

Salinité et pollution par les nitrates des eaux souterraines de la plaine des Triffa

Rachid BENKADDOUR^{1□}, Belkheir HAMMOUTI¹, Mohamadine EL-MRABET²,
Abdelmalek DAHCHOUR², Abdelwahed AOUNITI¹, Boubker HAOUADI³
& Abdallah OUARDI³

(Reçu le 02/06/2004 ; Accepté le 08/10/2004)

المساهمة في دراسة أملاح الصوديوم والتلوث بأملح النترات للمياه الجوفية بسهل التريفيا

إن المياه الجوفية لسهل تريفية - ملوية السفلى - هي في طريقها للتلوث تدريجيا. وقد أظهرت نتائج التحاليل أن أغلب الآبار محملة بأملاح الصوديوم وأملاح النترات، لذا فهي غير صالحة للإستهلاك الأدمي ويمكن أن تؤثر سلبيا على المزروعات في المنطقة. على مستوى المنطقة التي تمت عليها الدراسة فإن التركيزات من 2,32 إلى 74,70 ملغ / ل من أملاح النترات، من 134 إلى 3614 ملغ/ل من الكلور و من 103 إلى 1518 ملغ/ل من الصوديوم ليست بالاستثنائية وتتجاوز الكميات المتداولة والمنصوص عليها من طرف المنظمة العالمية للصحة وكذا المجموعة الأوروبية (50 ملغ/ل) بالنسبة لأملاح النترات، 250 ملغ/ل بالنسبة للكلور و 175 ملغ/ل بالنسبة للصوديوم. إن كثرة الزراعة في السهل خصوصا على نطاق المساحات المسقية، الإستعمال المفرط للأسمدة، الإستعمالات المتكررة و الكثيفة للمبيدات الحشرية و الزبال، السقي، التساقطات المطرية و اقتراب الفرشة المائية من سطح الأرض في بعض المناطق، كل هذا أدى إلى التلوث المتزايد للموارد المائية.

الكلمات المفتاحية: التلوث الفلاحي - المياه الجوفية - سهل تريفية - أملاح النترات - أملاح الصوديوم.

Salinité et pollution par les nitrates des eaux souterraines de la plaine des Triffa

Les eaux souterraines de la plaine des Triffa (Basse Moulouya) deviennent de plus en plus polluées. Les résultats analytiques montrent que la plupart des puits sont chargés en sels et en nitrates, donc impropres à la consommation humaine et peuvent avoir un effet négatif sur les cultures maraîchères de la région. Dans la zone étudiée, des teneurs de 2,32 à 174,70 mg/l de NO_3^- , de 134 à 3614 mg/l de Cl^- et de 103 à 1518 mg/l de Na^+ ne sont pas exceptionnelles. Elles dépassent largement les normes fixées par l'OMS et la CEE (50 mg/l pour les NO_3^- , de 250 mg/l pour Cl^- et de 175 mg/l pour Na^+). L'intensification de l'agriculture dans la plaine, notamment dans les périmètres irrigués, l'épandage excessif des engrais, les applications répétées, et à quantités fortes, de fumiers, l'irrigation, les précipitations et la remontée de la nappe dans certaines régions ont engendré une pollution croissante des ressources en eau.

Mots clés: Pollution agricole - Eaux souterraines - Nitrates - Salinité - Plaine de Triffa - Oujda - Maroc

Salinity and pollution by nitrates of the groundwater of the Triffa plain

The groundwater of the Triffa plain (lower Moulouya) is submitted to the increasing pollution. The analytical results show that in the majority of the sampled wells high concentration of salts and nitrates, make water unsuitable for human consumption and could have a negative effect on the quality of vegetables crops. In the study area, contents ranging from 2.32 to 174.70 mg/l of NO_3^- , 134 to 3614 mg/l of Cl^- and 103 to 1518 mg/l of Na^+ , are not exceptional and largely exceed the standards set by WHO and EEC (50 mg/l for NO_3^- , 250 mg/l for Cl^- and 175 mg/l for Na^+). Intensification of agriculture in the plain, in particular in the irrigated perimeters associated to excessive fertilizer application, repeated applications of high amounts of pesticides and manures, irrigation, rainfall and water table rise are reasons for an increasing pollution of water resources.

Key words: Agricultural pollution - Groundwater - Nitrate - Salinity - Plain of Triffa - Oujda - Morocco

¹ Laboratoire de Chimie des eaux et corrosion, Faculté des Sciences d'Oujda, Maroc

² Laboratoire de Chimie, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202, Madinat Al Irfane, 10101 Rabat, Maroc

³ Agence du Bassin hydraulique de la Moulouya, Oujda, Maroc

□ **Auteur correspondant, e-mail: ?????**

INTRODUCTION

La plaine des Triffa, d'une superficie de 61000 ha, constitue l'une des zones les plus fertiles et les plus productives du Maroc oriental (ORMVAM, 1993). Jadis réputée pauvre en eau, la plaine a connu durant la dernière décennie un développement de périmètres irrigués à partir des puits captant la nappe. Des pompages fréquents, particulièrement durant les périodes non pluvieuses, entraînent des baisses du niveau piézométrique (ORMVAM, 1993).

Par ailleurs, les eaux sont de plus en plus chargées en nitrate (les plantes n'assimilant pas tout l'azote mis à leur disposition), dangereux pour l'Homme. En effet, le nitrate, une fois réduit en nitrite, peut, soit passer dans le sang pour réagir avec l'hémoglobine provoquant une asphyxie chez les nourrissons, soit se combiner avec des dérivés azotés pour conduire à des composés nitrosamines précurseurs de cancers (OMS, 1980).

L'azote est un élément indispensable à la croissance et au développement des plantes, tant sur le plan quantitatif que qualitatif. En effet, 50 à 60% d'accroissement de la production des cultures dans le monde est attribué aux engrais minéraux dont la contribution de l'azote est de l'ordre de 56% (Obatolu, 1986). Cet élément demeure le facteur majeur le plus limitant de la production des cultures et sa déficience réduit fortement les rendements (Neyroud *et al.*, 1981).

À l'instar des autres études réalisées au Maroc en particulier dans la plaine de Tadla, Mnasra et Triffa (Aghzar *et al.*, 2001; Moussaoui, 1994; Benkaddour, 1996), les eaux de la nappe des Triffa ont subis ces dernières années une dégradation croissante de leurs qualités suite à des apports autochtones en nitrates et en sels.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la nature et le degré de pollution des eaux souterraines par les sels et les nitrates et de repérer les secteurs les plus pollués de la zone.

MATÉRIELS & MÉTHODES

1. Description de la zone d'étude

La plaine des Triffa est située à l'extrémité orientale du Maroc. Elle est délimitée à l'est par Oued kiss (Algérie), au nord par la Mer Méditerranée, à l'ouest par Oued Moulouya et au sud par les chaînes de Beni-Snassen (Figure 1).

