

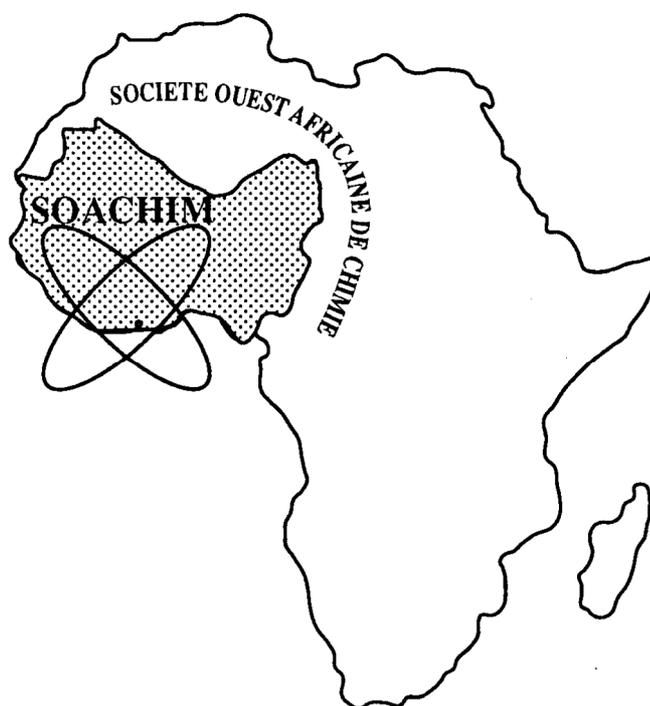
*Caractérisation hydrochimique de la nappe
phréatique de la ville d'Abidjan : cas des communes
d'Abobo, d'Attécoubé, de Koumassi et de Yopougon.*

**Dompé Ghislain Ahoulé, Marie Jeanne Adelaïde Ohou-Yao,
Ossey Bernard Yapo, Agnes Esoh Jean Eudes Yves Gnagne,
Véronique Mambo**

Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie

J. Soc. Ouest-Afr. Chim.(2017), 044 : 51 - 57

22^{ème} Année, Décembre 2017



ISSN 0796-6687

Code Chemical Abstracts : JSOCF2

Cote INIST (CNRS France) : <27680>

Site Web: <http://www.soachim.org>

Caractérisation hydrochimique de la nappe phréatique de la ville d'Abidjan : cas des communes d'Abobo, d'Attécoubé, de Koumassi et de Yopougon.

Dompé Ghislain Ahoulé¹, Marie Jeanne Adelaide Ohou-Yao^{2*}, Ossey Bernard Yapo^{1,3}, Agnes Essoh Jean Eudes Yves Gnagne¹, Véronique Mambo¹

¹Université Nangui-Abrogoua, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Côte d'Ivoire, 02 BP 801 Abidjan 02,

²Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Environnement, Côte d'Ivoire., BP150 Daloa.

³Laboratoire Central de l'Environnement, Centre Ivoirien Anti-Pollution (LCE-CIAPOL), Abidjan, Côte-d'Ivoire.

(Reçu le 30/08/2016 – Accepté après corrections le 30/12/ 2017)

Résumé : L'accumulation de quantités importantes de déchets et la mauvaise gestion des eaux usées, dans la ville d'Abidjan, constituent une source potentielle de divers composés chimiques et microbiologiques susceptibles de modifier la composition originelle des eaux de la nappe phréatique. Ainsi, pour évaluer l'impact de cette pollution sur la composition chimique des eaux de la nappe phréatique de la ville d'Abidjan, une étude a été réalisée. Quatre-vingt-dix-sept (97) échantillons d'eaux de puits ont été analysés. Les paramètres physico-chimiques tels que le pH, la conductivité, les solides totaux dissous, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, NO₃⁻ et NH₄⁺ ont été déterminés. Les résultats montrent que les eaux des puits étudiés sont acides et minéralisées. Elles ont des faciès chimiques chlorurés magnésiens et chlorurés sodi-potassiques. La minéralisation des eaux se fait par l'intrusion des eaux lagunaires et/ou par l'infiltration des eaux de ruissellement en période de pluies. Cette infiltration des eaux superficielles dans les puits apporte dans la nappe plusieurs minéraux entre autres les ions Cl⁻, Na⁺, K⁺ et Mg²⁺ et les protons H⁺, mais aussi de la matière organique. L'apport de ces ions contribue à l'augmentation de leur concentration dans la nappe phréatique alors que les protons H⁺ participent, quant à eux, à la neutralisation des HCO₃⁻, baissant ainsi le pH.

