RISQUE DE CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES PAR LES NITRATES EN REGIONS ARIDES; CAS D'ELGHROUS (REGION DES ZIBAN-SUD-EST ALGERIEN)

A M. DROUICHE[1], W. CHAIB[1], A. REZEG[1], N. BOUGHERIRA[1], W. HAMZAOUI[1] et L.DJABRI[2]
[1]CRSTRA Division Eau et sols
[2]Universite Badji Mokhtar Annaba / chercheur associé au CRSTRA

RESUME

La région des Zibans connait une forte dynamique agricole s'appuyant sur ces potentialités naturelles (hydriques, climatiques, édaphiques…), et impulsée par les différents programmes agricoles des trois dernières décennies. Ces dernièrs sont à l'origine de l'introduction de nouveau systèmes de production notamment des cultures sous abris serre qui ont pris un essor capitale dans toute la région des Ziban en général, et très particulièrement au niveau d'El-Ghrous.

Certes ces produits contribuent notablement à l'approvisionnement des marchés nationaux, et notamment en primeurs. Toutefois, toute agriculture intensive et notamment la pratique des cultures sous serres conduit le plus souvent les agriculteurs à recourir aux intrants chimiques (engrais de synthèses et pesticides).

La zone d'El-Ghrous renferme deux niveaux aquifères d'inégale extension : la nappe du Mio-pliocène peu profonde et couvre beaucoup plus la partie Sud, et la nappe profonde de l'Eocène Inférieur. A travers le présent travail nous traitons l'impact de l'utilisation des engrais sur la qualité des eaux souterraines concernées, et ce à travèrs le dosage des nitrates dans les eaux des deux aquifères et dans les sols (horizons 0,2 et 0,6m). Les analyses réalisées montrent des concentrations très importantes au niveau du sol et au niveau des eaux de la nappe du Mio-pliocène. La nappe de l'Eocène Inférieur présente des teneurs inférieures à la norme admise (50 mg/l).

Dans l'état actuel des choses, cette pollution présente un risque sanitaire surtout en milieu rurale en cas de consomation des eaux des forages contaminés. A long terme cette menace peut s'étendre à plusieur échelle.

Mots clés : *Pollution, Engrais, Eau souterraine, El-Ghrous et développement agricole.*

ABSTRACT

The region of Ziban has undergone strong agricultural dynamic based on these natural potentials (water, climate, soil…). And is promoted by the various agricultural programs during the last three decades.

These latter are at the origin of the introduction of new production systems including the protected crops and under glass crops which had found a clear picture of the Ziban region in general, and at El-Ghrous in very marked way.

While, the vegetable productions contribute in the provisioning of national markets in particular in primary. However, any intense agriculture and especially the practice of greenhouse crops often lead the farmers to use chemical inputs (synthetic fertilizers and pesticides).

The region of El-Ghrous contains two levels of aquifers with unequal extend: the aquifer of Mio-pliocene is shallow and covers much more the south part, and the deep aquifer of inferior Eocene. Through this work we treat the impact of fertilizer use on the groundwater quality concernedand this through the dosage of nitrate in water from two aquifers and soils (0.2 and 0 horizons, 6m).

Analyzes have shown important concentrations at soil level and at water level of Mio-pliocene layer, inferior Eocene layer presents lower contents at the standard (50 mg/l).
In the actual state of things, that pollution poses a health risk, particularly in rural middle where to consumption of contaminated water wells. In the long term this threat can extend several scale.
Keywords: *Pollution, Fertilizers, Groundwater, El-Ghrous and agricultural development*

I. INTRODUCTION

Depuis quelques années, la protection et la conservation des milieux naturels, en particulier la qualité des eaux, est devenue une préoccupation majeure et un objectif principal dans les programmes de développement (BOUGHRARA, 2009). En effet, la détérioration de la qualité des ressources en eau constitue une menace aussi importante que celle liée au déséquilibre quantitatif (RAHOUI, 2000). L'oasis de Biskra a fait autrefois les beaux jours du tourisme colonial en offrant, à 450 km d'Alger, les délices de l'exotisme Saharien avec ses palmiers et ses jardins irrigués. Mais la région des Ziban a surtout vécu depuis un siècle de sa production de dattes de qualité (DUBOST, 1998).
Selon la FAO, l'agriculture est l'activité économique la plus consommatrice d'eau puisqu'elle prélève à elle seule près de 70% de toute l'eau mobilisée des cours d'eau, lacs et nappes souterraines à travers le monde, pouvant atteindre jusqu'à 95% dans les pays en développement (KEDDAL, 2007).
L'agriculture est actuellement à l'origine d'une pollution de l'eau préoccupante dans certaines régions d'Europe et des Etats-Unis, et dans d'autres pays comme l'Australie, le Canada et la Nouvelle-Zélande, mais surtout dans les pays méditerranéens où, pour des raisons climatiques défavorables, l'irrigation avec des eaux de qualité parfois médiocre constitue un impératif technique incontournable (OCDE**,** 2004).
La pollution des eaux d'origine agricole est généralement liée aux nitrates et/ou aux phosphates. La mise en évidence de la pollution causée par les pesticides est relativement récente (CARLUER et *al*., 1996).
En région arides et semi-arides, les surfaces à hautes potentialités agricoles sont de plus en plus rares et les surfaces irriguées sont en nette augmentation. Il est donc impératif d'accorder une grande importance à ces espaces irrigués (SAIDI AHMED et *al.*, 2010). La superficie agricole irriguée dans la région de Biskra est passée de 54809 hectares en 2000 pour atteindre 108389 hectares en 2011 (DSA., 2008) Dans ces zones, les sols sont pauvres en azote minéral surtout sous forme ammoniacale et nitrique. Néanmoins, l'excès d'azote dans les sols irrigués suite aux amendements azotés pourrait constituer un problème environnemental pour les systèmes hydrologiques. (SAIDI AHMED et *al*., 2010)

