

Short communication

**L'aquifère des calcaires du Turonien (Bassin du Tadla, Maroc).
Alimentations locales et lointaines à partir de l'Atlas
The aquifer of Turonian limestones (Tadla Basin, Morocco).
Local and remote groundwater recharge from the Atlas**

Youssef Hsissou¹, Pierre Chauve, Jacky Mania*

*Laboratoire de Géologie Structurale et Appliquée, Université de Franche-Comté, Place Leclerc,
25030 Besançon, France*

Reçu le 25 février 1994; accepté le 26 novembre 1995

Abstract

Le bassin du Tadla est situé au sud de la Méséta marocaine. Il est limité par l'accident chevauchant nord-atlasique et renferme un important aquifère localisé dans les calcaires du Turonien. Cette nappe, libre au nord devient captive vers le sud. La carte piézométrique indique que les écoulements convergent vers la Tessaout aval, selon un grand axe de drainage NE–SW qui présente les meilleures caractéristiques hydrodynamiques. Les isotopes de l'oxygène permettent de caractériser les eaux du plateau des phosphates et celles provenant de l'Atlas. Ils confirment les résultats de la piézométrie et de la géochimie relatifs à l'alimentation de l'aquifère turonien. Ainsi, cet aquifère est alimenté à la fois à partir des affleurements du plateau au nord et par les aquifères atlasiques à l'est. L'axe de drainage constitue la zone de mélange. Les caractéristiques hydrochimique et isotopique ainsi que le suivi hydrométrique des sources de la Tessaout aval montrent que celles-ci sont les exutoires communs des nappes du Mio–Plio–Quaternaire et du Turonien.

Abstract

The Tadla basin is situated to the south of the Moroccan Meseta; it is limited by the overlapping north Atlas rocks and contains an important aquifer within the Turonian limestones. The unconfined ground water to the north becomes confined to the south. The piezometric map shows that the flows converge towards the Wadi Tessaout downgradient following a large NE–SW drainage axis which represents a highly permeable zone. The water flow and the environmental isotopes show that the Turonian is supplied at the same time from both the outcrop of the 'plateau des phosphates' to the north and the Atlas aquifers to the east. The drainage axis represents a mixing zone. Hydrometric

* Corresponding author.

¹ Adresse actuelle: Laboratoire de Géologie Appliquée, Faculté des Sciences, BP 28/S, Agadir, Maroc.

monitoring of the springs of the Wadi Tessaout downgradient, and their hydrochemical and isotopic characteristics, shows that they are common outlets of Miocene–Pliocene–Quaternary and Turonian aquifers.

Le Turonien constitue l'aquifère principal de la plaine du Tadla, au sud du plateau des phosphates. Les autres aquifères profonds (Archambault, 1972) localisés dans le Primaire, le Cénomanién, le Sénonien et l'Eocène ne sont généralement connus qu'au niveau du plateau des phosphates où affleurent ces différentes formations géologiques. Ces aquifères modestes (Archambault et al., 1975) ne présentent en général qu'un intérêt local. Au niveau de la plaine du Tadla, l'aquifère turonien est surmonté par la nappe libre du Mio–Plio–Quaternaire.

L'aquifère turonien est encore peu connu. Notre objectif est de contribuer à élucider ses caractéristiques hydrogéologiques et notamment, de proposer un schéma de fonctionnement intégrant son alimentation et ses exutoires.

1. Contexte géologique

Le bassin du Tadla occupe une superficie d'environ 10 000 km². Il est formé par le plateau des phosphates au nord et par la plaine du Tadla au sud qui se prolonge à l'ouest par la Bahira orientale (secteur de la Tessaout aval).

Sur le socle primaire de la Méséta, reposent en discordance majeure des formations marines crétacées et tertiaires. Celles-ci plongent légèrement vers le sud en s'épaississant progressivement sous le remplissage détritique du Mio–Plio–Quaternaire de la plaine du Tadla. Au sud, un grand accident tectonique chevauchant amène les structures atlasiques, armées par une épaisse série de calcaires liasiques, sur le bassin subsident du Tadla (Fig. 1).

