoluent les éléments chimiques dans l'eau lors de leur parcours souterrain déterminent deux faciès dominants (chloruré et sulfaté) .
L'existence du phénomène d'échange de base a été mis en évidence par la répartition spatiale des eaux sulfatées sodique avec la diminution du magnésium et l'augmentation du sodium.

Par ailleurs, l'interprétation thermodynamique montre que les minéraux évaporitiques présentent un état de sous-saturation malgré leur présence dans l'eau en fortes concentrations ce qui permet une dissolution continue entraînant un enrichissement des eaux par les éléments chimiques de ces minéraux.

BIBLIOGRAPHIE.

1. DJABRI. L et al, (2001), Mise en évidence du processus de salinité des eaux souterraines. Tribune de l'eau, Mars-Avril 2001, No2, Vol.54 . No610 , Revue du centre d'étude et de documentation de l'eau , Edition Cebedoc, Liège, Belgique, pp29-43**.**
2. DEBIECHE.T.H,(2002),Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle.Application à la basse plaine de la Sybouse Nord-Est Algérien. pp.125-132.
3. KAFI.N ; SAAD.H,(1989),Aménagement hydro-agricole de la plaine d'El-Outaya (W)Biskra.pp.3-10.
4. KARDACHE. A,(1988),Ressources en eau des Karsts du Sud Est Algérien. Thèse de docteur ingénieur de l'Un. des sciences et techniques du Languedoc. 236 p.
5. SCHOELLER. H, (1962), Les eaux souterraines. *Masson et Cie édition Paris IV* 306, 316, 362. pages.
6. TRACTIONEL,(1974),Mise en valeur du gisement de sel d'El-Outaya. Etude géologique et hydrogéologique. pp.15-27.

HYDROGÉOCHIME DE L'AQUIFÈRE KARSTIQUE CONSTANTINE-HAMMA BOUZIANE DANS LE CONSTANTINOIS NORD OCCIDENTAL (ALGÉRIE NORD-ORIENTAL)

Mounira DJEBBAR[1,2], Michel BAKALOWICZ[3], Hacène Abdeslem MENIAI[2], Mossab BENCHEIKH-LEHOCINE

[1]Faculté des Sciences de la terre et de l'aménagement du territoire, Département de Géologie, Université Mentouri, Constantine, Algérie.
[2]Laboratoire de l'ingénierie et de la protection de l'environnement, Faculté des sciences de l'ingénieur, Département de Chimie Industrielle, Université Mentouri, Constantine, Algérie.
[3]Maison de l'eau, Laboratoire Hydrosciences Montpellier UMR 5569-CNRS-UM2-IRD, Université Montpellier 2-cc57, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier CEDEX 5, France.

INTRODUCTION

Le caractère karstique de l'aquifère hydrothermal Constantine-Hamma Bouziane est la conséquence d'un apport d'eaux thermales, chargées en CO2 profond, issues des carbonates jurassiques. Les carbonates d'âge crétacé, sont le siège d'une circulation d'un mélange d'eau thermal et de recharge.
La participation du CO_2 profond est mise en évidence par analyses isotopiques, du carbone 13 et de l'oxygène 18, dans les bicarbonates, et par les équilibres calco-carboniques des eaux des principales sources du système.

ANALYSES ISOTOPIQUES DU CARBONE 13 ET DE L'OXYGENE 18

Les analyses isotopiques, du carbone 13 et de l'oxygène18, ont été réalisées sur les bicarbonates des eaux thermales des principales émergences Ain Zouaoui, Salah Bey, Sidi Mcid. L'intérêt des bicarbonates en analyse isotopique réside dans le fait que les isotopes oxygène 18 et carbone 13, n'ont pas subit de fractionnement isotopique et peuvent être considérés comme identique dans HCO_3, CO_2 et H_2O.

ANALYSE CHIMIQUE DES EAUX DES SOURCES AIN ZOUAOUI, SALAH BEY, SIDI M'CID ET CALCUL DES EQUILIBRES CALCO-CARBONIQUES

Les espèces chimiques dissoutes et formées Ca^+, Mg^{2+}, Na^+, K^+, Cl^-, SiO_2, Sr^{2+}, HCO_3^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, dans l'eau ont été dosées par absorption atomique. Les calculs d'équilibres chimiques calco-carboniques sont évalués à partir des valeurs du pH, et des espèces chimiques interférant dans les saturations des eaux, voire les espèces à faibles produits de solubilité. Le δpH obtenu par calcul renseigne sur l'état de saturation de l'eau, donc sur la quantité de CO2 présente dans l'eau.

Hydrogéochimie du système karstique Constantine-Hamma Bouziane

Les teneurs obtenues du carbone 13 et de l'oxygène 18, par analyses isotopiques des trois eaux (fig 2), révèlent une forte similitude de leur contenu isotopique en carbone 13 (autour de -5.4 pour mille PDBet indiquent que ces trois eaux proviennent d'une même zone noyée des carbonates karstifiés. En outre, le contenu isotopique en oxygène dissout (+0.7 pour mille SMOW) dans les trois eaux analysées, est très différent de la valeur -4.0 établi pour les eaux météoriques en zone semi aride. Cet état de fait prouve qu'une bonne partie du CO_2 provient de la profondeur voire de la décarbonatation des calcaires enfouis, ceux étant en contact anormal avec l'accident majeur M'Cid-Aicha-Debar, au Nord de Constantine (fig 1) .

Par ailleurs, les données hydrochimiques (fig 2 et tableau 1) révèlent le caractère nettement bicarbonaté calcique des eaux.

