

Contamination par les nitrates des eaux souterraines de la plaine d'Akkar au Liban du Nord*

Jalal Halwani, Baghdad Ouddane
Moumen Baroudi, Michel Wartel

La plaine d'Akkar, au Liban du Nord (figure 1), est la deuxième région agricole du pays et l'aquifère constitue sa seule ressource en eau. Comme toutes les activités humaines, l'agriculture a un impact sur la qualité des eaux, notamment par l'infiltration dans le sol des nitrates, résidus des engrais. Faute de réseau public d'eau potable et malgré le taux de pollution microbiologique de la nappe phréatique estimé à 75 % [1], la plupart des habitants prélèvent l'eau nécessaire à leur consommation et à l'irrigation dans la nappe du pléistocène qui couvre une superficie d'environ 115 km² [2]. Les formations aquifères de la plaine sont constituées par des dépôts gréseux et calcaires du quaternaire marin séparés par des alluvions et des colluvions argilo-caillouteuses, l'ensemble ayant une cinquantaine de mètres d'épaisseur en moyenne. De ce fait, cette nappe est très sensible à la pollution par les nitrates. Les nitrates ne sont pas toxiques en eux-mêmes mais leur excès dans les eaux peut provoquer, chez l'homme et l'animal qui en ingèrent de trop grandes quantités, des maladies spécifiques. Ils sont alors soit excrétés par l'organisme,

soit transformés en nitrites (dans l'estomac ou dans la salive), soit absorbés. Seule leur transformation en nitrites et composés nitrosés (nitrosamines et nitrosamides) peut provoquer des troubles caractéristiques [3]. L'estimation des quantités de nitrates absorbées par l'homme au travers de l'alimentation est délicate à réaliser car elle dépend de nombreux facteurs, notamment des régimes et habitudes alimentaires, des modes de conservation, des pratiques culturelles, de la nature des produits, etc. Les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) fixent, pour un adulte, la dose journalière admissible (DJA) à 3,65 mg de NO₃ par kilo de poids corporel [4], soit 255 mg de nitrates par jour pour un adulte de 70 kg. Dans la pratique, l'apport de nitrates dans l'alimentation peut atteindre les valeurs suivantes :

- pour un adulte, de 235 à 285 mg/j, dont 185 mg/j contenus dans les aliments solides (moyenne établie par les nutritionnistes) auxquels s'ajoutent ceux apportés par les 2 litres d'eau (boisson et cuisson), soit de 50 à 100 mg/j selon que la teneur en nitrates passe de 25 à 50 mg/l. Il semble donc que l'eau d'alimentation ait une influence sensible (par rapport aux aliments solides) et que c'est aux alentours d'une teneur de 50 mg/l que la DJA est atteinte ;
- pour un nourrisson de 3 mois, pesant 6 kilos et consommant un lait reconstitué, l'apport est directement proportionnel à la teneur des nitrates dans l'eau de dilution du lait. C'est au-dessus de 50 mg/l que les signes biologiques peuvent être constatés [5-7].

Le métabolisme des nitrates, des nitrites et, plus généralement, des composés azotés dans l'organisme n'est pas encore totalement connu. Les nitrates peuvent se transformer en nitrites en fonction des conditions chimiques et biologiques rencontrées dans l'appareil digestif. Les nitrites sont susceptibles de se combiner à d'autres composés organiques tels que l'hémoglobine, pour donner la méthémoglobine, ou tels que les amines, pour donner les nitrosamines. En effet, la méthémoglobine réduit l'oxygénation des tissus et, au-delà d'un certain taux (notamment 50 mg/l pour les nourrissons), des troubles graves apparaissent, entre autres une cyanose. Un autre risque généré par les nitrates réside dans la combinaison d'un ion nitrite et de l'amine d'un acide aminé qui induit la formation des nitrosamines, précurseurs de composés N-nitroso. Plus d'une centaine de ces composés ont été testés sur l'animal et plus de 80 % d'entre eux se sont révélés cancérogènes [8]. Les recherches engagées jusqu'ici n'ont pas mis en évidence l'apparition de cancer, du moins avec les teneurs actuellement rencontrées dans les eaux distribuées [9-11]. De plus, l'excès de nitrates dans les rivières à cours lent et les retenues d'eau peut concourir à la dégradation du milieu aquatique (phénomène d'eutrophisation) [12]. Les teneurs aujourd'hui constatées peuvent avoir des origines qui remontent à plusieurs années et ce sont les générations futures qui auront à subir les effets des pratiques agricoles actuelles.

