

Analyse des paramètres de potabilité des sources d’approvisionnement en eau par les ménages dans la zone de santé de Mbanza-Ngungu au Kongo Central en RD Congo

Pascal Kazwenga Masawula^{1*}, Cush Ngonzo Luwesi^{2*}, Yvonne Ibebeke Bomangwa^{3*}, Jean Kalume Shikayi⁴, Danny Kianawa Kinakina⁵, Richard Gasigwa Sabimana⁶, Emmanuel Okenda Djamba⁷.

¹ Masters Student - Regional Water School, University of Kinshasa, DR Congo

² [Full] Professor - African University of Management and Technologies (AUMT-BRAZZA, Congo)

³ [Full] Professor - Faculty of Sciences, Chemistry Group, National University for Education (UPN), DR Congo

⁴ Assistant at Faculty of Agricultural Sciences and Masters Student - Regional Water School University of Kinshasa, DR Congo

⁵ INRA and Masters Student - Regional Water School, University of Kinshasa, DR Congo

⁶ Masters Student - Regional Water School, University of Kinshasa, DR Congo

⁷ Lecturer at Faculty of Agricultural Sciences, University of Kinshasa, DR Congo

* Contacts: Email <kazwenga@gmail.com>; <cushngonzo@gmail.com>; elimalokombe61@gmail.com

ABSTRACT: - In this study, principal component analysis (PCA), hierarchical ascending classification (HFC) and Multiple Correspondence Factor Analysis (MFA) were used to assess water quality. The PCA applied to the results of the physico-chemical analyses transformed the physico-chemical parameters into new uncorrelated variables. After projecting the samples on the factorial plane defined by PC1 and PC2, the water supply sources were characterized according to their properties, saline and hard. The HFC grouped the water sources based on their similarity in salinity and hardness, which allowed for an understanding of the similarities and differences between these waters. The AFCM has identified drinking water sources whose values are or are not close to the WHO guidelines from a bacteriological point of view. We can conclude that the fresh water consumed by the populations of the Mbanza-Ngungu health zone does not present any particular pollution. They are hard or saline because of the geochemistry of the soil. We recommend the treatment of alternative water and the development of wells and springs to avoid contamination with the excrement of warm-blooded animals.

Keywords: Alternative water, Water from the public distribution network, Drinking water, Mbanza-Ngungu, Potability parameters

I. INTRODUCTION

L'accès à l'eau potable, aux services d'assainissement et d'hygiène est un droit fondamental de l'homme, cependant, des milliards de personnes rencontrent encore à ce jour quotidiennement des obstacles pour accéder ne serait-ce qu'aux services essentiels (Beyene et Luwesi, 2018).

Selon les Nations Unies, dans le monde, environ 1,8 milliard de personnes consomment une eau contaminée par des matières fécales. Environ 2,4 millions d'individus ne bénéficient pas de l'accès aux services d'assainissement élémentaires tels que les toilettes ou les latrines. La pénurie d'eau touche plus de 40 % de la population mondiale, et cette proportion est susceptible d'augmenter. L'accès à l'eau pose pour certains d'entre eux un problème majeur au niveau de leur développement économique futur et de l'allocation de cette ressource entre les différents utilisateurs (OMS, 2023).

Dans les économies des pays en voie de développement, il s'observe des retards énormes d'investissements dans le secteur de l'eau potable consistant à mobiliser la ressource. Ce qui pourrait expliquer le déficit entre l'offre et la demande en eau dans ces pays. En Afrique subsaharienne, plus d'une personne sur trois (35 % de la population) n'a pas accès à l'eau potable. En Afrique du Nord et au Moyen-Orient, 8 % de la population n'a pas accès à l'eau potable. Cette proportion est de 7 % en Asie centrale et du Sud. En Asie de l'Est et du Sud-Est, région qui comprend la Chine, la proportion de la population qui n'a pas accès à l'eau (3 %) se rapproche de celle des pays riches, (OMS/Unicef, 2022).

Analyse Des Paramètres De Potabilité Des Sources D'approvisionnement En Eau Dans La Zone...

En République Démocratique du Congo, malgré l'abondance des eaux de surface, la grande majorité de la population congolaise dépend des nappes phréatiques et des sources pour s'approvisionner en eau potable. Bien souvent, ces sources sont de simples sources captées, très utilisées dans les villages isolés ainsi que dans les zones périurbaines connaissant une croissance rapide (PNUE, 2011).