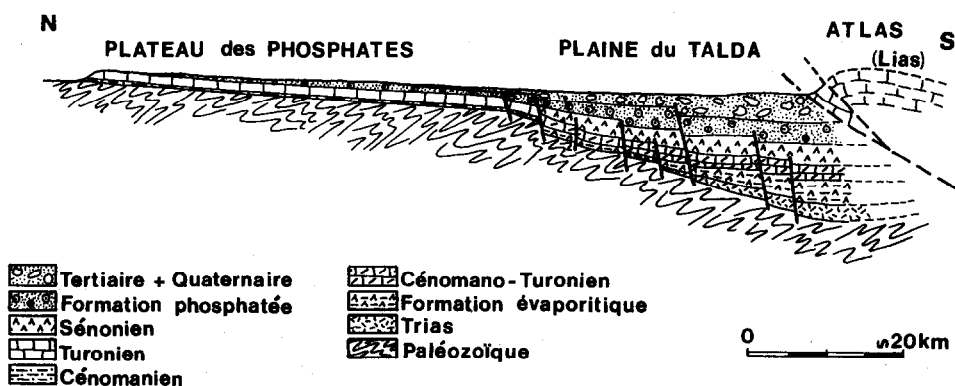


Fig. 1. Coupe géologique schématique du nord vers le sud du plateau des phosphates de la plaine du Tadla et de l'Atlas.

Fig. 1. Schematic geological section from north to south of the 'plateau des phosphates', of the Tadla plain and Atlas range.

Les faciès du Crétacé présentent une évolution d'un milieu marin ouvert au nord vers un milieu confiné et évaporitique au sud (Verset, 1988). La géométrie du réservoir de l'aquifère turonien (Hsissou, 1991) a été précisée par l'étude des forages, des diagraphies et de la géophysique. Le réservoir est constitué par des calcaires et des calcaires dolo-mitiques du Turonien au nord et par des dolomies marneuses voire évaporitiques du Cénomano-Turonien au sud.

2. Hydrogéologie

La morphologie de surface des affleurements calcaires du Turonien, les pertes de boue et les chutes d'outils lors de la foration de certains sondages, ainsi que l'interprétation des essais de débit laissent supposer que l'aquifère turonien est karstifié. La distribution des fréquences de conductivité des sources confirme cette hypothèse et montre que l'aquifère possède un comportement de système karstifié et complexe (Hsissou, 1991).

2.1. Les sources

En plus des sources qui sourdent directement des calcaires turoniens—qui sont localisées dans les affleurements du nord, telle que Aïn Kaicher—les sources de la Tessaout aval qui émergent au niveau des alluvions mio-plio-quaternaires sont susceptibles de drainer la nappe du Turonien et ceci pour les raisons suivantes: (1) les débits enregistrés sont assez importants, 300–500 l s⁻¹ pour la source la plus importante d'Aïn Igli; (2) ce secteur représente la partie aval des écoulements de la nappe du Turonien où elle est en charge; (3) des accidents tectoniques profonds, telle que la faille est-ouest passant près des sources et notamment près d'Aïn Igli (CAG, 1966); (4) la minéralisation des sources (1020 mg l⁻¹) est intermédiaire entre celles des nappes turonienne (750 mg l⁻¹) et mio-plio-quaternaire (1400 mg l⁻¹).

Les sources ont fait l'objet d'un suivi hebdomadaire des débits et de la conductivité durant l'année 1988. On observe une bonne corrélation entre la pluviométrie et les débits de la source Aïn Igli (Fig. 2). On note cependant une anomalie pour la période sèche où le débit augmente à partir du mois de mai jusqu'à août. Les autres sources présentent les mêmes variations de débit, mais avec un décalage dans le temps et de faibles amplitudes.

L'anomalie observée peut s'expliquer par le fait que les sources sont alimentées par deux systèmes dont le fonctionnement hydrogéologique est différent. Dans le contexte hydrogéologique de la région, nous pouvons attribuer cette anomalie à un apport de la nappe du Turonien dont les hautes eaux sont déphasées par rapport à celles de la nappe du Mio-Plio-Quaternaire. De plus, cette augmentation de débit coïncide avec une baisse de la conductivité (Fig. 2), ce qui témoigne de l'arrivée d'une eau moins minéralisée. Cette eau proviendrait de la nappe du Turonien dont l'eau est moins minéralisée que celle de la nappe du Mio-Plio-Quaternaire.

