

Zeitschrift:	Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
Herausgeber:	Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
Band:	100 (1977)
Artikel:	L'apport des données isotopiques et géochimiques pour la conception des modèles hydrogéologiques dans les aquifères profonds
Autor:	Melloul, Avi
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-89115

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

L'APPORT DES DONNÉES ISOTOPIQUES ET GÉOCHIMIQUES POUR LA CONCEPTION DES MODÈLES HYDROGÉOLOGIQUES DANS LES AQUIFÈRES PROFONDS

par
AVI MELLOUL
AVEC 8 FIGURES ET 3 TABLEAUX

INTRODUCTION

Les modèles hydrogéologiques permettent de rationaliser la gestion et l'exploitation des nappes d'eau souterraine. La fidélité du modèle dépend de la quantité et de la qualité des informations relatives à l'aquifère simulé. En raison des difficultés d'acquérir une telle connaissance, les modèles nécessitent plusieurs hypothèses et restrictions. Ces dernières années, de nombreuses études isotopiques et chimiques ont été réalisées dans les aquifères profonds afin de mieux estimer leurs caractéristiques. Le but de cet article est de proposer une méthodologie de travail destinée à une meilleure conception des modèles hydrologiques et de montrer l'utilité des isotopes et du chimisme des eaux pour la compréhension des circulations souterraines.

Dans le cas présent, on envisage l'utilisation d'éléments isotopiques tels que C-14, C-13, H-3, H-2 et O-18 et des éléments chimiques tels que pH, HCO_3^- , résidu sec (RS) et les rapports chimiques $r\text{Na}/r\text{Ca}$, $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$, $r\text{CO}_3/r\text{Cl}$ et $r\text{Cl}-(r\text{Na} + r\text{K})/r\text{Cl}$.

Cette étude se base sur :

- des mesures faites dans la nappe profonde du Continental Intercalaire du Sahara (C. I.) tirées du rapport UNESCO (1972) et de GONFIANTINI et al. (1974). Les situations géographique, géologique et lithologique sont représentées par les figures 1 et 2.
- des mesures faites dans la nappe du Maestrichtien du Sénégal (MS) à partir des travaux d'AUDIBERT (1966) et de CASTANY et al. (1974). Les situations géographique, géologique et lithologique sont représentées par les figures 3 et 4.

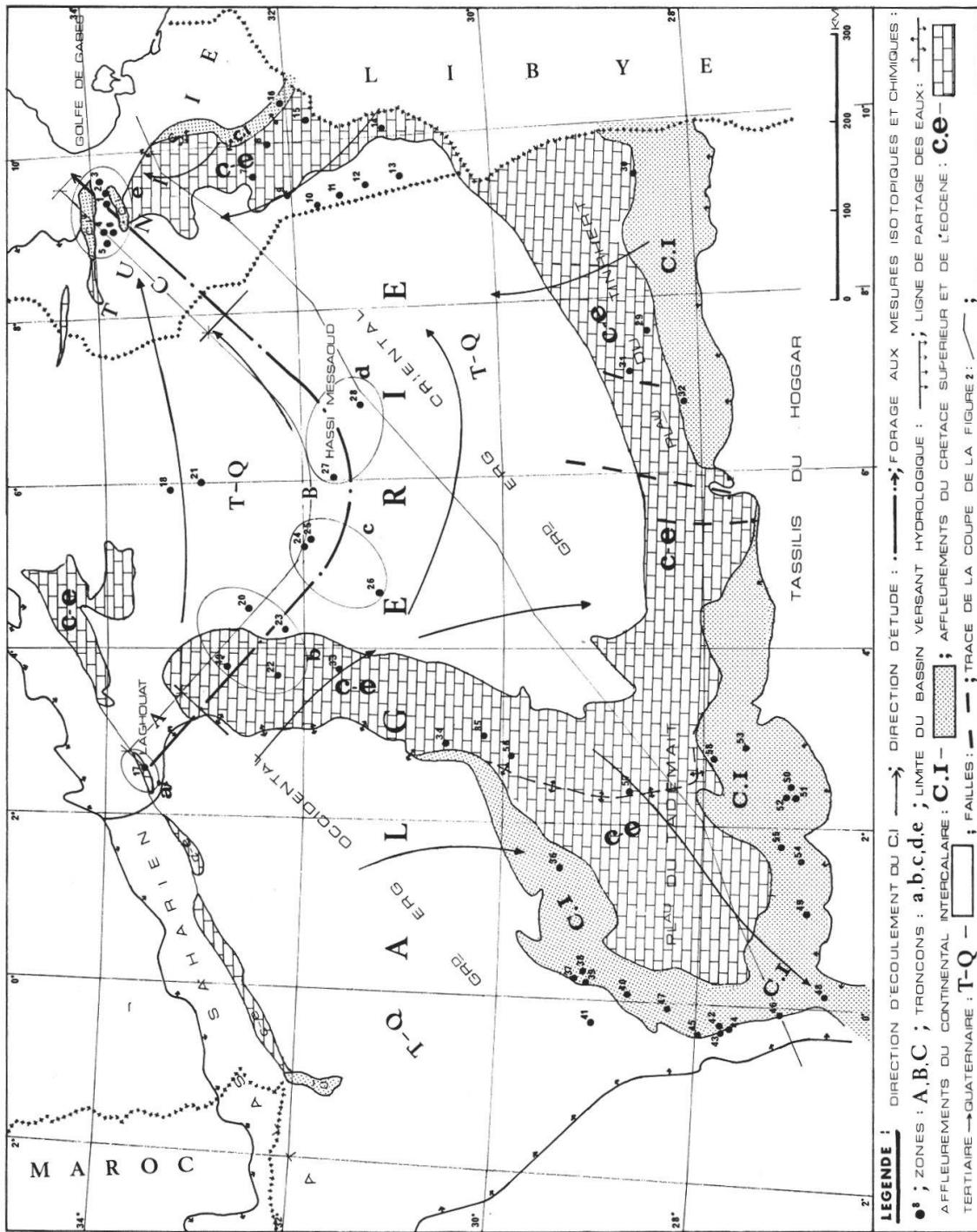


Fig. 1. Carte de la région d'étude pour le Continental Intercalaire du Sahara (Rapport UNESCO 1972).