C'est pourquoi, seuls 30% des congolais ont accès facile à l'eau potable selon le Ministre congolais des Ressources hydrauliques, (allocation prononcée à l'occasion de la journée internationale de l'eau, célébrée le 22 mars 2020 www.radiookapi.net).

C'est sans surprise que le rapport du Groupe de la Banque mondiale sur les performances des services d'eau en Afrique montre que la REGIDESO ne couvre que 25,69% de la population au niveau national. Alors que ce taux est 68,44% au Bénin ou 86,71% au Niger (Van den Berg Caroline et Alexander Danilenko, 2017).

Le fait que la REGIDESO ne dessert pas toutes les 12 aires de santé que compte la zone de santé de Mbanza-Ngungu conduirait les ménages à l'utilisation des eaux de substitut à l'eau de la REGIDESO telles que celles de sources, puits, forages, ... ces dernières peuvent être contaminées. Les attitudes adoptées par les ménages pourraient satisfaire aux besoins quantitatifs en eau sans forcément veiller à la qualité. Ce qui aurait une incidence sur la santé et des répercussions économiques fâcheuses. Car, en dépit des motivations des usagers et des opportunités offertes par ces substituts, Montginoul, (2006) confirme que le développement non contrôlé des eaux alternatives comporte également des risques sanitaires.

D'où, l'intérêt de cette étude visant une évaluation des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des sources d'approvisionnement en eau potable, utilisée comme eau de boisson et pour les activités domestiques, par la ménages dans la zone de santé de Mbanza-Ngungu, dans la province du Kongo Central.

II. MATERIEL ET METHODES

Situation géographique

La ZS de Mbanza-Ngungu existe depuis 1983. Elle est l'une des 31 que compte la province du Kongo Central et l'une des 10 de l'ancien District des Cataractes.

1.

La zone de santé de Mbanza-Ngungu est à 155 km de Kinshasa la capitale de la RDC et à 200 km de la ville portuaire de Matadi. Ses coordonnées géographiques sont 14° 55' 03'' de longitude et de 5° 18' 10'' de latitude. Son altitude est de 735 mètres. La RDC compte actuellement 515 zones de santé. Elle est située dans le territoire de Mbanza-Ngungu, ex-District des Cataractes, Province du Kongo Central en RDC.

Approche méthodologique

Prélèvement des échantillons

Pour atteindre l'objectif que nous nous étions assignés, nous avons fait recours à deux techniques sur le terrain, à savoir : Observations directes et Prélèvement des échantillons d'eau consommée par la population de Mbanza-Ngungu pour analyses physico-chimique et bactériologique au laboratoire.

Ces analyses ont été réalisées au laboratoire central de la REGIDESO S.A. à Kinshasa dont les procédés constituent la base du protocole d'analyses et Rodier et al. (2009).

Les paramètres physico-chimiques analysés sont : Turbidité, Couleur, Indice permanganate, TA, TAC, Fe, Phosphates, Chlorures, Nitrites, Nitrates, Sulfates, Dureté, Température, TDS, pH, Chlore résiduel et Conductivité. Quant aux analyses bactériologiques, elles ont permis de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau, c'est-à-dire, vérifier l'efficacité des mesures de protection des points de captage ou de traitement des eaux dans leur ensemble. Les analyses réalisées ont concerné les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux et l'Escherichia Coli. Les coordonnées géographiques des points de prélèvement sont consignées dans le tableau 1 :

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des points de prélèvements

N°	NOM DU SITE	La	Lo
1	Puits av Yukula n°50	5°14'55"	14°53'34"
2	REGIDESO av Ahténée n°17	5°14'36"	14°53'04"
3	Puits av Ahténée n°17	5°14'36"	14°53'04"
4	Puits av Nseka n°36	5°14'14"	14°52'42"
5	Source Tadila Village	5°12'55"	14°51'58"
6	Source Kumbi Village	5°13'36"	14°50'47"
7	Source Nzenze Village	5°17'23"	14°47'20"