J. Halwani, M. Baroudi : Université libanaise, Faculté de santé publique, BP 246, Tripoli, Liban.

B. Ouddane, M. Wartel : Université des sciences et technologies de Lille, Laboratoire de chimie analytique et marine, UPRSSA CNRS 8013, 59655 Villeneuve-d'Ascq Cedex, France.

Tirés à part : J. Halwani

* Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme franco-libanais CEDRE.

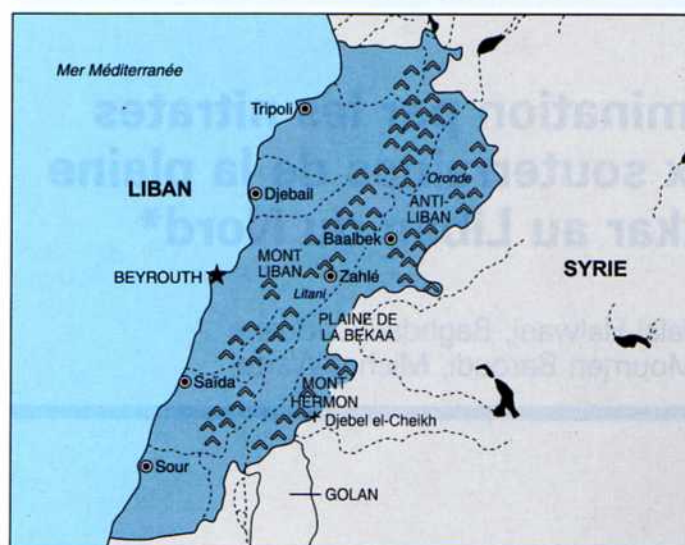


Figure 1. Carte du Liban.

Figure 1. Map of Lebanon.

L'objectif de cette étude est de constater quelles sont les concentrations en nitrates dans les eaux souterraines de la plaine d'Akkar. Elle s'inscrit dans une démarche de prévention des maladies véhiculées par l'eau afin de lancer une campagne de sensibilisation auprès des pouvoirs publics et de la population.

Échantillonnage et méthode d'analyse

En l'absence d'un réseau public de distribution d'eau dans la région, les prélèvements d'eau souterraine brute ont été effectués dans certains captages privés et 15 échantillons représentatifs de la consommation locale ont été sélectionnés (tableau 1 et figure 2).

En plus de l'analyse des nitrates, ont également été analysés les chlorures et les bicarbonates ainsi que les métaux : sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca), magnésium (Mg), fer (Fe), manganèse (Mn), baryum (Ba), silicium (Si) et zinc (Zn). Les mesures physico-chimiques de terrain et les analyses des anions ont été effectuées en se référant aux méthodes de l'AFNOR [13]. Le dosage des métaux a été réalisé par spectrophotométrie d'émission atomique ICP (*inductively coupled plasma*) à l'aide d'un spectrophotomètre à torche de plasma Varian Liberty série II (observation axiale). Les étalons pour les différents métaux ont été préparés à partir de solutions mères (titrisol, Merck) et d'eau ultra-pure issue d'un système Millipore

(Milli-Q plus) alimenté par une eau de ville préalablement déminéralisée par des résines échangeuses d'ions (ELGA).

Résultats

Les résultats des analyses (tableau 2) montrent le caractère bicarbonaté calcique et magnésien des eaux souterraines de l'aquifère de la plaine. Par ailleurs, on constate que tous les échantillons ont une teneur en nitrates supérieure à 25 mg/l et ne conviennent donc pas aux enfants de moins de 6 mois ni aux

femmes enceintes ; la teneur en nitrates de 14/15 échantillons est supérieure ou égale à 50 mg/l, qui est la limite pour qu'une eau soit considérée comme impropre à la consommation humaine [14, 15], avec une répartition inégale en fonction de la profondeur du point de captage et l'activité agricole des villages des alentours. Il convient de noter que la valeur maximale mesurée (163 mg/l) est 3 fois plus élevée que la concentration maximale admissible, ce qui montre que les eaux souterraines sont très contaminées et constituent un véritable danger potentiel en cas d'utilisation en tant qu'eau de boisson.