Du point de vue climatique, la plaine des Triffa est caractérisée par un climat semi-aride de type méditerranéen. Les précipitations sont irrégulières au cours de l'année. La moyenne annuelle des précipitations de la station de Slimania, sur 21 ans (1982-2003) est de 277 mm (Figure 2).

De même, les variations latérales des formations géologiques au sein de la plaine de Triffa (constituant le réservoir) donne un comportement hydrogéologique différent d'une zone à l'autre. Le nombre total de jours de pluie varie de 35 à 75 jours selon les années (ORMVAM, 1993).

Pendant la période humide, l'excédent des précipitations engendre une infiltration de 14 à 20% environ des eaux alimentant la nappe (DRPE, 1995).

2. Choix des sites de prélèvement d'eau

Dans le but d'étudier la contamination éventuelle des eaux de la nappe phréatique de la plaine des Triffa par les nitrates et la salinité, on a établi un réseau de 120 puits répartis d'une façon à permettre une surveillance de la qualité des eaux souterraines dans différentes zones de la nappe (profondeur des puits variant de 2,5 à 100 m (Figure 1), compte tenu de la diversité des caractéristiques lithologiques, hydrogéologiques et agronomiques (nature de culture).

Des enquêtes sur le terrain ont été réalisées auprès des agriculteurs de la plaine des Triffa afin de connaître le type d'engrais utilisés, la quantité et la dose d'engrais consommés par hectare et le type de cultures. Les prélèvements ont été réalisés pendant le mois de mai 2003.

3. Méthode d'analyse

Pour chaque puits, on a déterminé la température (T), la conductivité électrique (CE), les teneurs en Na^+ , Cl^- , NO_3^- et la matière organique du sol. Les résultats sont présentés sous forme de cartes thématiques en utilisant le logiciel ARC GIS 8.2.

3.1. Nitrates

Le dosage des échantillons d'eaux prélevées est basé essentiellement sur l'azote nitrique. La méthode d'analyse utilisée consiste à réduire les nitrates en nitrites en présence de sulfate d'hydrazine (Rodier, 1980).