Mots Clés : eaux souterraines, pollution urbaine, faciès chimique, Abidjan.

Hydro-chemical characterization of the Abidjan's city water table: cases of the municipalities of Abobo, Attécoubé, Koumassi and Yopougon.

Abstract : The important accumulation of wastes and the bad management of sewage in Abidjan's city constitute a potential source of various chemical, physical and microbiological compounds susceptible to modify the original composition of water table. So to evaluate the impact of that pollution on the chemical composition of the water table in Abidjan's city, a study was carried out. Water samples were collected in 97 wells for pH, conductivity, total dissolved solids, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, NO₃⁻ and NH₄⁺ analyses. The results show that these well waters are acidic and mineralized. Its chemical facies are chlorinated magnesian and chlorinated sodi-potassic. The mineralization of waters is due to the intrusion of lagoonal waters and/or to the infiltration of the streaming waters during the rains. That infiltration of superficial waters in the wells brings several minerals ions notably Cl⁻, Na⁺, K⁺ and Mg²⁺ and H⁺ protons, as well as the organic matter. The addition of these ions contributes to the increase of their concentration in the groundwater, while the H⁺ protons contribute to the neutralization of the bicarbonates ions, dropping there by the pH of these waters.

Keywords: Underground waters, urban pollution, chemical facies, Abidjan.

* Auteur de correspondance : ohoujeanne@ujlg.edu.ci; / +225 05 03 45 32 / 49 61 40 56

1. Introduction

En Côte d’Ivoire et particulièrement à Abidjan, les eaux de puits sont des ressources importantes pour les activités agropastorales et pour l’alimentation en eau potable de certains ménages. Généralement, ces puits captent la nappe phréatique qui, depuis plusieurs années, est soumise à de fortes pressions anthropiques dues aux problèmes d’insalubrité que connaît cette ville. En effet, la ville d’Abidjan ne dispose pas de système adéquat d’évacuation des eaux usées, le système d’assainissement possède beaucoup de défauts et le taux de raccordement des ménages aux réseaux d’assainissement n’est que de 29%. On note ainsi un rejet dans la ville des eaux usées domestiques. En outre, seulement 55% des ordures ménagères produites dans la ville sont évacuées chaque année [1]. Selon United States Environmental Protection Agency [2], ces types de rejets génèrent dans les milieux récepteurs divers polluants chimiques, physiques et microbiologiques susceptibles de modifier leurs compositions. Or, les paramètres physico-chimique et microbiologique d’une eau définissent les critères d’utilisation de cette eau (eau potable ou eau destinée à des fins agricoles et industrielles). Par ailleurs, des études antérieures ont mis en évidence la pollution de la nappe phréatique de la ville d’Abidjan par des rejets d’origine urbaine [3-7]. Cependant, aucune d’entre elles n’a évalué son impact sur les caractéristiques hydro-chimiques de cet aquifère. Le présent travail se veut une contribution à l’étude de l’évolution du chimisme de la nappe phréatique de la ville d’Abidjan face aux pressions anthropiques.

2. Matériel et méthodes

2.1. Site d’étude

L’étude a été réalisée dans quatre communes de la ville d’Abidjan. La ville d’Abidjan est située au Sud de la Côte d’Ivoire entre les latitudes 5°00' et 5°30' N et les longitudes 3°50' et 4°10' W. Elle s’étend sur une superficie de 57 735 hectares dont 8 981 hectares de lagune soit 16% de la superficie. Elle est limitée au Nord par la ville d’Anyama, au Sud par l’océan Atlantique, à l’Est par la commune de Bingerville et à l’Ouest par la commune de Songon. Elle est la capitale économique de la Côte d’Ivoire et regroupe dix communes : les communes d’Abobo, d’Adjamé, d’Attécoubé, de Cocody, de Koumassi,

de Marcory, du Plateau, de Port-Bouët, de Treichville et de Yopougon (figure 1).