Alors que les valeurs du pH sont conformes aux normes, l'analyse du sodium, des ions chlorures et la mesure de la conductivité électrique montrent une intrusion saline dans la nappe phréatique au village de Cheikh Zennad, les raisons de cette contamination (pompage excessif, marais salants non conformes, excavation de sable) et les moyens pour y remédier sont traités dans une étude complémentaire (Halwani, étude en cours). Bien que le calcium, le magnésium et le baryum soient présents dans la plupart des sols, les teneurs élevées observées pour certains échantillons seraient dues à l'intrusion saline. Il n'y a essentiellement que des traces de fer dans les captages situés le long du littoral. Le manganèse est inexistant (concentrations inférieures à la limite de détection de l'appareil), de même que le zinc (les

Tableau 1

Principaux renseignements sur les échantillons prélevés

N°	Site	Profondeur	Lieu
1	Ooubbat Chamra	35 m	École
2	Haret Al-Jadidah	10 m	Habitation
3	Qaabarine	35 m	Champ
4	Hay Al-Bahar	13 m	Habitation
5	Tall Hayat	20 m	Dispensaire
6	El-Qlaiaat	40 m	Habitation
7	Khraibet	13 m	Habitation
8	Al-Hisah	30 m	Champ
9	Ckeikh Zennad	10 m	Habitation
10	Tall Bibi	10 m	Champ
11	Hakr Al-Dahiri	30 m	Habitation
12	Massaoudiet	30 m	Habitation
13	Tall Fares	25 m	Champ
14	Es-Sammaquiet	10 m	Habitation
15	El-Aarida	10 m	Douanes

Characteristics of the samples

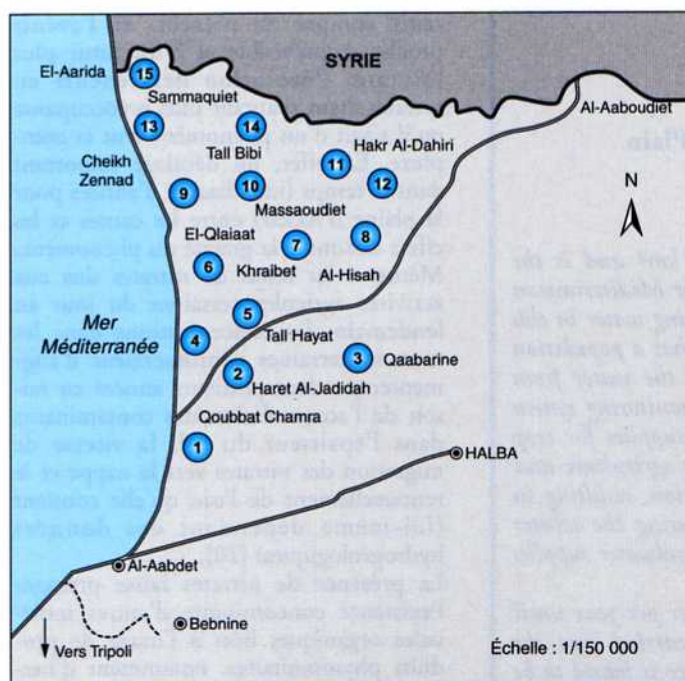


Figure 2. Localisation des échantillons prélevés dans la plaine d'Akkar.

Figure 2. Locations of sampling sites in the Akkar Plain in Lebanon.

valeurs observées dans certains captages proviennent du matériau utilisé pour les canalisations). Les mesures du silicium sont faibles et ne constituent pas, selon les normes OMS, de risque pour la santé.

Discussion

Les résultats obtenus montrent que les eaux souterraines de la plaine ne sont pas conformes aux normes sanitaires et sont

donc impropres à la consommation humaine à cause des concentrations élevées en nitrate et de l'intrusion saline observée à certains endroits. Cette situation va constituer une menace pour la santé publique si elle perdure.