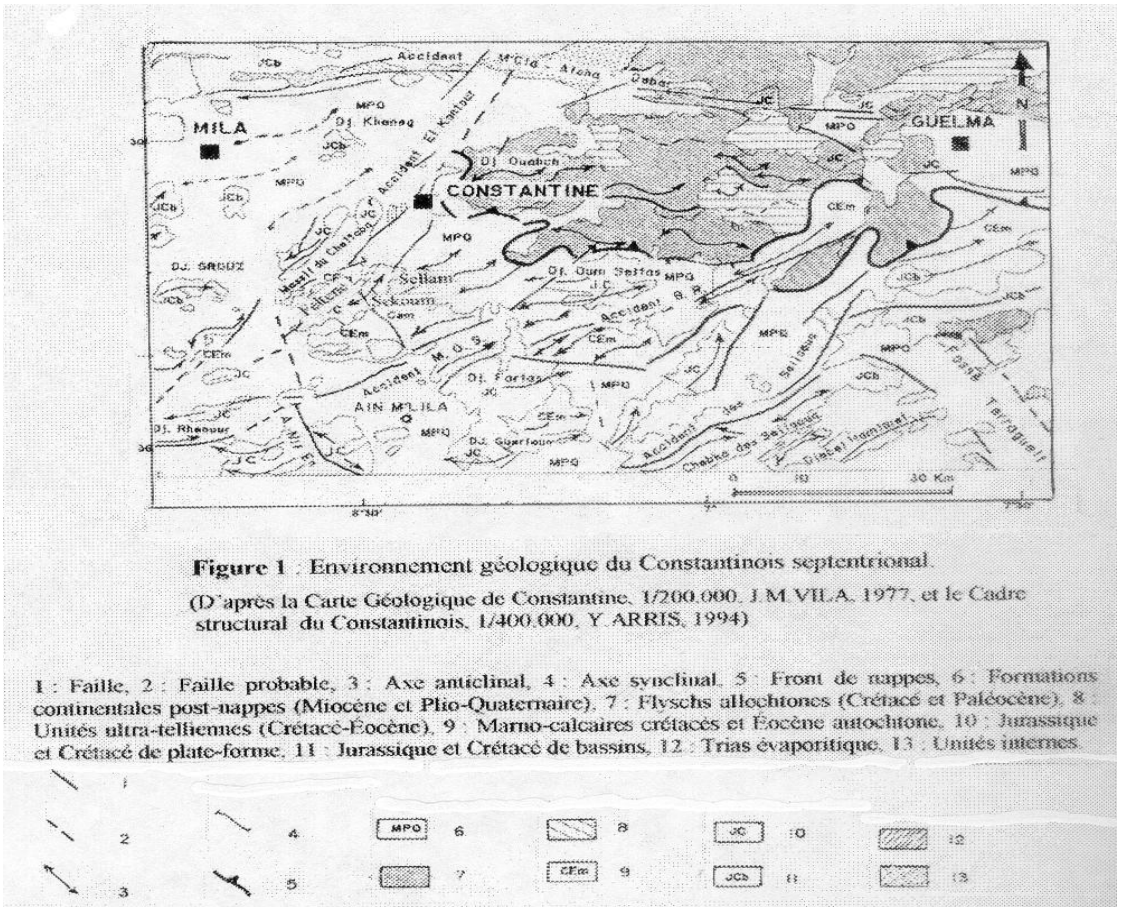
Sources	T°	pCO_2 %	ISd	dpH
AZ	32	3.54	-0.11	0.11
S. M'Cid	29	0.58	1.43	0.88
S. Bey	26	3.29	-0.18	0.09

Tableau 1 : Concentrations des espèces dissoutes

Les valeurs obtenues pour Sic, +0.82 à 1.24, et pour Sid, +1.27 à 2.09 (tableau 2), indiquent une sursaturation des eaux en calcite et en dolomite, due à un dégazage du CO_2 dans l'aquifère. Les valeurs des indices de saturation par rapport à la dolomite sont indicatrices de la précipitation de la calcite à l'intérieur de l'aquifère.

Sources	T°	pH	C	TH	TAC	Mg	Na	K	Sr	SiO2	Cl	SO4	NO3
AZ	32	7.00	992	48.00	33.00	34.31	82.69	3.29	1.07	12.20	127.00	137.00	5.81
S. M'Cid	29	7.78	1030	48.00	33.50	34.40	91.34	3.16	1.02	12.03	142.00	137.00	8.63
S. Bey	26	1035	7.01	46.30	32.80	33.45	94.23	2.93	1.13	11.96	143.90	125.00	9.31

Tableau 2 : Saturation des eaux



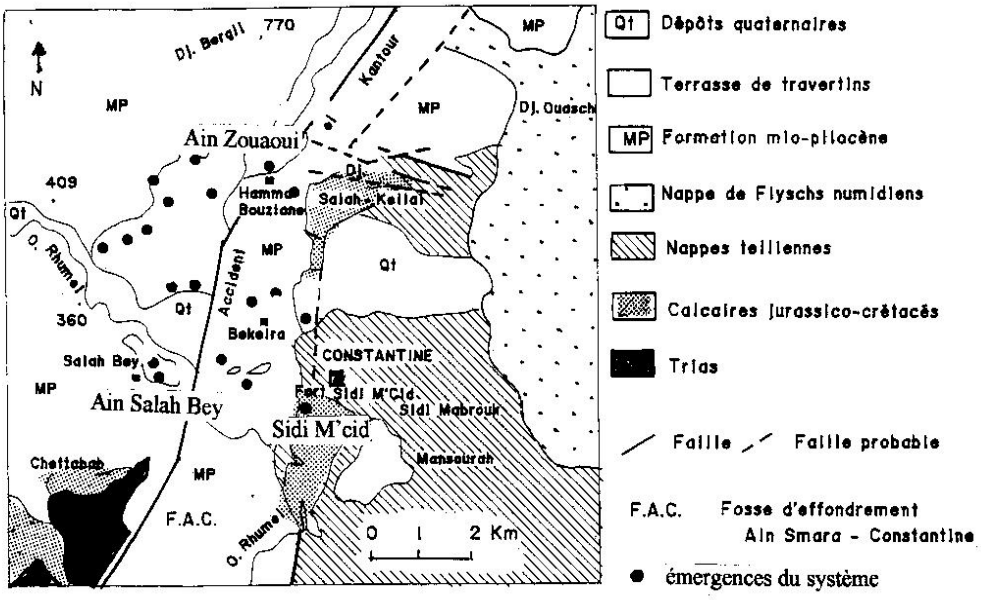


Figure 2 : Situation et conditions d'emergence des sources du système aquifère hydrothermal Constantine - Hamma Bouziane - Salah Bey .

CONCLUSION

L'application de la méthode des équilibres calco-carboniques et de la géochimie isotopique, au karst hydrothermal de Constantine, ont permit de mettre en évidence que les calcaires jurassico-crétacés sont le siège d'une circulation d'eau thermales et de recharge, dans un vaste aquifère, voire régional.

BIBLIOGRAPHIE

1. BAKALOWICZ M., 1980, Un oprécieux informateur hydrogéologique : le syqtème chimique CO2-H2O-Carbonate Coll.Soc.Geol.fr.min.Cris.Bordeaux,pp.11-23
2. COIFFAIT PE, QUNIF Y, VILA JM., 1975, Histoire géologique et karstification des massifs néritiques constantinois (Algérie). Act Symp. Grenade. Ann. Spél, pp619-627.
3. DJEBBAR M., 1991, Le karst hydrothermal de la région de Constantine : fonctionnement et modalité d'infiltration. Thése Mag.Sc.Terre.univ.Mentouri. Constantine, 162p.
4. MAISONNEUVE J et RISLER J J., 1979, La ceinture péri-alpine « carbo-gazeuse » de l'Europe occidentale. Bull. BRGM, 3,2 , pp.109-120.

SALINITE DES EAUX DE CONSOMMATION DU SUD ALGERIEN : L'HYDROGEOLOGIE EST-ELLE LA SEULE EN CAUSE ?

H.M. DJELLOULI[1], S. ACHOUR[2], S. TALEB[1], D. HARRACHE-CHETTOUH[1].

[1] Laboratoire de Chimie Analytique Appliquée- Université D. LIABES – Sidi Bel- Abbès.
E.mail : mebardad@yahoo.fr/safiataleb@hotmail.com

[2] Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS), Université de Biskra,
E-mail : info@larhyss.net

INTRODUCTION :

L'eau est présente à tous les instants de la vie [1]. C'est le composant prédominant du milieu vivant. Ces propriétés sont à l'origine de toute une série de processus géologiques et climatiques, mais surtout à la base de toute forme de vie sur terre.

Du fait de leur teneur en CO_2 dissous, les eaux de pluie sont légèrement acides et se chargent en ions au cours de leur infiltration dans le sol et sous- sol. Les eaux souterraines sont alors plus ou moins minéralisées en fonction de la nature des roches traversées, des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration ainsi que temps de contact de l'eau avec ces minéraux.