2.2. L'oued Oum-Er-Rbia

A son entrée dans la plaine du Tadla, l'oued Oum-Er-Rbia circule dans les gorges de

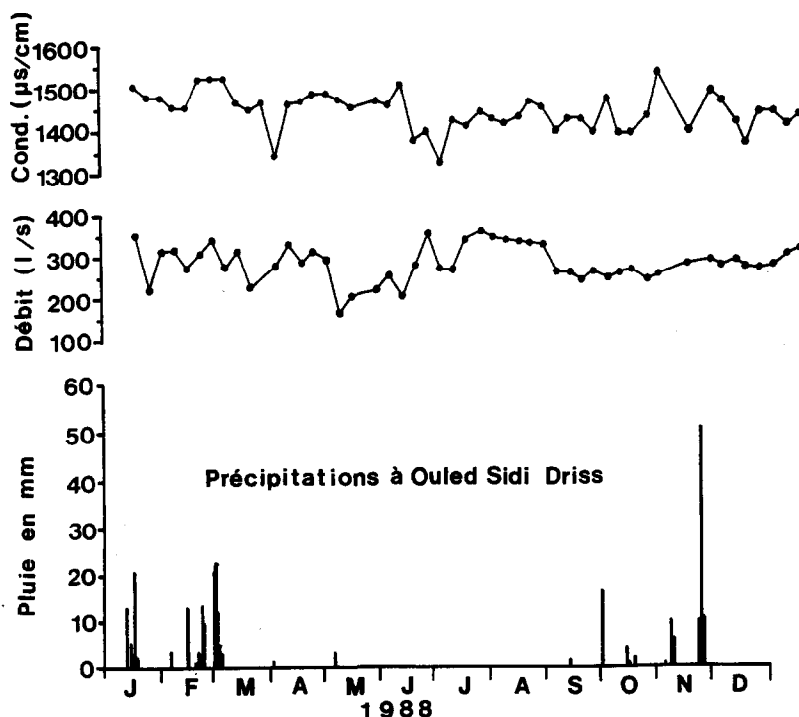


Fig. 2. Variations du débit et de la conductivité électrique de la source d'Aïn Igli en fonction des précipitations.
Fig. 2. Variations of outflows and electrical conductivities of the Ain Igli spring vs. rains.

Dchar El Oued situées dans les calcaires du Turonien sur une longueur de 20 km environ. De ce fait, l'hypothèse d'une alimentation de l'aquifère turonien à partir de l'oued dans cette zone a été envisagée.

L'étude comparative des débits spécifiques calculés sur la période 1953–1982 de l'oued Oum-Er-Rbia (tableau 1), ainsi que les résultats des jaugeages différentiels réalisés en septembre 1988 (tableau 2) montrent qu'il n'y a pratiquement pas de variation de débit entre l'amont et l'aval des affleurements de calcaires du Turonien des gorges. Les faibles différences mesurées ne sont pas significatives et rentrent dans l'intervalle des incertitudes commises sur les mesures de débit. Par conséquent, nous pouvons dire qu'il n'y pas d'alimentation significative du Turonien à partir de l'oued Oum-Er-Rbia. Ceci est confirmé par la grande différence de minéralisation entre les eaux de l'Oum-Er-Rbia (1700 mg l^{-1}) et celles de la nappe du Turonien dans sa partie orientale (600 mg l^{-1}), ainsi que par les valeurs du rapport des concentrations molaires $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ (Hsissou et al., 1996).

2.3. Piézométrie

La carte piézométrique (Fig. 3) permet de mettre en évidence dans la nappe du Turonien:

Tableau 1
 Comparaison des débits spécifiques moyens mensuels ($\text{l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) dans les stations Dchar El Oued et Kasba Tadla sur la période (1953–1982)

Table 1
 Comparison between average monthly specific outflow rates ($\text{l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) on the stations of Dchar El Oued and Kasba Tadla during 1953–1982 period

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy.
D.El.Oued	5,20	5,91	7,30	12,03	15,40	17,85	17,09	16,24	9,79	6,90	5,44	4,97	10,34
K.Tadla	5,27	5,92	7,12	11,74	14,78	16,98	16,50	15,65	9,65	6,96	5,53	4,92	10,08
Difference aval–amont	0,07	0,01	-0,18	-0,29	-0,62	-0,87	-0,59	-0,59	-0,14	0,06	0,09	-0,05	-0,26

Tableau 2

Résultats des jaugeages différentiels

Table 2

Differential gauging results

Section de jaugeage	Débit ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	Date
Pont de Takbald (section amont)	$9,29 \pm 0,97$	12/09/1988
Aït Rouadi (section aval)	$9,40 \pm 1,19$	12/09/1988
Sources de Z. Ech. Cheikh	$0,204 \pm 0,0$	13/09/1988
$Q_{\text{aval}} - Q_{\text{amont}} + \text{sources} = 0,094 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$		