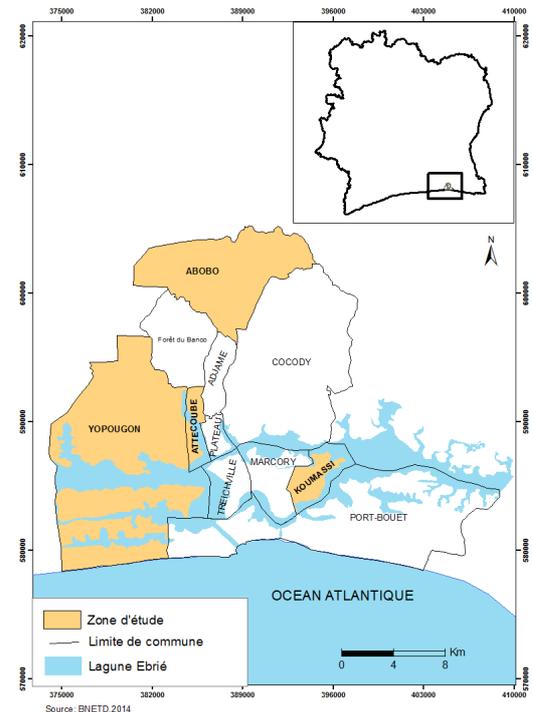


Figure 1 : Situation géographique de la zone d’étude

Avec une population de 50 000 habitants avant l’indépendance, Abidjan compte aujourd’hui une population estimée à environ 3 millions d’habitants soit 20 % de la population du pays [8]. Du point de vue géologique, la ville d’Abidjan est située dans le bassin sédimentaire côtier ivoirien représentant 2,5% de la superficie du territoire nationale [9].

Quatre communes de cette ville ont été choisies comme sites d’étude sur la base de trois critères : (1) la présence de puits, (2) la densité de population et (3) le niveau d’assainissement de la commune. Ainsi, les communes retenues présentent les caractéristiques suivantes selon Abbas et al. [10] :

- commune de Yopougon (Y) : caractérisée par une faible densité de population (4389 hbts/km²) avec 59,31% de raccordement aux réseaux d’assainissement collectif ;
- commune de Koumassi (K) : caractérisée par une forte densité de population soit 21111 hbts/km² et un taux de raccordement aux réseaux d’assainissement autonome de 72,30% ;
- commune d’Attécoubé (AT) : caractérisée par une faible densité de population soit 6811 hbts/km². Cette commune est mal assainie avec 98,24% de raccordement aux réseaux d’assainissement autonome et de 1,75% de non raccordement ;
- commune d’Abobo (AB) : semblable à la

commune de Koumassi en ce qui concerne le raccordement aux réseaux d'assainissement ; la particularité de cette commune est que les puits sont de grandes profondeurs et sont généralement, localisés hors de la ville, loin des habitations, avec une densité de population relativement faible (6716 hbts/km²).

2.2. Echantillonnage

Cette étude a été effectuée sur 97 puits traditionnels captant l'eau de la nappe phréatique au niveau des quatre communes choisies.

L'échantillonnage se répartit comme suit : 29 puits prélevés dans la commune de Koumassi, 29 puits à Yopougon, 29 puits à Attécoubé et 10 puits à Abobo. L'étude s'est faite en deux campagnes d'échantillonnage. La première, du 28 au 30 juillet 2008, pendant la grande saison pluvieuse. Elle avait pour objectif de prendre en compte les phénomènes d'infiltration et de ruissellement dans la nappe phréatique. La deuxième campagne a eu lieu juste après la petite saison des pluies, (du 04 au 06 décembre 2008). Les échantillons ont été prélevés à l'aide de puisette et conditionnés dans les flacons en polyéthylène. Ils ont ensuite été disposés dans des glacières portatives à basse température (autour de 4°C) pour le transport jusqu'au laboratoire d'analyse. Ces différentes étapes ont été menées conformément aux normes T 90-511, T 90-512 et T 90-513 de l'Agence Française de Normalisation [9].