Dans les pays en voie de développement à climat aride, les eaux souterraines jouent un rôle important puisqu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable.

En effet, dans le Sud algérien, l'alimentation en eau potable est assurée exclusivement par des eaux souterraines **[2]**. Celles-ci proviennent de deux vastes nappes profondes et superposées **[3]**.

1- La nappe du complexe terminal :

Cette nappe est contenue dans plusieurs couches géologiques : *le* ***Mio-pliocène sableux***, l'Eocène inférieur carbonaté, le Sénonien carbonaté **[3]**.

Elle est caractérisée par une profondeur relativement faible (100 à 400 mètres), d'artésianisme moyen.

La composition chimique de l'eau est variée selon la couche géologique considérée. Elle est bonne sur les bordures et moyenne au centre de bassin.

2- Continental intercalaire (albien) :

Cette nappe d'eau est caractérisée par une augmentation de la profondeur dans le centre du bassin (entre 1500 et 2200mètres), une température de l'eau élevée (50 – 60°C) **[4]** et par une salinité d'environ 800 mg/l.

En effet, l'exploitation des eaux de la nappe Albienne notamment dans la partie centre (Ouargla, Touggourt, El Oued) a fait apparaître des problèmes d'entartrage des conduites de transport de l'eau.

Cependant, il est important de noter que les deux nappes ***(nappe du complexe terminal et du continental intercalaire)*** sont fortement minéralisées.

L'objectif de notre étude est de quantifier la salinité des eaux de consommation dans différentes régions du Sud algérien par divers paramètres et en particulier la conductivité.

MATERIEL ET METHODES:
METHODOLOGIE:

*L*es échantillons d'eaux analysées ont été prélevés au robinet de consommateurs et au niveau de sources dans plusieurs localités couvrant la quasi totalité du Sahara algérien.

Notons que la plupart des points de prélèvement a été choisie en fonction du recensement de malades atteints de lithiase urinaire.

Les eaux concernées proviennent de la nappes du complexe terminal et de l'albien pour les villes de Biskra, El Oued, Ouargla, Touggourt, Hassi Messaoud et celle du continental intercalaire pour les villes de Béchar, Mécheria, Adrar, Timimoun, Ghardaïa.

Les paramètres physico-chimiques de qualité ont été déterminés selon les techniques standard d'analyse **[5]**.

- La conductivité et la salinité sont mesurées à l'aide d'un conductimètre électrique de type InoLab Cond Level 1 (cellule de mesure en graphite de constante 0.475 cm-1 ± 1,5%) qui donne directement la conductivité de l'échantillon (χ) en ms/cm ou en µs/cm, la salinité et la température de celui-ci .
- La mesure de la conductivité nous a permis de déterminer rapidement la minéralisation globale de l'eau en mg/l **[5]**.
- Le dosage de sodium et potassium a été effectué par spectrométrie à émission de flamme sur un appareil de spectrométrie de flamme (CORNING 400).
- Les chlorures sont déterminés par la méthode de Mohr.

RESULTATS ET DISCUSSIONS :

Notre étude réside essentiellement sur la détermination de la salinité des eaux de consommation (robinet, source) de la région du Sud algérien.

1- Les eaux de robinet :

Nous présentons les valeurs de la salinité des eaux de robinet dans les différentes régions du Sud algérien sur la figure (1).

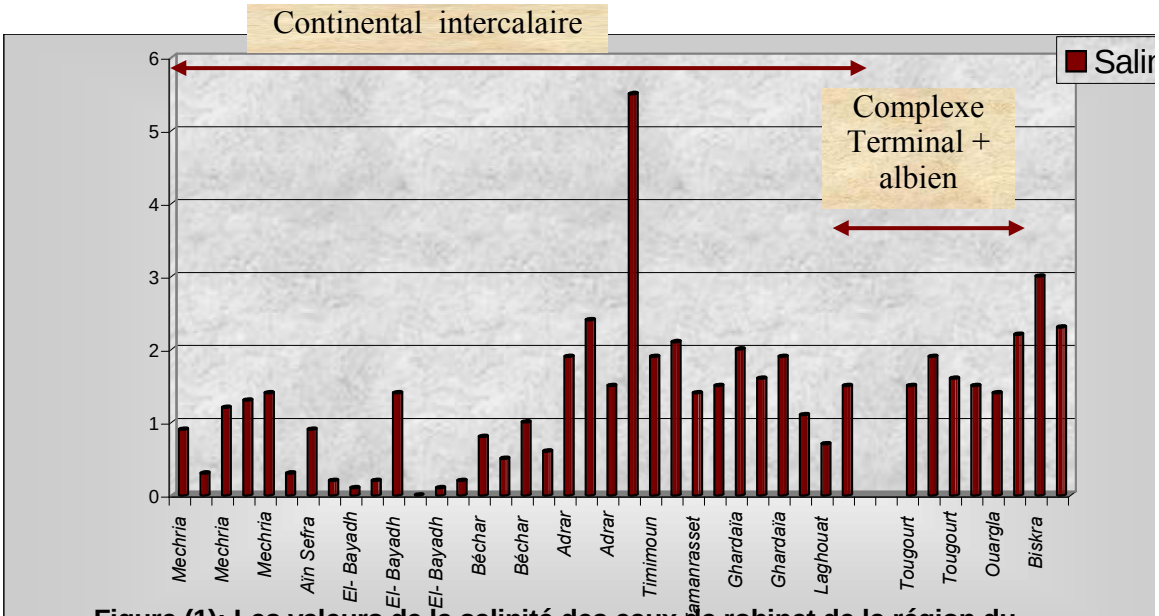


Figure (1): Les valeurs de la salinité des eaux de robinet de la région du Sud algérien

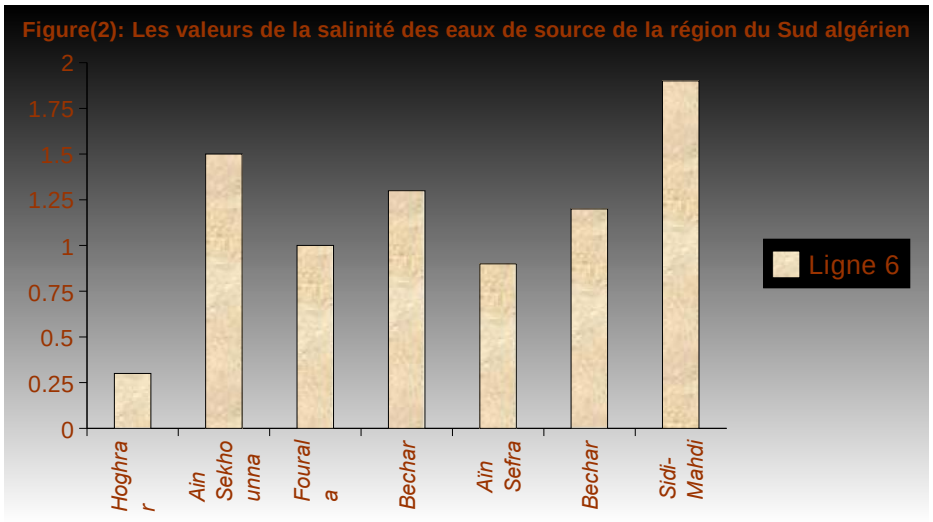
L'étude des résultats, nous fait remarquer que les eaux de ville d'El Bayadh , Aïn Sefra, Mechria et Béchar présentent une salinité inférieure à 1,5 g/l.