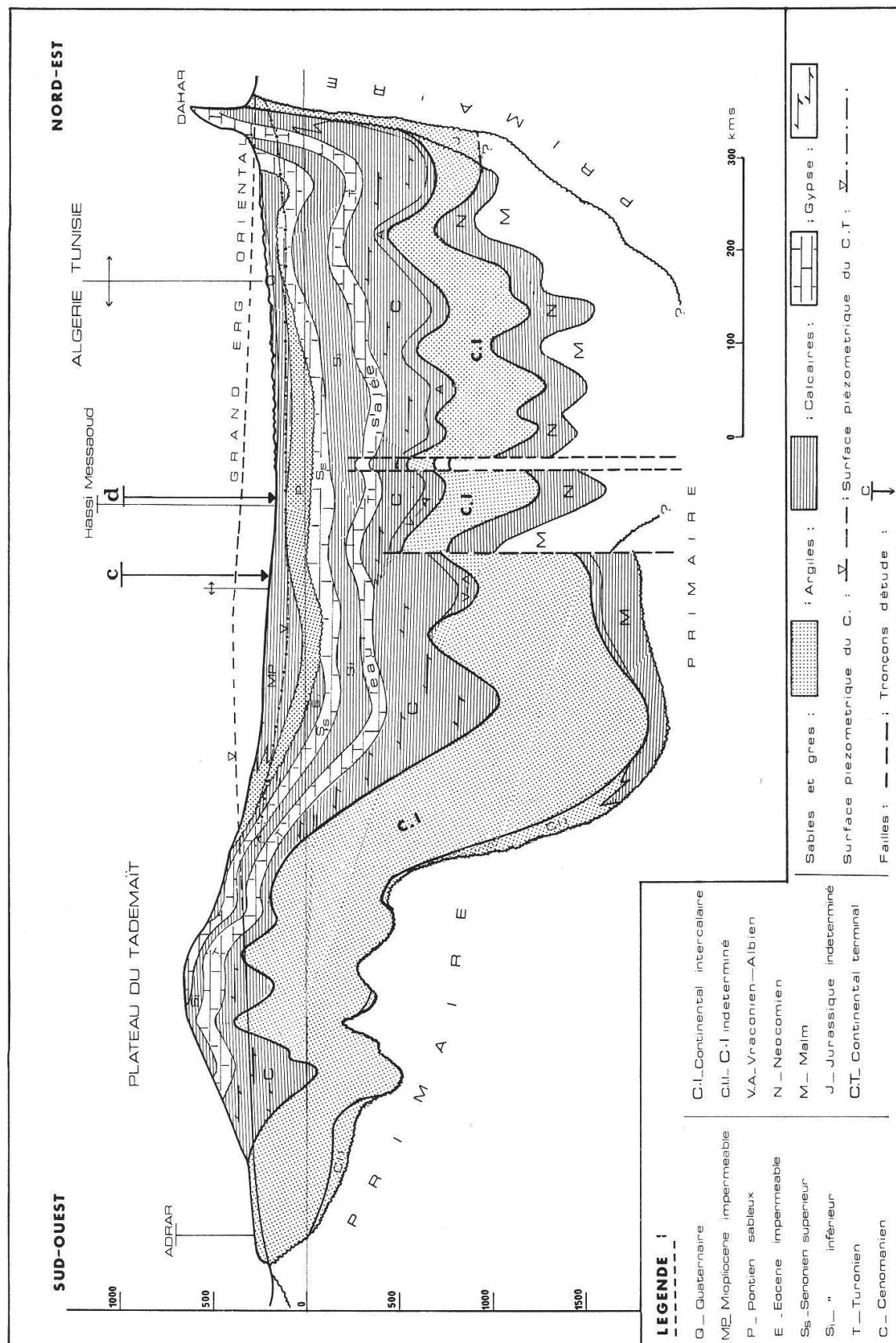


Fig. 2. Coupe hydrogéologique dans l'aquifère du Continental Intercalaire (Rapport UNESCO 1972).