La dégradation des nitrates résulte du transfert important de nutriments, essentiellement d'azote et de phosphore. Ces nutriments, indispensables aux végétaux et aux animaux, ont été utilisés en quantité croissante par les agriculteurs et les éleveurs de la région. Une partie d'entre eux, qui n'est pas valorisée par la production, s'infiltre dans la nappe phréatique et la pollue. Ce phénomène non seulement constitue une perte pour les exploitants agricoles mais aussi entraîne une dégradation de la qualité de l'eau. Or, il est possible à la fois de protéger l'eau et de diminuer les coûts de production agricole en dosant les apports de nutriments en fonction des stricts besoins de la production afin d'éviter les excédents [16].

La teneur en nitrates est influencée par les variations des apports avec un retard correspondant au temps de transfert. En effet, les nitrates présentent certaines caractéristiques qui permettent de mieux comprendre l'évolution de leurs taux actuels dans les nappes phréatiques : ils sont très stables et très solubles dans

Tableau 2

Résultats d'analyse des échantillons prélevés

N°	Localisation	NO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	Conductivité (ms/cm)	pH	Na (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Si (mg/l)	Ba (μg/l)	Fe (μg/l)	Mn (μg/l)	Zn (μg/l)
	Seuil	50	200	–	1,00	6,50-9,00	150	500	12	50	–	100	200	50	5 000
1	Qoubbat Chamra	71	7	342	0,73	7,57	21	70,9	1,9	30,2	7,3	23,7	2,9	< 0,2	32
2	Haret Al-Jadidah	85	73	390	0,83	7,27	41	47,8	2,7	39,6	7,2	10,7	< 1,5	< 0,2	< 1
3	Qaabarine	120	9	366	1,03	6,90	36	57,4	2,3	39,0	8,6	29,6	< 1,5	< 0,2	< 1
4	Hay Al-Bahar	112	300	390	2,34	6,99	254	65,2	7,5	58,7	7,8	34,4	< 1,5	< 0,2	< 1
5	Tall Hayat	157	10	317	1,01	7,16	38	60,2	1,5	34,1	8,5	35,1	< 1,5	< 0,2	< 1
6	El-Qlaiaat	163	8	317	0,61	7,63	28	55,6	1,2	45,1	8,7	18,8	2,5	< 0,2	7
7	Khraibet	137	93	354	1,96	6,85	83	178,6	1,9	39,4	8,3	55,5	< 1,5	< 0,2	< 1
8	Al-Hisah	110	11	390	1,08	7,09	34	45,5	2,1	38,7	9,3	21,1	< 1,5	< 0,2	< 1
9	Ckeikh Zennad	130	4 310	329	13,30	6,89	2 315	501,0	66,0	89,6	10,8	160,5	< 1,5	< 0,2	10
10	Tall Bibi	110	200	476	1,60	7,09	82	18,2	2,7	62,6	10,1	10,7	< 1,5	< 0,2	< 1
11	Hakr Al-Dahiri	50	11	366	0,86	7,26	32	28,8	1,5	33,9	13,1	14,9	< 1,5	< 0,2	< 1
12	Massaoudiet	95	47	329	0,85	7,30	29	44,2	1,6	38,4	9,6	12,8	< 1,5	< 0,2	< 1
13	Tall Fares	106	1 100	317	4,38	6,61	355	300,8	3,0	80,2	11,3	81,1	2,7	< 0,2	11
14	Es-Sammaqiye	33	24	464	1,42	7,26	158	77,2	1,6	40,6	14,3	18,0	< 1,5	< 0,2	76
15	El-Aarida	142	1 552	293	4,58	7,01	882	194,5	99,7	80,4	5,8	22,2	3,1	< 0,2	10

Chemical analysis of samples

Summary

Nitrate contamination of the groundwater of the Akkar Plain in northern Lebanon

J. Halwani, B. Ouddane, M. Baroudi, M. Wartel

The Akkar Plain in northern Lebanon covers an area of 130 km² and is the second largest agricultural region in the country. It also borders the Mediterranean Sea (Figure 1). Groundwater supplies are the only source of drinking water in this region and there is no public drinking water network. This area has a population of about 75,000 inhabitants, who have depended on and used the water from these aquifers for many years, with no treatment, filtration or monitoring system in place. The inhabitants and farmers depend on groundwater supplies for crop irrigation and other uses. The plain provides ideal conditions for agriculture and the use of chemical fertilizers has been increasing. Over-fertilization, resulting in the application of excess nitrogen, and the lack of vegetation during the winter have disturbed the nitrogen cycle, leading to the pollution of groundwater supplies with high concentrations of nitrate.