La zone d'El Ghrous affiliée aux Ziban est devenue un pôle agricole national. Ce développement est d'une part la conséquence des potentialités hydriques, climatiques et édaphiques qui caractérisent la région et d'autre part il est le résultat d'un processus long de réformes mis en place par l'Etat.
Les nouvelles exploitations agricoles ont donné naissance, en une dizaine d'années, à un important bassin de production pour les cultures sous- serres (20.000 serres en 2008). Ce niveau d'intensification de l'agriculture s'est accompagné d'une application importante d'intrants agro-chimiques ce qui constitue une source potentielle de contamination des eaux souterraines par les nitrates.

II.Situation géographique de la région d'étude

La commune d'El Ghrous est située à quelques 47 Km à l'ouest du chef-lieu de la Wilaya de Biskra. Elle est limitée au nord par la commune de Tolga, à l'ouest par la commune d'Ech-chaiba à l'est par les communes de Foughala et Bordj Ben Azzouz et au sud par les communes de Doucen et Lioua (figure 1).

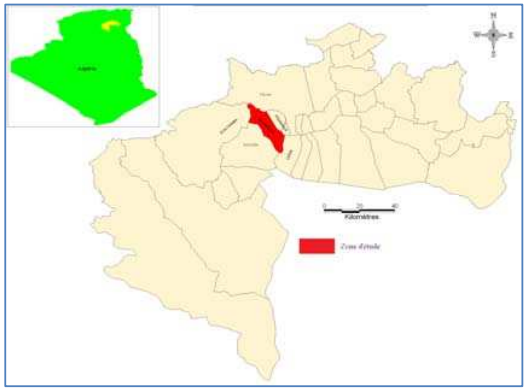

Figure 01 : Localisation de la zone d'étude**.**

III.Méthodologie de l'étude

III.1. Identification des formations hydrogéologiques

Nous nous sommes basés dans cette phase de l'étude sur l'inventaire réalisé par l'ANRH en 2008 ainsi que sur les coupes hydrogéologiques que nous avons pu établir.

La région d'El-Ghrous se caractérise ainsi par l'existence de trois aquifères:

La nappe phréatique : moins importante comparativement aux autres nappes. Elle se localise dans les accumulations alluvionnaires des oueds tels qu'Oued Belebsibis (figure3). Cette nappe est essentiellement alimentée par les précipitations et l'infiltration des eaux d'irrigation.

La nappe des sables du Mio-pliocène :
L'importance de cette nappe se voit en allant vers le sud de la région où elle est particulièrement exploitée et son épaisseur devient plus importante comme le montre les profils (E-F, C-D et A-B), (figure 2). Elle est constituée essentiellement d'une alternance de couches d'argiles imperméables à passé de sable et cailloutis.

La Nappe de l'Eocène Inférieur :
Cette nappe affleure au nord de la région et devient de plus en plus profonde en allant vers le sud (profil A-B). Son réservoir est constitué surtout de calcaire et calcaire marneux. Les différents sondages réalisés montrent que les calcaires Eocène présentent un réseau de diaclases dense d'origine tectonique et karstique. C'est la nappe la plus exploitée, notamment en s'étendant au nord et au centre de la région.

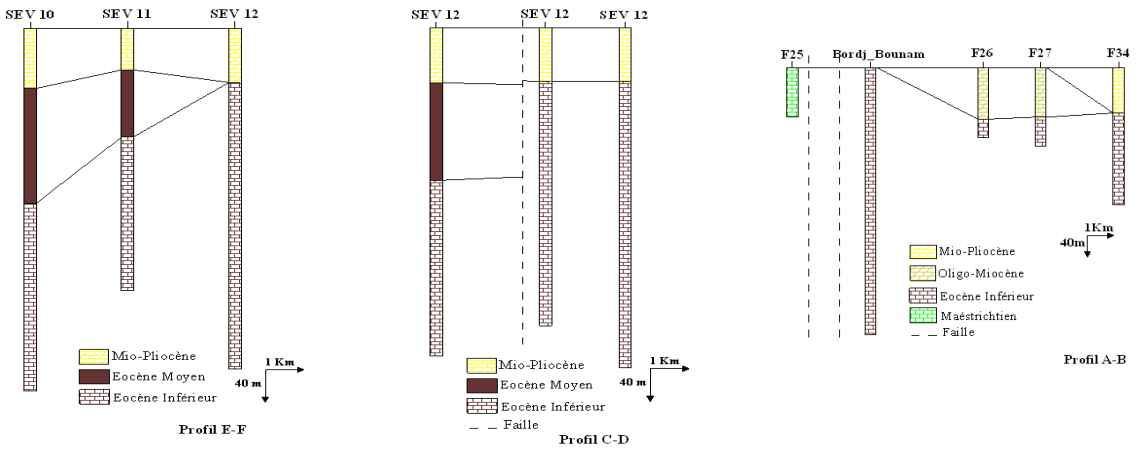

Figure 02 : Coupes hydrogéologiques dans la région d'El Ghrous.

