

CORRÉLATIONS GÉOCHIMIQUES ENTRE EAUX PHRÉATIQUES ET NIVEAUX AQUIFÈRES DANS LES MANTEAUX D'ALTÉRATION DU SÉNÉGAL ORIENTAL

J.-M. WACKERMANN

Laboratoire de Géologie
du Centre ORSTOM de DAKAR (Sénégal)

RÉSUMÉ

Les coefficients de corrélation de rang montrent l'existence, durant la saison sèche, dans les nappes phréatiques du Sénégal Oriental, de liaisons entre les teneurs des éléments dissous suivants : Si-Mg, PO₄-Al, SO₄-Sr, Ca-Cu, Al-Fe-Ba, Mn-Cu-Ni, Ni-V. Une corrélation positive apparaît entre les teneurs de K dans les eaux et dans les niveaux aquifères. Les teneurs de Si dans les eaux varient en raison inverse de l'évolution de SiO₂ dans les profils d'altération. Le rapport Mg/K des eaux phréatiques peut constituer un test hydrochimique du soubassement.

ABSTRACT

Rank correlation coefficients show ties of dissolved elements in phreatic waters of Eastern Senegal (during dry season) : Si-Mg, PO₄-Al, SO₄-Sr, Ca-Cu, Al-Fe-Ba, Mn-Cu-Ni, Ni-V. Correlations appear between water and relative aquiferous levels for K-data and Si weathering ratios. Mg/K ratios may be used as hydrochemical testing method of basement rocks.

ZUSAMMENFASSUNG

Spearman's Korrelationskoeffiziente beweisen Bindungen zwischen aufgelösten Elementen in Ost-Senegal Grundwässern, während der trockenen Jahreszeit : Si-Mg, PO₄-Al, SO₄-Sr, Ca-Cu, Al-Fe-Ba, Mn-Cu-Ni, Ni-V. Bedeutsame Korrelationen erscheinen zwischen K-Inhalte in Brunnenwässern und in wasserhaltigen Horizonten, und zwischen Si-Wasserinhalte und Si-Verwitterungsprozesse. Das Mg/K Mengenverhältnis in Grundwässern bestellt eine Prospektions-methode für die Grundgesteine.

РЕЗЮМЕ

Коэффициенты корреляции рангов показывают существование, во время сухого периода, в грунтовых водах восточной части Сенегала, связей между содержаниями следующих растворенных элементов : Si-Mg, PO₄-Al, SO₄-Sr, Ca-Cu, Al-Fe-Ba, Mn-Cu-Ni, Ni-V. Отмечается положительная корреляция между содержаниями K в водах и на уровнях вод. Содержания Si в водах изменяются в обратной зависимости от эволюции SiO₂ в профилях выветривания. Отношение Mg/K в грунтовых водах может служить гидрохимическим тестом подстилающей породы.

La présente étude se place dans le cadre des recherches sur les processus d'altération météorique des roches basiques du Sénégal Oriental dont un des volets comporte la définition des lois qui régissent les mobilisations géochimiques afférentes. Dans cette optique les teneurs des eaux circulant dans les manteaux d'altération complètent les indications déduites des analyses des matériaux solides.

Les techniques d'échantillonnage des manteaux d'altération ont fait principalement appel à des puits foncés manuellement *durant la saison sèche* (83 au total). Dix-sept d'entre eux ont permis d'atteindre une nappe d'eau, dont des prélèvements ont été opérés à environ 50 cm sous le niveau supérieur de la nappe, après plusieurs écopages minutieux. La grande majorité de ces échantillons ont été recueillis durant la deuxième moitié de la saison sèche, soit de mars à juin. Les nappes phréatiques sont alors à leur niveau le plus bas.

Les matériaux d'altération, situés à la profondeur du prélèvement d'eau correspondant (niveaux aquifères), couvrent une gamme large de types de roches et d'intensités d'altération : les néogenèses se rattachent aux familles « smectites-illites » ou « kaolinites-kandites » dominantes. Dans les tableaux I et II cette dernière famille est marquée par des parenthèses lorsqu'elle est dominante dans le niveau aquifère.

Les prélèvements, filtrés sur papier filtre « Durieux, n° 200 », sans additif chimique, ont été dosés par le Laboratoire de Spectrographie des SSC - ORSTOM (Bondy-France). Ces analyses (tableau I) fournissent des indications précieuses sur les phénomènes de mobilisation actuels : éléments dissous et particules très fines, filtrant à travers les matériaux aquifères. Elles peuvent aussi permettre de tester la validité d'une prospection hydrogéochimique.

Le tableau I rassemble les teneurs des niveaux aquifères situés à la profondeur du prélèvements de l'échantillon d'eau : les éléments majeurs ont été analysés par le Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy-Vandœuvre (France) et les éléments traces par le Laboratoire de Spectrographie des SSC - Bondy.

Le tableau III reproduit les moyennes climatiques des stations ASECNA voisines, afin de situer les processus dans leur cadre écologique. Les isohyètes s'agencent selon une direction est-ouest dans les zones intéressées par les prélèvements.