2.3. Méthode de collecte de données

La collecte des données s'est effectuée en deux phases. La première phase a consisté à mener des visites de terrains et des enquêtes ménages afin de localiser, d'identifier et de décrire les puits et les sources potentielles de pollution. La deuxième phase était consacrée à l'échantillonnage des eaux de puits et leurs analyses au Laboratoire des Sciences de l'Environnement (LSE) de l'Université d'Abobo-Adjamé. Les paramètres physico-chimiques tels que le pH, la conductivité (cond), les solides totaux dissous (TDS) et les concentrations en calcium (Ca²⁺), magnésium (Mg²⁺), chlorure (Cl⁻), bicarbonate (HCO₃⁻), nitrate (NO₃⁻), sulfate (SO₄²⁻), ammonium (NH₄⁺), sodium (Na⁺) et potassium (K⁺) ont été déterminés selon les normes AFNOR [11] et les méthodes proposées par Rodier [12].

2.4. Analyse des données

Les résultats obtenus ont été traités à l'aide du diagramme de Piper et de l'analyse en composantes

principales (ACP). Le diagramme de Piper a permis de déterminer les différentes classes des eaux phréatiques d'Abidjan ainsi que l'évolution de leur chimisme face aux polluants urbains. Deux diagrammes ont été réalisés. L'un a pris en compte l'ion nitrate tandis que l'autre a été réalisé sans l'ion nitrate. En effet, l'ion nitrate est principalement d'origine exogène. Si son intégration modifie la classe des eaux, l'on dira que les activités anthropiques contribuent au changement du faciès chimique des eaux de cette région ; sinon, elles n'ont pas d'impact sur le faciès chimique des eaux. Quant à l'ACP, elle a permis d'étudier le mode d'enrichissement minéralogique et de déterminer l'origine de la pollution.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

L'enquête et l'analyse des paramètres physico-chimiques ont permis d'avoir des données sur l'environnement physique des puits et sur la caractéristique des échantillons d'eaux.

3.1.1. Environnement physique des puits

La profondeur des puits étudiés varie de 1,3 à 11 m, avec une profondeur moyenne de 3,6 m. Les puits les moins profonds sont rencontrés en bordures de la lagune dans les communes d'Attécoubé et de Koumassi avec des profondeurs moyennes respectives de 2,01 m et 3,31 m, alors que, les puits de grande profondeur sont situés dans les quartiers qui n'ont pas d'ouverture sur la lagune. Environ 38 à 45% de ces puits sont situés à moins de 30 m des fosses septiques et des latrines (figure 2); tandis que 25% sont situés à moins de 40 m des décharges sauvages.

3.1.2. Caractérisation physico-chimique des eaux de puits

Le **tableau I** donne les valeurs minimales, moyennes et maximales des paramètres physico-chimiques analysés.

Le pH des eaux varie de 3,60 à 7,40 avec une moyenne de 5,60. La conductivité, quant à elle, oscille entre 42 µS/cm et 4380 µS/cm. Les concentrations des ions ammonium varient de 0,11 mg/L à 16,77 mg/L, avec une moyenne de 2,75 mg/L. Contrairement à la forme réduite, la forme oxydée de l'azote (l'ion nitrate) a des concentrations qui varient de 2,22 mg/L à 252,51 mg/L (correspondant à cinq fois la norme OMS).



Figure 2 : Exemple de puits proche de latrine

Tableau I : Paramètres physico-chimiques des eaux

Paramètres	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart-type
pH	3,60	5,60	7,40	0,91
Cond (µS/cm)	42,00	772,78	4380,00	589,97
TDS (mg/L)	19,80	388,87	2270,00	301,61
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,11	2,75	16,77	3,82
NO ₃ ⁻ (mg/L)	2,22	42,40	252,51	39,07
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	0,49	2,60	17,69	3,03
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	1,77	30,83	131,43	26,81
Cl ⁻ (mg/L)	15,98	76,75	244,95	46,23
Ca ²⁺ (mg/L)	4,53	40,18	125,00	25,67
Mg ²⁺ (mg/L)	0,63	42,53	179,65	37,84
Na ⁺ (mg/L)	10,45	47,23	98,94	20,43
K ⁺ (mg/L)	0,59	28,99	105,68	17,36

3.1.3. Diagramme de Piper

La répartition des différents ions dans le diagramme de Piper est donnée par la figure 3. On observe une variation entre le premier diagramme (figure 3a) incluant l'ion nitrate dans sa représentation et le second diagramme (figure 3b) ne prenant pas en compte cet ion. Le triangle des anions, à droite de chaque diagramme, montre que lorsqu'on tient compte des ions nitrates, tous les échantillons se retrouvent dans la zone A (Zone formée par moins de 50% de SO₄²⁻ et 90% de Cl⁻ + NO₃⁻ (ou Cl⁻ uniquement)) alors que sans les ions nitrates certains

échantillons sortent de cette zone. Cependant, ces deux diagrammes définissent chacun les faciès chloruré magnésien et chloruré sodi-potassique.

