

Situation actuelle de la pollution nitrique des eaux souterraines dans le périmètre irrigué des Doukkala

M. Rahoui⁽¹⁾, B. Soudi⁽²⁾ & F. Id Ahmad⁽²⁾

⁽¹⁾Université Mohammed V, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, Rabat.

⁽²⁾Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département des Sciences du Sol, Rabat.

1. INTRODUCTION

Au Maroc, la disponibilité en eaux, jusqu'à présent très limitée, risquerait de diminuer fortement à long terme en raison des périodes de sécheresses prolongées. En effet, les estimations prévisionnelles effectuées par la banque mondiale (1994, cités par Berdaï, 1997) ont déclenché la sonnette d'alarme dans la mesure où les ressources hydriques renouvelables par habitant devraient diminuer de moitié en passant de 800m³ en 1990 à 400m³ en 2020, classant ainsi le Maroc dans la catégorie des pays en situation de «Stress hydrique chronique».

La détérioration de la qualité des ressources en eau constitue une menace aussi importante que celle liée au déséquilibre quantitatif. La pollution continue à réduire le bilan global des ressources hydriques et engendre un risque pour la santé humaine surtout lorsqu'il s'agit de la consommation des eaux de puits dans le milieu rural où la majorité de la population s'approvisionne directement de l'aquifère (Id Ahmad, 1998).

Au Maroc, l'agriculture intensive en zones irriguées est pour sa part responsable de la pollution diffuse des eaux souterraines (Soudi et al, 1999). Effectivement, en raison des avantages fiscaux accordés aux agriculteurs depuis 1985, l'intensification s'est fortement accentuée et les périmètres irrigués, qui ne représentent que 12% de la superficie agricole utile (SAU) totale du pays, consomment à eux seuls plus de 50% des intrants fertilisants à l'échelle nationale (Hamdaoui, 1996). En plus de l'emploi intensif, voire abusif, des intrants agrochimiques, cette intensification s'accompagne aussi d'une mauvaise maîtrise de l'irrigation et du drainage des parcelles cultivées (Soudi et al, 1999). Du fait de son caractère diffus, cette pollution reste difficile à résorber; son évaluation et son traitement posent des problèmes particulièrement ardu.

D'après la DRPE (1998), la pollution par les nitrates constitue l'un des facteurs majeurs de dégradation de la qualité des eaux souterraines au Maroc. En effet, selon le rapport de la DRPE sur l'état de la qualité des ressources en eau au Maroc pour l'année 1995-1996 (DRPE, 1998), 32% des eaux analysées des différentes nappes superficielles dépassent la valeur maximale admissible pour l'eau potable fixée à 50mg/l et 57% des cas dépassent la valeur maximale recommandée qui est de 25mg/l. Ce même rapport qualifie les eaux de la nappe des Doukkala comme étant de qualité mauvaise (70% des puits contrôlés) à moyenne. Cet état de qualité est dû à la forte minéralisation des eaux et aux teneurs en nitrates qui ont dépassé dans 53% des puits contrôlés la valeur maximale admissible pour l'eau potable.

Le présente communication se propose d'appréhender la qualité des eaux souterraines de la nappe phréatique des Doukkala à travers une caractérisation de la situation actuelle de la salinité et de la pollution nitrique qui matérialisent les principaux processus de la détérioration de la qualité des eaux souterraines déjà manifestés dans les Doukkala (Souidi et *al*, 1999).

2. MATERIEL ET METHODES

Pour la présentation du périmètre irrigué des Doukkala, nous renvoyons à l'article sur la situation actuelle de la qualité des sols et des eaux dans le périmètre. Selon la carte des systèmes aquifères du Maroc (Direction de l'Hydraulique, 1976), Le sous-sol des Doukkala renferme un aquifère multicouche à nappe supérieure libre et nappe(s) inférieure(s) captive(s) continues. Selon cette même carte, ces nappes soit n'ont aucun échange d'eau entre elles par drainance verticale, soit communiquent par une drainance non significative ou dont le sens est inconnu. Il existe aussi des nappes perchées formées dans les parties superficielles les plus sableuses des limons alluviaux récents, l'imperméable étant constitué par les limons anciens sous-jacents (Ferré & Ruhard, 1975).

Les sites d'échantillonnage des eaux souterraines ont été choisis sur la base d'un système de maillage de la région d'étude. En effet, des cartes topographiques au 1/50000 des Doukkala ont été maillées à raison d'un puits par 784 ha, tout en essayant de situer au moins 1 puits au sein de chaque maille et en tenant compte qu'il soit le plus possible près d'un site d'échantillonnage du sol. Il est à noter qu'une densification des points de prélèvement a eu lieu dans les zones à risque (rejets des eaux usées, rejets des sucreries, etc.). Cette opération s'est soldée par le choix de 80 puits répartis dans les principaux casiers du périmètre irrigué bas service des Doukkala (Figure 1).