III.2. Echantillonnage des eaux souterraines

Les nitrates possèdent une particularité que les autres substances polluantes n'ont pas. Ils peuvent se trouver dans le sol et les eaux soit `a la suite d'un apport d'engrais, soit comme la conséquence de processus biochimiques naturels qui dépendent étroitement des conditions pédoclimatiques et écologiques régionales. Par ailleurs, le transfert des nitrates vers les nappes est conditionné par un excès d'eau d'irrigation ou de pluie (BARDAI et *al*., 2004). Aussi nous avons procédé à l'analyse des eaux de la région pour quantifier la pollution par les nitrates. Les compagnes d'échantillonnage ont été effectuées pendant les mois d'octobre -novembre 2010 et Avril-mai 2011. Dans cette phase de l'étude, on a essayé de couvrir toute la région de telle manière à avoir une représentativité spatiale des points d'eaux prélevés (figure 3). Les nitrates sont dosés par spectrophotométrie UV (REJSEK, 2002, JEAN RODIIER., 2005) dans le laboratoire central du CRSTRA.

III.3. Echantillonnage du sol

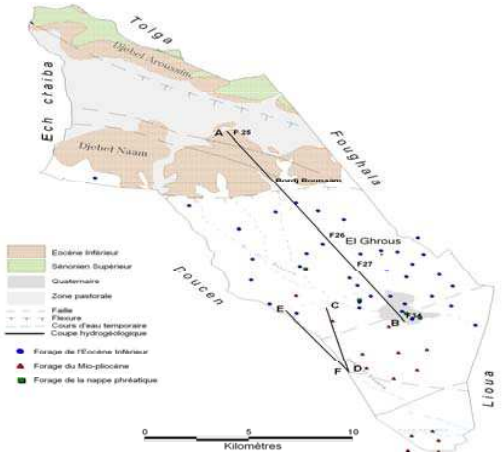

Figure 03. Inventaire des forages et localisation en fonction de l'aquifère.

Pour établir les cartes de perméabilité du sol (figures 1, 2, 3 et 4), nous avons procédés à un échantillonnage au niveau des treize points à deux niveaux de profondeurs (0.2m et 0.6m) à l'intérieur des serres, et treize points pour les mêmes profondeurs hors serres.

Une analyse granulométrique est effectuée pour chaque échantillon au niveau de la station Expérimentale Milieu Biophysique de Touggourt du CRSTRA, cette dernière nous permet de calculer la perméabilité à l'aide de la formule :

$$K = 10^4 \times d_{10}^2 (m/s)$$

Les valeurs obtenues nous ont servi pour tracer la carte de perméabilité pour les différents horizons du sol examinés.

Afin de voir le taux de pollution nitrique au niveau du sol, nous avons procédé au dosage des nitrates pour les deux niveaux de profondeurs 0.2m et 0.6m. Les échantillons ont été préparés par lixiviation pendant deux heures d'agitation, en utilisant le rapport 1/1, c'est-à-dire 50g de l'échantillon du sol avec 50ml d'eau distillée, puis les échantillons ont été filtrés avec des filtres wathman.

Les nitrates sont mesurés par spectrophotométrie UV (REJSEK, 2002).

IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. Cartes des nitrates

Les cartes des nitrates de la région d'El Ghrous mettent en évidence des niveaux de contamination différents selon les aquifères existants (figures 4 et 5). La nappe de l'Eocène Inférieur la plus utilisée dans la région présente des concentrations en nitrates de 0 à 38mg/l restant inférieure à la norme admise (50mg/l).

Par contre, la nappe du Mio-pliocène dont l'exploitation se localise dans la partie Sud révèle des concentrations importantes. Ces différences de concentrations en nitrates entre les nappes s'expliqueraient par la profondeur de ces aquifères. Les eaux relativement moins profondes du Mio-pliocène (30 à100m) sont moins protégées à la pollution nitrique contrairement à celles de l'Eocène Inférieur située entre 100 et 470m.

Par ailleurs, on a constaté des concentrations limitées en nitrates (15 mg/l à22 mg/l) dans les quelques puits exploités de la nappe phréatique (15 à 22m). Notons que ces puits sont implantés à proximité des palmeraies où la fertilisation chimique n'est pas toujours pratiquée.