Coefficients de corrélation de rang entre les teneurs des éléments dans les eaux et les niveaux aquifères

Compte tenu de l'imprécision des analyses des éléments présents à l'état de traces et de l'absence de

distribution normale, nous avons testé l'écart, par rapport à l'hypothèse nulle d'une absence de corrélation entre les teneurs des différents éléments dosés dans les eaux et les niveaux aquifères correspondants, à l'aide des coefficients de corrélation de rang de SPEARMAN (FLANAGAN, 1957 - MICHARD, TREUIL, 1969 et SIEGEL, 1956, pp. 202-213).

$$\text{Soit } r = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n^3 - n},$$

où

d représente la différence des rangs du profil dans les deux classements du même élément dans les eaux et les niveaux aquifères,

n équivaut au nombre de profils classés.

Lorsque les classements (soit x et y) présentent des rangs répétés, un facteur de correction T doit être introduit dans l'expression générale :

$$r = \frac{\sum x^2 + \sum y^2 - \sum d^2}{2 \sqrt{\sum x^2 \sum y^2}}$$

$$\text{où } \sum x^2 = \frac{n^3 - n}{12} - \sum T_x \quad \text{et} \quad \sum y^2 = \frac{n^3 - n}{12} - \sum T_y$$

$$\text{avec } T_x \quad \text{et} \quad T_y = \frac{t^3 - t}{12}$$

t étant le nombre de répétitions d'un rang donné.

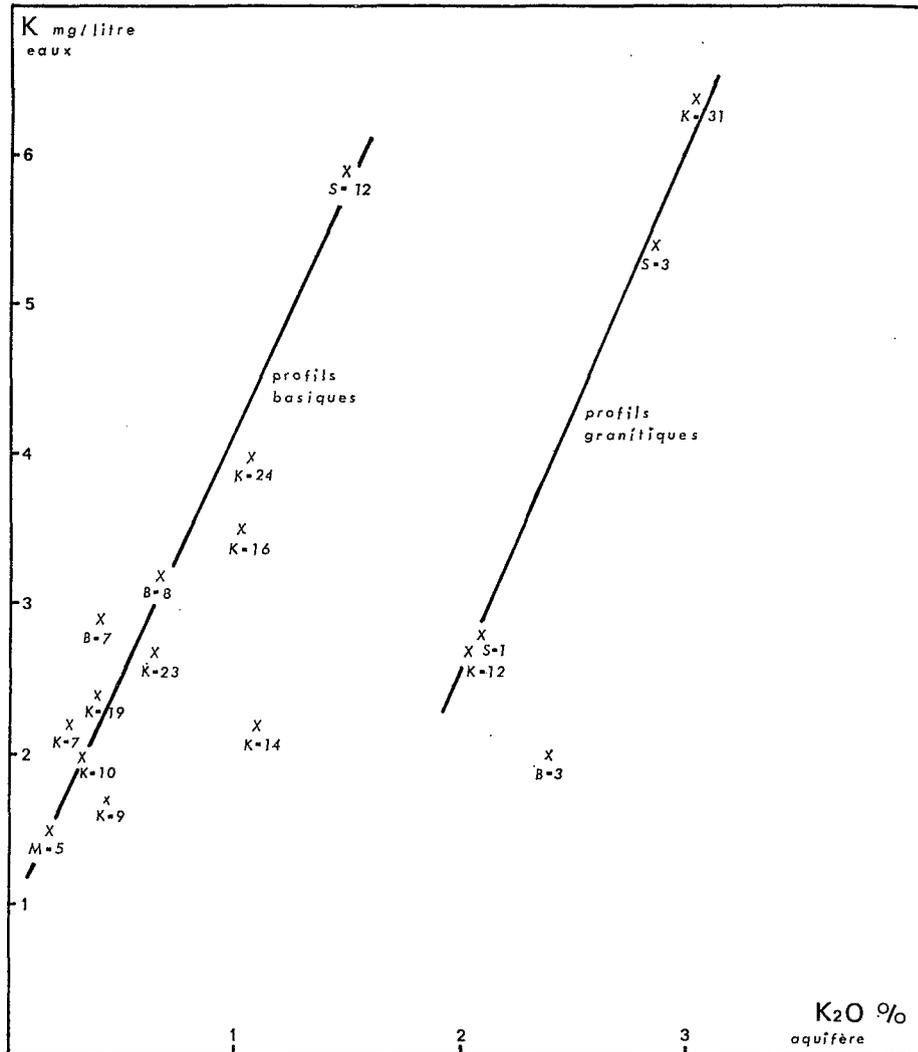
Ces coefficients de corrélation de rang s'ordonnent ainsi, par valeurs décroissantes :

	r	n	r_0
K :	+0,56	17	0,48
Ti :	+0,42	—	—
Al :	+0,40	—	—
Mg :	+0,35	—	—
Li :	+0,20	15	0,51
Na :	+0,19	17	0,48
Ni :	+0,16	15	0,51
Fe :	+0,12	17	0,48
Sr :	+0,08	15	0,51
Ba :	+0,07	17	0,48
Mn :	+0,05	—	—
Cu :	-0,03	—	—
V :	-0,12	15	0,51
Si :	-0,13	17	0,48
Cr :	-0,13	13	0,55
Ca :	-0,15	17	0,48

r_0 : seuil de signification pour une probabilité de 0,05.