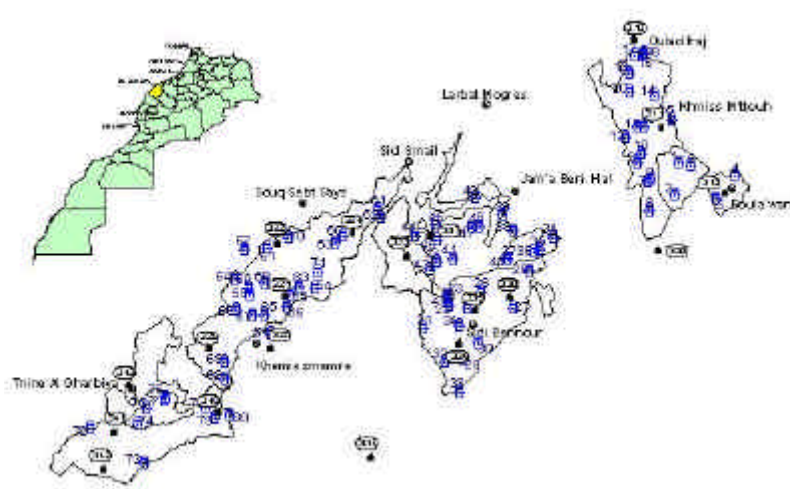


Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage des eaux souterraines dans le périmètre irrigué des Doukkala

Chaque puits a subi des analyses de ses paramètres de qualité *in situ*. Pour le choix des indicateurs de qualité, on a retenu ceux qui sont en relation directe avec les problèmes réels que connaissent les eaux souterraines de la nappe des Doukkala: salinité et pollution nitrrique. Les paramètres concernés sont alors: la conductivité électrique, les nitrates et la bathymétrie.

Pour pouvoir établir des cartes thématiques spatiales des paramètres analysés, les résultats des analyses ont été intégrés dans un Système d'Information Géographique (SIG) et ont subi une spatialisation selon la méthode d'interpolation du krigeage universel. Les normes d'interprétations sont celles de la Direction de Recherche et de Planification de l'Eau (DRPE).

Il est important de noter que la campagne d'échantillonnage et d'analyse s'est déroulée durant le moi de mai 1998.

3. RESULTATS

. Bathymétrie

Le caractère moyennement profond de la nappe phréatique des Doukkala est mis en évidence par la carte des isobathes de la figure 2. en effet, les niveaux bathymétriques se trouvent, en général, à des profondeurs moyennes, sauf par endroit où le niveau dépasse 60 m de profondeur.

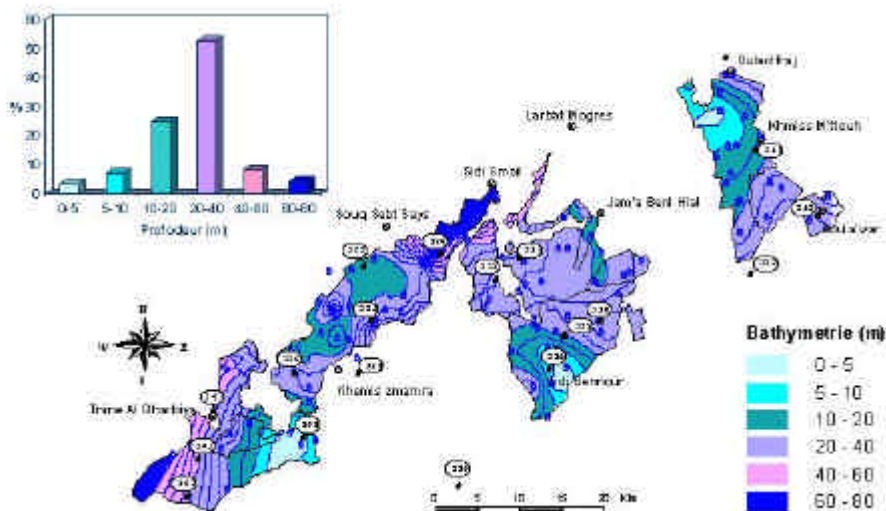


Figure 2: Carte bathymétrique de la nappe phréatique au niveau du périmètre irrigué bas service des Doukkala (état de mai 1998)

La distribution fréquentielle des différents niveaux bathymétriques révèle que pour la période où les mesures ont été effectuées (mai 1998), 35% des puits recensés ont des profondeurs inférieures à 20 m, 52,5% sont entre 20 et 40 m et seuls 12,5% dépassent 40 m. L'examen de la carte des isobathes montre les deux caractères majeurs suivants:

- Les niveaux bathymétriques les plus profonds sont enregistrés à proximité des grandes agglomérations. Ceci doit son explication en grande partie à la surexploitation des eaux de la nappe;
- Les endroits où la nappe est proche de la surface (bathymétrie inférieure à 5m) coïncident avec les zones qui présentent des sols affectés par la salinisation.