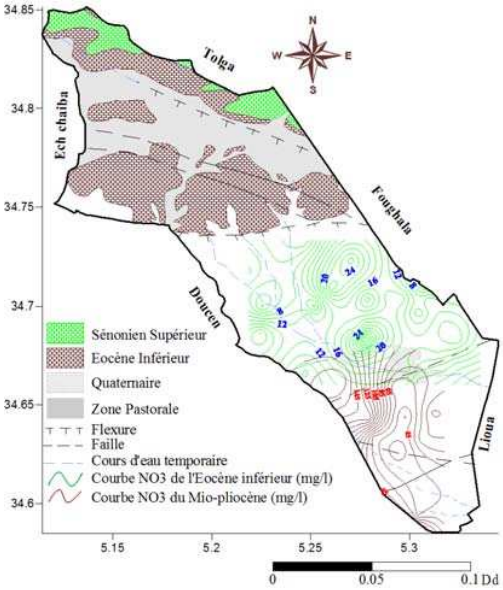

Figure 04 : Carte des nitrates des eaux souterraines d'El Ghrous (Compagne d'échantillonnage : octobre et novembre 2010)

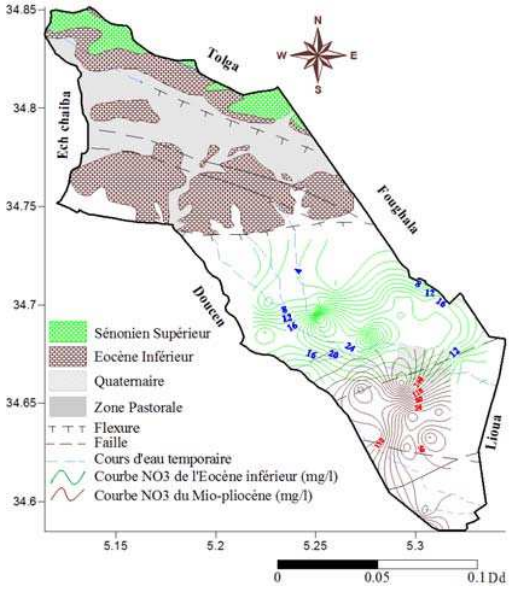

Figure 05 : Carte des nitrates des eaux souterraines d'El Ghrous (Compagne d'échantillonnage : avril et mai 2011)

IV.2. Cartes des perméabilités

L'analyse des cartes montre, que la partie centrale, ainsi que la partie Sud de la zone d'étude ont les valeurs de perméabilité les plus faibles (0.004 10^{-5} et 0.2 10^{-5}), ce qui semble dû à la nature fine du sable d'origine alluvionnaire des deux Oueds, (Oued Belbseibbis et Oued Ouzene). Par contre les parties Nord et Sud-Ouest présentent toujours les valeurs les plus élevées, atteignant 0.7 10^{-4}.

D'une manière générale, on constate une augmentation des valeurs de perméabilité d'un horizon à l'autre, en allant en profondeur, sauf pour les points correspondant à Elmarhoum, où à 0.6m on est déjà en présence d'une couche Deb-deb caractérisée par des valeurs de perméabilités faible à cause de la présence des gypses.

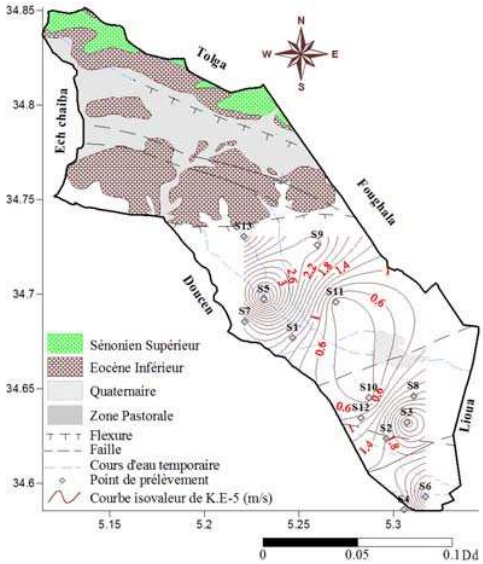

Figure 06 : Carte de perméabilité du sol horizon 0.2m (sous serre)

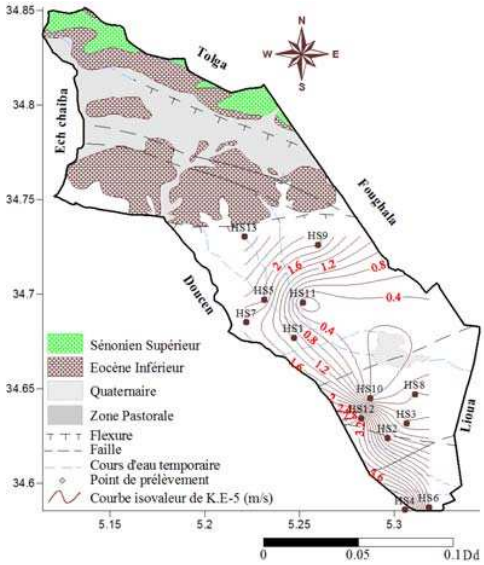

Figure 07 : Carte de perméabilité du sol horizon 0.2m (hors serre)