Il en résulte que le *potassium* est le seul élément dont les variations de teneur dans les eaux soient liées, positivement, de façon significative, à celles des

niveaux aquifères correspondants. Le graphique 1 permet de préciser cette relation.



GRAPHIQUE 1. — Relations eaux-aquifères pour K

Ce graphique montre qu'il existe deux types de relations eaux-aquifères, grossièrement linéaires, en ce qui concerne le potassium : une pour le groupe de roches basiques où les teneurs K₂O, faibles, sont liées principalement aux feldspaths, et l'autre pour

les roches acides, dans lesquelles une proportion importante de K₂O est liée à la présence de micas. La différence de comportement semble provenir de la moindre solubilité du potassium inclus dans les micas par rapport au potassium inclus dans les felds-

paths. Le profil K-14 de tendance basique mais dans lequel les deux types minéraux sont représentés, occupe une position intermédiaire.

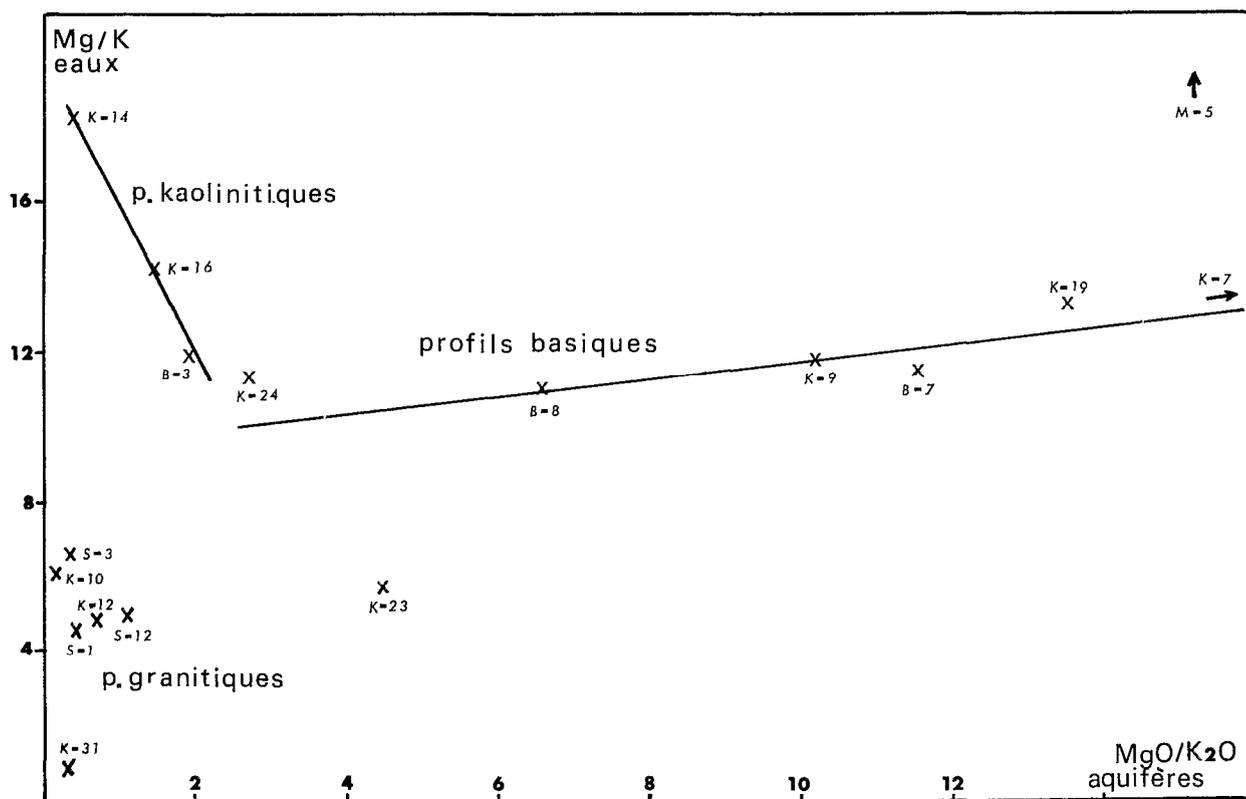
L'existence de ces deux relations décalées interdit de recourir aux teneurs en potassium des eaux pour caractériser de façon unique les terrains aquifères. En effet, à une teneur K dans l'eau peuvent correspondre sur le graphique deux valeurs de K_2O dans le terrain aquifère, selon qu'il est de nature basique ou granitique. Les éléments suivants de la liste Ti, Al et Mg, donnent une dispersion des points figuratifs eaux-aquifères trop importante pour être utilisables comme critères de caractérisation.

Critère Mg/K de caractérisation des eaux.

Il s'avère, par contre, que le rapport Mg/K des teneurs des eaux phréatiques est fortement lié au

rapport MgO/K_2O des teneurs dans les niveaux aquifères correspondants. Le coefficient de corrélation de rang vaut $+0,59$ pour $n = 17$ et $r_0 = \pm 0,48$. Le graphique 2 indique une limite nette entre les eaux d'origine basique et les eaux d'origine granitique : valeurs de Mg/K dans les eaux respectivement supérieures et inférieures à 9. Les rapports Mg/K des eaux prélevées dans des profils à argiles gonflantes, sur matériaux basiques, sont liés à peu près linéairement, dans les limites observées, aux rapports MgO/K_2O des aquifères. Les eaux relatives aux profils à kaolinite dominante, dérivant de roches basiques, forment un groupe situé au-dessus de cette droite.

