

Identification des axes d'écoulement souterrains dans les systèmes aquifères du bassin de Tindouf et des plaines de Annaba-Bouteldja

HANI AZZEDINE

Ecole Polytechnique de Lille, LML URA CNRS 1441, Avenue Paul Langevin, F-59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

azzedine.hani@eudil.fr

DJABRI LARBI

Faculté des Sciences de la Terre, Université de Annaba, BP 12, Annaba 23000, Algérie

LALLAHEM SAMI & MANIA JACKY

Ecole Polytechnique de Lille, LML URA CNRS 1441, Avenue Paul Langevin, F-59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

Résumé Le bassin de Tindouf et les plaines de Annaba-Bouteldja présentent des systèmes aquifères complexes et hétérogènes, qui sont largement exploités pour l'alimentation des populations locales dans ces régions. Paradoxalement, leur comportement hydrodynamique est assez mal connu, en raison de la grande extension de ces aquifères et surtout de leur hétérogénéité. L'application d'une méthodologie, combinant l'ensemble des données physico-chimiques et de tritium, à ces deux complexes aquifères, a permis de définir les principaux axes d'écoulement souterrain et d'appréhender les modalités de transfert de flux.

Mots clefs analyse en composantes principales; Annaba-Bouteldja; axe d'écoulement souterrain; minéralisation; Tindouf; tritium

Key words principal component analysis; Annaba-Bouteldja; underground outflow axis; mineralization; Tindouf; tritium

INTRODUCTION

Le synclinal paléozoïque de Tindouf se situe à l'extrême sud ouest de l'Algérie à la frontière avec la Mauritanie. Les principaux aquifères identifiables sont ceux du hamadien inférieur et des calcaires dolomitiques du Viséen supérieur situés au nord de la région d'étude et des grès du Cambro-Ordovicien et du Dévonien situés au sud (Idrotecnò, 1979). Les valeurs du résidu sec varient entre 700 et 14000 mg l⁻¹ alors que les teneurs en tritium mettent en évidence des eaux récentes, des eaux relativement récentes et des eaux vieilles (Progress, 1999).

La région de Annaba-Bouteldja, située au nord-est de l'Algérie, renferme un important potentiel hydrique contenu dans des sédiments mio-plio-quatérnaires (Debièche, 2002). Dans ce remplissage hétérogène on distingue trois principales nappes (Djabri *et al.*, 2000); la nappe phréatique contenue dans les argiles sableuses, la nappe des graviers et la nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja qui constitue la bordure est du système. La conductivité mesurée dans les eaux montre une grande dispersion des valeurs entre 400 et 9000 $\mu\text{s cm}^{-1}$ tandis que les teneurs en tritium montrent des eaux récentes à vieilles.

METHODOLOGIE

La méthodologie proposée ici comporte les quatre étapes suivantes:

- La collecte et le dépouillement des données: les données hydrochimiques et isotopiques acquises sont traitées à l'aide des méthodes statistiques (diagrammes de distribution de fréquences et analyse en composantes principales) et réparties en groupes d'eau en fonction de la minéralisation des eaux (groupes I, II, III et IV) et de leur teneurs en tritium (groupes A, B et C).
- L'analyse des résultats: la combinaison des groupes hydrochimiques et isotopiques permet de définir plusieurs catégories d'eau selon la procédure donnée dans le Tableau 1.
- Le report de ces familles d'eau sur un fond topographique comportant des informations géologiques (extension des aquifères, failles) et hydrodynamiques (relevés piézométriques) permet de suivre les variations spatiales des propriétés physico-chimiques et isotopiques de l'eau au cours de son déplacement en s'appuyant sur les mesures piézométriques disponibles,
- L'essai d'élaboration d'un modèle conceptuel des écoulements souterrains: au cours de son déplacement des zones de recharge vers les zones d'exutoire, les propriétés physico-chimiques des eaux souterraines varient dans l'espace. Ces variations peuvent être expliquées simultanément par la qualité, l'origine et l'âge des eaux. Les zones de recharge sont représentées par des caractéristiques spécifiques, marquant certaines lignes de flux. Un aquifère non perturbé par des failles ou par la drainance pourrait être caractérisé par une eau jeune avec la plus faible salinité. Par contre, les zones de décharge dans un aquifère non perturbé seront représentées vraisemblablement par une eau plus vieille avec une salinité plus élevée que celle des zones de recharge. Dans le cas d'un système bicouche composé d'une nappe captive alimentée en partie par une nappe phréatique où le niveau d'eau est plus élevé que l'exutoire, le flux d'eau sera caractérisé par deux familles d'eau; la première représente l'eau la moins chargée et la plus récente provenant de la nappe phréatique, tandis que la deuxième traduit une eau plus saline et plus vieille dans ses zones de décharge. Dans le cas d'un système aquifère plus complexe avec drainance à partir d'aquifères voisins, évaporation, mélanges des eaux salines et anciennes ou autres, d'autres familles d'eau doivent être prises en considération pour expliquer les propriétés du flux.