Tandis que la majorité des eaux de ville des autres régions (Touggourt, Adrar, Timimoun, Ouargla, Hassi- Messaoud, Biskra, Ghardaïa, et El- Oued) présentent une salinité supérieure à 1,5 g/l. La ville de Biskra présente une salinité de 3,00g/l.

2- Les eaux de source:

Nous résumons l'ensemble des valeurs de la salinité des eaux de source de la région du Sud algérien dans la figure (2).

Pour ce qui concerne les eaux de source, on remarque que la majorité d'entre- elles présentent une salinité inférieure à 1,5 g/l. Alors que celle du Sidi-Mahdi présente une valeur de salinité assez élevée (1,9 g/l), comme l'illustre la figure (2).



CONCLUSION :

Les valeurs de la salinité totale se situent dans une large gamme allant de 0,2 g/l à 5,5 g/l, en fonction de la localisation géographique du prélèvement et de la nature ainsi que de la profondeur de la nappe alimentant la ville.

Selon la classification de SCHOLLER, nous avons remarqué que la qualité de la plupart des eaux provenant de la nappe intercalaire (albienne) est médiocre du fait que la salinité dépasse 1g/l. En effet, la qualité des eaux de ville d'Adrar et Timimoun est mauvaise puisque la salinité est entre 2,1 à 5,5g/l.

Par ailleurs, les valeurs de la salinité de la majorité des eaux de ville du Sud-est (El-Oued, Touggourt, Biskra,…) dépasse 1,5 g/l. Ceci montre que la qualité de ces eaux est médiocre.

Les eaux des villes du Sud-ouest (Béchar, Aïn Sefra, El-Bayadh,…) présentent ainsi une minéralisation souvent conforme aux normes de l'O.M.S. et bien inférieure à celle des eaux des villes du sud-est (El-Oued, Touggourt, Biskra,…).

Cependant, la qualité physico-chimique reste globalement médiocre, notamment pour les eaux du complexe terminal. En effet, la majorité des valeurs du sodium ($[Na^+]$ >200mg/l) et des chlorures ($[Cl^-]$>300mg/l) dépassent largement les normes établies par l'O.M.S. Les valeurs de la dureté totale peuvent aussi dépasser 100 °F.

Nos résultats sont en accord avec d'autres travaux qui ont montré que la qualité des eaux des nappes albiennes est meilleure que celle des eaux provenant de la nappe du complexe terminal (minéralisation totale, fluor……) [6].

Par ailleurs, bien que les villes d'Adrar et de Timimoun utilisent les eaux de la nappe albienne, certains points d'eau présentent une minéralisation excessive.

En effet, une teneur trop élevée en sels minéraux cause des désagréments aux consommateurs au niveau de la saveur de l'eau mais surtout au niveau des risques sanitaires (hypertension artérielle, lithiase urinaire…).

Certains travaux[7] montrent que les eaux de boisson sahariennes sont riches en sels minéraux tels que les sulfates, le magnésium, le calcium, les chlorures et le sodium.
Il faut souligner que ces sels sont responsables de la salinité de l'eau [8]. De plus, le sodium contribue directement à la salinité totale de l'eau. De grande quantité de sodium combiné avec du chlorure donne à l'eau un goût salé.

Cependant, la richesse de l'eau en sels minéraux est fonction de la composition des sols qu'elle traverse.

Certains auteurs [9] ont montré que l'origine de la salinité des eaux (variée entre 1 et 5g/l) de la région Est de la plaine d'El- Outaya (Biskra), est la géologie de la région.
La nature et l'occupation des sols jouent donc un rôle prépondérant.

BIBLIOGRAPHIES :

1. GILLES P. « Tout sur l'eau ». Institut de l'eau, 1999, p.7.
2. ACHOUR S. La qualité des eaux du Sahara septentrional en Algérie : étude de l'excès en fluor. »,Tribune de l'Eau. 1990, Vol.42, n°542, p.53-57.
3. MEGDOUD M. « Qualité des eaux du Sahara septentrional ». Séminaire sur les journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du Sud. , El Oued, mai 2003.
4. EL AID DOB M. Utilisation de l'Albien, avantages et inconvéniants : Séminaire sur les journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du Sud. , El Oued, mai 2003.
5. RODIER. J. « L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eaux de mer. » 7e édition , Bordas, Paris. , 1984, p. 969- 1013.
6. TABOUCHE N., ACHOUR S. Etude de la qualité des eaux soutéraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien. Colloque International, Oasis, Eau et Population, Biskra, 22,23 et 24 Septembre 2003.
7. DJELLOULI H.M., «Application de la méthode turbidimétrique à l'étude, in vitro, des eaux de boisson du Sud algérien et de leur effet sur la cristallisation oxalocalcique.» Mémoire de magister- Univ D. LIABES- SBA. 2004, p.73-111.
8. COUTURE I. « Analyse d'eau pour fin d'irrigation ».AGRI-VISION, 2003-2004.
9. BRINIS N., DJABRI L., KAMDANE R. « La salinité des eaux souterraines de la région Est de la plaine d'El- Outaya (Biskra) ». Colloque International, Oasis, Eau et Population, Biskra, 22,23 et 24 Septembre 2003.

DECOUVERTE DES PREMIERES EMPREINTES DIGITALES DE DINOSAURIENS CRETACES DANS LA REGION D'EL BAYADH

MAHBOUBI M.[1], BESSEDIK M.[1], BELKEBIR L.[1], BENSALAH M.[2]& ADACI M.[2]

[1]Laboratoire de Paléontologie Stratigraphique & Paléoenvironnement, Université d'Oran Es Sénia (Algérie).
[2]Laboratoire de Géologie (P.R.H.M.P.), Université de Tlemcen (Algérie).

INTRODUCTION

De par leur environnement marin littoral, les séries géologiques secondaires du sillon atlasique ont connu depuis longtemps plusieurs découvertes de restes fossiles rapportés à des reptiliens en Algérie sous forme d'ossements ou d'empreintes (Lavocat, 1949 ; Bassoullet et Iliou, 1967, entre autres). La découverte d'empreintes de pas de dinosauriens au nord d'El Bayadh (fig.1) est un fait nouveau. En effet, cette localité qui couvre une partie importante de l'Atlas saharien central (Djebel Amour), constitue une structure synclinale occupée par d'épaisses séries géologiques à dominance crétacée (Cornet, 1952). La prospection des séries argilo-calcaires à argilo-gréseuses d'âge valanginien (Cornet, *op.cit.*) a permis de mettre en évidence deux Sites à empreintes de pas de dinosauriens observés pour la première fois par les riverains de cette localité. Grâce aux travaux de fouilles, le nombre d'empreintes est passé de 21 à plus de 300, ce qui confère à cette localité d'être la plus importance en Afrique.