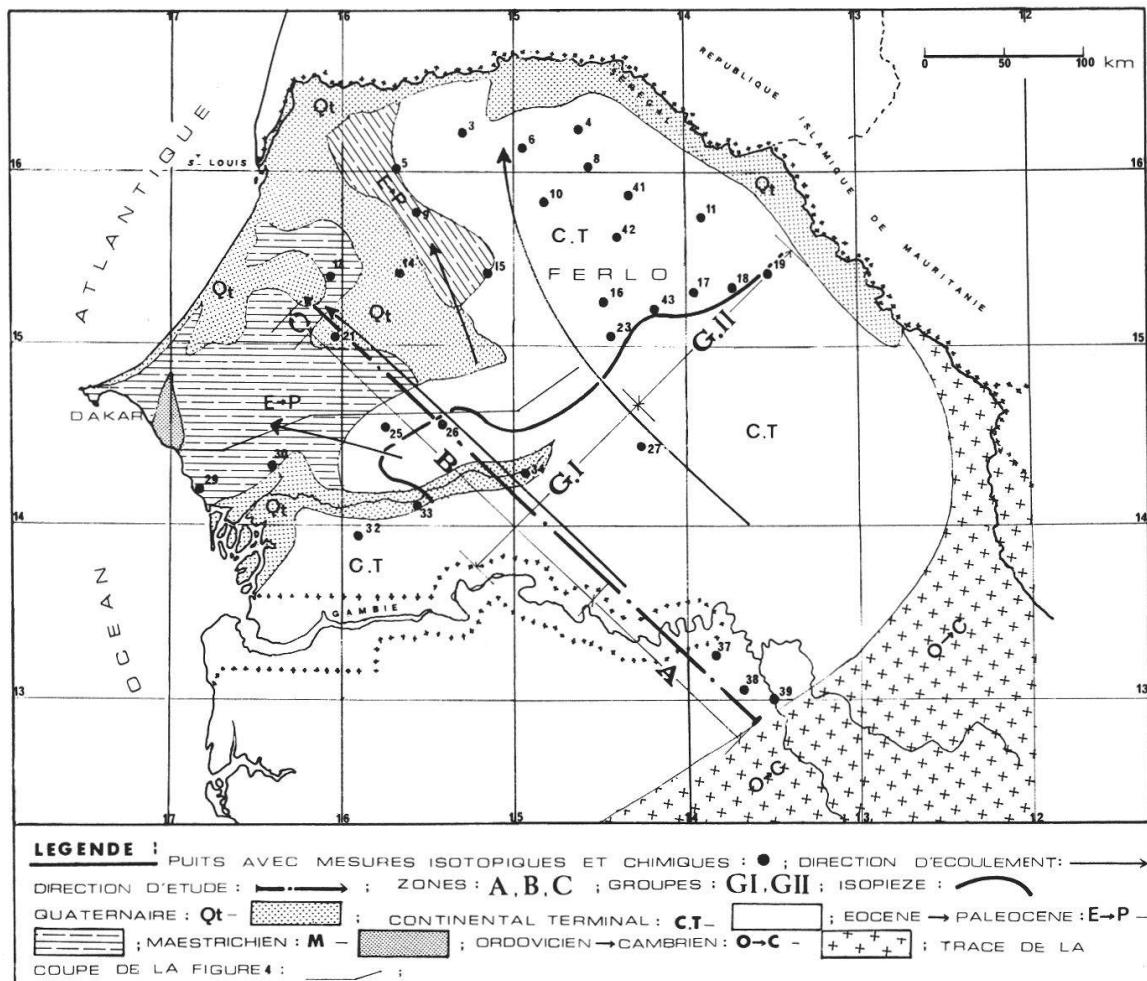


Fig. 3. Carte de la région d'étude pour la nappe du Maestrichtien du Sénégal (AUDIBERT 1966).

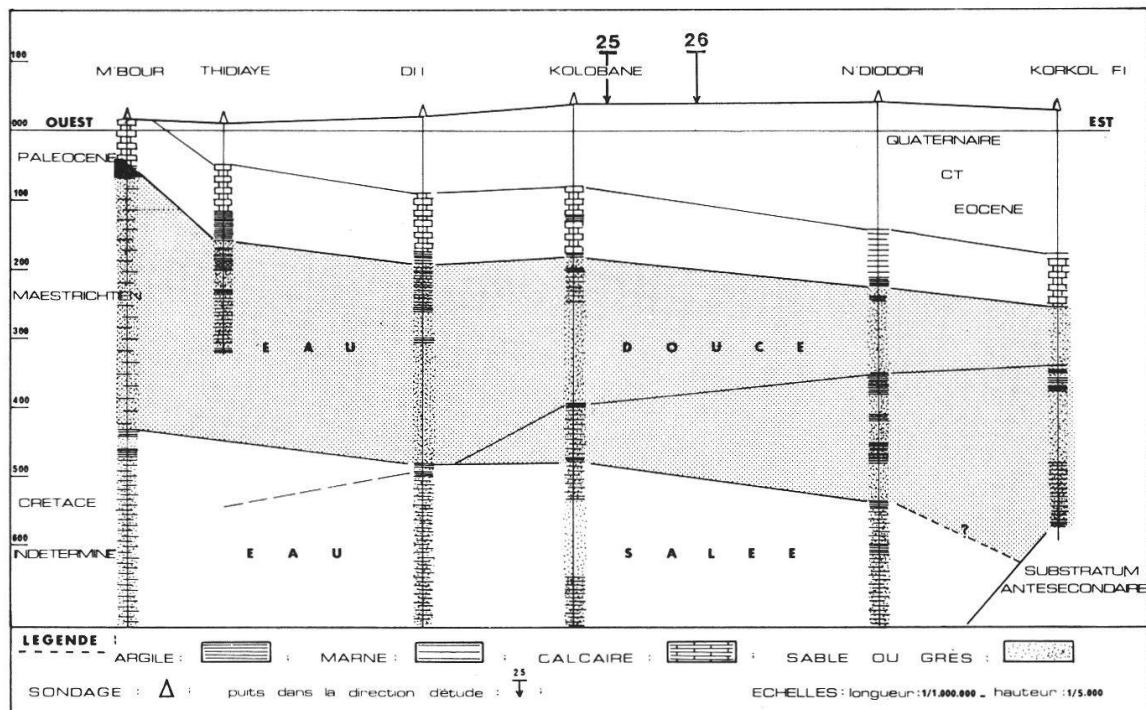


Fig. 4. Coupe géologique dans l'aquifère du Maestrichtien du Sénégal (AUDIBERT 1966).

A. Méthodologie

Celle-ci repose sur :

1. Le choix d'une direction et d'un sens d'étude

— La direction est choisie le long d'un axe de drainage principal obtenu à partir de la carte piézométrique de la nappe. Le sens de cette direction va des régions élevées vers les régions basses de l'aquifère, soit au sens large des zones d'alimentation que nous appellerons zones A vers les zones exutoires que nous appellerons zones C ; les zones intermédiaires seront appelées zones B (fig. 1, 3, 5 et 6).

Le choix d'une telle direction et d'un tel sens a pour avantage de représenter une partie de l'aquifère, de suivre avec une plus grande sûreté un système d'écoulement unique (pour le cas des aquifères profonds, c'est le système d'écoulement régional), de repérer successivement les grandes variations hydrogéologiques qui interviennent dans cette partie de l'aquifère le long de l'écoulement et de caractériser certains des paramètres hydrogéologiques en fonction de la profondeur de l'aquifère.

— La direction est choisie perpendiculairement à l'axe de drainage, c'est-à-dire le long d'une isopièze. Le sens « d'étude » est alors arbitraire. L'utilité de cette direction est de relever les variations des éléments étudiés, dans une direction perpendiculaire à l'écoulement et de repérer d'autres axes de drainage pour une étude plus complète de l'aquifère (fig. 3 et 7).