3.2. Conductivité électrique

Déjà en 1976, la carte des systèmes aquifères du Maroc considérait la nappe des Doukkala comme étant une nappe saline à très saline dont la qualité des eaux est très médiocre et impropre à tout usages.

Pour caractériser le niveau actuel de la salinité des eaux souterraines de la nappe phréatique des Doukkala, il a été procédé à la mesure de la conductivité électrique de ces eaux. En totale conformité avec la carte des systèmes aquifères du Maroc (Direction de l'Hydraulique, 1976), les analyses effectuées ont clairement montré que les eaux de la nappe phréatique des Doukkala sont salines. En effet, 77% des puits analysés renferment des eaux très fortement à fortement salines selon la classification de la FAO, le reste des puits étant de salinité moyenne (Figure 3).

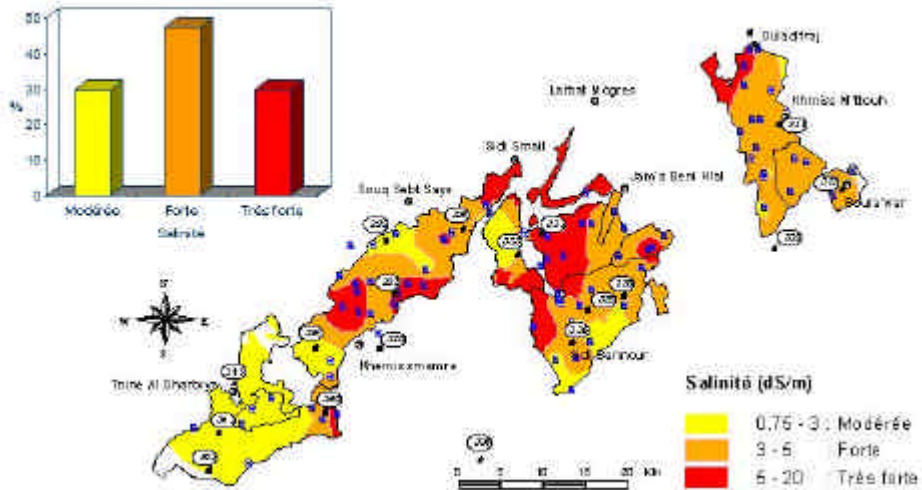


Figure 3: Salinité des eaux souterraines au niveau du périmètre irrigué bas service des Doukkala (état de mai 1998)

En terme de distribution spatiale, la carte de la figure 3 montre une variabilité très importante de la conductivité électrique (de 0.76 dS/m à 10.61 dS/m). Globalement, tous les casiers renferment des eaux fortement salines, notamment Sidi Smail, Faregh et Zemamra. Des zones où l'eau est légèrement saline (ne dépasse pas 3 dS/m) se répartissent en quelques îlots localisés au sud de Faregh, à l'Ouest de Tnine Gharbia et au sud de Sidi Bennour.

Les analyses statistiques ont montré qu'il n'existe pas de corrélation claire entre le taux de salinité des eaux souterraines et le niveau bathymétrique de la nappe, de ce fait il est improbable que le retour des eaux d'irrigation chargées en sels ait une contribution significative dans la salinisation des eaux de la nappe. Néanmoins la proximité de la nappe de la surface au niveau des CDA 310, 336 et 340 pourrait avoir une contribution aux très fortes teneurs mesurées en ces secteurs.

3.3. Pollution nitrique

Avant de caractériser l'état actuel de la pollution nitrique des eaux souterraines du périmètre irrigué des Doukkala, une étude de l'impact des activités agricoles sur la qualité de ces eaux a été réalisée. Cet impact a été élucidé à travers l'établissement d'un bilan de masse d'azote pour les différentes cultures et dans les différentes zones, et ce afin d'identifier les cultures et les zones qui contribuent le plus à cette pollution nitrique. Toutefois quelques observations s'imposent:

- L'occupation des sols est dominée par les céréales et la betterave sucrière avec 57% de la superficie cultivée. Dans les zones Bour, les cultures sont limitées aux céréales, légumineuses et fourrages;
- La superficie de culture de la betterave a augmenté de 35% sur les dix dernières années alors que les autres cultures n'ont pas beaucoup varié;
- Les quantités élevées d'engrais azotés apportés dépassent de loin les besoins des cultures, notamment les cultures rémunératrices: betterave et maraîchage (Tableau 1). Le déficit observé pour les cultures fourragères est compensé par les apports organiques.
- Les dates d'apports, qui coïncident avec l'hiver, ne correspondent généralement pas aux moments opportuns du cycle de croissance de la plante. Une fois les doses apportées excèdent les besoins de la culture, le processus de lixiviation de l'azote se déclenche.