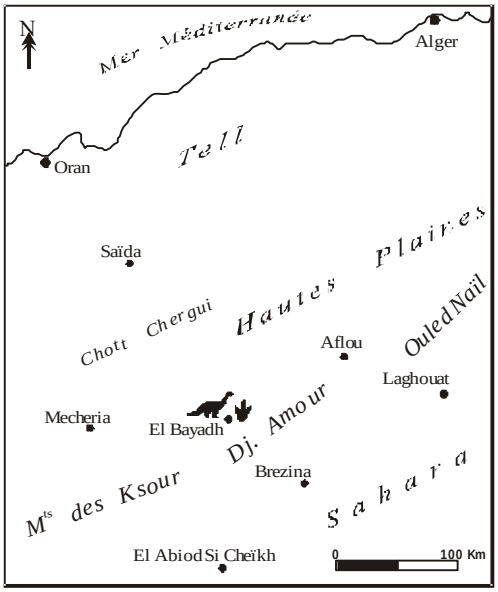


Fig. 1 : Localisation des Sites à empreintes de pas de dinosaures d'El Bayadh

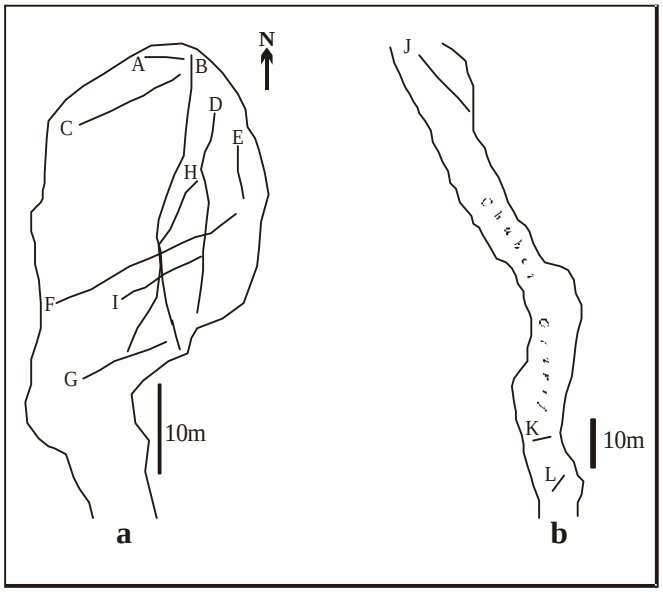


Fig. 2 : Pistes à d'empreintes relevées sur le Site 1 :
a : partie amont ; pites A, B, C, D, E, F, G,H et I
b : partie avale ; pistes J, K et L

MATERIELS ET METHODES

Dans cette partie, seront décrits les Sites et la diagnose sommaire des empreintes.

1. Description des Sites :

Deux Sites à empreintes de pas ont été mis en évidence (Site 1 et Site 2). L'un situé sur une chabet près de douar Grarij (à l'Est) et l'autre sur chabet Mouilah (à l'Ouest), distants de 500 m l'un de l'autre. Ce sont des dalles (20 et 7 cm d'épaisseur) de calcaires argileux avec parfois des encroûtements lumachelliques qui offrent sur leur surface supérieure de belles empreintes. En plus, on peut y trouver des restes osseux fragmentaires rapportés à des tortues, des poissons, des crocodiliens (étude systématique en cours) et des débris végétaux, témoignant d'un milieu laguno–saumâtre, attesté par la présence de rides de courant, de traînées de pas et de traces d'éclaboussures qui semblent évoquer des milieux marécageux à sol boueux.

Les empreintes de pas du Site 2 sont en général de taille différente (petite) par rapport à de celle (grande) enregistrée dans le Site 1. D'autres traces sont restées indéterminées.

2.Diagnose des empreintes :

L'examen des empreintes révèle la présence de plusieurs ichnotypes :

- Ichnotype 1.– pistes n° A, B, C,D, E, F, G,K et L (Site 1, fig.2a et b) : Lxl=540-780 mm x 390-480 mm, doigts bien écartés et griffus (fig.3a). L'empreinte du doigt arrière bien visible. La distance entre doigts latéraux : 480 à 380 mm. Enjambées de l'ordre de 2,50 m, à empreintes rectilignes ou parfois régulièrement déviées. Le doigt médian (390 x 11 mm) et son enfoncement (50 à 70 mm) sont mesurés. Phalanges et coussinets sont parfois visibles.

- Ichnotype 2.– pistes H et I (Site 1, fig.2a) : Les dimensions (L x l)=330 mm x 220 mm, enfoncement du doigt médian : 10 mm. Une forme bipède tridactyle et griffue (fig.3b). L'empreinte du doigt arrière, les phalanges et les coussinets bien visibles. La distance entre doigts latéraux : 180 mm. Enjambée = 2,20 m. Les ichnotypes 1 et 2 présentent des caractéristiques assez semblables mais le dernier en diffère par sa petite taille.

- Ichnotype 3.– Forme bipède et tridactyle griffue (Site 2), de petite taille (190 à 220 mm x 120 à 150 mm), relevées sur le Site 2. Forme différente de l'ichnotype 2 décrit dans le Site 1. L'écartement des doigts latéraux : 120 mm (fig.3c). L'empreinte du doigt-arrière n'est pas visible. Enjambée moyenne = 1,48 m.

- Ichnotype 4– forme tétrapode à empreintes (Site 2, fig.2b) relativement circulaire en demi-lune à ovale (220 x 250 mm). D'une grande envergure si l'on tient compte de son enjambée (2,60 m). L'écart entre pattes gauche-droite = 992 mm (fig.3d). Pattes latérales antérieures et postérieures à empreintes très rapprochées voire superposées.

- Ichnotype 5.– forme tétrapode avec de nombreuses empreintes plus ou moins circulaires en demi-lune (110 x 60 mm) voire ovales (Site 2, fig.3e). S'appuyant davantage sur la partie avant de son pied.

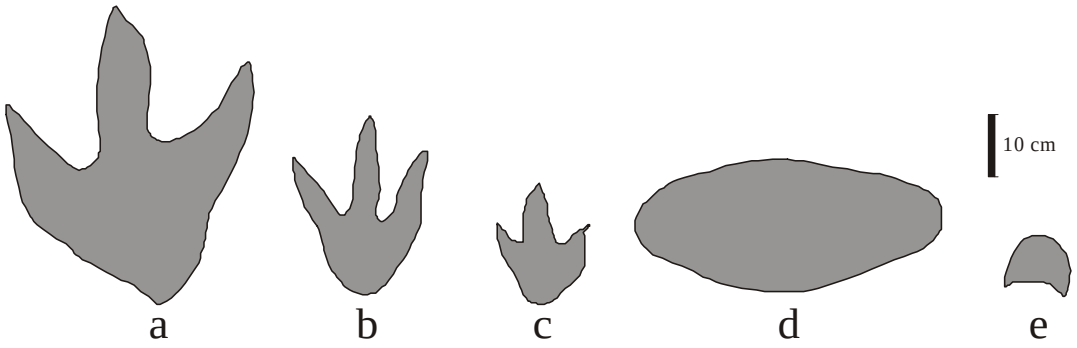


Fig. 3 : Empreintes de pas : **a**-ichnotype 1, **b**-ichnotype 2, **c**-ichnotype 3, **d**-ichnotype 4 et **e**-ichnotype 5.