- une partie septentrionale libre avec de forts gradients hydrauliques (1–1,3%) et un écoulement général vers le sud et une partie méridionale captive où les gradients hydrauliques sont relativement faibles (0,3–0,1%) et où l'écoulement est dirigé vers le sud-ouest.
- Une limite de partage des eaux dans le secteur nord-ouest.
- D'est en ouest, un grand axe de drainage situé dans la partie nord de la nappe captive, dans une zone qui présente les meilleures caractéristiques hydrodynamiques et une convergence des écoulements vers le sud-ouest. La limite sud de cet axe de drainage correspond sans doute à celle du changement de faciès du Turonien qui devient plus marneux et évaporitique.
- Une alimentation à partir de l'est, qui, nous l'avons vu, ne peut pas provenir de l'oued Oum-Er-Rbia lorsque celui-ci passe sur les affleurements du Turonien, mais par contre, nous pouvons envisager un apport des aquifères de l'Atlas. En effet, le réservoir turonien remonte pour affleurer dans ce secteur oriental, ce qui laisse penser à une alimentation latérale à partir des aquifères liasiques des massifs atlasiques d'El Ksiba et de Zawiât-Ech-Cheikh.
- Une sortie de la nappe au niveau de la Tessaout Aval. Cette zone assez tectonisée où la nappe en charge présente une surface piézométrique proche du sol et où convergent l'ensemble des écoulements, peut être considérée comme une zone de décharge importante.

2.4. Les isotopes

Quinze échantillons d'eau ont été prélevés en juin 1989 et ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques et isotopique (oxygène 18). Pour cette étude, le signal entrée (précipitations) n'a pas été échantillonné. Nous nous sommes servis de la relation oxygène–altitude, utilisée par Marce (1975). Les teneurs en oxygène 18 en fonction de l'altitude (Fig. 4) confirment les résultats de la prospection de 1975, à savoir, la distinction entre les eaux du plateau des phosphates dont l'altitude ne dépasse pas 800 m et les eaux du domaine atlasique dont l'aire d'alimentation est supérieure à 1000 m.

Les eaux de la nappe captive présentent des teneurs appauvries en isotopes lourds ($\delta^{18}\text{O} = -6,47$ à $-7,37\text{‰}$) correspondant à une aire d'alimentation d'une altitude de l'ordre de 1300 à 1700 m et sont donc à rattacher au domaine atlasique.

On constate que la partie nord de la nappe captive (Fig. 5) présente des teneurs inter-