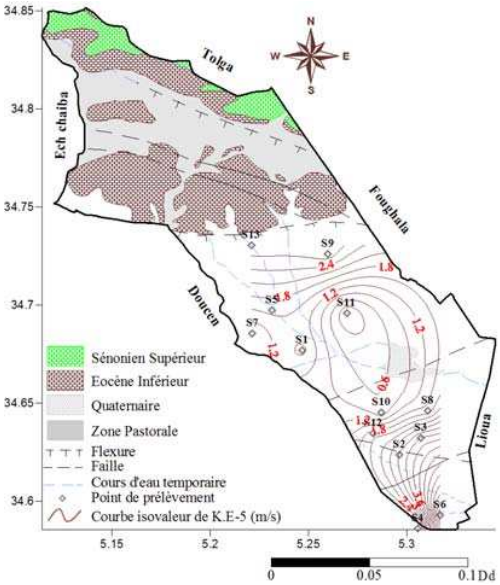

Figure 08 : Carte de perméabilité du sol horizon 0.6m (sous serre)

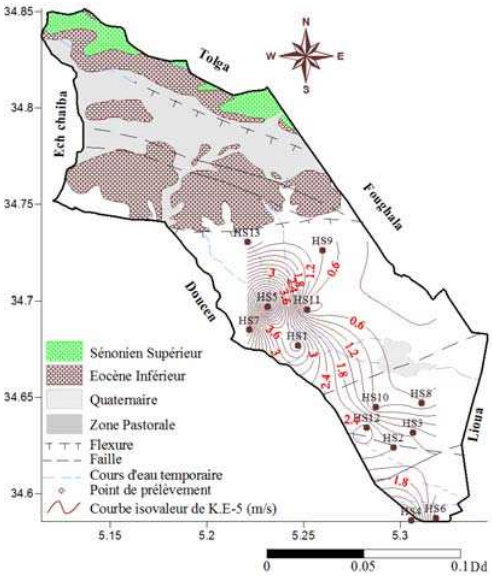

Figure 09 : Carte de perméabilité du sol horizon 0.6m (hors serre)

IV.3. Cartes des Nitrates dans le sol

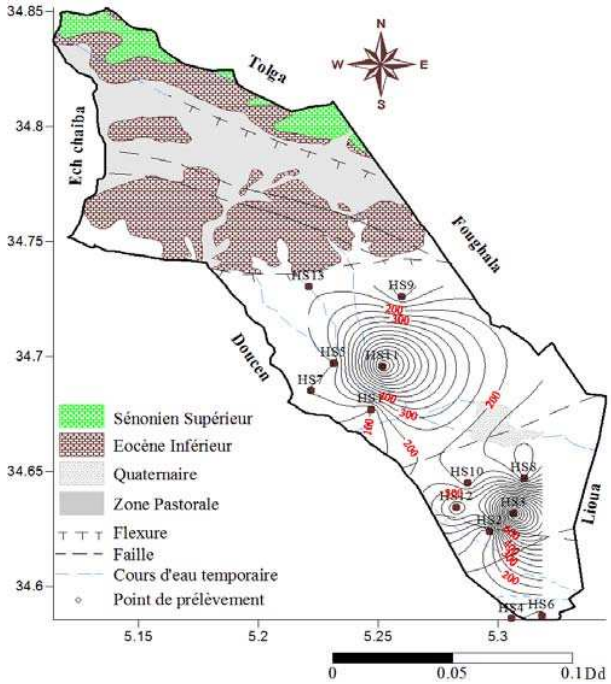

Figure 10 : Carte du taux de nitrate dans le sol horizon 0.2m (hors serre)

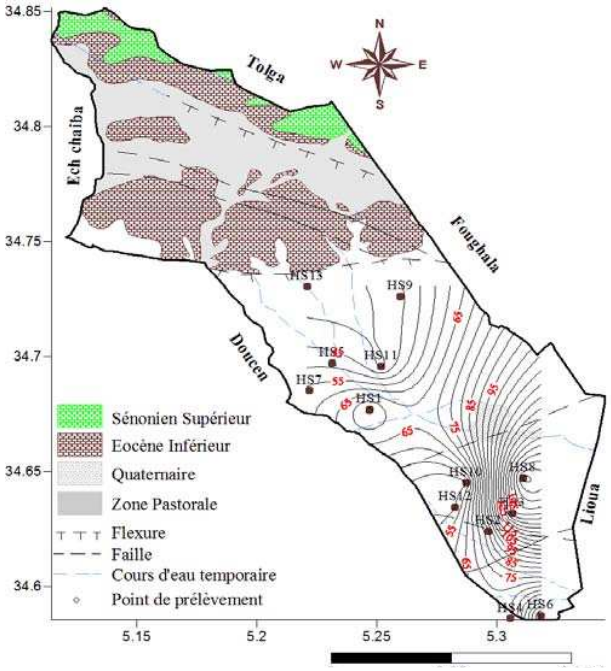

Figure 11 : Carte du taux de nitrate dans le sol horizon 0.2m (hors serre)