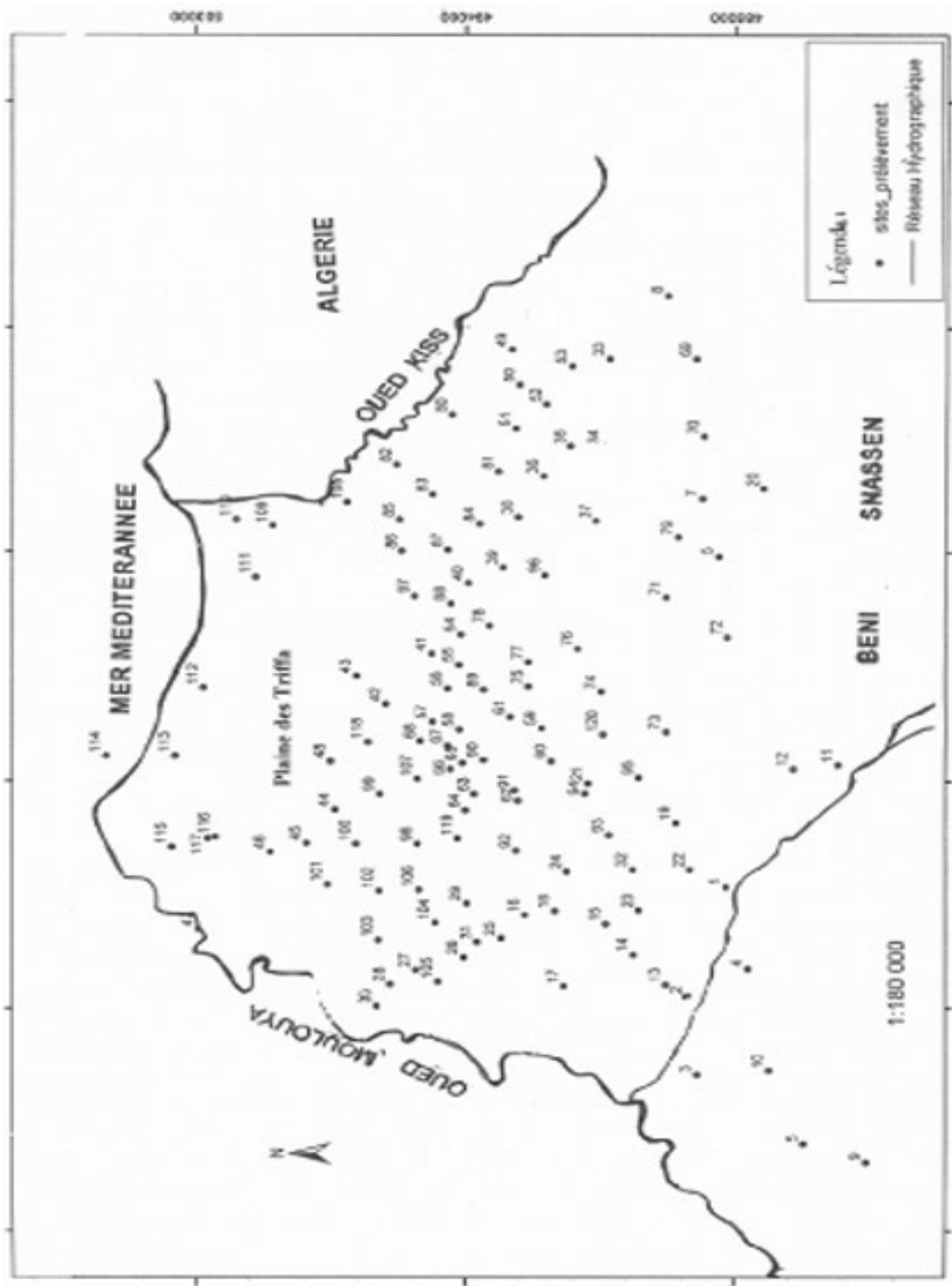


Figure 1. Carte de situation des sites de prélèvement

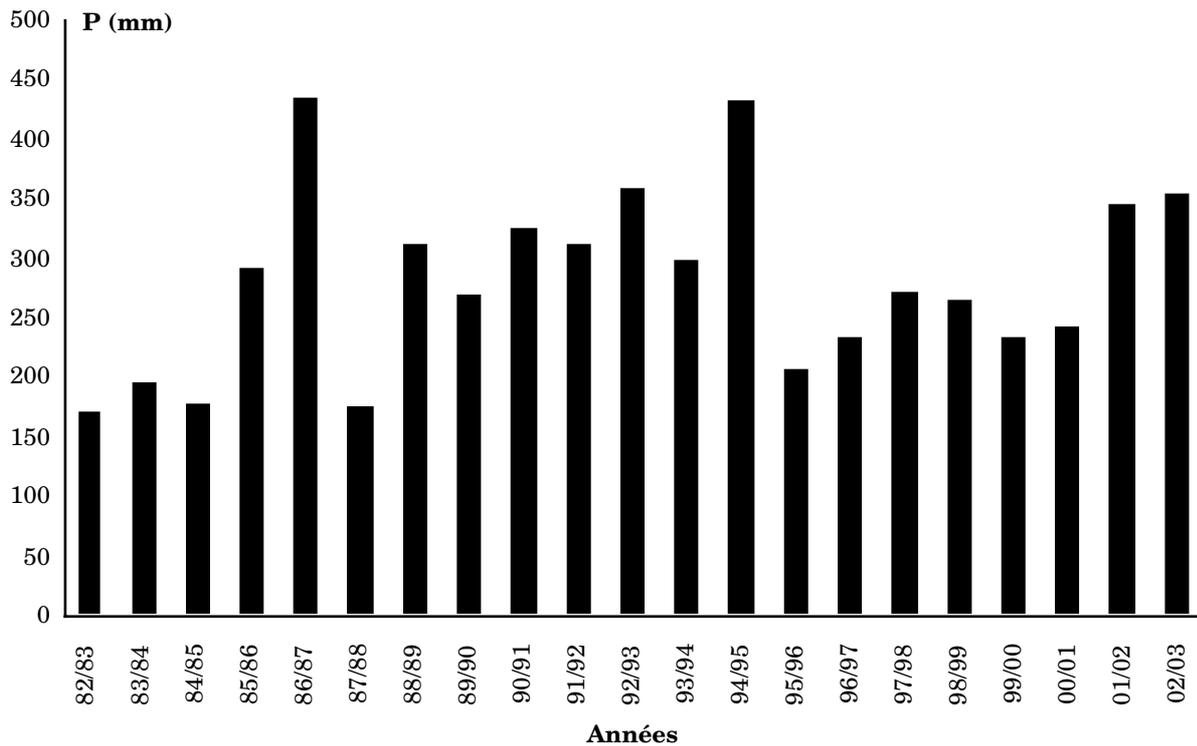


Figure 2. Pluviométrie moyenne annuelle de la station de Slimania (1982-2003)

3.2. Conductivité électrique

Elle est déterminée au laboratoire à l'aide d'un conductimètre de type consort P407. Les valeurs de la conductivité sont exprimées en ms/cm, corrigées à 25°C.

3.3. Sodium

Le sodium est dosé par spectrométrie de flamme. La lecture a été effectuée à une longueur de 585 nm (Rodier, 1980).

3.4. Chlorures

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution de nitrate d'argent (AgNO_3) en présence de chromate de potassium. La zone de virage est caractérisée par le passage de la couleur du jaune au rouge brique (Rodier, 1980).

3.5. Matière organique du sol

La méthode utilisée est celle de Walkley & Black qui consiste à oxyder le carbone de la matière organique par un mélange de bichromate de potassium en milieu sulfurique jusqu'à dégagement de CO_2 (Rodier, 1980).

RÉSULTATS & DISCUSSION

1. Aspect qualitatif des eaux souterraines

Les résultats obtenus pour la teneur en nitrates (NO_3^-), chlorure (Cl^-) et sodium (Na^+), nous ont permis de classer les puits selon les normes recommandées par l'OMS et la CEE (Tableau 1).

Le tableau 1 montre que la plupart des puits ont une eau impropre à la consommation humaine et dépassent largement les normes fixées par l'OMS

Tableau 1. Pourcentage des puits à différentes concentrations de NO_3^- , Cl^- et Na^+

Concentration C (mg/l)Nitrates (mg/l).....		Chlorures (mg/l).....			Sodium (mg/l)
	C<50	50<C<100	C>100	C<250	250<C<600	C>600	C>175
% des puits	54,16	41,66	4,18	8,7	31	60,3	93

et la CEE. En ce qui concerne les nitrates, 45,8% des puits ont une eau inconsommable pour la population rurale ($C > 50$ mg/l) dont 4,18% ont une teneur de 100 à 200 mg/l en NO_3^- . Cette forte concentration semble être liée à la faible profondeur du niveau de la nappe sous un sol perméable (Hrkal, 1992).

En effet, les zones les plus exposées à la pollution sont des terrains à vocation agricole soumis à une utilisation d'engrais azotés. Exception faite pour certains puits dont la teneur en nitrates s'est révélée importante malgré le niveau plus profond de la nappe phréatique (cas des puits P_4 , P_{16} , P_{17} , P_{64} , P_{70} et P_{82}) (Figure 3), l'explication la plus probable à cette constatation réside dans le fait que ces puits sont situés près des lieux d'élevage de poules, vaches et moutons, dont le lixivium de leurs déchets arrive directement dans ces puits.

Par ailleurs, les eaux de cette région sont généralement chlorurés-sodiques avec des tendances secondaires aux faciès chloruro-sulfate calcique et magnésien (Benkaddour, 1996).

L'impact de ces eaux chargées en sels sur la santé humaine, sur les rendements et sur la qualité des produits agricoles, n'est pas exclu. En effet, le report des valeurs de la conductivité électrique (CE) à 25°C et du coefficient d'adsorption du sodium (SAR) montre que:

- Suivant le SAR, les eaux sont distribuées entre classes de sodicité bonne (S_1) et très mauvaise (S_4).
- Suivant la CE, elles sont distribuées entre classes mauvaise (C_3) et très mauvaise (C_5) (Tableau 2).

Les pourcentages consignés dans le tableau 2 montrent que l'eau de la plaine des Triffa ne