Tableau 1 Identification des catégories d'eau par combinaison des groupes hydrochimiques et isotopiques.

Catégories d'eau	Groupes chimiques et isotopiques	Catégories d'eau	Groupes chimiques et isotopiques
C1	(I+II)A: eau vieille à faible minéralisation	C4	(III+IV)A: eau vieille à forte minéralisation
C2	(I+II)B: eau relativement récente à faible minéralisation	C5	(III+IV)B: eau relativement récente à forte minéralisation
C3	(I+II)C: eau récente à faible minéralisation	C6	(III+IV)C: eau récente à forte minéralisation

RESULTATS ET DISCUSSION

Les aquifères du bassin de Tindouf

L'ACP de la Fig. 1 permet de distinguer quatre groupes selon la salinité des eaux; des eaux très faiblement minéralisées avec un résidu sec inférieur à 1600 mg l⁻¹, des eaux à faible minéralisation de 1600 à 2130 mg l⁻¹, des eaux à forte minéralisation de 2300 à 2370 mg l⁻¹ et enfin des eaux très chargées avec des valeurs de résidu sec comprises entre 2600 et 5450 mg l⁻¹. Les teneurs en tritium permettent de définir trois groupes d'eau; des eaux vieilles (de 0 à 8.3 UT), relativement récentes (entre 8.3 et 16.6 UT) et récentes (avec des teneurs en tritium supérieures à 16.6 UT).

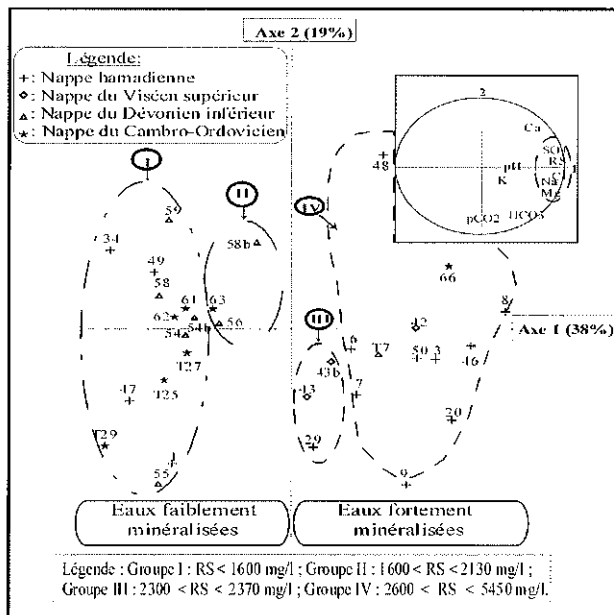


Fig. 1 Résultats de l'analyse en composantes principales dans le bassin de Tindouf.