En conclusion, l'analyse biométrique a permis de mettre en évidence la présence de trois tridactyles griffus, à stature bipède, caractérisés par trois catégories de mesures d'empreintes et de deux formes tétrapodes à empreintes relativement circulaires.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Cinq ichnotypes sont mis en évidence, trois tridactyles (deux de petite taille et un de grande taille), correspondant à des animaux à stature bipède, véloces et de grande envergure qui sont rapportés à des dinosauriens carnivores Théropodes. Les autres formes à empreintes relativement circulaires sont rattachées à des Sauropodes à tendance herbivore. D'âge valanginien, la présence de ces reptiles associés à des chéloniens, des poissons, et des crocodiliens semble traduire un environnement laguno-saumâtre, ce qui est en accord avec la présence de restes végétaux et de bivalves attestant d'un milieu à forte dessalure.

La présence de ces dinosauriens n'est pas fortuite puisque des données ostéologiques et d'empreintes d'âges différents sont connues ici et là en Afrique du Nord. En effet, certains ossements dinosauriens (Crétacé inférieur et Callovien moyen) sont signalés dans les confins algéro-marocains (Lavocat, 1949 ; Lapparent et Lucas,1957). Par la suite, des restes appartenant à un Sauropode et deux Théropodes (Crétacé inférieur) ont été récoltés par Broin *et al.* (1971). Trois dinosauriens d'âge albien ont été déterminés par Bassoullet et Iliou (1967) dans l'Atlas saharien central et occidental. Plus tard, Mahboubi (1983) a signalé la présence à El Kohol de restes osseux rapportés à un Théropode de grande taille *Carcharodontosaurus* et enfin un sauropode d'âge bathonien à Aïn Séfra (Mahammed *et al.,* 2002).

Pour les empreintes de pas de dinosauriens ou de reptiliens, citons la localité d'Amoura d'âge cénomanien (Le Mesle et Péron *in* Bellair et Lapparent, 1948) dont les traces ont été d'abord attribuées à des oiseaux par ces auteurs puis à un Théropode (Bellair et Lapparent, 1948). La seconde localité est rapportée au Jurassique inférieur des Monts des Ksour (Bassoullet, 1971).

CONCLUSIONS

Plus de 300 empreintes de pas réparties sur deux Sites localisés au Nord de la ville d'El Bayadh ont été mises en évidence. 12 pistes sont inventoriées pour un seul Site (Site 1). Ces empreintes sont associées à des ossements (poissons, crocodiliens et chéloniens) et des débris végétaux d'âge valanginien.

Les mensurations effectuées sur ces empreintes révèlent la présence de cinq ichnotypes appartenant à une population caractéristique d'un environnement laguno – saumâtre. Ces ichnotypes, pour certains bipèdes tridactyles et griffus, sont rapportés à des dinosauriens

Théropodes, à régime alimentaire carnivore. Pour d'autres, quadrupèdes, à empreintes arrondies en demi-lune sont rattachés à des sauropodes herbivores. Les études biométriques et systématiques, en cours, permettront de préciser leur appartenance paléoichnologique.

La présence de dinosauriens théropodes et sauropodes au Crétacé inférieur constitue un jalon important dans la faune reptilienne ayant colonisé une vaste aire paléogéographique située sur la bordure méridionale de la Téthys et ce depuis le début de l'ère secondaire.

Remerciements :

Les Auteurs remercient vivement Monsieur Bekkara B. pour leur avoir signalé (mai 2004) le Site 1 de Douar Grarij ainsi que les nombreux citoyens de la ville d'El Bayadh qui leur ont facilité le travail durant la campagne de fouille (juillet-septembre 2004). Ils remercient également les Autorités civiles et militaires d'El Bayadh qui ont mis tous les moyens humains et matériels pour la réusSite de leur mission. C'est également le cas des Bureaux d'études B.A.T.A.U. (Mahboubi A.) et de l'Entreprise E.T.R.A.F.O.R. (Bahmane L.). La campagne de fouille ne pourrait avoir eu lieu sans l'aide précieuse de l'ancien Wali d'El Bayadh, Monsieur Boukarabila Djelloul. Nous le remercions également pour avoir délivrer les arrêtés wilayales portant protection du Site et autorisation de fouille confiée à l'Equipe du Laboratoire dePaléontologie de l'Université d'Oran.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bassoullet, J.-P. (1971) -Découverte d'empreintes de pas de Reptiles dans l'infra-Lias de la région d'Aïn Sefra (Atlas saharien, Algérie). *C. R. Somm. Soc. géol. France*, Paris, (7), pp. 358-359, 1 fig.
2. Bassoullet, J.-P. et Iliou, J.(1967) -Découverte de Dinosauriens associés à des Crocodiliens et des Poissons dans le Crétacé inférieur de l'Atlas saharien (Algérie). *C. R. Somm. Soc. géol. France*, Paris, (7), p. 294.
3. Bellair, P. et Lapparent, A. F. (1948) -Le Crétacé et les empreintes de pas de Dinosauriens d'Amoura (Algérie). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique Nord*, 39, p. 168-175.
4. Broin, F. de, Grenot, C. et Vernet, R. (1971) –Sur la découverte d'un nouveau gisement de vertébrés dans le continental intercalaire saharien : le Gara Samani (Algérie). *C. R. Acad. Sc*., Paris, t. 272, pp. 1219-1221, 1 fig.
5. Cornet, A. (1952) -L'Atlas saharien sud-oranais. *19e Congr. géol. intern., Alger, Monogr. région*., 1e sér., n° 12, 51 p., 1 pl. h.t.
6. Lapparent, A. F. de. et Lucas, G. (1957) -Vertèbres de Dinosauriens sauropodes dans le Callovien moyen de Rhar Rouban (frontière algéro-marocaine du Nord). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord.* Alger, t. 48, pp. 234-236.
7. Lavocat, R. (1949) –Les gisements de vertébrés crétacés du Sud marocain. *C. R. Somm. Soc. géol. France*, 5è sér.,19, p. 125.
8. Mahboubi, M. (1983) – Etude géologique et paléontologique du Crétacé post-aptien et du Tertiaire continental de la bordure méridionale du Djebel Amour (Atlas aharien central, Algérie). Thèse de 3° cycle, Université d'Oran, 116 p.
9. Mahammed,F., Mami, L., Mekahli, L., Benhamou, M., Bouterfa, B., Kacemi, A. et Cherief, A. (2002) –Le géant des Ksour : un Dinosaure sauropode dans le Jurassique moyen de l'Ouest de l'Algérie. *Bull. Ser. géol. Algérie.* v. 13, n° 1, pp. 3-19, 3 fig., 4 pl.