Pour tester la validité de ce critère Mg/K en tant qu'élément de caractérisation du substratum, nous l'avons appliqué à l'ensemble des eaux prélevées au Sénégal Oriental avec la collaboration d'A. BLOT et J.-C. PION dans le double cadre des études d'altération météorique en cours et de l'étude d'Y. TARDY (1969)



GRAPHIQUE 2. — Relations eaux-aquifères pour Mg/K.

et pour lesquelles un certain nombre d'analyses de roches affleurant à proximité immédiate du lieu de prélèvement ont été analysées (Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface de l'Université de Strasbourg). Le coefficient de corrélation de rang vaut pour ces 16 doublets eaux de subsurface - affleurements $+0,53$; il est supérieur au seuil de signification $r_0 = \pm 0,50$.

Le rapport des concentrations Mg/K dans les eaux de la zone tropicale semi-humide du Sénégal Oriental peut ainsi servir d'élément de diagnostic pétrographique du soubassement, notamment dans les régions où la couverture cuirassée ou kaolinique épaisse masque totalement celui-ci.

Corrélations entre les éléments des eaux phréatiques

Le tableau IV synthétise les coefficients de corrélation de rang entre les concentrations des différents éléments, pris deux à deux, dans les 17 eaux phréatiques du tableau I. Les corrélations significatives, toutes positives, suivantes s'en dégagent :

— entre éléments majeurs (en mg/litre) :

Si — Mg

— entre éléments majeurs et traces :

PO₄⁻⁻⁻ - Al

SO₄⁻⁻⁻ - Sr

Ca - Cu

— entre éléments traces ($\mu\text{g/litre}$) :

Al - Fe - Ba

Mn - Cu - Ni

Ni - V

On peut également relever les coefficients de corrélation, positifs voisins du seuil de signification :

SO₄⁻⁻⁻ - Ca

Si - Li

Mg - Ni

Na - Sr

K - Li

Comme, à part Mg - Ni ($r = +0,63$ pour $r_0 = \pm 0,51$), ces éléments ne présentent aucune corrélation significative positive (pour Fe - Ba : $r = 0,75$ avec $r_0 = \pm 0,48$) dans les 17 niveaux aquifères concernés, les liaisons observées ci-dessus sont des caractéristiques de la dynamique des éléments dans la phase eau.

Les mobilisations observées dans les matériaux d'altération et les concentrations détectées dans les auréoles de dispersion superficielle par les prospections géochimiques sont susceptibles de refléter ces corrélations, absentes dans le substratum. Ces liaisons, si elles rendent délicates, les interprétations des teneurs des eaux en fonction des terrains aquifères, peuvent, par contre, être exploitées utilement en prospection hydrogéochimique, voire géochimique : la répartition d'un élément peut ainsi être étudiée au moyen de l'élément lié, plus facile à doser. Par exemple : Cu - Ni, Ni - V.

Les résistivités des eaux présentent des coefficients de corrélation significatifs soit positifs (Ba, et Al proche du seuil r_0), soit négatifs (Mg, Na et Cu).

Relation entre les teneurs des eaux phréatiques et les phénomènes d'altération météorique

Taux de concentration au niveau des nappes

Le potassium mis à part, nous avons constaté l'absence de corrélation significative entre les teneurs des éléments dans les niveaux aquifères et les eaux phréatiques, du moins dans la tranche superficielle de celles-ci, seule accessible dans les puits. Il apparaît alors intéressant de tester les relations entre ces eaux et les processus d'appauvrissement et d'enrichissement des niveaux aquifères dont elles constituent l'agent primordial.

Nous avons calculé, dans ce but, les coefficients de corrélation de rang entre d'une part les valeurs d'un élément dans les eaux et d'autre part les taux de concentration du même élément à 50 cm au-dessus du niveau de l'échantillon considéré comme niveau aquifère par rapport à ce niveau aquifère. Ces taux chiffrent les appauvrissements ou les enrichissements, pour les différents éléments, du manteau d'altération au niveau de la nappe phréatique.

Les coefficients de corrélation correspondants s'ordonnent ainsi, pour les éléments majeurs :

Ti et Mg : $+0,35$

Mn : $+0,27$

Fe : $+0,19$

Ca et K : $+0,15$

Na et Al : $-0,20$

Si : $-0,24$

pour $r_0 = \pm 0,48$ ($n = 17$) sauf pour Na : $r_0 = \pm 0,50$ ($n = 16$).

Aucun de ces coefficients n'atteint le seuil de signification.

La faible précision des résultats d'analyses des éléments traces dans les matériaux solides ôterait toute signification à un calcul analogue effectué sur les teneurs en éléments traces.