La combinaison de ces groupes d'eau permet d'identifier six familles d'eau selon la salinité des eaux et leur teneur en tritium (Melloul, 1995) (Fig. 2 (a), (b)). L'aquifère hamadien est marqué par toutes les familles d'eau possibles ce qui montre l'influence de l'évaporation et de l'alimentation locale sur le chimisme des eaux. Les échantillons prélevés dans l'aquifère des calcaires du Viséen caractérisent une eau vieille de forte à très forte minéralisation. Les eaux de l'aquifère Dévonien, avec trois catégories d'eau, mettent en évidence un écoulement du sud vers le nord. L'aquifère des grès du Cambro-Ordovicien est représenté par C₁ et C₄. Le passage d'un groupe à l'autre est régi par un apport d'eau plus récente à travers les nombreuses failles qui affectent ces formations et/ ou par le temps de séjour des eaux dans l'aquifère.

L'intégration de ces catégories d'eau dans le contexte géologique permet, en s'appuyant sur les relevés piézométriques disponibles, de définir six axes d'écoulement souterrain (Fig. 2 (a), (b)). L'axe F1 caractérise la zone de transition entre la hamada

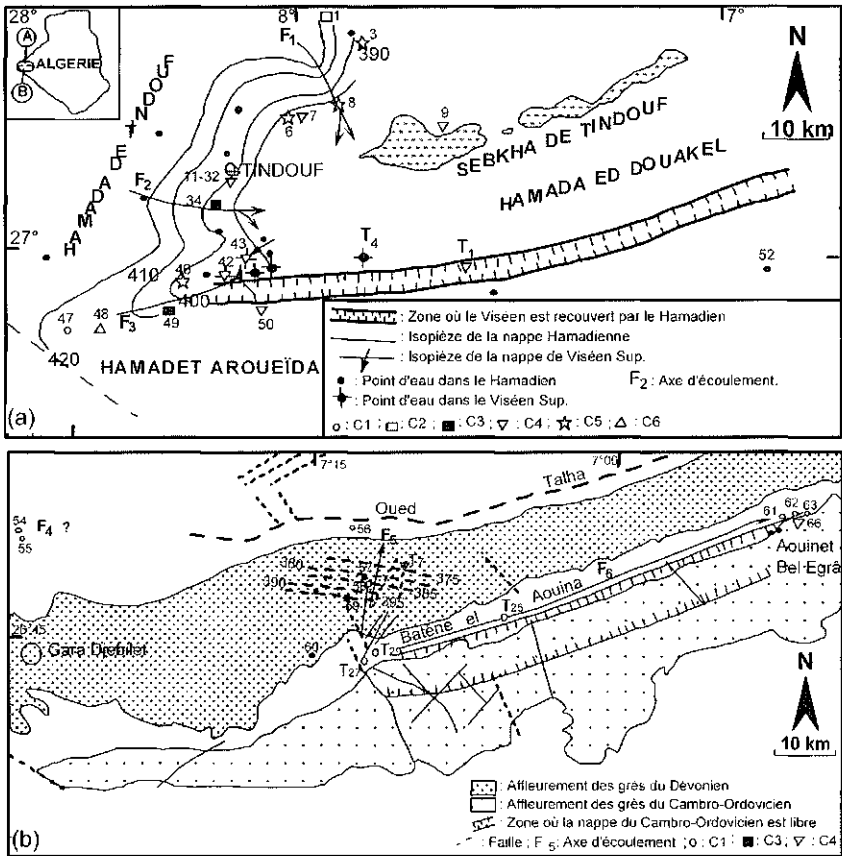


Fig. 2 Carte des principaux axes d'écoulement souterrain. (a) Dans les aquifères du Hamadien et du Viséen supérieur. (b) Dans les aquifères des grès du Cambro-Ordovicien et du Dévonien.