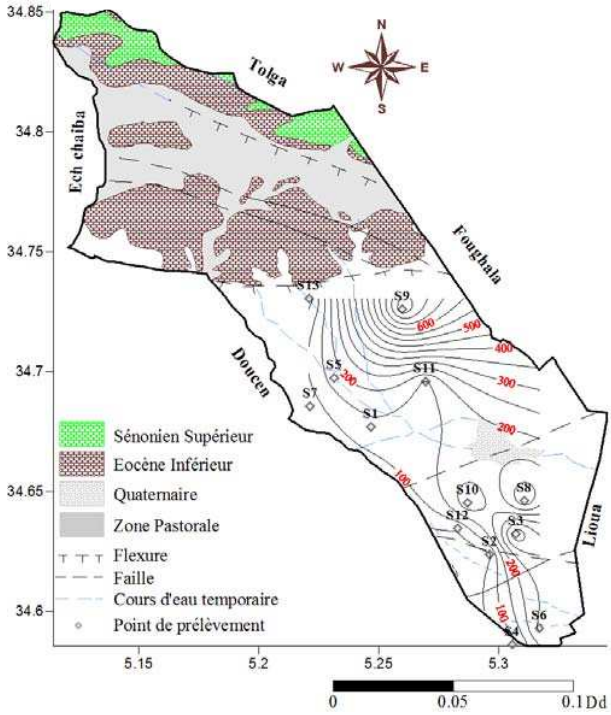

Figure 12 : Carte du taux de nitrate dans le sol horizon 0.2m (sous serre)

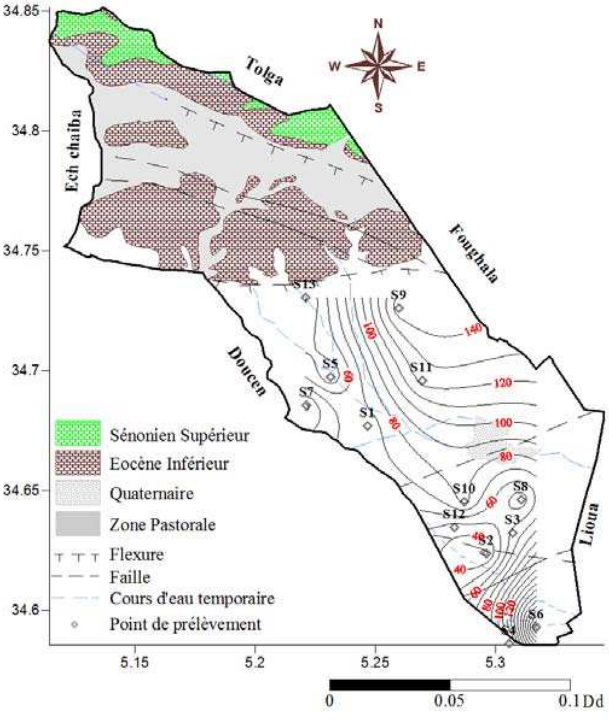

Figure 13 : Carte du taux de nitrate dans le sol horizon 0.6m (sous serre)

La carte des concentrations en nitrate pour l'horizon 0.2m présente des teneurs en nitrates très élevées, surtout dans la partie Nord-est de la zone d'étude, où les concentrations dépassent les 700 mg/l. Par contre la carte des teneurs en nitrates pour l'horizon 0.6m présente des concentrations moins élevées, par rapport à l'horizon 0.2m, qui ne dépasse pas les 226 mg/l.

La carte des teneurs en nitrate pour l'horizon 0.2m hors serre, montre l'existence de deux zone de convergence, l'une au Nord avec des concentrations qui vont de 200 mg/l jusqu'à plus de 900 mg/l, et l'autre au Sud avec des concentrations qui oscillent entre 200 et 1177 mg/l.

La carte des teneurs en nitrate pour l'horizon 0.6m hors serre présente des teneurs faibles par rapport à l'horizon 0.2m avec un maximum de 166 mg/l en allant vers la partie Sud-est (HS 08).

IV.4. Analyse des facteurs explicatifs de la pollution nitrique des eaux souterraines

La pollution nitrique des eaux souterraines dans la région d'El-Ghrous peut être attribuée à deux types de facteurs

- Les facteurs intrinsèques du milieu physique, qui déterminent le degrès de vulnérabilité des nappes à la pollution.
- Les facteurs dynamiques comportant d'ne part les systèmes de cultures et d'autre part les processus qui régissent le régime hydrique du sol et les processus biogéochimiques de transformation et de transfert des nitrates dans la couche du sol non saturé.

Pour les facteurs intrinsèques on a essayé de calculer la perméabilité du sol, cette dernière est de l'ordre de $0{,}42.10^{-4}$ m/s et peut être considérée comme bonne, de ce fait, la pollution nitrique est accélérée par l'effet de chasse, qui se produit par le retour des eaux d'irrigation vers la première nappe.

En ce qui concerne les facteurs dynamiques on peut citer :

1- La fertilisation azotée minérale et organique :

A travers nos investigations sur le terrain et d'enquetes auprès des agriculteurs, nous avons pu établir une synthèse relative aux engrais de synthèse utilisés et aux amendements organiques pratiquées selon le type de culture (Tableaux 1 et 2), ces tableaux montrent que les doses d'engrais azotés appliquées par les agriculteurs sont très variables. En moyenne, elles dépassent les doses recommandées qui varient entre 120 et 220 kg N/ha. Les doses maximales enregistrées sont aux alentours de 800 kg N/ha. Globalement, on estime qu'environ 50% de l'azote apporté par les engrais est absorbé par la culture, 25% est temporairement immobilisé dans le sol, les 25% restant sont perdus par volatilisation, dénitrification ou leissivage (MARTINEZ, 1984). De ce fait, la fertilisation azotée minérale des cultures, telle qu'elle est pratiquée par les agriculteurs de cette région, peut donc générer un risque de pollution des nappes par les nitrates. Ce risque est aggravé par l'application régulière du fumier à des doses pouvant atteindre 10 T/h. Cet apport est généralement non considéré par les agriculteurs comme un apport azoté, alors qu'il fournit au sol, pendant plusieurs années, d'importantes quantités minérales (arrière effets).