3.1.4. Matrice de corrélation entre variables

Le lien existant entre les différents paramètres pris deux à deux est donné par le tableau de corrélation (tableau II). Les corrélations élevées sont observées entre le magnésium et le calcium (0,739). Aussi observe-t-on une bonne corrélation entre la conductivité et les ions suivants : magnésium (0,76), calcium (0,75) et chlorure (0,74).

3.1.5. Analyse multi-variée

Le mode d'enrichissement minéralogique est mis en évidence par la représentation graphique dans l'espace des variables des différents paramètres étudiés (figure 4). La représentation dans l'espace des variables faite selon le plan factoriel F1-F2, représente 66% des variances exprimées. Cette représentation met en évidence deux regroupements des paramètres physico-chimiques : le groupe G1 et le groupe G2. Le groupe G1 est constitué par les ions SO₄²⁻, NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, la conductivité et le TDS. Ce groupe renseigne sur le phénomène de la minéralisation des eaux étudiées. Le groupe G2, quant à lui, est composé de l'ion HCO₃⁻ et du pH et s'oppose à l'ion nitrate. Il explique le phénomène d'acidification des eaux.

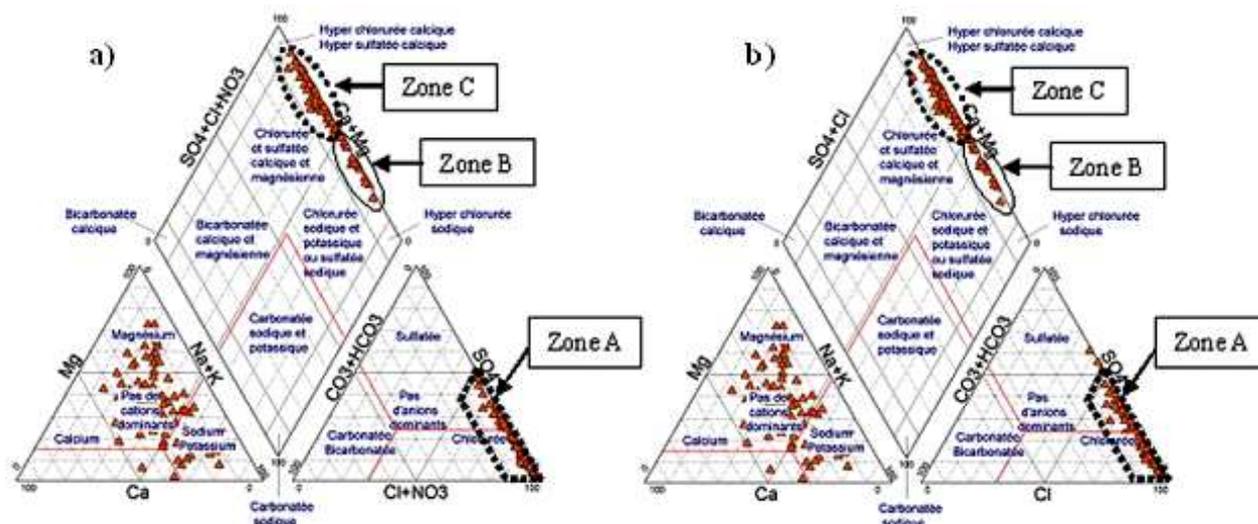


Figure 3 : Représentation des échantillons dans les diagrammes de Piper : (a) : avec l'ion nitrate (b) : sans l'ion nitrate