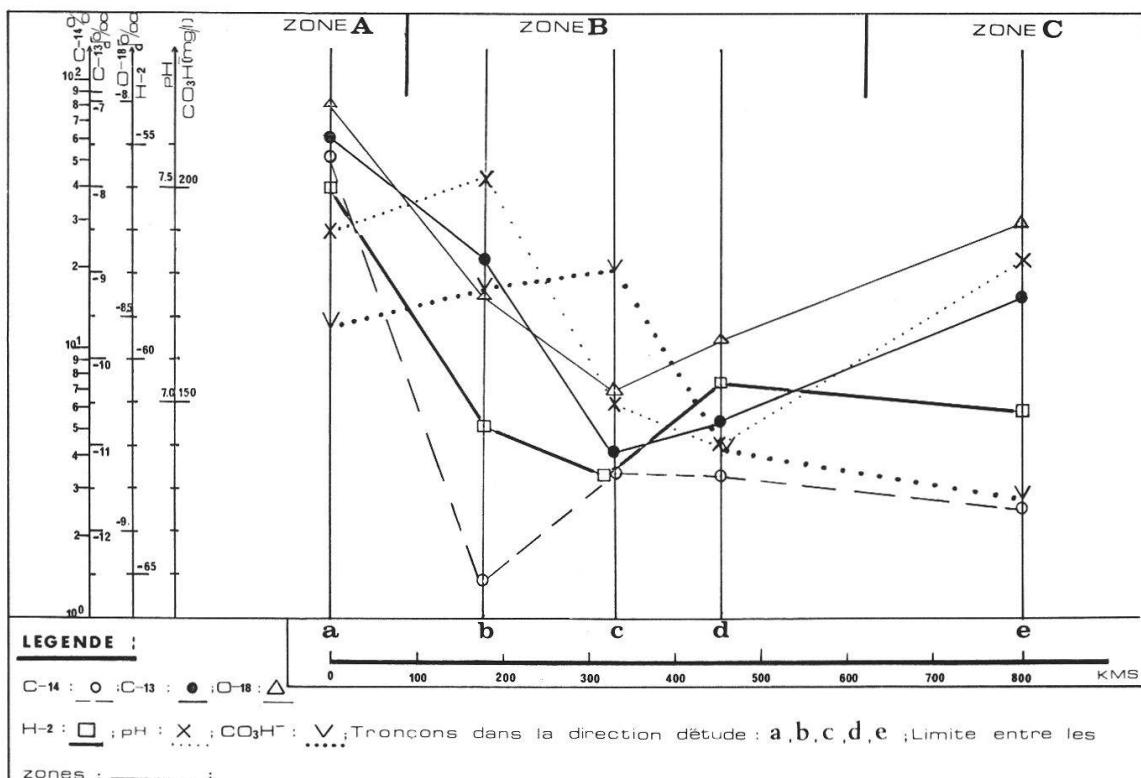


Fig. 5. Direction d'étude le long d'un axe de drainage dans le Continental Intercalaire.

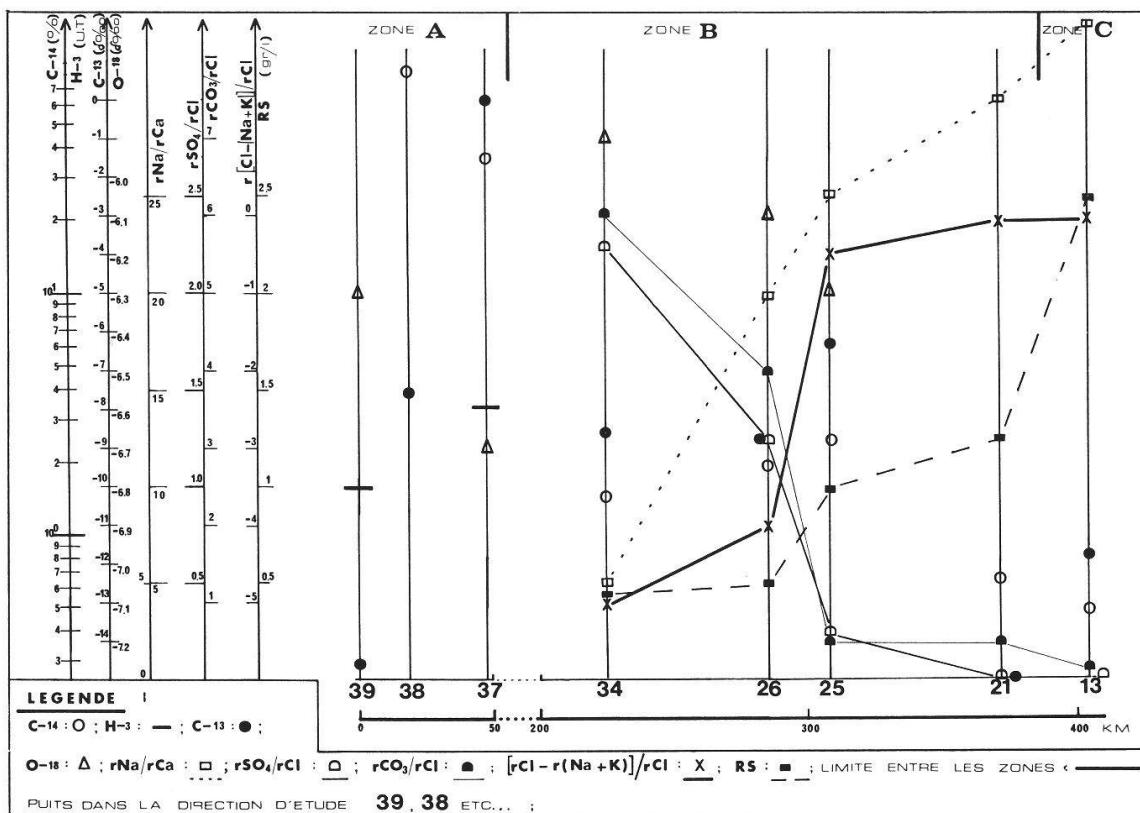


Fig. 6. Direction d'étude le long d'un axe de drainage dans le Maestrichtien du Sénégal.