2- Dans la région d'El-Ghrous deux principales techniques d'arrosage sont utilisées :

- L'irrigation gravitaire ou irrigation de surface,
- L'irrigation localisée ou le goutte à goutte,

L'irrigation donc l'une des causes directes de la pollution nitrique des ressources en eau souterraine. En effet la technique d'irrigation gravitaire couplée aux doses d'eau excessives pratiquées par les agriculteurs peut servir de vecteur aux intrants (engrais appliqués en excès).

L'irrigation permet également de maintenir des conditions d'humidité du sol favorable à la minéralisation de la matière organique du sol, du fumier et des résidus ce qui explique en partie les libérations importantes d'azote minéral dans le sol.

Tableau 01 : Utilisation des engrais organiques (fumier) dans les serres

ENGRAIS ORGANIQUES			
Nom du fellah	*Types de fumiers*	*Quantité*	*Epoque*
Taleb Hocine	Ovin et volaille	2q/serre	Juillet
Kamel Ghareïss	Ovin et volaille	1875 kg/serre	
Kaabach Allaoua	1ère culture : Ovin Volaille	1.5q/serre et 3q/serre	Août
	2ème culture Ovin ou volaille	3q/serre	Janvier
Ain Khadra	1ère culture : Ovin ou Volaille	6q	juillet
	2ème culture Ovin ou volaille	6q	juillet
Kaabach Saïd	1ère culture : Ovin	5q	Juillet, Août
	2ème culture volaille	3q	Avril
Mihoubi Tahar	1ère culture : volaille	7q	Juillet
	2ème culture	250kg	
Belmagri	1ère culture : Ovin ou Volaille	1c=8à10q	Août
	2ème culture Ovin ou volaille	1/2c=5q	
Mohamed Meghazi	1ère culture : Ovin et Volaille	14q	Août
	2ème culture Ovin	1q	Mars
Ahmed Amrani Abdellatif	1ère culture : Ovin et Volaille	6q/serre, 3q/serre	Août
	2ème culture Ovin et Volaille	6q et 3q	20Janvier jusqu'au Mars
Ahmida Ben Zine	Ovin	Camion/2serre	Août
Touaref Ahmed	Ovin Volaille	Ovin : camion/serre Vollaille 1/2camion/serre	Fin août
Smail Ben Atia		1 voyage /serre= 100serres	Fin aout

***Camion ≈ 30q**

Tableau 02 : Utilisation des engrais chimiques pour les Serres

Nom du fellah	ENGRAIS CHIMIQUES			
	Type de culture	***Types d'engrais***	***Quantité****	***Epoque***
Ghebache Saïd		46 (Phosphorés) 46 (Azotés) 15-15 (PK) Potasse	25 kg* 31 kg* 50 kg* 08 kg*	Apport de fond Février-Juin Apport de fond (Jan, Fév, Avr) Décembre- Janvier
Amrani H'maida	Aubergine	15-15-15 NPK Potasse 20-20-20	25 kg* 24 kg* 04 kg* 33 kg*	Apport de fond Octobre-Novembre Décembre-Janvier Novembre-Juin
Mohamed Meghazi	Tomate+melon	15-15-15 NPK Potasse 20-20-20	25 kg* 10 kg* 14 kg* 06 kg*	Apport de fond Septembre Octobre et Mars Novembre et Avril
	Aubergine	46 (Phosphoré) 20-20-20 Noures et phormel	50 kg* 33 kg* 24 kg*	Apport de fond Novembre-Juin Octobre-Novembre
	Melon	15-15-15 46 (Phosphoré) Potasse (21%) 20-20-20	10 kg* 40 kg* 04 kg* 04 kg*	Apport de fond Apport de fond Mise en culture Avril