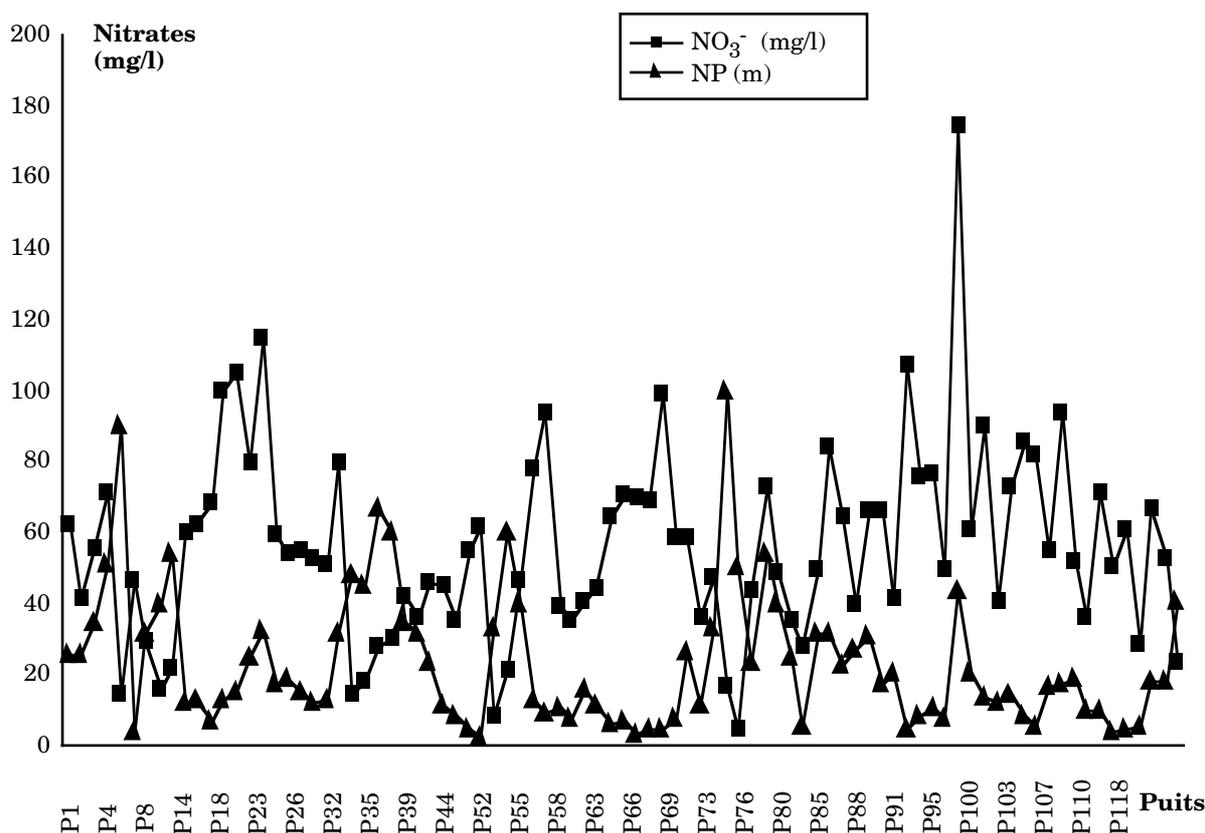


Figure 3. Variation de la concentration en nitrates et du niveau piézométrique dans la plaine des Triffa

Tableau 2. Pourcentage des puits appartenant aux différentes classes du diagramme du laboratoire de Richard (1954) in Hmamou (1983)

Classe	C_3S_1	C_4S_1	C_4S_2	C_5S_1	C_5S_2	C_5S_4
% des puits	20	58,34	0,83	15,84	4,16	0,83

convient généralement pas à l'irrigation, mais peut être utilisée sous certaines conditions: sol perméable, bon lessivage et plantes très tolérantes aux sels.

2. Contamination des eaux par les sels et les nitrates

2.1. Salinité

L'examen de la carte de répartition de la salinité (Figure 4) met en évidence l'existence de trois zones de degrés de salinité différentes.

2.1.1. Zone de très mauvaise qualité d'eau (salinité excessive)

Cette zone se situe au nord de la plaine. Les eaux de la nappe sont très salées (conductivité électrique dépassant 5 mS/cm). Cette zone est limitée au nord et à l'ouest par des marnes, ce qui rend cette partie de la nappe presque fermée où les écoulements sont difficiles. Par conséquent, les renouvellements d'eau ainsi que les dilutions des sels sont très faibles. De même, à l'est de la ville de Berkane, la conductivité électrique dépasse les 5 ms/cm. Dans cette zone, la forte salinité est expliquée par les écoulements très réduits ainsi que le contact des eaux avec les marnes du jurassique moyen.

2.1.2. Zone de mauvaise qualité d'eau (très forte salinité)

Elle se situe dans la région de Berkane, au centre de la plaine et à Jbel Draa Si Mimoun (Reggada). Elle est caractérisée par une très forte salinité. Cette dernière est expliquée par l'enrichissement en sels des eaux dans leur mouvement souterrain (sud-est vers nord-ouest) (Elmandour, 1996).

2.1.3. Zone de moyenne qualité d'eau (forte salinité)

Elle se situe le long de l'Oued Cherâa et à l'est de la plaine des Triffa. La classe de salinité est C₃. Elle est expliquée par le drainage sur les deux rives de l'Oued Cherâa et les forts écoulements qu'il provoque.

À l'est de la plaine, drainée par Oued Kiss, les renouvellements des eaux s'opèrent facilement (voir taches vertes sur la carte). Ces zones représentent généralement des sources d'eau dont la qualité est bonne.

2.2. Nitrates

Les résultats des analyses des prélèvements ont permis de localiser les différentes zones de concentrations en nitrates (Figure 5). Un net gradient croissant de nitrates s'observe généralement en allant vers les zones à vocation agricole donc à forte utilisation d'engrais azotés et à faible profondeur.

En effet, la teneur moyenne en nitrates est de l'ordre de 88,51 mg/l, variant de 2,32 à 174,70 mg/l. La teneur la plus élevée est celle qui a été trouvée dans l'eau du puits n°872/7 dont les coordonnées Lambert sont X: 780 150 et Y: 488 200 (région de Madagh). La valeur obtenue, qui est de l'ordre de 174,70 mg/l, est largement supérieure à la norme fixée par l'OMS (50 mg/l).

La grande variabilité spatiale constatée dans la plaine des Triffa s'explique en grande partie par l'hétérogénéité des différentes composantes du milieu physique de la région, d'une part, et par la diversité des contaminants qui sont liés aux activités agricoles, d'autre part.

En analysant la figure 6, on constate que 45,84% des puits prospectés présentent des teneurs en nitrates supérieures à 50 mg/l. De ces puits 5% ont une teneur en nitrates dépassant les 100 mg/l. Parmi les 54,16% restants, 17,5% ont une concentration variant de 40 à 50 mg/l, qui est proche de la norme. Ceci montre que la nappe de Triffa se trouve dans un état de dégradation avancé.

2.3. Causes possibles de la contamination des eaux souterraines par les nitrates

La pollution des eaux souterraines de la nappe par les nitrates serait essentiellement due aux apports excessifs de fertilisants azotés, aux applications répétées à de fortes doses de pesticides et de fumier, à l'intensification agricole, aux faibles profondeurs (sol-nappe) que connaissent certaines régions de la plaine, aux précipitations et à l'irrigation intensive.

2.3.1. Effet de l'occupation des sols sur la contamination de la nappe

L'intensification de l'agriculture dans la plaine des Triffa, et surtout dans les périmètres irrigués, a engendré une pollution croissante des eaux souterraines de la nappe phréatique.