Moyennes des taux de concentration le long des profils

A défaut de corrélation au niveau de la nappe phréatique, correspondant à l'instant précis du prélèvement, il nous semble logique d'étendre le test précédent à toute la hauteur des profils : nous comparerons les classements des éléments dans les eaux aux classements des moyennes des taux de concentration dans des niveaux équidistants, échelonnés sur l'ensemble des profils, par rapport à la base de ces profils.

Les coefficients de corrélation de rang de ces classements sont les suivants, par ordre décroissant :

Ca	: +0,40
Mn	: +0,37
Fe	: +0,28
Ti	: +0,12
<hr/>	
K	: -0,06
Mg	: -0,07
Al	: -0,13
<hr/>	
Si	: -0,53

$r_0 = \pm 0,48$ ($n = 17$) sauf pour Na : $r_0 = \pm 0,50$ ($n = 16$).

Le fait remarquable qui se dégage de ce tableau est la corrélation négative, significative, entre les teneurs en silice des eaux et les moyennes des variations relatives des pourcentages de silice (totale) des profils par rapport à leur base. Ce qui signifie que les enrichissements des eaux en silice vont en croissant avec les appauvrissements des profils et, inversement, les apports de silice dans les profils sont liés à un appauvrissement des eaux en cet élément. Il faut souligner que cette corrélation significative se rapporte à la silice totale, donc aussi bien au quartz et à la calcédoine, primaires ou de néogène, qu'à la silice combinée des silicates.

Par contre les coefficients des autres éléments sont très faibles. Pour le calcium et le manganèse les teneurs dans les eaux et dans l'ensemble des profils évoluent sensiblement de pair.

Les paramètres pédogénétiques et hydrochimiques

L'absence de corrélation significative entre les teneurs des éléments dans les eaux phréatiques et les

taux de mobilisation de ces éléments dans les profils, la silice exceptée, pose le problème de la signification réelle des indices géochimiques destinés à la caractérisation des processus pédogénétiques à partir de la composition des eaux.

Pour les profils où la silice non combinée est rarissime (B-7, B-8, K-7, K-9, K-19, K-24, M-5) le calcul de l'indice moléculaire $L = \text{SiO}_2 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO})$, défini par G. PEDRO (1966), donne un ensemble de valeurs groupées entre 0,15 et 0,60. Ces valeurs sont faibles par rapport aux paramètres R et R_x' , calculés à partir des compositions des niveaux aquifères et des roches saines correspondants.

De même, en ce qui concerne les autres profils à quartz, feldspaths et micas, l'indice moléculaire R_E , défini par Y. TARDY (1969), fournit des valeurs variant entre 2,21 à 4,08.

Les deux groupes d'indices placent l'ensemble des eaux phréatiques étudiées parmi les eaux-agents de bisiallisation. Or, les eaux prélevées dans des profils à kaolinite largement dominante (K-10, K-12, K-16), vraisemblablement héritée de processus non actuels, mises à part, la majeure partie des autres profils témoignent de la coexistence des deux processus de bi- et monosiallisation.

Les indices hydrochimiques, s'ils conservent leur valeur de caractérisation régionale, doivent donc être utilisés avec circonspection dans un modèle de terrain, ouvert, qui ne permet pas le recours aux bilans rigoureux inhérents aux modèles expérimentaux, clos.

CONCLUSIONS

Les calculs de corrélation permettent ainsi de dégager trois catégories de conclusions sur la dynamique des eaux baignant les manteaux d'altération, en saison sèche, en zone tropicale semi-humide :

— les concentrations de certains éléments dissous par les nappes sont liées en raison de leurs propriétés vis-à-vis de la phase solvante « eau » :

Si - Mg, PO_4^{---} - Al - Fe - Ba, SO_4^{--} - Sr, Ca - Cu - Mn - Ni - V

— les corrélations positives, significatives, entre les teneurs de K et de Mg/K dans les eaux et les terrains aquifères font suggérer leur utilisation pour la caractérisation du substratum dans les cas où la couverture de produits d'altération ou de cuirasses masque toute possibilité d'affleurements.

— la quasi-absence de relations entre les teneurs des nappes et les processus géochimiques liés à l'altération météorique, la silice exceptée, pose le problème de la signification réelle, sur le terrain, des paramètres hydrochimiques. Malgré leur apparente immobilité, en saison sèche, marquée par la rareté des exutoires qui suggère une baisse progressive du niveau supé-

rieur par évaporation sur place, les nappes phréatiques de la zone étudiée semblent caractérisées par des mélanges d'eaux chargées au contact des différents faciès pétrographiques qui constellent le socle du Sénégal Oriental.