de Tindouf qui alimente la nappe hamadienne et la sebkhha de Tindouf qui constitue son exutoire principal. L'axe F2 prend naissance dans la Hamada et se perd vraisemblablement dans la Sebkhha ou dans le centre du bassin. L'axe F3 met en évidence une continuité hydraulique entre les formations hamadiennes et les couches sous-jacentes des calcaires du Viséen. L'alimentation de ces dernières serait en effet régie par les précipitations sur les formations hamadiennes qui peuvent être en continuité hydraulique avec les calcaires sur une large bande orientée ouest-est (Idrotecno, 1979). Elle pourrait provenir également des apports des zones d'affleurement de l'aquifère situées dans l'Atlas (Idrotecno, 1979; Progress Sarl-Annaba, 1999). L'axe F4 est caractérisé par une eau peu chargée. L'écoulement dans ce secteur de la nappe du dévonien est encore mal connu en raison du nombre réduit de points. L'axe F5 est marqué par un écoulement du sud vers le nord avec un apport d'eau récente à travers les nombreuses failles qui affectent les Dévonien inférieur. L'axe F6 montre un écoulement de la nappe du Cambro-Ordovicien de l'ouest vers l'est, avec une alimentation locale à travers les fractures au voisinage des forages T27 et T29.

Le système aquifère des plaines de Annaba-Bouteldja

L'ACP de la Fig. 3, permet de définir quatre groupes de minéralisation selon la conductivité; très faible pour des valeurs inférieures à 1200 $\mu\text{s cm}^{-1}$, faible de 1588 à 2120 $\mu\text{s cm}^{-1}$, forte de 2500 à 6500 $\mu\text{s cm}^{-1}$ et très forte pour des valeurs supérieures à 6600 $\mu\text{s cm}^{-1}$. L'analyse des teneurs en tritium met en évidence l'existence de trois groupes d'eau; récente avec des teneurs supérieures à 12.0 UT, relativement récentes de 6.0 à 12.0 UT et vieilles avec des teneurs comprises entre 0 et 6.0 UT.

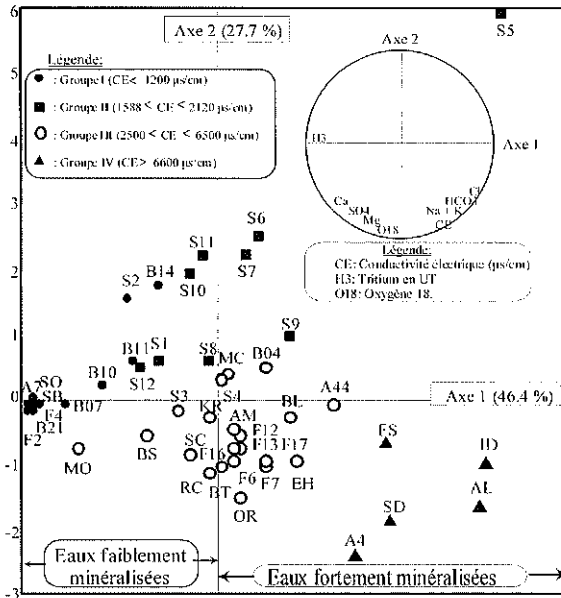


Fig. 3 Résultats de l'analyse en composantes principales dans le système aquifère de Annaba-Bouteldja.

La combinaison de ces groupes d'eau et leur intégration dans le contexte du système aquifère de Annaba-Bouteldja permet d'appréhender les modalités de transfert de flux (Fig. 4). Les eaux circulant dans l'aquifère superficiel, libre, appartiennent à quatre familles d'eau, ce qui traduit l'influence des facteurs climatiques sur le chimisme des eaux. L'aquifère des graviers est caractérisé par trois catégories d'eau; C₁, C₄ et C₅. C₁ est due à l'apport d'eau du massif dunaire faiblement chargée. C₄ est due aux apports d'eau à partir de la Seybouse dans le secteur compris entre Dréan et Daroussa. Les eaux des sables dunaires appartiennent à quatre catégories. La nappe étant libre, nous pouvons observer l'influence de l'évaporation et de l'alimentation locale sur le chimisme des eaux. Nous pouvons localiser des zones de recharge à l'est au contact des grès numidiens et des zones d'exutoire caractérisées par une eau vieille et très chargée.