Tableau II : Matrice de corrélation entre les variables

	pH	Cond	TDS	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
pH	1											
Cond	0,18	1										
TDS	0,18	0,99	1									
NO ₃ ⁻	-0,26	0,17	0,18	1								
SO ₄ ²⁻	0,29	0,64	0,61	0,02	1							
NH ₄ ⁺	0,22	0,60	0,62	-0,05	0,32	1						
HCO ₃ ⁻	0,67	0,47	0,46	-0,25	0,45	0,46	1					
Cl ⁻	0,16	0,74	0,74	0,06	0,56	0,38	0,35	1				
Na ⁺	0,33	0,62	0,60	-0,08	0,52	0,36	0,40	0,61	1			
K ⁺	0,09	0,65	0,64	0,20	0,40	0,41	0,31	0,60	0,51	1		
Ca ²⁺	0,41	0,75	0,75	0,05	0,55	0,44	0,54	0,58	0,49	0,52	1	
Mg ²⁺	0,40	0,76	0,76	0,06	0,48	0,41	0,51	0,60	0,49	0,61	0,74	1

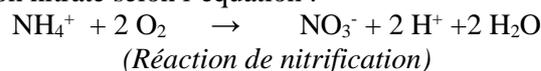
3.2. Discussion

3.2.1. Caractères généraux des eaux de puits étudiés

3.2.1.1. Acidité des eaux de puits

Le pH moyen de 5,6 obtenu traduit que les eaux de puits étudiés sont majoritairement acides. Ce caractère acide des eaux s'observe dans 98,3% des puits analysés. Cette acidité des eaux souterraines proviendrait essentiellement de la production du CO₂ [13]. En effet, l'hydratation du CO₂ produit de l'acide carbonique (H₂CO₃) qui attaque les roches. Le bassin sédimentaire étant constitué de quartz, très

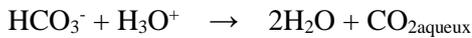
peu altérable, va donc entraîner la conservation de cette acidité. Cependant, l'acidité des eaux phréatiques d'Abidjan pourrait aussi provenir de la transformation des ions ammonium en ions nitrates dans les eaux. Selon cette transformation l'ion ammonium libère deux protons H⁺ pour produire l'ion nitrate selon l'équation :



Ce qui explique la corrélation de -0,26 (Tableau II) existant entre le pH et les ions nitrates. Gnagne *et al.* [14] ont également mis en évidence cette acidité provenant de la transformation de l'ammonium en nitrate.

Aussi cette acidité induite par la transformation des ions ammonium en ions nitrates est-elle mise en évidence par la représentation dans l'espace des variables faite selon le plan factoriel F1-F2 (figure 4).

Le groupe G2 obtenu par cette représentation, oppose les ions bicarbonates et le pH aux ions nitrates. Cette disposition opposée pourrait traduire le fait que les eaux à pH élevé (alcalines) sont pauvres en nitrates alors que les eaux à pH faible (faiblement alcalines ou acide) sont riches en nitrates. Cela signifierait que, l'augmentation de la teneur en ions nitrates des eaux de puits entraîne une baisse du pH par nitrification. Les protons ainsi libérés vont contribuer à la neutralisation des ions bicarbonates, d'où leur faible concentration dans les échantillons d'eaux, selon la réaction suivante :



Ils vont, par conséquent, agir sur la concentration de CO₂ dissous modifiant ainsi la phase gazeuse de ces eaux.

3.2.1.2. Minéralisation des eaux et origine des minéraux

Les valeurs de conductivité varient des eaux faiblement minéralisées (42 µS/cm) vers les eaux à forte minéralisation (4380 µS/cm) et décroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne des bordures lagunaires et marines. La conductivité moyenne est de 772,78 µS/cm. Selon Rodier [12], les eaux ayant une conductivité supérieure à 666 µS/cm font partir de la classe des eaux fortement minéralisées. Cette forte minéralisation est essentiellement due aux ions chlorures, calcium, magnésium et dans une moindre mesure aux ions sulfates, sodium et potassium. Les