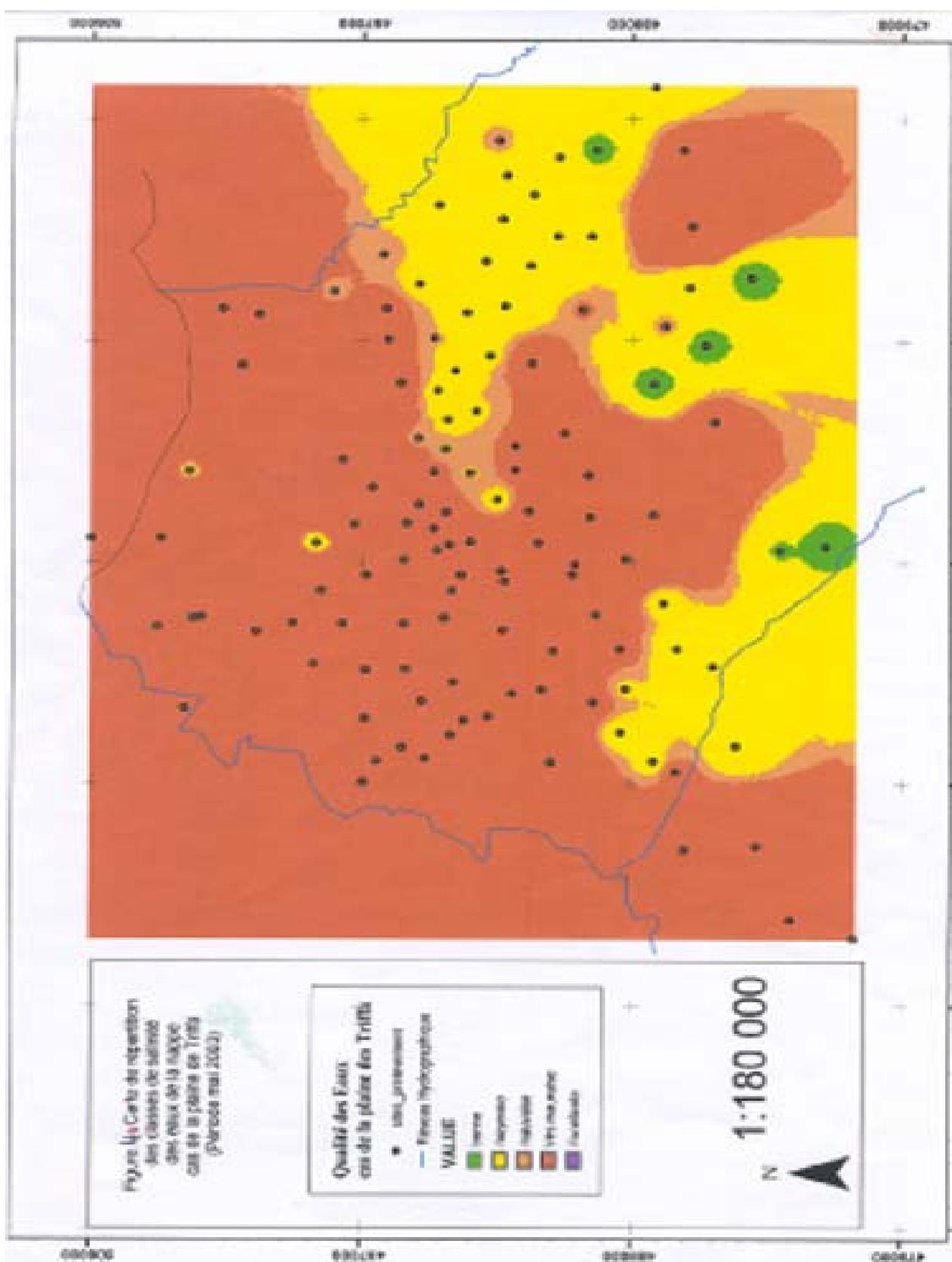


Figure 4. Carte de répartition des classes de salinité des eaux souterraines de la plaine des Triffa (mai 2003)

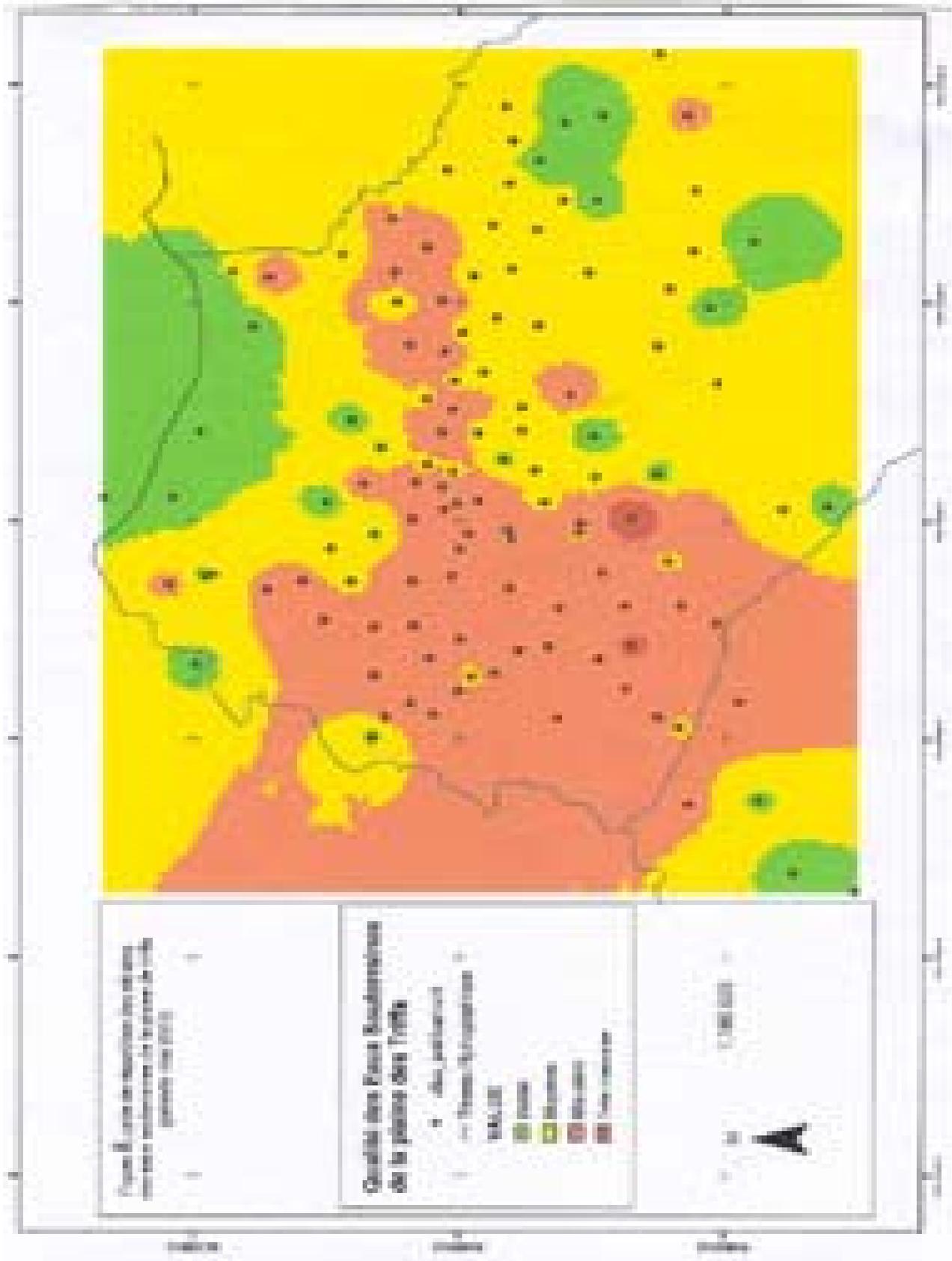


Figure 5. Carte de répartition des nitrates des eaux souterraines de la plaine des Triffa (mai 2003)