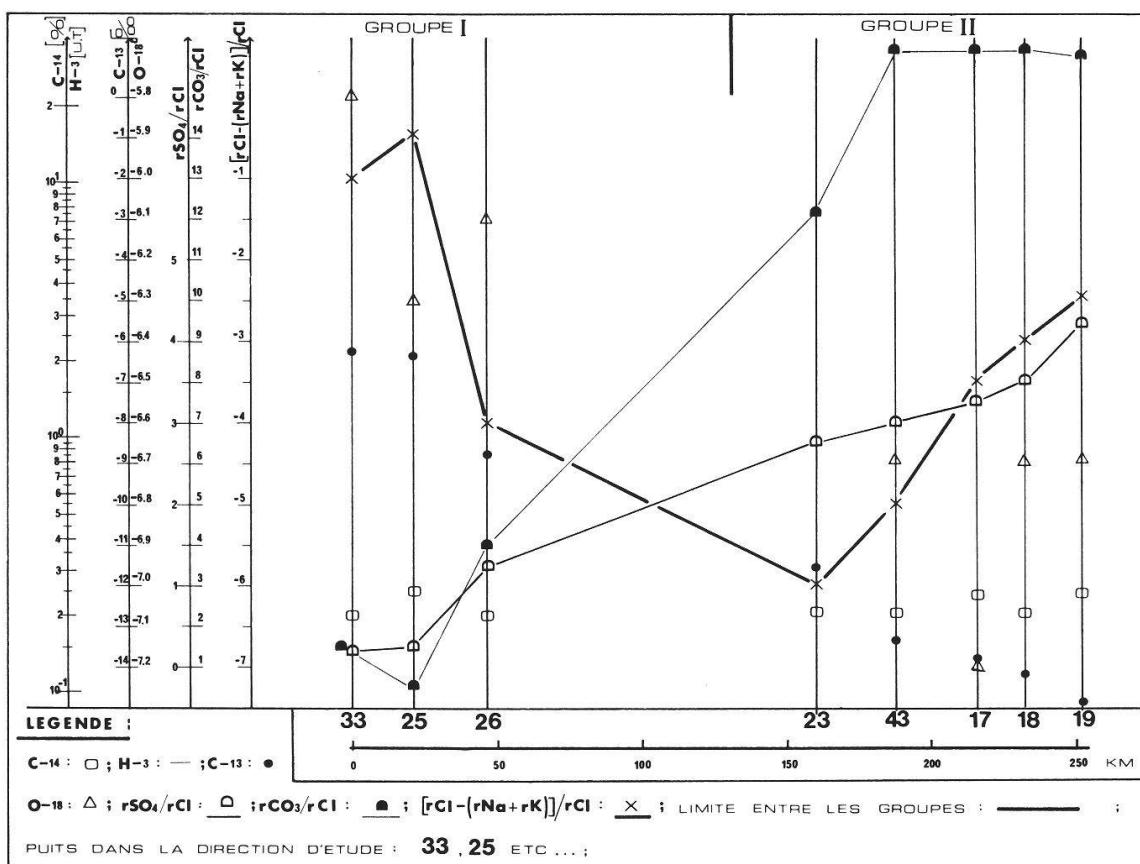


Fig. 7. Direction d'étude le long d'une équipotentielle dans le Maestrichtien du Sénégal.

2. Groupement et représentation graphique des données

Les données sont rassemblées dans les tableaux I, II et III, dans un ordre qui va des zones A vers les zones C. Lorsque plusieurs puits sont suffisamment proches, ceux-ci sont groupés en tronçons a, b, c, d, e. Une zone peut être formée de plusieurs tronçons. Ces données sont ensuite représentées graphiquement : en ordonné, les droites parallèles représentent respectivement l'échelle des mesures pour chacun des paramètres utilisés, et, en abscisse, sont mentionnés les noms des puits ou des tronçons situés d'après leur éloignement de la zone A (fig. 5, 6 et 7). Cette étude a surtout un caractère qualitatif : on s'intéresse ici bien plus aux tendances des mesures qu'à leurs variations en valeurs absolues.

TABLEAU I

Données isotopiques et chimiques le long d'un axe de drainage dans le Continental Intercalaire du Sahara (GONFIANTINI et al. 1974)

Tronçon	Puits	O-18/ SMOW $\delta \text{‰}$	D/ SMOW $\delta \text{‰}$	C-14 % mod	C-13/ PDB $\delta \text{‰}$	pH	Co_3H^- mg/l
a	17	-8	-56	54.7	-7.4	7.4	168
b	19	-8.2	-62	1.3	-8.3	7.4	183
	22	-8.5	-61	2.5	-8.0	7.5	159
	20	-8.6	-62	1.7	-9.4	7.8	178
	23	-8.5	-61	0.	-9.5	7.4	189
	\bar{b}	-8.45	-61.5	1.38	-8.8	7.53	177
c	σ	0.17	0.5	0.9	0.66	0.22	14.6
	24	-8.8	-62	1.4	-11.5	7.1	175
	25	-8.8	-63	—	—	—	—
	26	-8.4	-63	5.2	-10.6	7.0	187
	\bar{c}	-8.67	-62.6	3.3	-11.05	7.05	181
d	σ	0.14	0.7	1.9	0.46	0.1	6
	27	-8.6	-61	4.1	-10.3	7.2	165
	28	-8.5	-60	2.4	-11.1	7.2	138
	\bar{d}	-8.55	-60.5	3.25	-10.7	7.2	151
	σ	0.1	0.5	0.85	0.75	0	13.5
e	5	-8.4	-60	6.6	-10.7	6.9	140
	4	-8.3	-62	—	—	—	—
	6	-8.3	-61	—	—	—	—
	1	-8.6	-62	0.2	-8.5	7.3	102
	2	-7.9	-62	0.9	-8.6	7.8	136
	3	-8.2	-60	—	—	—	134
	\bar{e}	-8.28	-61.17	2.57	-9.27	7.3	128
	σ	0.32	0.63	2.86	0.98	0.4	15.1

TABLEAU II

*Données chimiques et isotopiques le long d'un axe de drainage
dans le Maestrichtien du Sénégal
(CASTANY et al. et AUDIBERT 1966)*