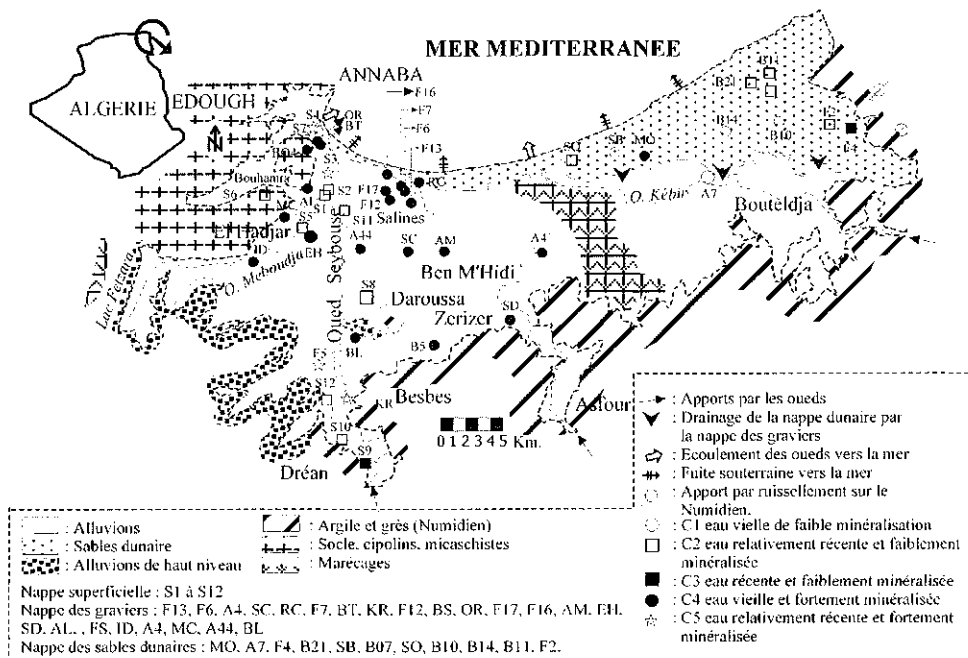


Fig. 4 Carte des principales modalités de transfert dans les plaines de Annaba-Bouteldja.

CONCLUSION

D'un point de vue méthodologique, cette démarche permet, à partir d'un nombre relativement réduit de données d'origines variées, d'identifier les principales directions d'écoulement dans des systèmes complexes comportant plusieurs horizons aquifères. Ces directions sont définies par des familles d'eaux identifiées par la minéralisation et les teneurs en tritium des eaux souterraines. Les conclusions de cette étude sont en accord avec le schéma hydrogéologique conceptuel généralement accepté pour ces aquifères.

REFERENCES

- Melloul, A. J. (1995) Use of principal components analysis for studying deep aquifers with scara data: application to the Nubian sandstone aquifer, Egypt and Israel. *Hydrogeology J.* 3(2), 19-39.
- Debièche, T. H. (2002) Evolution de la qualité des eaux (salinité, acidité et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle: Application à la basse plaine de la Seybouse, NE algérien. Thèse de Doc. de l'université de Franche-Comté, Besançon, France.
- Djabri, A., Hani, A., Mania, J. & Mudry, J. (2000) Conséquences des pratiques agricoles sur la qualité des eaux du bassin de la Seybouse (Est Algérien). Colloque international ESRA 2000, S3-39-42. Poitiers, France.
- Idrotecno (1979) Etude hydrogéologique de la région de Tindouf. Rapport final IDROGE/AO-623.
- Progress Sarl-Annaba (1999) Etude de rénovation du champ captant de Hassi-Abdallah (Wilaya de Tindouf). Rapport de synthèse, mission I, phase A et B.