fortes minéralisations sont rencontrées dans les échantillons d'eaux prélevées dans les communes de Koumassi et d'Attécoubé, environ 84% des eaux de puits analysées dans ces communes (figure 4 : Espace des unités statistiques), dont les puits sont situés à proximité de la lagune Ebrié (moins de 30 m). Cette minéralisation élevée proviendrait donc d'une intrusion des eaux lagunaires dans les puits. En effet, selon Kouamé *et al.* [15], les eaux lagunaires présentent une forte salinité. Toutefois, la contribution de l'ion ammonium dans la minéralisation des eaux de puits, mise en évidence par son regroupement avec les paramètres définissant celle-ci (figure 4), traduirait aussi une origine anthropique de la minéralisation comme l'avaient montré [7]. En effet, ce composé azoté provient essentiellement de la dégradation de l'azote organique par les micro-organismes dans les couches superficielles du sol avec la production du CO₂ [13]. Sa présence en profondeur est donc liée aux lessivages des sols suivis de l'infiltration des eaux de ruissellement pluviales. La proximité de ces puits aux décharges sauvages, aux fosses septiques et aux latrines serait à l'origine de leur présence. Les teneurs élevées des ions nitrates seraient aussi liées à ces mêmes sources car les fortes concentrations en ions nitrates se rencontrent dans les puits non loin de ces zones. Par conséquent, l'enrichissement minéralogique des eaux de la nappe phréatique d'Abidjan est dû, d'une part, à l'intrusion des eaux salines (pour les puits proches des bordures lagunaires) et, d'autre part, à la pollution liée au mauvais assainissement de l'environnement des puits.

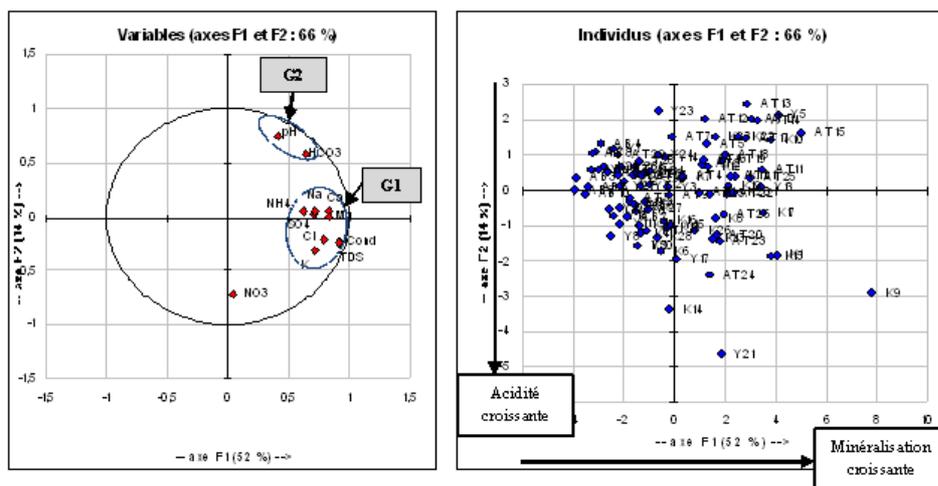


Figure 4 : Espace des variables et des unités statistiques dans le plan factoriel F1-F2 (AB : Abobo ; AT : Attécoubé ; K : Koumassi ; Y : Yopougon)

3.2.2. Evolution chimique des eaux phréatiques d'Abidjan

L'évolution du chimisme des eaux phréatiques d'Abidjan face aux polluants urbains est mise en évidence par la représentation des diagrammes de Piper. La différence observée entre les deux diagrammes après introduction des ions nitrates, ions généralement d'origine anthropique, traduit une contribution des ions nitrates dans la détermination des faciès chimiques des eaux de puits étudiés. Toutefois, cette contribution est faible dans le cas précis de cette étude puisque les deux diagrammes définissent chacun les mêmes types de faciès chimiques. Il ressort donc qu'une région fortement marquée par une pollution d'origine anthropique verra la signature chimique de ces eaux modifiée. L'identification des faciès chimiques des eaux des puits étudiés révèle que les ions chlorure, sodium, potassium et magnésium sont dominants. Le regroupement de tous ces ions dans le cercle de communauté traduit une origine commune. Ces ions proviennent majoritairement des eaux lagunaires comme susmentionné, ce qui explique leur corrélation élevée avec la conductivité. Cependant, la corrélation d'au moins 0,35 de ces ions avec l'ion ammonium implique qu'une partie de ceux-ci serait d'origine superficielle. Ils proviendraient probablement des décharges sauvages, des fosses septiques et des latrines situées à proximité des puits.