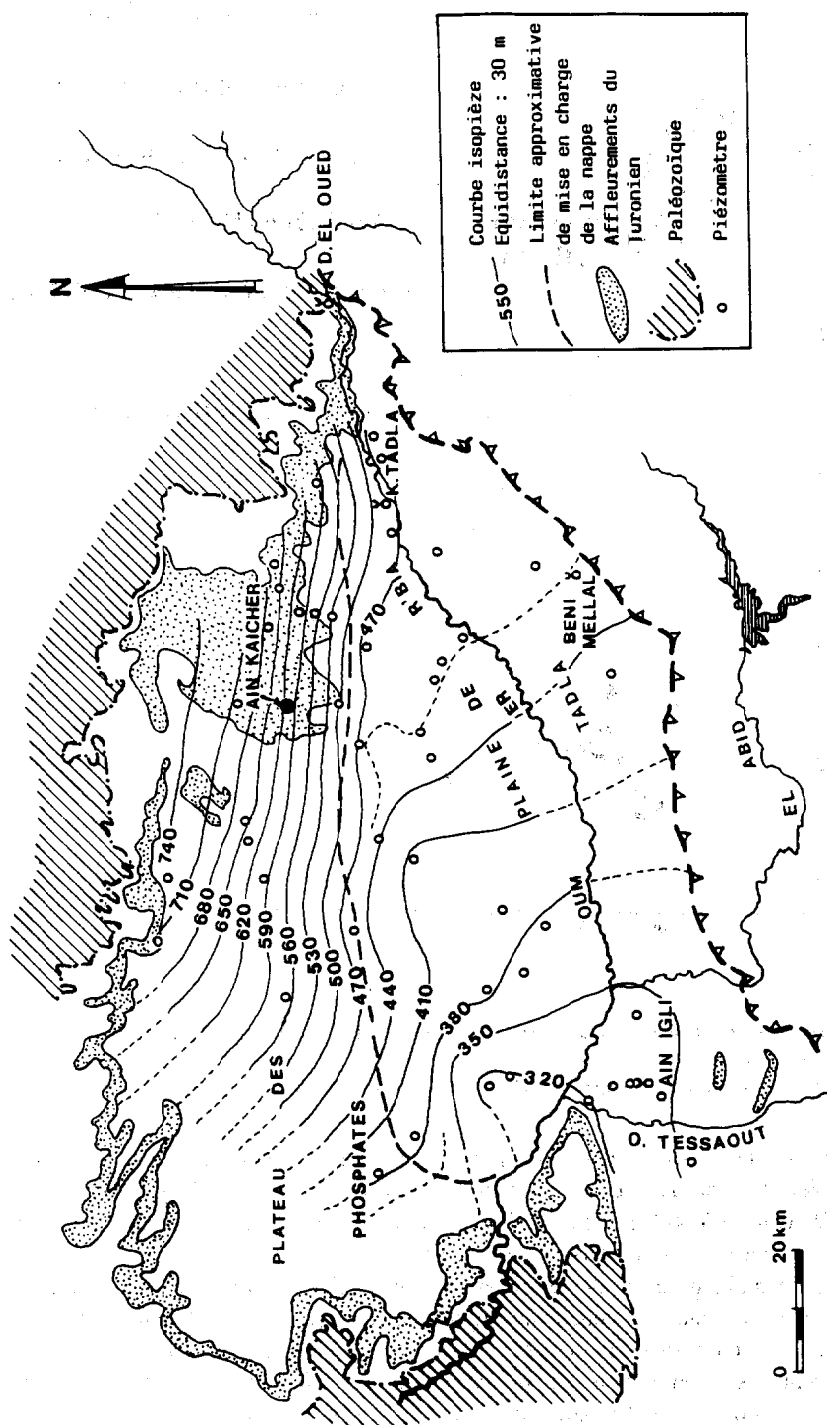


Fig. 3. Carte piézométrique de la nappe du Turonien levée en mai et juin 1989.

Fig. 3. Piezometric map of the Turonian aquifer from the May and June 1989 measurements.