Nitrates seep slowly into the soil at a rate of about 0.5 to 1 meter per year until they reach the water table. However, tonnes of nitrogen are carried into the groundwater each year by runoff and infiltration. If a water source is found to be heavily contaminated with nitrate, it is probably too late and too difficult to correct the problem within a short period of time. Corrective measures may not be effective, as shown by current high nitrate concentrations despite previous efforts to resolve the problem. Therefore, we must try to keep nitrate levels within acceptable limits. If action is not taken now, future generations will pay the price of current bad practice in agriculture.

International water quality guidelines permit a maximum of 50 mg nitrates/l for adults and of 25 mg/l for infants and pregnant women. The intake of nitrates in drinking water by humans is currently one of the major environmental problems associated with agricultural practice. Nitrate is itself inert but concern arises due to its possible conversion into nitrite, which is highly toxic.

We analyzed the nitrate content of water samples from 15 private wells currently used for human consumption and agricultural in an effort to deal with the nitrate pollution of groundwater supplies in the Akkar Plain. We found that 14 of the 15 wells had a nitrate concentration above 50 mg/l, with a maximum of 163 mg/l. In addition, salt water was found to have contaminated groundwater supplies in some of the villages along the coastline in the north.

Our results indicate that the groundwater is seriously contaminated with nitrates, to the extent that it does not meet international drinking water standards. These high nitrate levels may have adverse effects and cause disease. The toxic effects of nitrate contamination are most severe in individuals with weak immune systems, such as the elderly and children. We are currently developing solutions and preventive measures for this extremely worrying situation, based on these data.

Cahiers Santé 1999; 9 : 219-23.

l'eau, et leur pénétration dans les sols est lente (leur vitesse de migration serait d'environ 1 m/an) [17].

Les résultats obtenus se comparent aux données de certains départements français, notamment du Pas-de-Calais, du Var et de la Bretagne où, entre 1993 et 1995, 116 unités de distribution ont délivré à une population de 1,4 million

d'habitants une eau présentant occasionnellement ou régulièrement des teneurs en nitrates supérieures à 50 mg/l [18, 19]. L'agriculture intensive et, surtout, la monoculture dans la plaine d'Akkar sont à l'origine d'une utilisation massive des engrais qui aboutissent à une pollution par les nitrates des eaux souterraines. La lutte contre cette pollution doit à la fois

tenir compte du présent, de l'avenir proche et prévisible et d'un futur plus lointain, l'évolution des teneurs en nitrates étant d'autant plus préoccupante qu'il s'agit d'un phénomène lent et complexe. En effet, un décalage important dans le temps (une dizaine d'années pour la plaine d'Akkar) entre les causes et les effets dissimule la gravité du phénomène. Même si les rejets de nitrates dus aux activités agricoles cessaient du jour au lendemain, les concentrations dans les eaux souterraines continueraient d'augmenter pendant plusieurs années en raison de l'accumulation des contaminants dans l'épaisseur du sol, la vitesse de migration des nitrates vers la nappe et le renouvellement de l'eau qu'elle contient (lui-même dépendant des données hydrogéologiques) [20].

La présence de nitrates laisse présager l'existence concomitante d'autres molécules organiques liées à l'usage de produits phytosanitaires, notamment d'herbicides [21]. Faute de laboratoires spécialisés, aucune étude n'a été faite à l'heure actuelle sur la présence des pesticides dans les eaux souterraines à Akkar. Nous avons essayé de faire une enquête sur l'impact de cette pollution sur la santé de la population. De nombreux cas de diverses maladies ont été recensés, notamment de typhoïde (salmonellose), de gastro-entérite et de maladies cardiovasculaires, mais les conditions d'hygiène, déplorable dans la région, la pauvreté des habitants, l'absence d'une couverture sociale et la rareté des centres de prévention sanitaire indiquent que la survenue de ces maladies serait également liée à plusieurs facteurs épidémiologiques.