Puits	C-14 ‰ NBS	C-13 ‰ PDB	H-3 U.T.	O-18 ‰ SMOW	RS gr/l	rNa/rCa	rSO ₄ /rCl	rCO ₃ /rCl	rCl-(rNa+rK) rCl
39	—	-14.54	1.6	-6.3	—	—	—	—	—
38	84.8	- 7.53	—	—	—	—	—	—	—
37	48.5	- 0.06	3.5	-6.8	—	—	—	—	—
34	≤1.5	- 8.5	—	-5.9	<0.5	5	2.25	6	-5
26	≤2	- 8.75	—	-6.1	0.5	20	1.25	4	-4
25	2.5	- 6.33	—	-6.3	1.0	25	0.25	0.5	-0.5
21	0.7	-15.81	—	—	1.2	30	0.07	0.5	-0.08
13	0.5	-11.71	—	—	2.5	34	0.05	0.2	-0.1

TABLEAU III

*Données chimiques et isotopiques le long d'une équipotentielle
dans le Maestrichtien du Sénégal
(CASTANY et al. 1974 et AUDIBERT 1966)*

Puits	C-14 ‰ NBS	C-13 ‰ PDB	H-3 U.T.	O-18 ‰ SMOW	rSO ₄ /rCl	rCO ₃ /rCl	rCl-(rNa + rK) rCl
33	≤2.0	- 6.23	—	-5.8	0.2	1.5	-1.0
25	≤2.5	- 6.33	—	-6.3	0.25	0.5	-0.5
26	≤2.0	- 8.75	—	-6.1	1.25	4.0	-4.0
23	≤2.0	-11.6	—	—	2.75	12.0	-6.0
43	≤2.0	-13.42	—	-6.7	3.0	<16	-5.0
17	≤2.3	-13.88	—	-7.2	3.25	<16	-3.5
18	≤2.0	-14.20	—	-6.7	3.5	>16	-3.0
19	2.4	-14.98	—	-6.7	4.0	<16	-2.5

B. Caractérisation hydrogéologique des zones A, B et C

1. Caractérisation de la zone A

Elle est représentée par le tronçon a dans le C. I. (fig. 5) et par les puits 39, 38 et 37 (aux mesures très imprécises) dans le M. S. (fig. 6).

Cette zone est caractérisée par de fortes valeurs en C-14 et des traces de H-3 pour M. S. Les valeurs en C-14 sont de 50% dans le C. I. et de 85% à 40% dans le M. S. Ceci nous montre que dans les deux cas cette zone contient des eaux relativement récentes.

Dans le cas du C. I., les isotopes stables ont les valeurs élevées suivantes : C-13 = -7,4 ‰, O-18 = -8,0 ‰ et D = -56 ‰ correspondant à un climat aride (RIGHTMIRE et HANSHAW 1973). Les teneurs en O-18 et D se situent un peu au-dessous de la droite $D = 8 \delta O-18 + 10$ spécifique des eaux de précipitations ; cela confirme donc que les eaux souterraines ont subi une évaporation avant de s'infilttrer (MAZOR 1976).

Les mesures de pH et du HCO_3^- dans le C. I. ont été placées sur le diagramme de Tillmans (MISEREZ 1973) après conversion du HCO_3^- en TAC (fig. 8). On constate que les eaux dans le tronçon *a* se trouvent dans un état agressif mais assez proche de la courbe d'équilibre pour une température de 30° C.

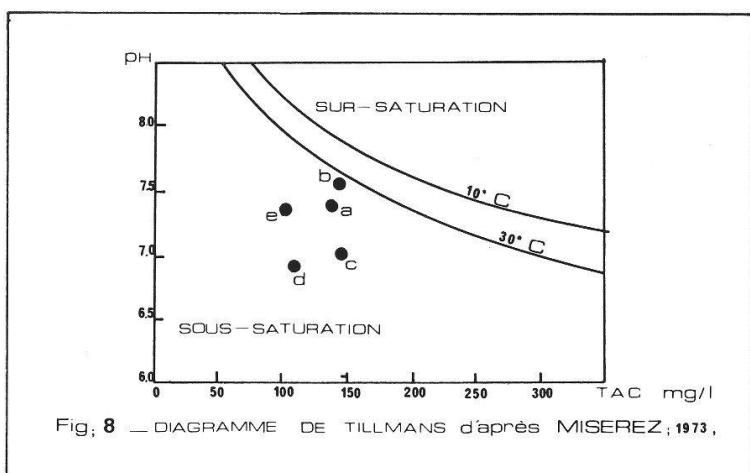


Fig. 8. — DIAGRAMME DE TILLMANS d'après MISEREZ, 1973.

Dans le cas du M. S., les données pour les isotopes stables et pour la chimie sont imprécises et insuffisantes ; il est donc vain d'essayer de les interpréter.

La zone A est donc caractérisée par des teneurs isotopiques et chimiques très influencées par les conditions extérieures telles que le climat, la végétation, la topographie, etc. Hydrologiquement, elle est formée d'eaux récentes et, au sens large, correspond à une zone d'alimentation.

2. Caractérisation de la zone B

Elle est représentée par les tronçons *b*, *c*, *d* pour le C. I. (fig. 5) et par les puits 34, 26, 25 et 21 pour le M. S. (fig. 6).

— Le Continental Intercalaire (fig. 5).

De la zone A vers la zone B du C. I., on remarque une forte diminution des concentrations du C-14. Celui-ci atteint la valeur de 1,4 % dans le tronçon *b* pour remonter ensuite à 3,5 % aux tronçons *c* et *d*. Simultanément, la teneur en isotopes stables diminue de la zone A vers le tronçon *c* dans lequel C-13 = -11,2 ‰, O-18 = -8,67 ‰ et D = -60,5 ‰. Parallèlement, l'étude du pH et du HCO_3^- nous montre

(fig. 8) que les eaux sont toujours sous-saturées ; toutefois dans le tronçon *b*, on se rapproche de plus en plus de l'état d'équilibre, tandis que dans *c* l'agressivité augmente pour atteindre son maximum dans le tronçon *d* (fig. 8). D'une manière générale, les données en C-14 et en isotopes stables de cette zone indiquent de par leurs faibles teneurs que les eaux sont anciennes et proviennent d'une époque plus froide. Entre les tronçons *c* et *d*, la constance du C-14, l'augmentation en CO₂ agressif et en isotopes stables indiquent un apport d'eau plus récente. Ceci pourrait être lié à la présence de failles situées dans cette région (fig. 2) qui draineraient des eaux plus jeunes provenant d'écoulements à partir de la région sud.