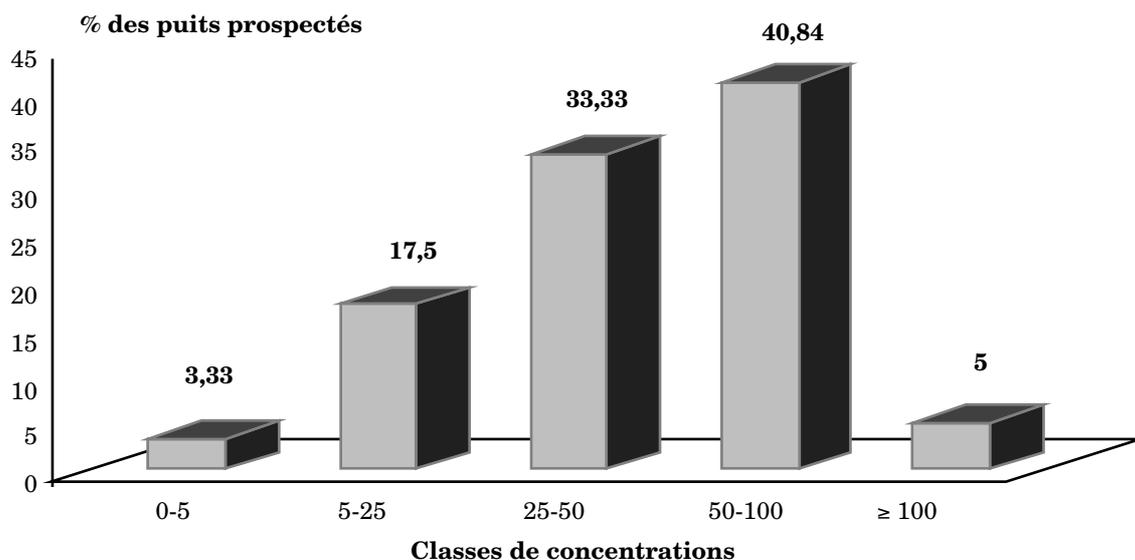


Figure 6. Distribution fréquentielle des teneurs en nitrate dans les eaux de la nappe phreatique de la plaine des Triffa

On peut, dans ce cas, avancer que les pratiques agricoles intensives représentent des causes importantes de la pollution diffuse.

En effet, la plaine des Triffa est caractérisée par la diversification des cultures avec la prédominance des plantations fruitières (33%), et notamment les agrumes, les céréales (31%), le maraîchage (30%), les cultures industrielles (2%) et les cultures fourragères (4%) comme le montre la figure 7.

De plus, le type de culture peut influencer la teneur en nitrates dans l'eau souterraine. Ainsi, les prélèvements d'eau effectués dans des puits situés dans les parcelles d'agrumes présentent les teneurs les plus élevées en nitrates par rapport aux autres parcelles occupées par d'autres types de cultures. En effet, les agrumes sont plus exigeants en engrais que les autres cultures (Tableau 3).

2.3.2. Effet de l'irrigation

L'irrigation intensive, comme celle qui est pratiquée dans la plaine des Triffa, n'est pas sans conséquences sur la qualité des eaux de la nappe. L'utilisation de l'eau de la Moulouya prise du barrage Machraa Hommadi (2 mg/l de NO_3^-), et celle de la nappe ayant une concentration moyenne de l'ordre de 88,51 mg/l de NO_3^- , pour l'irrigation a un effet négatif sur la dégradation des eaux de la nappe des Triffa en terme de nitrates.

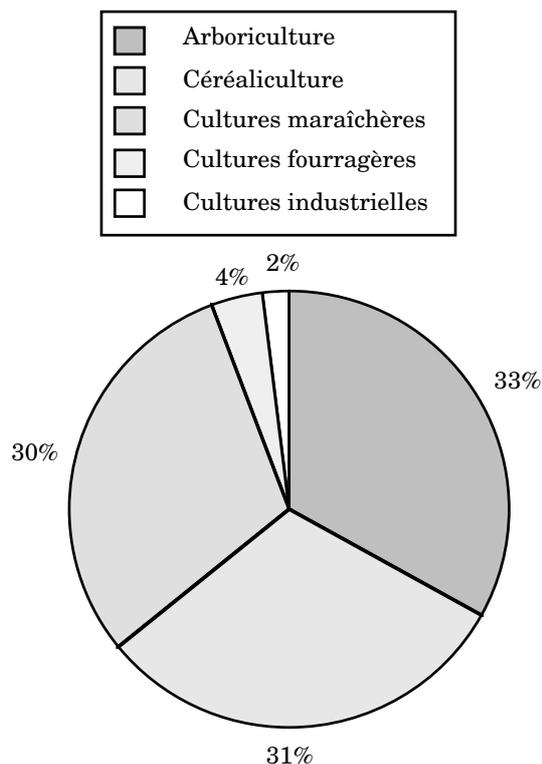


Figure 7. Distribution fréquentielle des cultures dans la plaine des Triffa durant l'année 2002/2003

Tableau 3. Moyennes annuelles des nitrates, de 14 puits situés dans des parcelles d'agrumes, et des précipitations (P)

Années	2001	2002	2003
NO_3^- (mg/l)	53,75	57,70	61,82
P (mm)	239,5	340,8	350,4

En outre, l'irrigation favorise la minéralisation de la matière organique et accroît l'azote potentiellement lixiviable. Ainsi, elle peut intervenir sur le drainage des éléments minéraux et provoquer l'entraînement de quantités considérables d'azote en profondeur (Stevenson & Neilson, 1990).

2.3.3. Effet de la profondeur

La remontée de la nappe près du sol (région de Madagh environ 2 m) est un facteur qui contribue à la dégradation de la qualité de l'eau.

Cet accroissement des taux de nitrates est corrélé négativement avec la profondeur ($R^2 = 0,6$; $p < 0,05$). Pour des profondeurs faibles, on a des concentrations en nitrates qui atteignent 174,70 mg/l (Cf. Figure 3). Par contre, pour des profondeurs importantes, on a des concentrations qui ne dépassent pas 20 mg/l. Par conséquent, les profondeurs faibles semblent favoriser la contamination des eaux de la nappe par les nitrates.