Conclusion

Dans la situation actuelle, deux types d'actions s'imposent : l'une, préventive et à long terme, revêtant une portée générale, et l'autre, curative, plus immédiate et plus ponctuelle, destinée à fournir de l'eau potable à la population actuellement contrainte d'en consommer une qui ne l'est pas. Puisque ce sont les générations futures qui auront à subir les effets des pratiques agricoles actuelles, il faut privilégier les mesures de prévention en sensibilisant les agriculteurs de la région au problème, d'autant plus que l'emploi de fertilisants azotés à des doses de mieux en mieux adaptés aux besoins des plantes est maintenant possible [22]. Étant donné les

techniques utilisées dans la région d'Akkar, on peut penser que le phénomène s'aggravera dans les prochaines années. Il est donc certain qu'à terme, si rien ne vient modifier le comportement actuel des agriculteurs, la région d'Akkar s'exposera à des risques sanitaires importants. Pour subvenir aux besoins de la population en eau potable, il est urgent de construire un réseau public d'adduction alimenté par les sources des plateaux d'Akkar qui sont abondantes et d'excellentes qualités [23], les forages existants seraient soit condamnés ou utilisés uniquement pour l'irrigation. En attendant, on pourrait tolérer (s'il n'y a pas de pollution microbiologique) l'usage de certains captages dont la teneur en nitrates est inférieure à 100 mg/l (sauf pour les femmes enceintes et les nourrissons) et interdire, à titre temporaire, la consommation d'eau provenant des autres. Un suivi de la teneur en nitrates des principaux forages de la plaine devrait être mis en œuvre par l'Office des eaux de la région, afin de pouvoir intervenir rapidement quand il sera nécessaire d'interdire l'utilisation des captages dangereux pour la santé et de suivre la variation spatiale des nitrates au fil des ans ■

Remerciements

Les auteurs remercient le CNRS libanais pour le soutien accordé à la réalisation de cette étude.

Références

1. Mediterranean Environmental Technical Assistance Program (METAP). *Lebanon : assessment of the state of the environment*. New York : The World Bank, 1995 ; 425 p.
2. Guerre A. *Contribution à l'étude hydrologique de la plaine d'Akkar et de ses confins : Liban-Syrie*. Thèse de troisième cycle, Université de Montpellier (CERGH), 1969 ; 128 p.
3. Fraser P, Chilvers C. Health aspects of nitrate in drinking water. *Science of the total environment* 1981 ; 18 : 103-16.
4. OMS. *Directives de qualité pour l'eau de boisson*. Vol. I. *Recommandations*. Genève : OMS, 1993 ; 202 p.
5. OMS. Health hazards from nitrates in drinking water. Copenhagen, Proc Conf 5-9/03/1984, *Environ Health* 1, 102 p.
6. European Chemical Industry Ecology and Toxicology Center. *Nitrate and drinking water*. Bruxelles : ECETOC (Technical reports 27), 1988 ; 27 p.
7. Société française de santé publique. *Les nitrates, effet de mode ou vrai problème de santé*. Vandœuvre : Séminaire de Rennes, 1994 ; 124 p.

8. Fritsch P. Actualisation des connaissances sur les nitrates, nitrites et nitrosamines dans l'alimentation. *Sci Aliments* 1985 ; 5 : 275-92.
9. Schultz DA, Deen WM, Karel SF, Wagner DA, Tannenbaum SR. Pharmacokinetics of nitrate in human. *Carcinogenesis* 1985 ; 6 : 847-52.
10. Leclerc H, Vincent P, Vandevenne P. Nitrates de l'eau de boisson et cancer. *Bull Acad Natl Med* 1991 ; 175 : 651-71.
11. Shuval HI, Gruener N. Epidemiological and toxicological aspects of nitrates and nitrites are the environment. *Am J Public Health* 1972 ; 62 : 1045-52.
12. Vollenweider RA. *Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation*. Paris : OCDE DAS/CSI, 1968 ; 12 p.
13. Association française de normalisation. *Eaux, méthodes d'essai. Recueil des normes françaises*. Paris : AFNOR, 1990 ; 737 p.
14. Ministère de la Santé publique et de l'Assurance maladie. *Décret 89-3 modifié du 3 janvier 1989 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles*. Paris : Direction Générale de la Santé, 1995 ; 16 p.
15. Ministère de l'Environnement du Liban. *Décret n° 52 du 29/7/1996*. JO 1996 ; 45 : pages.