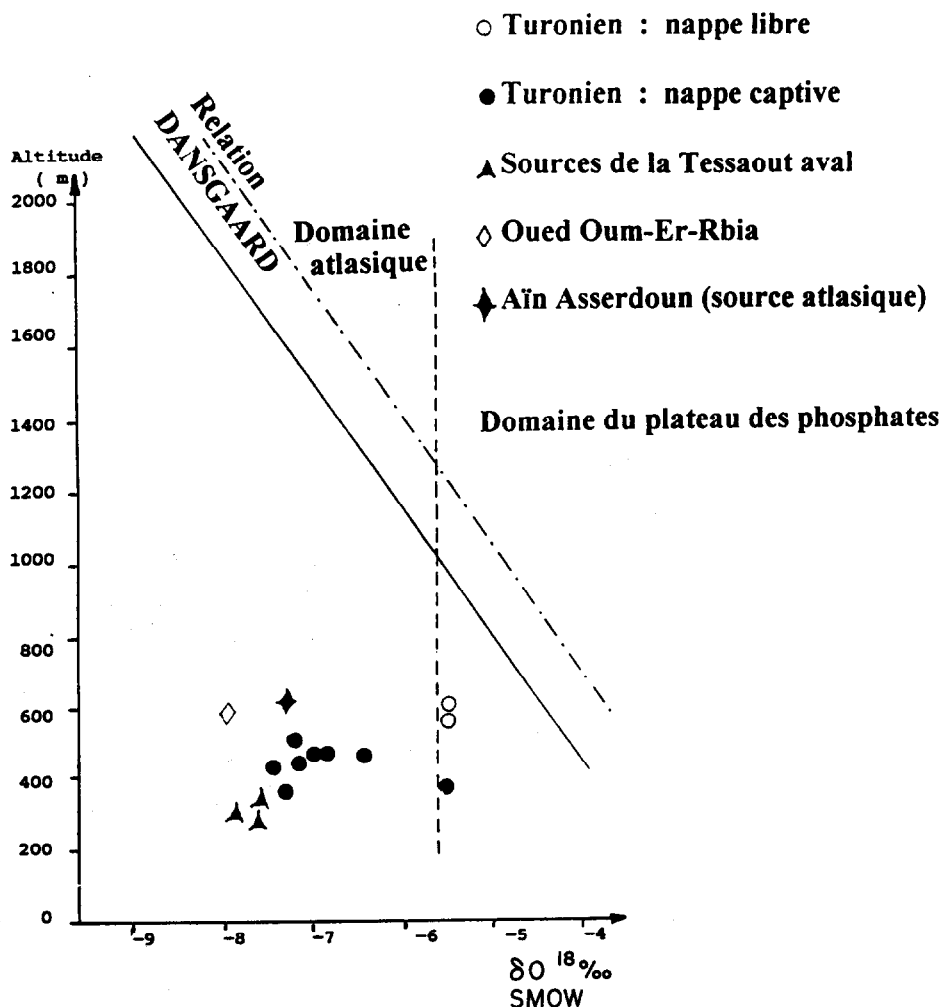


Fig. 4. Relation composition isotopique en oxygène et altitude. (Les points sont reportés sur le diagramme établi par Marce (1975).)

Fig. 4. Isotopic relationship of oxygen and altitude. (The points are plotted on the diagram of Marce (1975).)

médianes ($\delta^{18}\text{O} = -6,47$ à $-6,94\text{‰}$) entre les affleurements du nord ($\delta^{18}\text{O} = -5,55$ à $-5,59\text{‰}$) et la partie sud de la nappe captive ($\delta^{18}\text{O} = -7,10$ à $-7,37\text{‰}$). Le forage 767/36 ($\delta^{18}\text{O} = -5,63\text{‰}$) situé plus à l'ouest est faiblement influencé par les eaux d'origine atlasique. A partir de ceci, nous pouvons dire que la nappe captive du Turonien constitue une zone de mélange entre des eaux provenant de l'aire d'alimentation du plateau des phosphates et des eaux provenant des aquifères atlasiques. Cette deuxième alimentation proviendrait du côté oriental à partir de l'Atlas d'El Ksiba et Zawiat-Ech-Cheikh, comme le montrent les écoulements de la nappe du Turonien sur la carte piézométrique.

Dans la région de la Tessaout aval, les teneurs en ^{18}O mesurées dans ces sources