Périmètre GCA	Tomate	46 (Phosphoré) 15-15-15 20-20-20	50 kg* 50 kg* 18 kg*	Apport de fond Apport de fond Septembre-Janvier
	Melon	15-15-15 20-20-20	25 kg* 25 kg*	Apport de fond (Février) Mars-Juin
Miloudi Mohamed	Aubergine	15-15-15 20-20-20	50 kg* 100 kg*	Apport de fond Octobre-Juin
	Melon	15-15-15 20-20-20	50 kg* 30 kg*	Apport de fond Avril-Juin
Ain Khedra (40 serres)	Aubergine	46 (Phosphaté) 15-15-15 20-20-20 30-10-10	50 kg* 30 kg* 25 kg* 25 kg*	Apport de fond (Juillet) Apport de fond (Juillet) Décembre-Avril Décembre-Mars
	Tomate	46 (Phosphorés) 15-15-15 20-20-20	50 kg* 30 kg* 05 kg*	Apport de fond (Juillet) Apport de fond (Juillet) Décembre
	Melon	46 (Phosphorés) 15-15-15 20-20-20	15 kg* 15 kg* 25 kg*	Apport de fond Apport de fond Mars-Juin
Belmagri	Aubergine	15-15-15 20-20-20	25 kg* 25 kg*	Apport de fond Novembre-Mai
	Melon	15-15-15 20-20-20	25 kg* 18 kg*	Apport de fond Mars-Mai
Ahmida ben Zine (10 serres)	Aubergine	15-15-15 20-20-20	25 kg* 25 kg*	Apport de fond (Septembre) Septembre-Janvier
Smail Ben Attia (13 serres)	Aubergine	15-15-15 20-20-20	25 kg* 30 kg*	Apport de fond Novembre-Mai
	Tomate	15-15-15 20-20-20	25 kg* 30 kg*	Apport de fond Septembre-Décembre
	Melon	15-15-15 20-20-20	25 kg* 30 kg*	Apport de fond Mars-Juin
Delhoum (04 serres)	Tomate	46 (Phosphoré) 20-20-20	25 kg* 25 kg*	Apport de fond (Aout) Septembre-Décembre
	Melon	20-20-20	16 kg*	Mars-Avril
Inconnu (60 serres)	Aubergine	46 (Phosphoré) 15-15-15 Engrais de démarage (12-61) KSC1 (16-15)(1) KSC (15-35-5)(2) 20-20-20	50 kg* 50 kg* 02 kg* 02 kg* 01 kg* 20 kg*	Apport de fond (Septembre) Septembre-Mai
	Tomate	46 (Phosphoré) 15-15-15 Engrais de démarage (12-61) KSC1 (16-15) KSC (15-35-5) 20-20-20	50 kg* 50 kg* 02 kg* 02 kg* 01 kg* 10 kg*	Apport de fond (Septembre) Septembre-Mai
	Melon	20-20-20	10 kg*	Mars-Juin

(1) : 16% azote total et 15% oxyde de potassium ;
(2) : 15% azote total, 35% oxyde de potassium et 5% phosphore ;
* Les quantités d'engrais sont par serre

CONCLUSION

Même si à l'heure actuelle ces eaux ne sont pas destinées à l'AEP, elles sont toutefois, consommées occasionnellement par les ruraux et notamment les agriculteurs. En outre, le risque de contamination d'un aquifère à un autre persiste du moins sur le long terme.
Le contrôle de ce type de pollution dans les périmètres irrigués reste tributaire d'une meilleure connaissance des causes et des mécanismes responsables de cette pollution et qui sont spécifiques à chaque région. Ces connaissances permettront de proposer des solutions adaptées et d'appuyer les plans d'action de protection des ressources en eau souterraine dans ces zones à agriculture intensive.
Aussi à la lumière des résultats obtenus, une maitrise de la fertilisation organique et surtout minérale s'impose.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **BARDAI H.** et al., 2004. Actes du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée Rabat, du 19 au 23 avril 2004.
2. **BELLOUTI A., CHERKAOUI F., BENHIDA M., DEBBARH A.,** 2002. Mise en place d'un système de suivi et de surveillance de la qualité des eaux souterraines et des sols dans le périmètre irrigué du Tadla au Maroc.
3. **BOUGHRARA A., LACAZE B.**, 2009. Etude préliminaires des images Landsat et Alsat pour le suivi des mutations agraires des Ziban (extrêmes Nord-Est du sahara algérien) de 1973 à 2007, Journées d'animation scientifique (JAS09) de l'AUF, Alger.
4. **DSA**., 2008. Direction des services agricole de Biskra
5. **DUBOST D., LARBI-YOUCEF**., 1998. Mutations agricoles dans les oasis algériennes : l'exemple des Ziban, Sécheresse, vol.9, n° 2, pp 103-110.
6. **EL ASSLOUJ J., KHOLTEI S., EL AMRANI-PAAZA N., HILALI A**., 2007. Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines de la communauté Mzamza (Chaouia, Maroc), Revue des sciences de l'eau, vol. 20, n° 3, pp 309-321.
7. **GIROUX I**., 2002: Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions en culture de pommes de terre, Campagne d'échantillonnage de 1999-2000-2001, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec.
8. **JEAN RODIIER ET COLL**., 2005. L'analyse de l'eau (Eau naturelles-Eaux résiduaires-Eaux de mer), 8^{e} édition.
9. **KEDDAL. H & J. Yao N'dri**., 2007 : Impacts de l'intensification agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines; Revue THE N°138. Sept-Déce. 2007,
10. **MARTINEZ ET DIAMOND**, 1984 : Traité d'irrigation,
11. **OCDE.,** 2004 : Agriculture et environnement: enseignements tirés de dix ans (1993-2003) des travaux de l'OCDE,
12. **RAHOUI M., SOUDI B., ID AHMAD F**., 2000. Situation actuelle de la pollution nitrique des eaux souterraines dans le périmètre irrigué des Doukkala, Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux', Rabat.
13. **REJSEK F**., 2002. Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques.
14. **SAIDI AHMED et al**, 2010. Bilans d'eau et des sels dans le périmètre irrigué de Kalaât Landalous (Tunisie), Sécheresse, vol.21, n° 1e, pp 1-5..