IDENTIFICATION DU RESERVOIR CRAYEUX PAR SISMIQUE REFLEXION DE HAUTE RESOLUTION EN ZONES AFFAISSEES MINIERES (NORD DE LA FRANCE)

Frédéric Barrez, Jacky Mania , Jean-Louis Mansy , Francis Meilliez , Bogdan Piwakowski et Brigitte Van Vliet-Lanoe
UMR CNRS 8107 (LML) , UMR CNRS 8110 (PBDS) et Groupe électronique acoustique : IEMN-DOAE-UMR CNRS 8520
Université des Sciences et Technologies de Lille

INTRODUCTION

La structure géologique du secteur minier Ouest de Lens (triangle Carvin/Hénin-Beaumont/Douai) peut être décrite par la superposition de deux ensembles anisotropes : une couverture marno-crayeuse contenant le principal aquifère exploité à structure horizontale, surmontant un ensemble plissé et faillé dans lequel sont insérés tous les gisements houillers varisques. Les enregistrements sismiques couplés à des sondages constituent une méthode efficace et fiable pour approcher les structures plus ou moins profondes dont la connaissance est essentielle à la modélisation des écoulements souterrains. L'objectif est de mettre en évidence la localisation des discontinuités susceptibles d'influencer la circulation de l'eau. Il s'agit de repérer par exemple les fractures capables de jouer le rôle de drain à l'écoulement de celui de barrage à celui-ci.

OBJECTIF

L'objectif final est de connaître les échanges entre les divers compartiments où l'eau circule (échanges avec la nappe des alluvions, l'atmosphère…). Les écoulements étant fortement contraints par la structure, elle devra faire l'objet d'une analyse fine.

ETUDE D'UN PROFIL SISMIQUE HAUTE RESOLUTION.

Plusieurs méthodes peuvent nous renseigner sur les axes d'écoulement préférentiel au droit des zones fissurées comme les traînées électriques (Hallet et al., 1997). Nous avons choisi la réalisation d'un profil sismique haute résolution, méthode plus adaptée à la caractérisation de la structure de l'aquifère et de sa base. Le dispositif de 600 mètres de long était constitué de géophones tous les 5 mètres (source : explosif enterré).

RESULTATS

Les résultats sont présentés en figure 1. Plusieurs profils suivant les méthodes de traitement ont pu être obtenus. Ici, deux profils sismiques, l'un en « basses fréquences » (A), l'autre en « hautes fréquences » (B), sont reportés. Les valeurs de vitesse retenues sont indiquées à gauche de chaque profil. Les profondeurs données sont calculées à partir de ces vitesses. Ces valeurs sont basées sur les logs des forages situés à proximité de la position d'enregistrement.Ce profil est actuellement complété par un sondage carotté traversant la craie (environ 160 m de profondeur). Son emplacement est noté en figure 3 à environ -130m NGF.

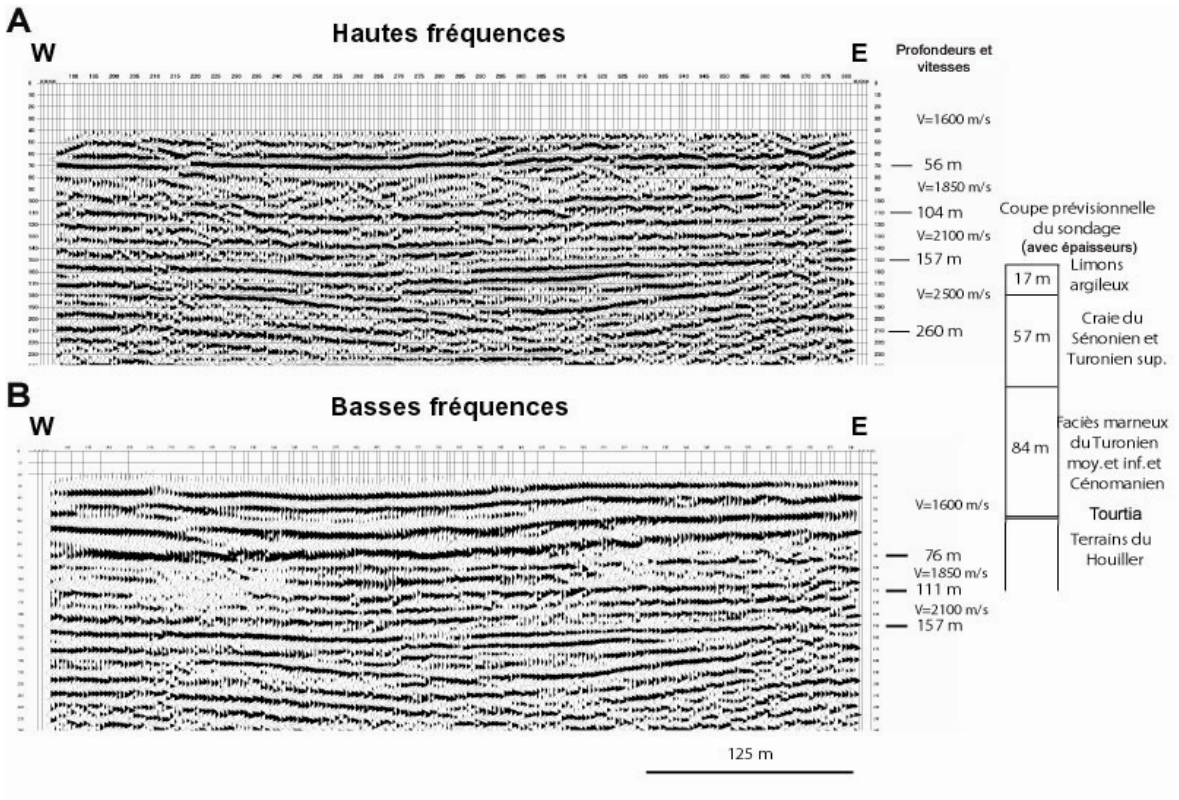


Figure 1. Profils sismiques bruts (en A ; profil « hautes fréquences » et en B ; profil en « basses fréquences »). La colonne lithologique est donnée à titre indicatif.

L'interprétation de l'enregistrement sismique est donnée en figure 2. Les « hautes fréquences » donnent une idée plus juste de la structure que les « basses fréquences ». En effet, ces dernières amplifient les erreurs de l'interprétation du signal. On choisira donc de baser d'abord nos observations sur le profil A. De plus, on ne tiendra pas compte des premiers réflecteurs qui peuvent donner des informations erronées.

Les formations géologiques sont reportées sur le profil B. La discordance entre les terrains crétacés et les terrains houillers paléozoïques apparaît nettement sur l'ensemble des profils. Elle sépare deux ensembles distincts :

- Le massif paléozoïque (Westphalien). Il est composé de grès, schistes et charbons largement exploités dans cette zone. La structure est plissée (les réflecteurs montrent un synclinal) et faillée. Ici, les failles n'ont pas été reportées, faute de corrélation avec les plans miniers. De plus le profil sismique est parallèle aux grandes failles chevauchantes reconnues à proximité. Il ne les intercepte pas forcément ou sous un angle trop faible pour être observé.
- La couverture du Crétacé/Tertiaire apparaît globalement horizontale. Certains passages sont marqués par des réflecteurs assez énergiques qui pourraient être des niveaux à silex dans la craie. Sur d'autres, on observe des discontinuités horizontales des réflecteurs qui pourraient être dues à des phénomènes de masquage. Les formations géologiques au sein même du Crétacé semblent assez difficiles à distinguer pour l'ensemble Turonien-moyen/inférieur et Cénomanien. Ceci pourrait dénoter un caractère plutôt homogène de ces formations entre elles.