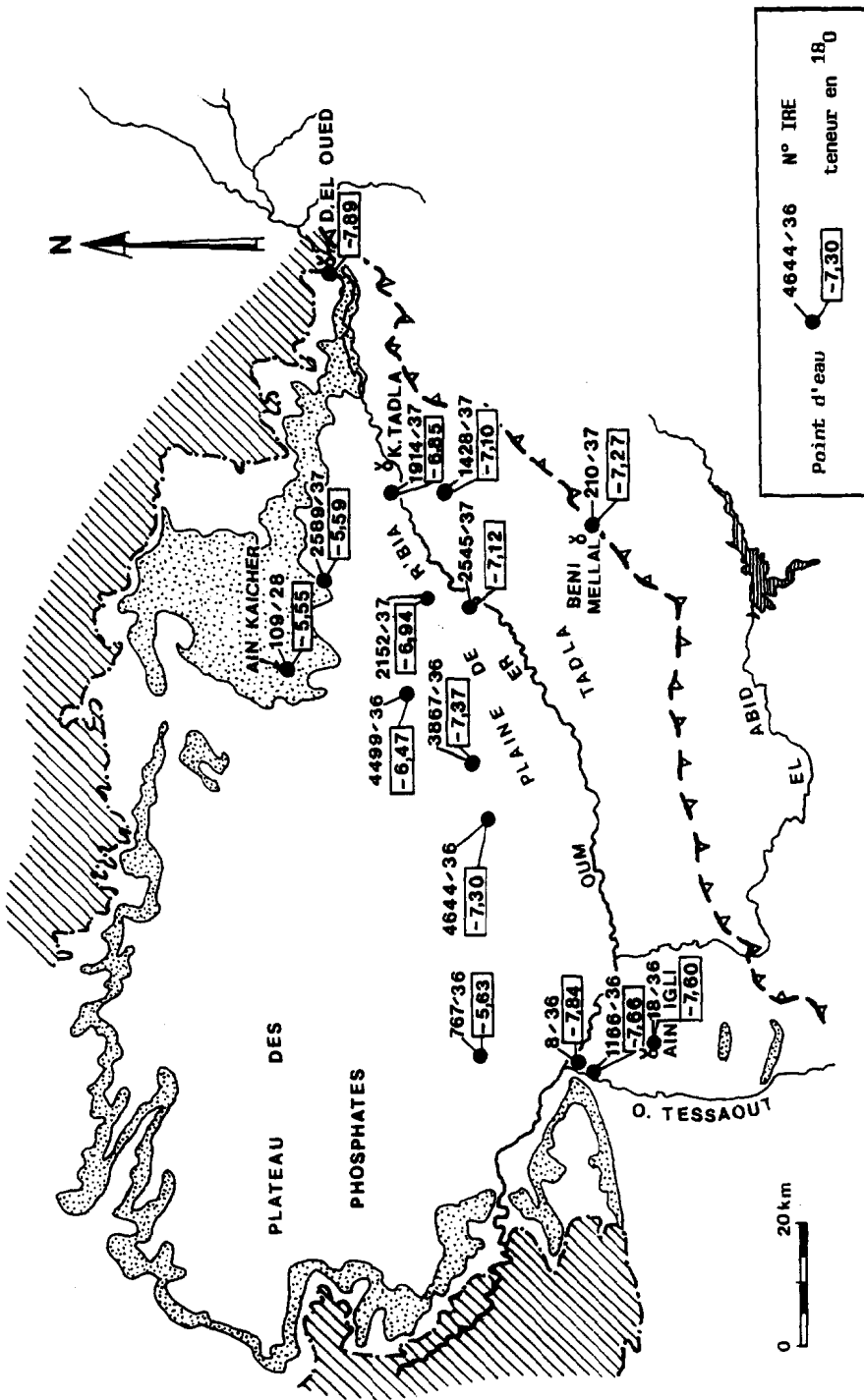


Fig. 5. Position des prélèvements d'eau souterraine avec les teneurs en oxygène ^{18}O .

Fig. 5. Position of groundwater sampling points and oxygen ^{18}O concentration.