Manuscrit reçu au SCD le 24 mai 1972

DOCUMENTS CITÉS

- BLOT (A.), 1970. — Les nappes phréatiques au Sénégal Oriental. Données géochimiques sur les eaux. Rapp. multigr. 34 p. Centre ORSTOM-Dakar.
- CHAUVEL (A.), 1967. — Carte Pédologique du Sénégal Oriental à l'échelle du 1/200 000°. Notice explicative des feuilles de Kedougou et de Kenieba-Kossanto. Rapp. multigr. Centre ORSTOM-Dakar.
- DEFOSSEZ (M.), MANGIN (J.P.), PINTA (M.), Van Den DRIESSCHE (R.), 1967. — Répartition de quelques éléments traces dans les eaux de surface en zone intertropicale (Côte d'Ivoire). *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 20, 4, pp. 257-276.
- FLANAGAN (F.Y.), 1957. — Semi-quantitative spectrographic analyses and rank correlation in geochemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 12, 4, pp. 315-322.
- KALOGA (B.), 1966. — Carte Pédologique du Sénégal Oriental à l'échelle du 1/200 000°. Notice explicative de la feuille de Dalafi. Rapp. multigr. Centre ORSTOM-Dakar.
- MICHARD (G.), TREUIL (M.), 1969. — Réflexions sur l'utilisation des corrélations entre éléments-traces en géochimie : exemples. *Bull. Soc. géol. de France* (7), XI, pp. 595-598.
- PEDRO (G.), 1966. — Essai sur la caractérisation géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération des roches superficielles (cycle aluminosilicique). *Compte Rendus Acad. Sciences*, 262, pp. 1828-1831.
- ROUBAULT (M.), De La ROCHE (H.), GOVINDARAJU (K.), 1964. — L'analyse des roches silicatées par spectrométrie photo-électrique au Quantomètre A.R.L. et son contrôle par des roches étalons. *Sciences de la Terre*, t. IX, 4, pp. 339-371.
- SHAW (D.M.), 1964. — Interprétation géochimique des éléments en traces dans les roches cristallines. 327 p., Masson éd. Paris.
- SIEGEL (S.), 1956. — Nonparametric statistics for the behavioral sciences. 312 p. Internat. Student Edition. Mc Graw-Hill Book Cy.
- TARDY (Y.), 1969. — Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. *Mémoire Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, n° 31, 199 p.

Profils	Coordonnées	Résistivités $\Omega \cdot \text{cm}$	Ph terrain	Ph labor.	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	SiO ₂	Mg	Ca	Na	K
B-3	Lo. : 12°22'	2 688	n.d.	7,6	4,0	0,3	0,05	64	23,8	40,0	17,0	2,0
B-7	La. : 12°43'	2 048	n.d.	7,6	3,6	1,1	0,05	72	33,4	38,0	25,0	2,9
B-8	—	2 048	n.d.	7,3	1,8	1,0	0,6	74	35,2	50,0	25,0	3,2
K-7	Lo. : 12°11'	1 480	7,9	7,4	5	1,0	2,1	75	53,8	23,5	53,5	2,2
	La. : 12°53'											
K-9	—	3 550	7,5	7,3	5	2,6	1,9	73	20,0	32,0	18,0	1,7
(K-10)	—	4 070	7,9	7,7	5	1,2	1,4	50	12,2	31,5	20,5	2,0
(K-12)	—	2 810	7,5	7,3	10	2,6	1,8	45	13,0	30,0	53,5	2,7
(K-14)	—	1 920	7,9	7,5	-5	0,8	1,2	35	40,0	36,0	48,5	2,2
(K-16)	—	1 550	7,8	7,7	-5	1,2	2,3	108	49,6	74,0	24,5	3,5
K-19	—	2 660	7,6	7,3	-5	0,7	1,9	75	31,8	33,5	22,5	2,4
K-23	—	3 400	7,2	7,2	-5	1,1	1,7	54	15,4	26,5	29,5	2,7
K-24	—	1 550	7,4	7,2	-5	0,8	1,6	45	45,0	92,0	30,5	4,0
K-31	—	7 700	n.d.	7,2	5	1,3	1,4	62	5,9	10,5	15,0	6,4
M-5	Lo. : 12°03'	861	6,4	8,1	3,4	248	0,05	100	115,0	16,0	41,5	1,5
	La. : 13°11'											
	Lo. : 11°52'											
S-1	La. : 13°33'	2 340	7,2	n.d.	4,3	3,1	0,05	48	12,8	58,0	33,0	2,8
S-3	—	1 600	6,8	n.d.	9,3	13,6	0,05	70	35,5	29,5	39,5	5,4
S-12	—	1 850	7,3	n.d.	9,2	2,6	0,05	71	28,7	23,0	60,0	5,9
Moyennes globales (*)		2 596	7,4	7,5	5	17	1	66	33,6	38,0	33,0	3,2
Moyennes des profils basiques (*)		2 160	7,5	7,5	3	24	1	71	42,1	42,0	30,5	2,6
Moyennes des profils granitiques (*)		3 395	7,3	7,4	7	4	1	58	18,0	30,4	36,9	4,2

Analyses effectuées par le Laboratoire de Spectrographie des S

Légende :

- Cl : en mg/l.
Ba : en $\mu\text{g/litre}$.
n.d.: non dosé.
— : inférieur à...

(*) Moyennes calculées en adoptant la valeur moitié du seuil inférieur d'analyse. Cf. SHAW D.M. (1964, p. 195).