Tableau 1: Besoins en azote et quantités d'azote minéral (N_{min}) apportées pour les différentes culture du périmètre irrigué des Doukkala.

Culture	Dose Moyenne (kg N_{min} /ha)	Besoins (kg N/ha)
Betterave	492.12	315
Blé	162	120
Luzerne	208.64	602
Bersim	246.59	516
Maraîchage		
Pomme de terre	398.18	100
Tomate	237.25	96

3.3.1. Calcul du bilan de masse d'azote

Dans le but d'évaluer la quantité d'azote lixiviable, le bilan de masse d'azote a été dressé. Cette méthode incluse pratiquement toutes les voies d'entrées et sorties d'azote dans le système sol-plante-atmosphère. Le bilan global s'exprime par la formule suivante:

$$N_0 + N_{IR} + N_P + N_{ENG} + N_F + N_{LEG} + N_M = N_R + N_{EXP} + N_{LIX} + N_{VOL} + N_{DEN}$$

- N_0 = Azote minéral initial dans le sol
 N_{IR} = Azote minéral apporté par les eaux d'irrigation
 N_P = Azote minéral apporté par la pluie
 N_{ENG} = Azote minéral apporté par les engrais
 N_F = Azote minéral du fumier
 N_{LEG} = Azote minéral fixé par les légumineuses

N_M	= Azote organique minéralisable
N_R	= Reliquat d'azote après la culture
N_{EXP}	= Azote exporté par la culture
N_{LIX}	= Azote lixivié
N_{VOL}	= Azote volatilisé
N_{DEN}	= Azote dénitrifié

La quantité d'azote lixivié est déduite comme suit:

$$N_{LIX} = S \text{ entrées} - (N_{EXP} + N_{VOL} + N_{DEN})$$

Le calcul des bilans de masses par type de culture et par exploitation a été établi moyennant le programme informatique N-Balance réalisé par Lahlou et Souidi (1997). Ce programme est en cours d'amélioration. La quantification des différents termes du bilan a été basée sur trois sources:

- Le dépouillement des enquêtes auprès de 152 agriculteurs Doukkali: N_{ENG} , N_F , N_{IR} et N_{EXP} ;
- Les résultats des analyses effectuées au laboratoire dans le cadre du projet: No et NM selon les types de sol et les précédents culturaux;
- Une base de données bibliographique intégrée au programme N-Balance (les différents types d'engrais et leurs teneurs en azote, les types de fumiers et leurs teneurs en azote et taux de minéralisation, les exportations pour chaque culture, l'azote fixé par les légumineuses, l'azote volatilisé selon le pH).

Le bilan par culture a montré que les cultures peuvent être classées dans un ordre décroissant en fonction du risque de pollution nitrique comme suit (figure 4):

Maraîchage > Betterave > Céréales > Fourrages

Du fait de leur incapacité de valoriser les fortes doses qu'elles reçoivent durant leur cycle de croissance, les cultures maraîchères génèrent des excès d'azote très importants. D'un autre côté, étant donné que la betterave revêt un intérêt économique pour les agriculteurs, ces derniers ne s'attardent pas à apporter sans le moindre contrôle des quantités parfois trop élevées d'engrais et de fumier dans l'espoir d'avoir de bons rendements, négligeant le fait que cette culture présente un faible pouvoir d'exportation. Les cultures fourragères présentent un risque faible puisque même si les apports sont très importants, ces cultures peuvent exporter des quantités très élevées.

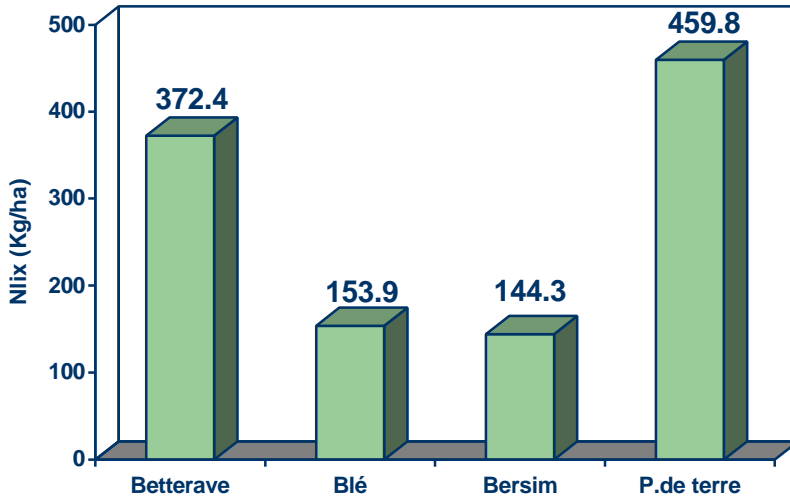


Figure 4: Quantités d'azote potentiellement lixiviable par culture

Le bilan par casier et sachant que la betterave sucrière génère des quantités importantes d'azote lixivié, les casiers ayant la plus grande superficie en cette culture seront les plus risqués à être touchés par la pollution nitrique, à savoir les casiers de Sidi Bennour et Zemamra (Figure 5). La quantité d' N_{PL} à l'échelle du périmètre avoisine 225 kg/ha.