— Le Maestrichtien du Sénégal (fig. 6).

Dans le M. S. (fig. 6), la zone B est aussi caractérisée par une baisse en C-14 et en isotopes stables. Par ce fait, il apparaît que la recharge de la nappe s'est faite à une époque plus froide. Par contre, l'augmentation de la concentration en C-14 et en C-13 dans les puits 26 et 25, révèle un apport d'eaux plus récentes dans cette région. L'évolution chimique de cette zone se marque par une augmentation de la salinité indiquée par le R. S., par une augmentation du chlore révélée par rSO₄/rCl, rCO₃/rCl et par de très fortes valeurs négatives de l'indice de déséquilibre chlore-alcalin. Ce dernier peut être expliqué par un temps de contact très long entre l'eau et les argiles entraînant un échange entre le Ca⁺ de l'eau et le Na⁺ des argiles, d'où l'augmentation du rNa/rCa dans cette direction (fig. 6). L'augmentation de la salinité indiquerait aussi une absence presque totale de l'écoulement, ce qui est confirmé par les très faibles gradients hydrauliques de cette région ($10^{-4} - 5 \cdot 10^{-5}$).

Du puits 26 au puits 25 les variations chimiques se font très fortes, ce qui confirme le déséquilibre déjà remarqué par les isotopes. Il se pourrait donc qu'il y ait dans cette région un apport d'eau plus récente, dû à une drainance à partir des nappes supérieures, comme cela peut être argumenté à partir des changements lithologiques (fig. 4).

Cette zone B du M. S. est caractérisée par des eaux qui appartiennent à une époque climatique plus froide, des échanges chimiques entre la roche et l'eau et des possibilités de drainance avec la ou les couches avoisinantes.

3. Caractérisation de la zone C

— Le Continental Intercalaire.

Elle est représentée par le tronçon *e* (fig. 5). De la zone B à C, on remarque que la teneur en C-14 n'a que très faiblement diminué pour une telle distance (350 km) ; le C-13 et le O-18 ont augmenté, tandis que le H-2 a sensiblement baissé.

Le pH et le HCO₃⁻ confèrent toujours à l'eau une certaine agressivité (fig. 8), toutefois inférieure à celle du tronçon *d* de la zone B. Les teneurs en C-14, C-13, pH et HCO₃⁻ indiqueraient une alimentation à partir de l'extérieur. Simultanément les valeurs en O-18 (-8,28 ‰) et

D ($-61,2\text{‰}$) indiquent un apport d'eau géothermique ; avec une température plus élevée, les teneurs en O-18 de l'eau tendent vers celles de la roche, celle-ci étant pauvre en minéraux hydrogénés, alors qu'aucun effet ne vient perturber les teneurs en deutérium qui ont tendance à se stabiliser (FONTES 1976). Cette explication géothermique est en accord avec la situation géologique de cette zone marquée par la présence de failles et le relèvement abrupt du C. I. dans le golfe de Gabès (fig. 2). La zone C est donc caractérisée par un apport d'eaux récentes et la présence d'eaux géothermiques.

— Le Maestrichtien du Sénégal.

Dans le M. S. la zone C est représentée par le puits 13 (fig. 6). Les quelques données à disposition indiquent une légère diminution en C-14 et une augmentation en C-13, ce qui peut être expliqué par une faible drainance des couches supérieures. Les valeurs des différents éléments chimiques montrent une augmentation continue de la salinité et du chlore. Ceci peut être confirmé par les très faibles circulations des eaux souterraines dans cette région et le manque d'exutoire vers la mer (AUDIBERT *op. cit.*).

C. Estimation des facteurs hydrogéologiques

Dans chacune de ces zones, les teneurs en isotopes radioactifs permettraient d'estimer les vitesses apparentes, les coefficients de perméabilités, les recharges dans la zone A (WALLICK et TOTH 1976) et les taux de renouvellement ; on pourrait ainsi caractériser l'hétérogénéité et l'état de l'écoulement dans chacune de ces zones.

D. La limite des zones A, B et C pour la construction des modèles hydrogéologiques

Ces limites peuvent être tracées de diverses façons :

- Si la lithologie et la géologie sont connues, elles seront tracées d'une manière optimale en tenant compte, par exemple, de la présence de failles, de changements de faciès et de la caractérisation isotopique et chimique des zones décrites ici.
- Si l'information géologique est insuffisante, mais les vitesses apparentes connues, les limites seront tracées selon un critère de temps ; par exemple, on peut admettre que cent ans est le temps de transit maximal pour qu'une eau appartienne à la zone A et que dix mille ans est le temps maximal pour que l'eau appartienne à la zone B ; les vitesses étant connues, on peut en déduire la position des limites.
- Si l'information géologique et hydrogéologique est insuffisante, la limite sera tracée suivant une ligne médiane entre les zones caractérisées a priori, comme cela est représenté sur les figures 5 et 6. Les limites inférieures et supérieures peuvent être tracées à partir de coupes géologiques le long de la direction d'étude.

E. Généralisation de l'étude

Celle-ci se fait par l'étude d'une direction le long d'une équipotentielle (fig. 3), et les données seront représentées conformément à la méthodologie expliquée précédemment (fig. 7). Comme exemple, si l'on suit cette ligne d'étude du Sud-Ouest vers le Nord-Est dans le M. S., on remarque une baisse des concentrations en isotopes stables (C-13 et O-18), une augmentation de la teneur en chlore et une stabilité des valeurs du C-14.