16. Abrassart J, Bertrand M, Hervé AM. Bilan global de l'azote, phosphore et potassium, méthode pour une évaluation à différentes échelles. *Informations techniques du CEMA-GREF* 1993 ; 91 : 16 p.

17. Taureau JC. *Estimation comparative des risques d'enrichissement en nitrates des eaux sous divers systèmes agricoles*. Paris : ANPP/INA, 1987 : 281-99.

18. Lallemand-Barres A, Roux JC. Teneurs en nitrates dans les eaux souterraines en France. État de connaissances en 1993. *J Eur Hydrol* 1994 ; 25 : 115-22.

19. Ministère de l'Emploi et de la Solidarité. *Qualité des eaux d'alimentation 1993, 1994, 1995*. Paris : Direction de la santé, 1998 ; 135 p.

20. Levesque L. *Élimination des nitrates des eaux potables. Rapport de synthèse*. Paris : AFEE, 1982 ; 266 p.

21. Croll BT. Pesticides in surface waters and groundwaters. *J IWEM* 1991 ; 5 : 389-95.

22. Carlotti B. *Recueil des bases de préconisations de la fertilisation azotée des cultures*. Paris : ministère de l'Agriculture/CORPEN, 1992 ; 136 p.

23. Halwani J, Ouddane B, Ibrahim AR, Wartel M. Caractéristiques des ressources en eau des plateaux d'Akkar au nord du Liban. *Cah Ass Sci Eur Eau Sante* 1999 ; 4 : 3-13.

Résumé

La plaine côtière d'Akkar, au Liban du Nord, s'étend sur une surface de près de 130 km². N'ayant pas de réseau public de distribution d'eau potable, sa population, estimée à 75 000 habitants, puise depuis toujours, sans aucun contrôle sanitaire, dans la nappe phréatique l'eau nécessaire à ses propres besoins et aux récoltes. La plaine connaît une agriculture intensive avec une utilisation accrue des engrais chimiques. Les excédents d'azote dus à une surfertilisation et l'absence de couverture hivernale entraînent une perturbation du cycle de l'azote et induisent une pollution diffuse par augmentation des nitrates dans l'eau souterraine. En effet, ce sont des tonnes d'azote qui gagnent annuellement les eaux souterraines par ruissellement ou infiltration, car l'excédent des nitrates migre lentement dans le sol jusqu'aux nappes phréatiques à raison de 0,5 à 1 m/an. C'est pour cela qu'ils sont des produits de surveillance. Lorsqu'une pollution se manifeste à un captage, il est trop tard pour intervenir et les mesures préventives sont inopérantes à court terme : les teneurs qui sont aujourd'hui constatées peuvent avoir des origines qui remontent à 5, 10 ou 20 ans. Les normes internationales définissant la qualité des eaux ont fixé les seuils pour la teneur en nitrates dans les eaux de boisson à 50 mg/l pour les adultes et à 25 mg/l pour les nourrissons et les femmes enceintes. La toxicité et les effets biologiques des nitrates en grande quantité dans les eaux destinées à la consommation humaine peuvent être néfastes pour les personnes de santé fragile. Afin d'établir les caractéristiques chimiques des eaux souterraines de la plaine d'Akkar, un contrôle a été effectué dans les 15 principaux puits privés de la région utilisés pour satisfaire les besoins de la population. Les analyses indiquent que 14 d'entre eux ont une teneur supérieure ou égale à 50 mg/l en nitrates, le maximum atteint étant de 163 mg/l. De plus, une intrusion saline est présente dans la partie nord du littoral, ce qui montre que les eaux souterraines de la plaine ne sont pas en conformité vis-à-vis des normes en vigueur et l'état de la nappe phréatique dans cette région se dégrade. Les raisons de cette contamination sont discutées, les mesures de prévention décrites et les risques sanitaires sur la santé humaine exposés.