2.3.4. Effet des fertilisants

Les agriculteurs utilisent des doses élevées d'azote alors que les sols de la plaine des Triffa sont riches en phosphore et en potassium échangeable. Or, ces sols peuvent être dispensés, pendant quelques années, d'apport d'engrais phospho-potassiques (ORMVAM, 2002). D'ailleurs, la quantité d'azote lixivié augmente avec l'augmentation des doses d'engrais, d'une part, et le volume de drainage, d'autre part (Neilson *et al.*, 1979).

D'après les enquêtes réalisées sur le terrain, les principaux engrais utilisés dans la région d'étude se répartissent en engrais de fond et en engrais de couverture. Les engrais de fond sont NPK: 19-38-0 et 14-28-14. Les engrais de couverture sont principalement l'ammonitrate à 33,5%, le sulfate d'ammoniaque à 21% et l'urée à 46%.

La figure 8 montre une consommation excessive en engrais azotés surtout en ammonitrates à 33,5% (7793 t/an), en sulfates d'ammoniaque à 21% (5244 t/an) et en superphosphate à 18% (4455 t/an).

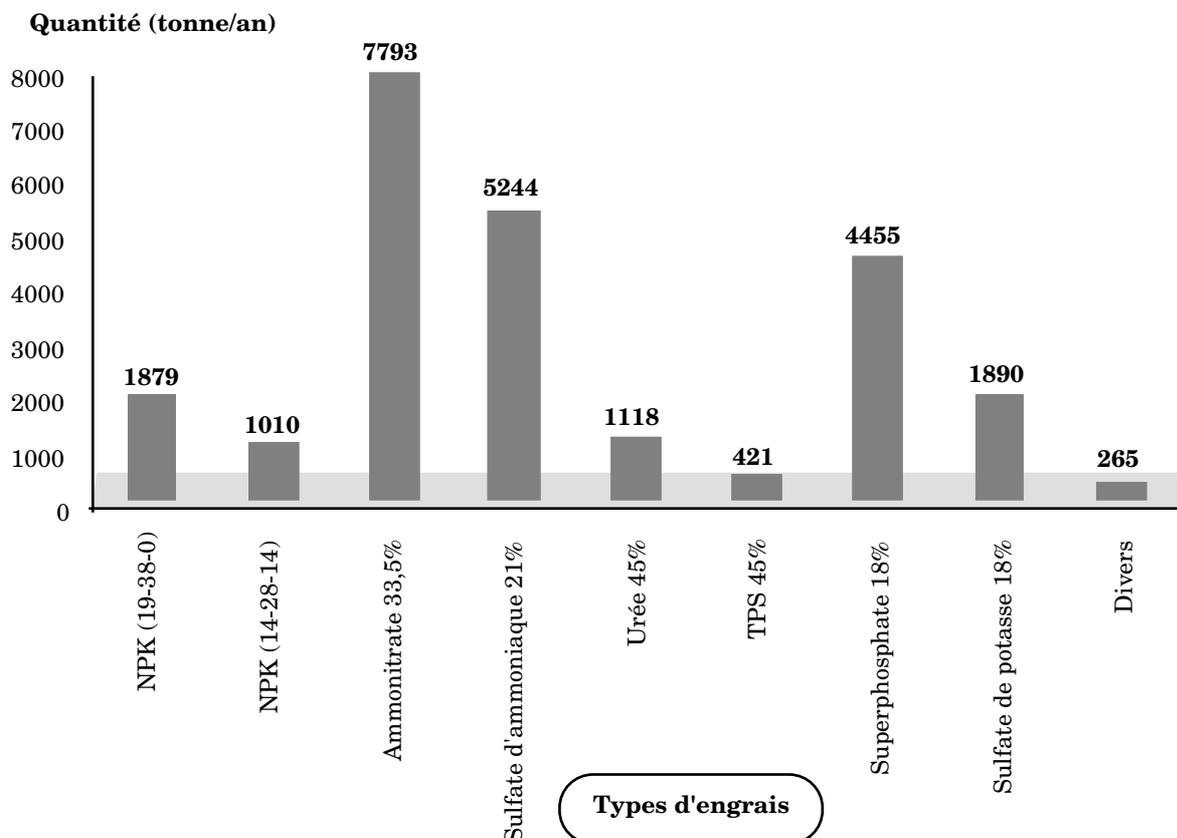


Figure 8. Types et quantités d'engrais consommés dans la plaine des Triffa (Période :2002/2003)

Ceci est expliqué, au niveau de la région, par l'évolution notable durant cette période des cultures connues par leur consommation en azote (cultures maraîchères, agrumes, betterave) au détriment des cultures peu consommatrices d'azote comme les céréales et les légumineuses.

De plus, les doses d'engrais recommandées par l'office régional de la mise en valeur agricole de la Moulouya pour les différents types de cultures ne sont pas respectées par les agriculteurs (ORMVAM, 2002).

2.3.5. Effet des précipitations

Dans le but d'étudier l'effet des précipitations sur la variation des nitrates dans les eaux de la nappe, on s'est basés sur une étude interannuelle (2001, 2002 et 2003) des nitrates dans 14 puits répartis le long de notre zone d'étude. Les données 2001 et 2002 proviennent du laboratoire de l'agence hydraulique du bassin de la Moulouya dans le

cadre de leur suivi annuel, alors que celles de 2003 ont été réalisées par nous-mêmes sur les puits prés-cités.

On note une augmentation d'une année à l'autre des moyennes annuelles des nitrates (NO_3^-) allant de 53,75 mg/l en 2001 à 61,82 mg/l en 2003 (Tableau 4).

Cet accroissement des taux de nitrates est corrélé négativement avec la pluviométrie ($R^2 = 0,7$, $p < 0,05$). En effet, la figure 9 montre que, dans tous les cas, on observe des teneurs en nitrates faibles suite à une forte pluviométrie et des valeurs importantes pendant l'étiage. Dans la mesure où l'alimentation de la nappe est faite exclusivement par les pluies, on pourrait dire que lors de la saison humide, les précipitations efficaces s'infiltrant vers la nappe sont moins chargées en nitrates et provoqueraient un effet de dilution. En période sèche, l'irrigation des cultures maraîchères est intense si bien que la partie des eaux transitant

Tableau 4. Répartition des sols en fonction de leurs teneurs en matière organique

MO*	Très pauvre	Pauvre	Moyennement pauvre	Riche	Très riche
N	0,7%	0,7-1,5%	1,5-3%	3-6%	> 6%
% des sols/MO	0	4	42	49	5