I

x phréatiques

Al	Fe	Mn	Ti	Cr	Cu	Ni	V	Ba	Li	Sr	Rb	Mo	Dossiers SSC
2,5	36	152	-5	-5	4	4	3	6	4	-5	11	-1	S. 1081
2,5	8	5	-5	-5	5	5	7	7	5	-5	14	-1	—
2,5	14	10	-5	-5	4	-5	2,5	-5	-5	-5	-5	-1	—
5	-17	1,5	-1,5	1,5	2,5	1,5	5	-15	1,5	25	-1,5	-1,5	KANEMERE 1966
5	-17	0,9	-1	0,9	1,5	-1	3	-10	3	15	-1	-1	—
0	-17	0,8	-0,8	1,3	1,3	0,8	5,2	26	0,8	52	1,3	0,8	—
30	630	3	1,5	0,9	1,5	0,9	0,9	-10	9	45	-1	2	—
5	-17	1	-1	-1	1,7	-1	1	-10	1	17	1	-1	—
5	-17	2,5	1,5	2,5	5	-1,5	1,5	-15	15	60	1,5	2,5	—
10	250	10	1,7	3,4	1,7	-1	3,4	68	7	34	1,7	-1	—
5	-17	2,6	-1	0,8	1,3	-1	1,3	-10	5	13	0,8	0,8	—
5	265	9,4	1,4	1,4	2,4	-1,5	1,4	-15	1,4	24	1,4	-1,5	—
30	33	1	1	1	1	-0,6	1	42	4,2	21	10	-0,6	—
2,5	25	-3	27	-3	2,7	-10	4,5	-10	-3	90	-3	-3	MAMAKONO 1967
2,5	10	3,6	3,6	1,1	3,6	-1	10,8	36	3,6	360	1,1	5,4	S. 939
2,5	16	48	14,4	1,4	4,8	4,8	4,8	14,4	4,8	48	4,8	14,4	—
2,5	10	4,5	1,4	-1	1,4	-1	4,5	13,5	13,5	135	1,4	6,8	—
18	79	15	4	2	3	2	4	15	5	56	3	2	
27	58	18	4	2	3	2	3	12	4	26	3	1	
37	118	10	4	1	2	1	5	23	6	110	3	5	

ORSTOM (93-Bondy-France. Méthode décrite dans Deroussez M. et al. (1967, pp. 259-263)

- : profil sur roche basique ;
- 1 : profil sur roche à affinités granitiques ;
- 10) : profil à kaolinite dominante.

Composition

Profils	Profondeur (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
B-3	6,00	57,86	15,03	10,73	0,24	4,48	0,98	0,37	2,38	0,90
B-7	10,25	58,67	14,92	8,34	0,11	4,51	5,38	3,64	0,39	0,98
B-8	5,00	60,92	13,15	8,50	0,21	4,39	2,94	4,68	0,67	0,98
K-7	4,50	51,53	7,62	11,91	0,19	14,14	4,50	1,49	0,27	0,63
K-9	5,00	55,51	13,83	10,60	0,09	4,39	4,67	3,85	0,43	1,40
(K-10)	4,00	60,11	11,21	19,67	0,05	0,05	0,65	0,32	0,32	1,02
(K-12)	7,00	63,68	18,19	4,82	0,03	1,45	1,34	3,57	2,03	0,62
(K-14)	5,00	51,92	9,73	4,03	0,17	0,39	18,15	1,31	1,10	0,31
(K-16)	5,50	78,21	10,53	3,22	0,15	1,47	0,59	1,17	1,02	0,29
K-19	7,00	61,49	13,06	8,58	0,10	5,15	1,66	2,34	0,38	0,88
K-23	5,50	56,59	17,74	13,77	0,06	3,20	1,55	tr	0,71	1,02
K-24	3,50	64,38	15,84	6,14	0,06	2,88	0,72	3,60	1,06	0,71
K-31	6,50	68,24	17,31	2,39	0,05	0,82	0,48	1,77	3,03	0,33
M-5	4,50	50,37	15,07	16,48	0,19	2,74	4,03	1,79	0,18	1,15
S-1	8,00	71,12	14,80	2,85	0,04	0,82	1,02	2,42	2,08	0,35
S-3	8,00	67,35	15,93	3,78	0,03	1,03	1,97	5,01	2,85	0,41
S-12	7,00	66,53	15,44	5,88	0,02	1,69	2,12	3,32	1,49	0,54

SiO₂ : en %. Laboratoire de Spectrographie du CRPG, 54-Nancy-Vandœuvre (France) ;

Cr : en p.p.m. Laboratoire de Spectrographie des SSC. ORSTOM, 93-Bondy (France). Techniques décrites dans ROUBAULT M. et al. (1968) ;

— : inférieur à ...

tr : traces ;

n.d. : non dosé ;

B-7 : profil sur roche basique ;

K-31 : profil sur roche à affinités granitiques ;

(K-10) : profil à kaolinite dominante.