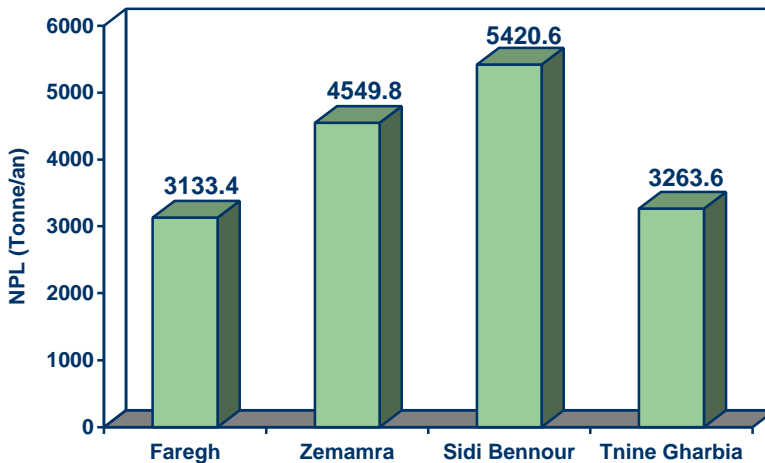


Figure 5: Quantités d'azote potentiellement lixiviable par casier

A l'échelle des Centre de Développement Agricole (CDA), ce sont les CDA 321, 324, 333, 312, 330 et 343 qui montrent les plus fortes quantités d' N_{PL} .

3.3.2. Autres sources d'azote

Parallèlement à la fertilisation minérale, on assiste aux Doukkala à une utilisation assez importante du fumier notamment pour les cultures fourragères et maraîchères. Ces apports azotés organiques, issus des activités d'élevage, sont généralement négligés malgré leur contribution très significative dans le bilan de masse d'azote.

La majorité des CDA (76%) apportent des quantités qui varient entre 300 et 800 tonne/an, notamment les CDA des casiers Faregh et Zemamra. A l'échelle des casiers, les apports organiques représentent annuellement 33%, 32.6%, 41.2% et 37.4% de l'apport d'azote total respectivement dans les casiers Faregh, Zemamra, Sidi Bennour et Tnine Gharbia, ce qui n'est pas négligeable (Tab. 10.4).

Tableau 2: Quantités d'azote organique appliquées dans les casiers du périmètre

Casier	N_{org} (kg/ha)	N_{org} (tonne/an)
Faregh	183.208	2172.196
Zemamra	153.445	2788.612
Sidi Bennour	206.973	4869.106
Tnine Gharbia	181.209	2340.192

D'un autre côté, l'industrie sucrière déverse des rejets liquides et des eaux boueuses vers les égouts en période estivale après la récolte de la betterave.

3.3.3. Identification des zones à grand impact négatif sur la qualité des eaux souterraines

Afin d'identifier les zones qui méritent une surveillance particulière vis à vis de la qualité des eaux souterraines, les impacts des activités agricole et d'élevage ont été combinés, ce qui a permis de dresser la liste des CDA qui semblent contribuer de manière prépondérante à la détérioration de la qualité des eaux souterraines, plus particulièrement à la pollution nitrique. Les CDA concernées sont 310, 311, 320, 321, 340 et 343. Cette liste a été établie en considérant les effets des apports azotés de type minéral et organique et des quantités d' N_{LIX} .

Au terme de ce chapitre, on peut conclure que la contribution des activités agricole à la pollution nitrique des eaux souterraines se chiffre aux alentours de 225 kg d' N_{LIX} /ha. Il est clair que le transfert de cette quantité vers la nappe subira une première dilution dans les eaux infiltrées et une seconde dans le réservoir de

l'aquifère. Toutefois, un excès continu se traduirait par une augmentation du risque de la pollution.

3.3.4. Etat de la pollution nitrique

Globalement, pour la période de mesures qui s'est effectuée durant le mois de mai 1998, les eaux de la nappe phréatique des Doukkala sont en deçà de la valeur maximale admissible pour leur utilisation à la consommation humaine. En effet, 82,73% des puits analysés montrent des valeurs inférieures à 50 mg/l de nitrates avec un maximum de 99mg/l. Les concentrations qui dépassent les normes de potabilité sont localisées dans des zones bien limitées (Figure 6).