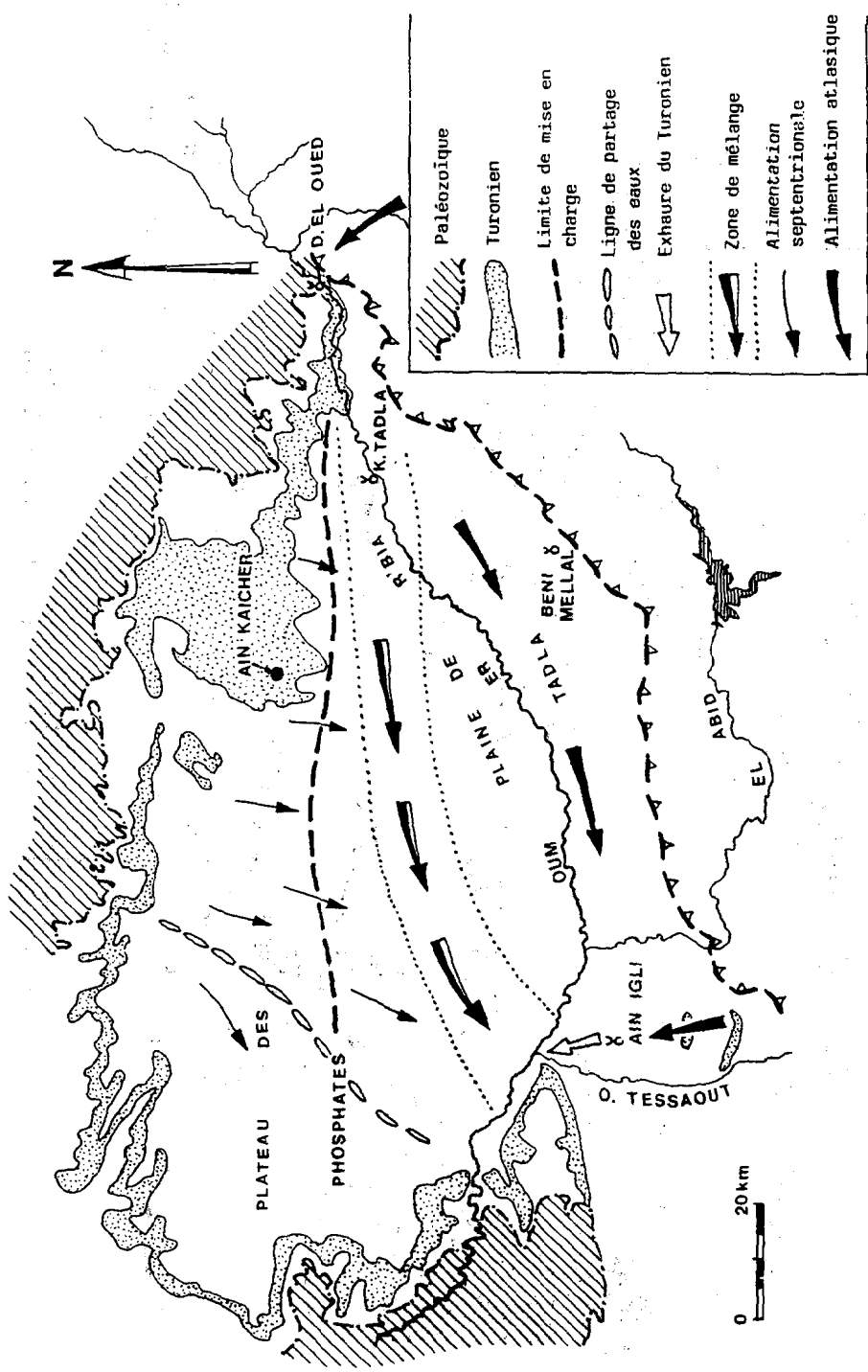


Fig. 6. Schéma d'alimentation et des circulations des eaux souterraines de la nappe turonienne.
Fig. 6. Alimentation scheme and groundwater circulations of the Turonian aquifer.

($\delta^{18}\text{O} = -7,60$ à $-7,84\text{‰}$) indiquent comme lors de la campagne de 1975, une origine atlastique. Cette origine attribuée par Marce (1975) aux eaux des oueds El Abid et Tessaout alimentant la nappe phréatique peut s'expliquer aussi par un apport de la nappe du Turonien, en charge dans ce secteur, qui présente des compositions isotopiques similaires.

La prospection de 1975 montre une décroissance des teneurs en Tritium vers le nord. Cette décroissance est probablement due à un mélange des eaux: récentes (précipitations locales, oueds) et anciennes (Turonien profond du Tadla). Ce mélange concernant à la fois les forages du Turonien et les sources de la Tessaout aval laisse penser aussi à une contribution du Turonien dans l'alimentation de celles-ci.

3. Conclusion

Les circulations mises en évidence par la carte piézométrique et les variations des teneurs en isotopes des eaux montrent (Fig. 6) que le Turonien est alimenté à la fois, à partir du plateau des phosphates au nord et du domaine atlasique à l'est. Le grand axe de drainage constitue la zone de mélange des deux types d'eau. Au sud-ouest les sources de la Tessaout aval se trouvent dans un contexte analogue, avec en plus un mélange avec les eaux de la nappe mio-plio-quaternaire et le drainage des eaux de la Tessaout arrivant directement de l'Atlas.

L'ensemble de l'écoulement converge vers la Tessaout aval indiquant donc une sortie de la nappe dans ce secteur. Les sources de la Tessaout aval émergeant à ce niveau peuvent donc être des exutoires de la nappe du Turonien. Les résultats hydrométriques, hydrogéochemiques et isotopiques confirment cette hypothèse et montrent que ces sources sont des exutoires communs des nappes du Mio-Plio-Quaternaire et du Turonien et permettent de proposer un schéma général de circulation des eaux (Fig. 6).

References

- Archambault, C., 1972. Piézométrie des aquifères du plateau des phosphates et de la plaine de Tadla. Rapport interne de la Direction Régionale de l'Hydraulique de Beni-Mellal, Maroc.
- Archambault, C., Combe, M. et Ruhard, J.P., 1975. Le plateau des phosphates. Notes Mém. Serv. Géol. Maroc, 231: 239–259.
- CAG, 1966. Etude par prospection électrique dans la plaine de la Bahira orientale. Rapport interne. Compagnie d'Géophysique, Rabat, Maroc.
- Hsissou, Y., 1991. L'aquifère des calcaires du Turonien (Bassin du Tadla, Maroc) Alimentations locales et lointaines à partir de l'Atlas. Thèse Fac. Sci., Univ. Franche-Comté, Besançon, 196 pp.
- Hsissou, Y., Chauve, P., Mania, J., Mangin, A., Bakalowicz, M. et Gaiz, A., 1996. Caractérisation des eaux de l'aquifère turonien du bassin du Tadla (Maroc) par le rapport des concentrations molaires $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$. J. Hydrol., 183: 445–451.
- Marce, A., 1975. Contribution des méthodes isotopiques à l'étude des modalités d'alimentation et de renouvellement des réserves souterraines du Maroc. SGN 447, LAB, BRGM, Orleans, France.
- Verset, Y., 1988. Carte géologique du Maroc au 1/100.000ème, feuille Kasba-Tadla, mémoire explicatif. Notes Mém. Serv. Géol. Maroc, 340 bis.