4. Conclusion

La minéralisation des eaux de la nappe phréatique de la ville d'Abidjan est influencée par l'intrusion des eaux lagunaires dans les eaux de puits et/ou par l'infiltration des eaux de ruissellement. L'infiltration des eaux superficielles dans les puits apporte dans la nappe plusieurs minéraux entre autres les ions chlorures, sodium, potassium, magnésium et les protons H^+ . L'apport de ces ions contribue à l'augmentation de leur concentration dans la nappe phréatique alors que les protons H^+ participent, quant à eux, à la neutralisation des ions bicarbonates faisant ainsi baisser le pH et modifiant la phase gazeuse de ces eaux. L'on aboutit alors à un déséquilibre du chimisme des eaux phréatiques abidjanaises et à une influence de leurs faciès chimiques. Cette modification physico-chimique des eaux phréatiques est accentuée par un mauvais assainissement de l'environnement des puits. De tels

phénomènes, s'ils ne sont pas contrôlés dans une région pourraient provoquer une dégradation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines et restreindre ainsi leurs usages.

5. Bibliographie

- [1] Bureau National d'Etude Technique et de Développement, Contrôle du service public de gestion et d'exploitation du balayage, de la précollecte, de la collecte et de la mise en décharge des ordures ménagères de la ville d'Abidjan. Rapport d'activité (2002), 1–22.
- [2] U.S. EPA. Guide to Septage Treatment and Disposal (1994). EPA Office of Research and development. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA/625/R-94-002.
- [3] Oga M.S. Ressources en eaux souterraines dans la région du Grand Abidjan (Côte d'Ivoire): Approche Hydrochimique et Isotopique. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris Orsay (1998), France.
- [4] Yacoub I. Analyse de l'évolution qualitative et quantitative des ressources en eaux souterraines du Grand Abidjan. Mémoire de DEA, Université d'Abobo-Adjamé (1999), Côte d'Ivoire.
- [5] Ministère des Eaux et Forêts, Gestion des eaux pour les villes Africaines : évaluation rapide des ressources en eau souterraine / occupation des sols. Rapport (2003).
- [6] Traoré A. Pollution des eaux souterraines de la nappe d'Abidjan par les composés azotés, bilan des connaissances : origines et évolution de ces composés. Mémoire de DEA, Université d'Abobo-Adjamé (2005), Côte d'Ivoire.
- [7] Ahoussi K.E., Soro N., Soro G., Lasm T., Oga M. S., Zade S. P. Groundwater pollution in Africans biggest towns: case of the town of Abidjan (Côte d'Ivoire). European Journal of Scientific Research (2008), 20, 2, 302-316.
- [8] INS. Recensement Général de la population de l'Habitation. Donnée socio-démographiques et économiques des localités, résultats définitifs par localités, région des lagunes. Institut National de la Statistique(1998), Vol III, Tome 1,1-43.
- [9] Aghui N., Biémi J. Géologie et hydrogéologie des nappes de la région d'Abidjan et risques de contamination. Annale Université Nationale de Côte d'Ivoire série C (Sciences)(1984), tome 20, 314-347.
- [10] Abbas S., Adje K., Essoh B., Kone I. et Yao K. E. Enquête par grappes à indicateurs multiples Côte d'Ivoire. Ministère du plan et du Développement de Côte d'Ivoire (2007).
- [11] AFNOR, Qualité de l'eau. Association Française de Normalisation 1^{ère} édition(1994), Paris.
- [12] Rodier J. Analyse de l'eau ; eaux naturelles – eaux résiduaires – eau de mer. 8^{ème} édition, DUNOD (1996), Paris.
- [13] Tapsoba S. A. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Dabou (Sud de la Côte d'Ivoire): hydrochimie, isotopie et indice cationique de vieillissement des eaux souterraines. Thèse de Troisième cycle (1995), Université de Côte d'Ivoire.
- [14] Gnagne Y.A., Yapou B. O., Mambo V., Meite L., Houenou P. Pollution urbaine et processus d'acidification des eaux de puits de la ville d'Abidjan, Côte d'Ivoire. J. Soc. Ouest-Afr. Chim.(2013)036,55 - 61
- [15] Kouamé K. V., Yapou O. B., Mambo V., Seka A., Tidou A..S., Houenou P. Physicochemical characterization of the waters of the coastal rivers and the lagoonal system of Côte d'Ivoire. Journal of Applied sciences (2009) 9, 8, 1517-1523.