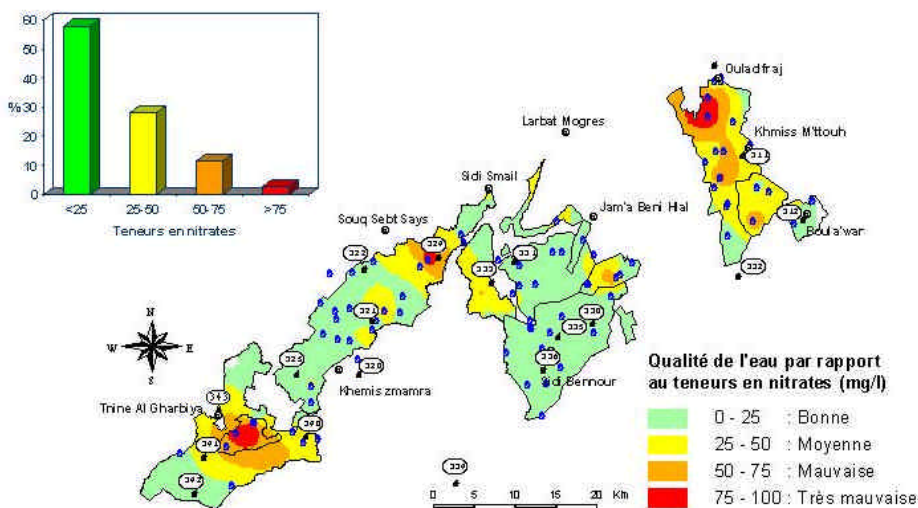


Figure 6: Pollution par les nitrates des eaux souterraines du périmètre irrigué bas service des Doukkala

- au nord et au centre du casier Faregh (CDA 310 et 311);
- au nord du casier Zemamra (CDA 324);
- au centre de Sidi Smaïl extension (CDA 330)
- la zone médiane de Thine Gharbia (entre les CDA 340, 341 et 343).

La distribution fréquentielle des teneurs en nitrates à l'échelle des casiers montre que la situation la plus risquée s'annonce au niveau du casier Faregh où 40% des mesures sont comprises entre 25 et 50 mg/l et 20% sont supérieures à 75 mg/l, notamment dans la région d'Oulad Fraj.

Dans le casier de Tnine Gharbia, les eaux souterraines sont d'une bonne qualité dans 66% des cas (concentration inférieure à 50mg/l) et d'une qualité mauvaise dans 22% des cas. Le même constat est enregistré pour le casier des Zemamra où la majorité des puits renferment des eaux dont les teneurs en nitrates sont inférieures à 25mg/l. D'un autre côté, les casiers de Sidi Bennour et de Sidi Smaïl se sont révélés être les seuls casiers épargnés de toute pollution nitrique de leurs eaux souterraines, et ce malgré les fortes doses apportées et lixiviées d'azote notamment au niveau du CDA 330.

Il est vrai que les apports exagérés d'engrais azotés sont majoritairement responsables de cet état de pollution par les nitrates des eaux souterraines des Doukkala, cependant, il ne faut pas négliger les rejets des activités industrielles (les rejets des sucreries notamment) et les rejets des eaux urbaines qui sont parfois utilisées sans traitement pour l'irrigation des sols Bour. Toutefois, et malgré le choix de points de mesure à l'aval de ces sources de pollution, il n'a pas été enregistré de concentrations importantes en nitrates. Ceci tient à l'explication essentiellement au fait que la campagne de mesure s'est effectuée après la saison pluvieuse (effet de dilution) et avant la période de récolte et d'usinage de la betterave sucrière qui s'opère uniquement en période estivale.

Pour tenter d'expliquer cet état de pollution, la figure 7 montre la superposition des cartes de la répartition des teneurs en nitrates et des courbes isobathes ainsi que les CDA ressortis par le bilan de masses comme les générateurs des quantités d' N_{LIX} les plus importantes.

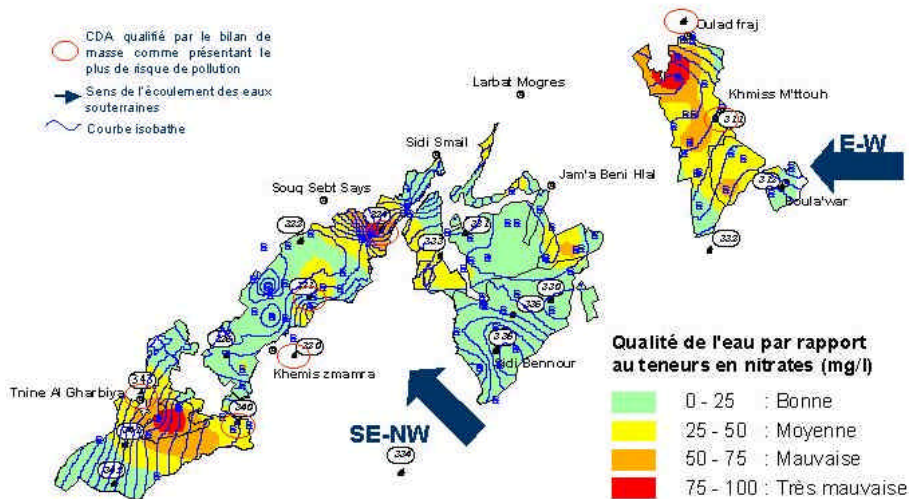


Figure 7: Combinaison de la répartition des nitrates, courbes isobathes et CDA

L'examen de cette figure a permis de relever les observations suivantes:

- En comparant les profondeurs de la nappe et la répartition spatiale des nitrates, il est constaté que les zones où la nappe est peu profonde présente en général des concentrations en nitrates relativement élevées; la zone non saturée étant vraisemblablement peu épaisse pour retarder le lessivage des nitrates. Ceci est particulièrement le cas du CDA 310 (nord du casier Faregh) qui malgré le fait qu'il n'est pas ressortit par le bilan de masse de l'azote comme présentant un risque de pollution, la proximité de la nappe de la surface (entre 0 et 10 m) contribue efficacement dans sa propre pollution diffuse par les nitrates. Toutefois, il a été enregistré des concentrations fortes en nitrates dans des secteurs où le niveau d'eau est relativement profond: c'est le cas du CDA 324.
- Contrairement aux attentes, le casier Sidi Bennour ne présentait pas, lors de cette campagne de mesure, de pollution nitrique malgré les quantités importantes d' N_{LIX} et malgré la faible profondeur de la nappe. L'explication de cet état des lieux tiendrait à deux facteurs essentiels: la nature de la zone non saturée qui empêcherait le lessivage des nitrates et/ou la migration des eaux polluées vers l'aval hydraulique de la nappe en empruntant le sens général de l'écoulement qui est SW-NE. Ce dernier facteur pourrait aussi contribuer dans la concentration en nitrates observée au nord du casier Faregh (CDA 310);
- Pour pouvoir faire une comparaison, le réseau d'échantillonnage comprend aussi des puits implantés en des zones Bour. La quasi-totalité de ces puits présentent une bonne qualité quant à leurs teneurs en nitrates. Néanmoins, trois puits localisés dans la zone médiane non irriguée du casier Tnine Gharbia (puits n° 74, 75 et 77) montrent des teneurs très importantes qui dépassent 50mg/l. Ceci pourrait probablement être du au fait que cette zone présente une sorte de réceptacle des eaux pour les régions irriguées environnantes, notamment les CDA 340 et 343.

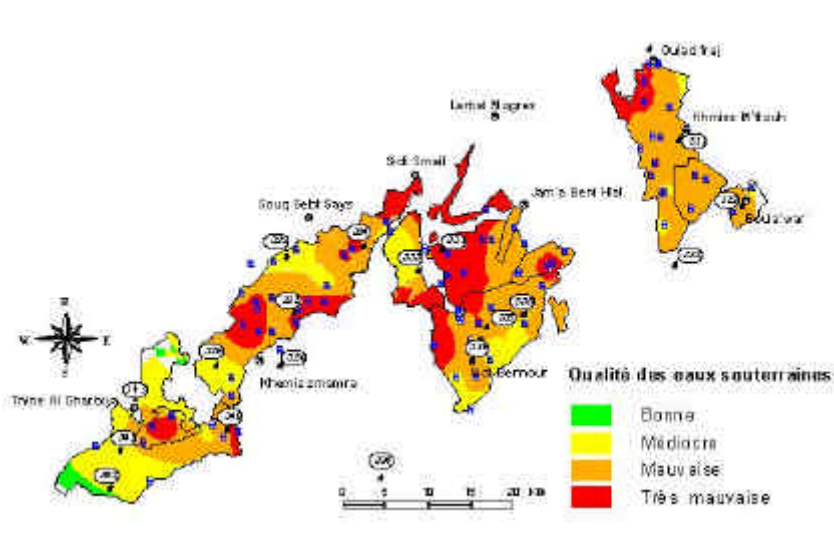
3.4. Evaluation de la qualité générale des eaux souterraines des Doukkala

Les enquêtes auprès des agriculteurs ont montré que l'utilisation des eaux souterraines est dictée principalement par son état de salinité. En effet, des eaux moyennement salines continuent toujours à être utilisées dans 54% des cas, alors que les eaux de très mauvaise qualité quant à leur concentration en nitrates sont utilisées dans 100% des cas. Ce constat nous a poussé à réaliser une carte pour classifier les eaux de la nappe des Doukkala en combinant les mesures de la salinité et des teneurs en nitrates, l'objectif étant de délimiter les zones les plus polluées et les zones "saines" en vue d'une utilisation plus rationnelle aussi bien pour la boisson que pour l'irrigation.