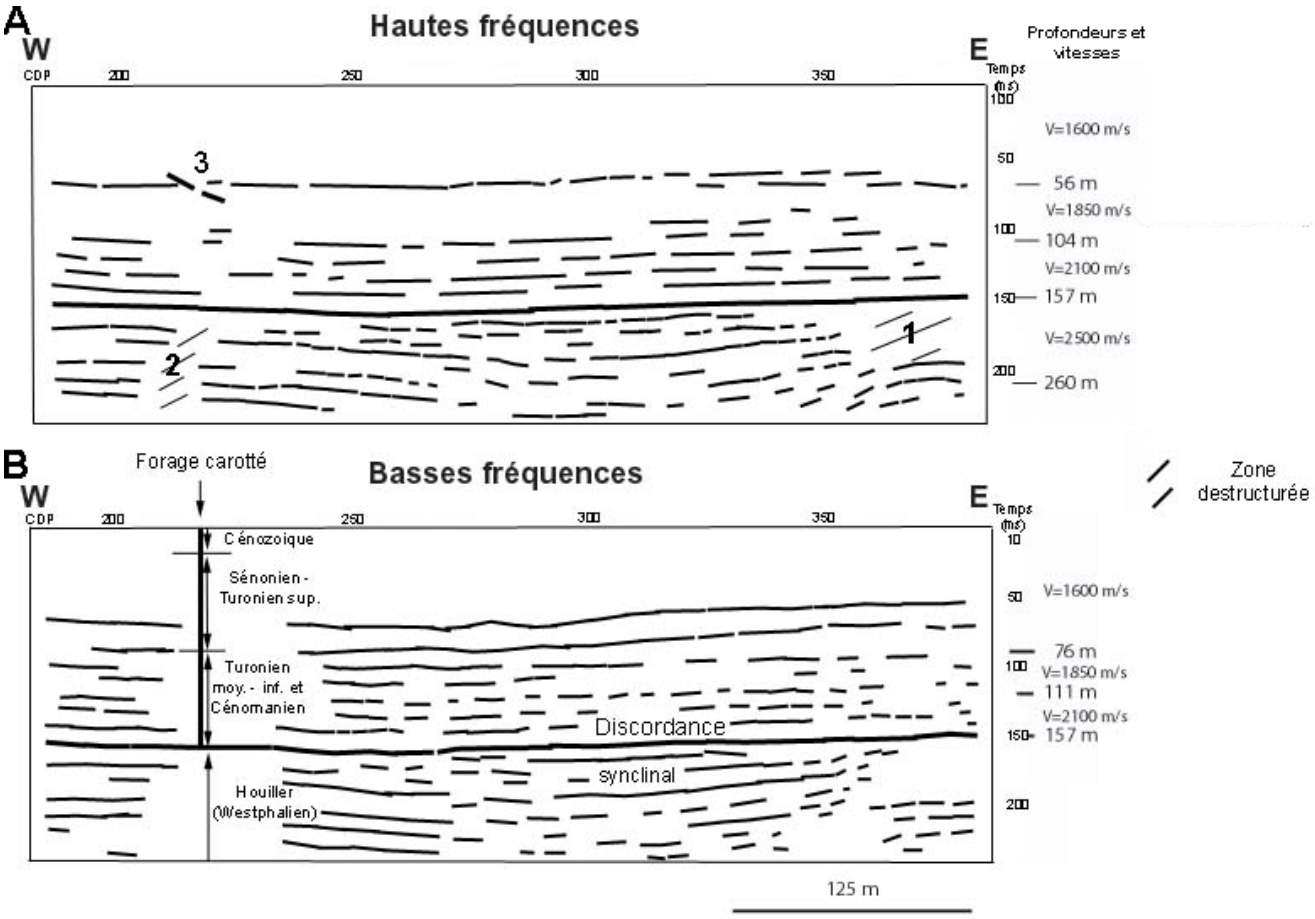


Figure 2. Interprétation des profils sismiques (en A : report des observations, en B : structure et lithologie)

Les résultats n'étant pas définitifs (étude en cours), on a choisi de ne commenter que quelques points de détails (figure 2).

Dans le Paléozoïque, deux zones déstructurées sont observées :

- La zone 1 : la discontinuité des réflecteurs semble à première vue refléter la présence d'une faille ou d'une zone fracturée. Mais sur les plans miniers, une telle faille n'est pas représentée.
- La zone 2 : les réflecteurs sont aussi discontinus mais ici sur une même verticale quelque soit la fréquence. Il se pourrait que cette zone puisse être une zone déstructurée suite à une montée de voûte. Elle ne semble pas affecter la couverture crétacée (différence de comportement mécanique ?). La sismique peut aider à détecter les cavités souterraines ou les zones déstructurées suite à des exploitations (Mari et al., 1998 ; Piwakowski et Shahrour, 1998).

Afin d'argumenter ces hypothèses, il serait judicieux de réaliser un modèle 3D des veines exploitées du houiller en y ajoutant le comportement mécanique (Lamand, 1998). Ceci permettrait de mieux apprécier l'extension de ces zones probablement déstructurées par les exploitations.

Dans le Crétacé, une zone perturbée (zone 3) est observable sur chacun des profils. Cette zone montre une discontinuité des premiers réflecteurs. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées : zone fracturée et/ou effondrée, milieu karstique, variations lithologiques…

Nous avons choisi de placer le sondage carotté à cet endroit afin de vérifier ces hypothèses grâce à l'étude de la carotte (oxydation, miroir de faille, zone broyée, lithologie…).

CONCLUSION

Les profils sismiques en haute résolution sont d'excellents outils afin de reconstituer la structure et les discontinuités dues aux fractures ou aux exploitations. Les études en cours permettront d'améliorer l'ensemble des données sur la craie (lithologie, structure) et l'aquifère en particulier (relations structure-écoulement-chimie). Lorsque l'ensemble de la campagne sismique sera réalisée, on pourra alors proposer une structure plus fine et plus réaliste de l'aquifère dans la zone de Dourges/Noyelles-Godault/Evin-Malmaison.

REMERCIMENTS

Nous tenons à remercier Charbonnages de France et le Musée de Lewarde pour les données fournies ainsi que la municipalité d'Evin-Malmaison pour leur aide technique.

BIBLIOGRAPHIE

1. Desoignies J. et Sangnier P. (1968).- Carte géologique de Carvin au 1/50000e, feuille XXV-5 B.R.G.M.
2. Hallet V., Schroeder C., Monjoie A. (1997).- Détermination des hétérogénéités du milieu crayeux par prospection géophysique. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 5 (2^{éme} série) p. 331-336.
3. Lamand D. (1998). Modélisation interactive de la géométrie d'une structure géologique, un préalable à tout modèle numérique (géomécanique, hydraulique…). Thèse de 3ème cycle, université de Lille.
4. Mari J.L., Arens G., Chapellier D., Gaudani P.(1998). Géophysique de gisement et de génie civil. *Publications de l'Institut Français du Pétrole*, ed. TECHNIP. 468p.
5. Piwakowski B., Shahrour I. (1998). Imagerie du proche sous-sol par la sismique haute résolution. *Bulletin de liaison du Laboratoire des Ponts et Chaussées.*