*MO: matière organique

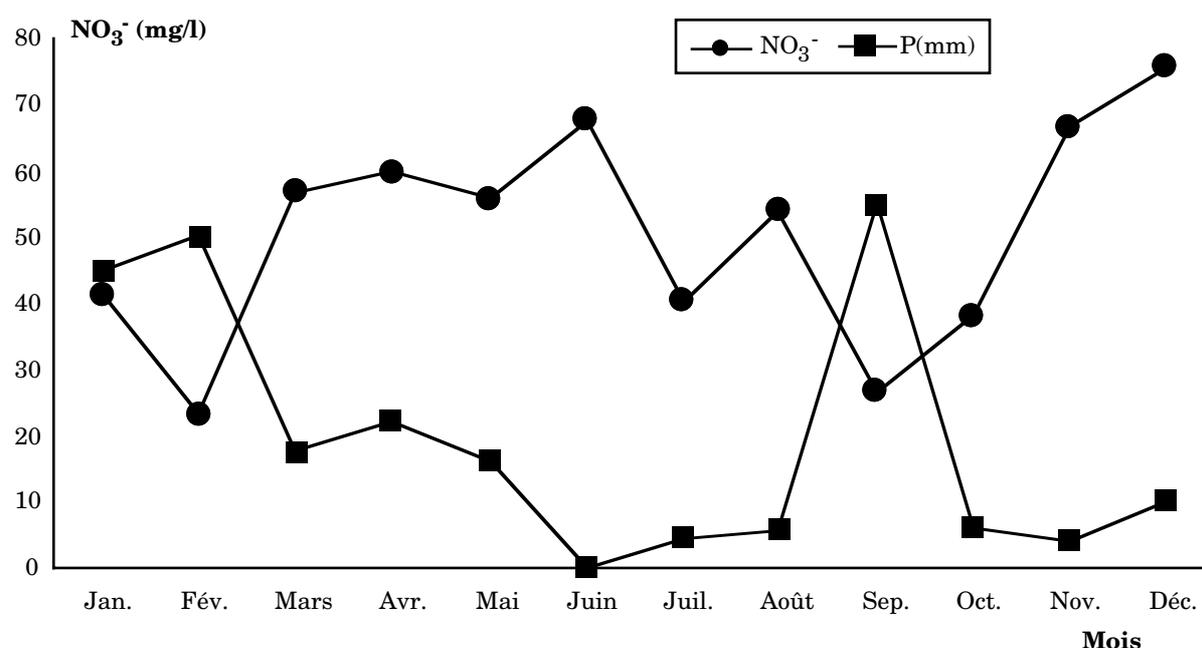


Figure 9. Variation de la concentration en nitrate en fonction des précipitations durant l'année 2003 (ORMVAM, 2003)

vers la nappe entraîne une fraction non négligeable de l'azote et tend à concentrer les eaux souterraines en nitrates.

2.3.6. Effet de la matière organique

L'effet de la matière organique sur la percolation d'azote en profondeur a été suivi dans 96 prélèvements du sol. Selon les normes utilisées par la direction de protection des végétaux (DPV), les sols de la plaine sont classés en fonction du pourcentage de leur matière organique (Tableau 4).

D'après ces données, on note que 96% des sols sont moyennement pauvres à très riches en matière organique. Une bonne partie de l'azote de la nappe pourrait avoir une origine organique.

Par ailleurs, l'azote minéral du sol proviendrait de la minéralisation de la matière organique. Celle-ci a une vitesse de dégradation très élevée du fait de la présence de conditions optimales de la minéralisation (Benkaddour, 1996).

CONCLUSION

Les résultats de l'étude hydrogéologique et géochimique des eaux souterraines de la plaine des Triffa ont montré que la majorité des eaux de la nappe sont impropres à la consommation humaine. Les teneurs en nitrates et en sels dépassent largement les normes de potabilité et de tolérance de certaines plantes aux sels.

Plusieurs facteurs, comme la lithologie de l'aquifère exploité, l'intensification de l'agriculture, l'épandage excessif des engrais, les applications répétées de fumier, l'irrigation et les pompes excessives, la pluviométrie et les faibles profondeurs de la nappe par rapport au sol, sont responsables de la pollution des eaux de la nappe par les nitrates et les sels.

En outre, une pollution nitrique ponctuelle peut avoir lieu autour des villes (Berkane, Ahfir,...) et des villages (Reggada, Madagh, Attamna,...) suite aux lixivia des dépôts d'ordures ménagères et aux eaux usées déversées dans les cours d'eau de la région (Oued Cherâa, colature de Aïn Reggada,...).

RÉFÉRENCES CITÉES

Aghzar N, Berday H, Bellouti A & Soudi B (2001) Pollution nitrique des eaux souterraines au Tadla (Maroc). *Rev Sci Eau* 15 (2): 459-492

Benkaddour R (1996) Contribution à l'étude de la salinité et de la pollution nitrique des eaux souterraines de la plaine des Triffa (basse Moulouya). Thèse de 3^{ème} cycle ès-sciences, Université Mohammed 1^{er}, Oujda, 100 p.

DRPE (1995) Reconnaissance par prospection électrique de la plaine des Triffa. Dossier 93 173 0 165. Marché 75/93 DRPE. 20 p.

Elmandour A (1996) Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Triffa: salinisation et modélisation. Thèse de doctorat ès-sciences, Université Mohammed 1^{er}, Oujda, 200 p.

Hmamou EL.K (1983) La nappe phréatique des Triffa: Qualité chimique des eaux. Rapport d'activité annuel. 20 p.

Hrkal Z (1992) Les nitrates dans les eaux souterraines de la Bohème du N. *Hydro* 3: 117-143

Moussaoui A (1994) Pollution nitrique actuelle et vulnérabilité des eaux souterraine de Mnasra. Mémoire de 3^{ème} cycle agronomie, Institut Agronomique et Vétérinaire II, Rabat, 120 p.

Neilson DR, Simmons CS & Biggar JW (1979) Flux of nitrate from a spatially variable field soil. P.f. Patt Ed nitrate in effluents from irrigated lands. Rep. To Natl. Sci. Fondation, May 1979. National Technical Information service. Spring field, Va. pp. 487-501

Neyroud JA & Vez A (1981) La fumure azotée du blé, essai de prévision de doses. *Revue Suisse d'Agric* 13(1): 7-13

Obatolu B (1986) Étude comparative de l'efficacité de deux sources d'azote sur la betterave sucrière (*Beta vulgaris* L) et la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L). *Fert Agric* 91: 3-9

Office Régional de la Mise en Valeur Agricole de la Moulouya (ORMVAM) (1993) Rapport d'activité annuel. Royaume du Maroc, MARA, 202 p.

Office Régional de la Mise en Valeur Agricole de la Moulouya (ORMVAM) (2002) Rapport d'activité annuel. Royaume du Maroc, MARA, 202 p.

OMS (1980) Critère d'hygiène de l'environnement. Nitrates, Nitrites et composés N-Nitroso

Rodier J (1980) L'analyse de l'eau, 6^{ème} éd. Dunod, Paris, 1136 p.

Stevenson DS & Neilson GH (1990) Nitrogen additions and losses to drainage in orchard-type irrigated lysimeters. *Can J Soil Sci* 70: 11-19