Pour ce faire, la méthode basée sur le principe de la contrainte maximale a été adoptée. Ainsi, la classe finale de la qualité de l'eau souterraine est définie par la contrainte (salinité ou teneurs en nitrates) la plus pénalisante. La carte est, donc,

réalisée suite à la superposition de la carte de salinité (Figure.3) et la carte des nitrates (Figure 6) moyennant le SIG.

La carte résultante de la qualité générale des eaux de la nappe des Doukkala (Figure 8) montre que ces eaux sont d'une qualité mauvaise à très mauvaise dans la grande majorité des puits analysés, soit 75.53% des cas, le reste étant classés de qualité moyenne. Ce résultat ne fait que renforcer l'état de la qualité de cette nappe relevé par la DRPE pour l'année 1995-1996. En effet, cet organisme a classé la nappe des Doukkala comme une nappe à mauvaise qualité (DRPE, 1998). Cet état est principalement dû à la forte salinité des eaux de cette nappe. La pollution nitrique vient en second lieu.



4. CONCLUSION

La présente étude s'est intéressée au diagnostic de l'état actuel de la pollution nitrique des eaux souterraines au niveau du périmètre irrigué bas service des Doukkala. Les points les plus saillants de cette étude sont:

- Apports abusifs des engrais azotés et du fumier organique;
- Le maraîchage et la betterave sont les cultures qui présentent le plus de risque vis-à-vis de la pollution nitrique des eaux souterraines;
- Les CDA qui contribuent significativement à la pollution nitrique sont: 310,311,320,321,340 et 343;
- La carte de répartition spatiale des teneurs en nitrates montre que la pollution nitrique est relativement locale pour certaines régions, cette répartition est largement liée à la bathymétrie, le sens de l'écoulement des eaux souterraines et les quantités d'azote lixivié;

En conclusion, il y a matière à confirmer l'existence d'une contribution importante des pratiques agricoles intensives dans la pollution nitrique des eaux souterraines de la nappe des Doukkala, et plus particulièrement la fertilisation azotée. Cependant, le calcul des quantités d' N_{LIX} ne peut pas à lui seul expliquer la répartition des teneurs en nitrates dans ces eaux à causes de la multitude des facteurs qui entrent en jeu depuis l'introduction du polluant dans le sol (nitrates entre autres) jusqu'à sa propagation dans l'aquifère, d'où l'intérêt de l'établissement d'une carte de vulnérabilité de la nappe des Doukkala vis-à-vis de la pollution et précisément la pollution nitrique. En effet, la carte de vulnérabilité de la nappe souterraines vis-à-vis de la pollution couplée au suivi de la variation de la bathymétrie et des nitrates permettront une meilleure compréhension des processus mis en jeu pour la répartition des teneurs en nitrates entre autres. D'un autre côté, la surveillance des zones affectées par la pollution nitrique est nécessaire. Le SIG serait d'un apport incontournable

5. BIBLIOGRAPHIE

Berdaï, H. (1997). Synthèse des travaux réalisés au Maroc sur la pollution nitrique des eaux souterraines. Division des études, service des expérimentations des essais et de la normalisation, Rabat.

Direction de l'Hydraulique (1976). Carte des systèmes aquifères du Maroc au 1/1000000, Provinces du Nord, Feuilles 1 et 2 et notice explicative. Ressources en eau du Maroc, 44p. Rabat.

Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau (1998). Etat de qualité des ressources en eau au Maroc: Année 1995-1996. Direction Générale de l'Hydraulique, Ministère de l'Equipement, Royaume du Maroc. Avril 1998.

Ferré, M. & Ruhard, J.P. (1975). Les bassins des Abda-Doukkala et du Sahel de Azemmour à Safi. In Ressources en eau du Maroc, T. 2, *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc*, n°231, pp. 261-298.

Hamdaoui, F. (1996). Caractérisation actuelle de la qualité des sols et des eaux dans le périmètre irrigué des Doukkala. *Mém. 3^{ème} Cycle*, Dept. Sci. Du Sol, IAV Hassan II, Rabat.

Id Ahmad, F. (1998). Impact des activités agricoles et d'élevage sur la pollution nitrique des eaux souterraines dans le périmètre de Doukkala. *Mém. 3^{ème} Cycle*, Dept. Sci. Du Sol, IAV Hassan II, Rabat.

Office Régionale de Mise en Valeur Agricole des Doukkala (1998). Monographie de la région des Doukkala-Abda. *Bureau Environnement*, avril.

Soudi, B.; Rahoui, M.; Chiang, C.; Badraoui, M. & Aboussaleh, A. (1999). Eléments méthodologiques de mise en place d'un système de suivi et de surveillance de la qualité des eaux et des sols dans les périmètres irrigués. *Hommes Terre et eaux*, Vol. 29, n°111, juin 1999, pp. 13-22.