De ce fait deux groupes de données se dégagent :

Le groupe I se distingue du groupe II (fig. 7) par de fortes teneurs en O-18 et en C-13, un indice de déséquilibre chlore-alcalin élevé et de faibles valeurs pour $r\text{SO}_4/\text{rCl}$ et $r\text{CO}_3/\text{rCl}$.

Le groupe I se situe sur l'axe de drainage décrit.

Le groupe II se trouve sur un deuxième axe de drainage à étudier dans le but d'une compréhension plus complète de l'aquifère.

CONCLUSIONS

Par la méthode et les données isotopiques et chimiques utilisées dans les deux grands aquifères du C. I. et du M. S., on a montré qualitativement :

- le lien qui existe entre les variations isotopiques, chimiques et la constitution hydrogéologique de l'aquifère le long d'un axe de drainage ;
- l'apport des isotopes radioactifs et stables pour la compréhension de l'origine des eaux, des phénomènes de recharge, de drainance ou de géothermie, et même pour la découverte de zones de failles.
- la contribution du pH et du HCO_3^- pour la compréhension des apports d'eaux en accord avec l'interprétation isotopique ;
- le rôle de certains rapports chimiques mettant en évidence l'état de l'écoulement dans l'aquifère et les échanges possibles entre la roche et l'eau ;
- la possibilité d'estimer certains des paramètres hydrogéologiques, ainsi que l'hétérogénéité des zones et/ou des tronçons ;
- la possibilité de délimiter les différentes zones le long de la direction d'étude ;
- l'apparition d'axes de drainage supplémentaires pour généraliser l'étude à tout le bassin.

D'une manière générale, on a montré la contribution de chacun des facteurs analysés et le lien qui existe entre un ou plusieurs de ces facteurs pour l'explication d'un ou de plusieurs phénomènes hydrogéologiques.

Si on peut mesurer le long d'un même axe de drainage le plus grand nombre possible d'éléments tels que : le C-14, H-3, H-2, C-13, O-18, pH, HCO₃⁻, SO₄⁼, Cl⁻, CO₃⁼, Ca⁺⁺, K⁺, Na⁺, Mg⁺⁺ et la température, on serait alors pourvu de données pour une meilleure interprétation et estimation des caractères hydrogéologiques de l'aquifère. Il en découlera une meilleure conception des modèles hydrogéologiques impliquant des progrès pour les problèmes d'exploitation et de stockage d'eau dans les aquifères profonds des régions arides mais aussi, pourquoi pas, pour de petits aquifères de sables ou de calcaires.

Remerciements

Le présent travail fait partie d'une recherche sur les nappes souterraines profondes, financée par une bourse d'étude de la Confédération. Il a été réalisé au Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel avec l'aide et les conseils de M. le professeur A. Burger et de MM. Y. Bouyer, D. Jamier, L. Király, B. Mathey et J.-J. Miserez. Que ces personnes et ces institutions trouvent ici l'expression de notre gratitude.

Résumé

Cette étude est basée sur une méthode de recherche pour mieux comprendre le comportement des aquifères profonds à l'aide d'éléments isotopiques et chimiques et pour faciliter l'élaboration des modèles hydrogéologiques. Grâce aux données fournies par les recherches effectuées dans les nappes profondes du Continental Intercalaire du Sahara et du Maestrichtien du Sénégal, ces aquifères ont été étudiés selon des directions correspondant aux axes de drainage principaux. A l'aide des interprétations faites, on peut caractériser diverses zones ainsi que leurs limites. Celles-ci peuvent être différenciées par leurs phénomènes de recharge, l'origine de leur eau, leur drainance et leur chimisme.

BIBLIOGRAPHIE

- AUDIBERT, M. — (1966). L'étude hydrogéologique de la nappe profonde du Sénégal « Nappe Maestrichtienne ». *Mémoires du B.R.G.M.*, N° 41 : 99 pp.
- CASTANY, G., MARCE, A., MARGAT, J., MOUSSU, H. et VUILLAUME, Y. — (1974). Etude par les isotopes du milieu du régime des eaux souterraines dans les aquifères de grandes dimensions. *Isotope techniques in Groundwater Hydrology*, IAEA, Vol. 1 : 243-257.
- CASTANY, G., MARCE, A. et MARGAT, J. — (1976). Contribution des traceurs naturels à l'évaluation des ressources en eau souterraine. *Houille blanche*, N° 3 : 253-258.

- FONTES, J. C. — (1976). Les isotopes du milieu dans les eaux naturelles. *Houille blanche*, № 3 : 205-221.
- GONFANTINI, R., CONRAD, G., FONTES, J. C., SAUZAY, G. et PAYNE, B. R. — (1974). Etude isotopique de la nappe du CI et de ses relations avec les autres nappes du Sahara septentrional. *Isotope techniques in Groundwater Hydrology*, IAEA, Vol. 1 : 227-241.
- MISEREZ, J. J. — (1973). Géochimie des eaux du karst Jurassien. Thèse, Institut de Géologie de Neuchâtel : 221-229.
- MAZOR, E. — (1976). Multitracing and Multisampling in Hydrological Studies. Interpretation of environmental isotope and Hydrochemical data in Groundwater. *Isotope Hydrology*, IAEA : 7-36.
- PEARSON, F. J. et HANSHAW, B. B., Jr. — (1970). Sources of dissolved carbonate species in Groundwater and their effects on C-14 dating. *Isotope Hydrology*, IAEA : 271-285.
- RIGHTMIRE, C. T. et HANSHAW, B. B. — (1973). Relationships between the carbon isotope composition of oil CO₂ and dissolved carbonate species in Groundwater. *Water Resources Research* 9 (4) : 958-967.
- UNESCO — (1972). Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. Rapport. 79 pp.
- VAUCHEZ, J. C. — (1967). La nappe du Continental Intercalaire. *Chronique d'hydrogéologie*, № 11 : 97-101.
- WALLICK, E. I. et TOTH, J. — (1976). Methods of regional Groundwater flow analysis with suggestions for the use of environmental isotopes. *Interpretation of environmental isotope and hydrochemical data in Groundwater hydrology*, IAEA : 37-63.