CORRÉLATIONS EAUX-AQUIFÈRES

II

eaux aquifères

erte-au- feu	Total	Cr	Cu	Ni	V	Ba	Li	Sr	Densité apparente	Dossiers CRPG	Dossiers SSC
6,69	99,66	300	100	100	400	1 000	100	300	2,23	Q.21810	S.1092
3,01	99,95	300	100	30	200	300	30	1 000	2,41	22002	—
3,38	99,82	300	50	100	500	1 000	30	500	2,40	22676	—
7,00	99,28	2 700	20	700	270	270	90	270	2,39	13800	KANEMERE 1966
3,64	98,41	2 800	570	380	280	270	95	270	2,50	13805	—
6,74	100,14	300	30	3	400	100	10	n.d.	2,02	21525	S.1091
3,58	99,31	190	70	95	280	700	95	1 800	2,21	13809	K.1966
12,56	96,67	340	85	42	255	1 700	170	850	1,87	13817	S.981
2,21	98,86	10	50	30	95	1 800	270	450	1,86	13828	K.1966
4,68	98,32	2 700	270	360	180	210	180	900	2,05	13833	—
5,65	100,29	2 700	180	700	170	270	90	270	1,67	13837	—
3,94	99,33	300	30	300	300	500	300	n.d.	2,38	21589	S.1091
3,92	98,34	50	50	190	190	700	140	950	1,85	13871	K.1966
8,43	100,43	100	150	50	50	30	10	100	1,91	21232	S.841
3,24	98,74	-10	10	-10	-10	1 000	30	300	2,15	21271	S.1091
1,63	99,99	300	30	30	300	2 000	30	1 000	2,41	21452	—
3,51	100,54	300	30	30	30	500	100	1 000	2,29	21320	—

TABLEAU III

Données climatiques

Tiré de A. CHAUVEL (1967, pp. 2-13) et B. KALOGA (1966, pp. 1-3). Stations ASECNA (1949-1958).

		Kédougou	Dialakoto	Tamba- counda	Goudiry	Kidira
<i>Coordonnées</i>	Longitude	12°11'	13°18'	13°41'	12°43'	12°13'
	Latitude	12°33'	13°19'	13°46'	14°11'	14°28'
<i>Température</i>	Moyenne annuelle	28,3°		27,9°		
	Minimale moyenne	20,8°		20,7°		
	Maximale moyenne	35,8°		35,1°		
<i>Pluviométrie</i>	Moyenne annuelle	1 429 mm	1 014 mm	938 mm	832 mm	758 mm
	Jours de pluie	77	53	77	50	39
	Indice A. AUBREVILLE	5-1-6	4-1-7	4-1-7	3-2-7	3-2-7
<i>Humidité relative</i>	Minimale moyenne			34 %		
	Maximale moyenne			77 %		
<i>Evaporation</i>	Moyenne annuelle			2 928 mm		
<i>Evapotranspiration potentielle</i>	Prescott	2 130 mm		2 240 mm		
	Thornthwaite	1 812 mm		1 780 mm		
	Turc	1 643 mm		1 790 mm		
<i>Excédent d'eau (Thornthwaite)</i>	Juin	12 mm				
	Juillet	105 mm				
	Août	181 mm				
	Septembre	162 mm				
	Annuel	460 mm				
<i>Dégradation spécifique (F. FOURNIER) en tonnes/km²/an</i>	<i>Relief</i>					
	Peu accentué	2 200	2 030	1 730	1 960	2 020
	Très accidenté	6 700				
Indice de MARTONNE		32,0		30,6		
Indice HENIN-AUBERT	$\alpha = 0,5$	193 mm		92 mm		
	$\alpha = 1,5$	425 mm		228 mm		
<i>Climat écologique (A. AUBREVILLE)</i>		Soudano- Guinéen	Sahélo- Soudanais	Sahélo- Soudanais	Sahélo- Sénégalais	Sahélo- Sénégalais

TABLEAU IV

Corrélations de rang entre éléments des nappes phréatiques

PO ₄	-.24																
Si	+.08	+.21															
Mg	-.15	+.09	+.49														
Ca	-.43	+.08	-.13	+.15													
Na	+.29	-.13	-.15	+.41	-.24												
K	+.12	-.10	-.11	-.07	+.01	+.10											
Al	+.05	+.49	-.10	-.11	+.15	+.05	+.28										
Fe	-.05	+.26	-.03	+.06	+.14	+.03	+.11	+.83									
Mn	-.20	-.34	+.03	+.10	+.42	+.01	+.34	+.32	+.42								
Cu	-.06	-.29	+.41	+.59	+.56	+.26	+.07	-.20	-.01	+.50							
Ni	+.12	-.08	+.44	+.47	+.20	+.22	+.19	+.13	+.24	+.60	+.70						
V	+.26	-.37	+.32	+.07	+.05	+.07	-.15	-.11	-.24	+.23	+.37	+.55					
Ba	+.24	+.29	+.15	-.19	+.17	-.29	+.23	+.70	+.48	+.25	-.04	+.18	+.35				
Li	+.24	+.12	-.49	+.03	-.14	+.14	+.48	+.17	+.25	+.26	+.15	+.20	-.14	+.12			
Sr	+.67	-.03	+.10	+.09	-.19	+.48	+.21	+.33	+.16	-.09	-.05		+.28	+.43			
ρ	-.04	+.13	-.38	-.92	-.12	-.60	-.10	+.47	+.23	-.05	-.58	-.05	-.21	+.59	-.9	-.43	
	SO ₄	PO ₄	Si	Mg	Ca	Na	K	Al	Fe	Mn	Cu	Ni	V	Ba	Li	Sr	

Légende : ρ = résistivités

En gras : coefficients de corrélation situés dans les intervalles de signification

 $r_0 = \pm 0,48$ ($n = 17$) sauf pour Ni-Li-Sr ($n = 15$) :
 $r_0 = \pm 0,51$.