8	REGIDESO Garage ex-TP	5°15'24"	14°51'20"
9	Aqua Kola	5°14'20"	14°54'20"

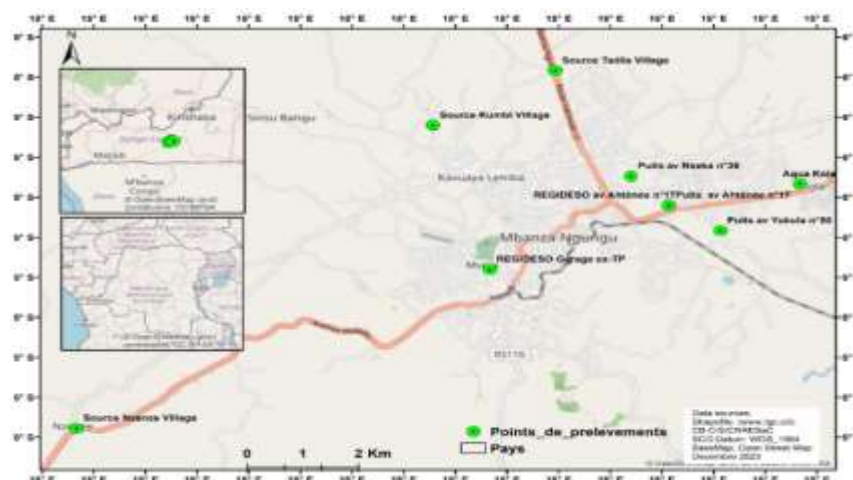


Figure 1 : Carte des points de prélèvement d'échantillons d'eau

Pour évaluer la potabilité des eaux consommées à Mbanza-Ngungu, neuf (09) échantillons d'eau ont été prélevés.

Il a s'agit de :

- ✓ Trois sources les plus fréquentées par la population dans la zone de santé. Des sources des 3 aires de santé qui dépendent exclusivement de ce type d'eau alternative du fait de l'absence des installations de la REGIDESO. Les aires de santé concernées sont celle de Kumbi, de Nzenze et de Tadi. Ces trois (3) aires de santé comptent 35666 habitants, soit 21,59% de la population totale de la zone de santé de Mbanza-Ngungu. A cause de la distance, aucun échantillon n'a été prélevé dans l'aire de santé de Langa qui présente les mêmes caractéristiques ou presque.
- ✓ Trois puits dans les aires de santé très dépendantes de ces eaux. Les aires de santé concernées sont celle de Loma et celle d'Athénée. Ces deux aires de santé font un total de 43363 habitants, soit 26,25% de la population totale de la zone de santé.
- ✓ Deux robinets du réseau de la REGIDESO dans deux aires de santé différentes desservies ; un en face de l'usine (Aire de santé de Loma) et l'autre dans une aire de santé loin de l'usine (Nsona-Nkulu, la borne fontaine installée dans l'enceinte du garage ex-TP). Le total des habitants dans ces deux aires de santé est de 40365 habitants, soit 24,44% de la population de la zone de santé.
- ✓ Un forage industriel dans la zone de santé de Mbanza-Ngungu, Aqua Kola.

Tableau 2 : Répartition du nombre d'échantillons par catégorie

N°	Points de prélèvement	Nombre d'échantillons	%
1	Sources	3	33,3
2	Robinet de la REGIDESO	2	22,2
3	Puits artisanaux	3	33,3
4	Forages industriels : Aqua Kola	1	11,1
Total		9	100

Le prélèvement d'échantillons a été instantané et non continu, reflétant ainsi la composition évolutive de l'eau, notamment face aux phénomènes de pollution. Une meilleure compréhension de ces variations aurait pu résulter de prélèvements multiples, mais cela a été limité par des contraintes matérielles et financières. Pour assurer la répétabilité, les échantillons ont été prélevés trois (3) fois à des intervalles réguliers de trois (3) semaines. Ces prélèvements ont eu lieu entre les mois d'octobre et novembre de l'année 2023. Les techniques de prélèvement d'échantillons pour nos analyses physico-chimiques et organoleptiques ont été différentes de celles de prélèvement d'échantillons pour analyses bactériologiques.

Techniques d'analyses des données

Analyse descriptive des paramètres physico-chimiques et bactériologiques

Dans cette étude, nous examinons méthodiquement l'utilisation de trois méthodes d'analyse statistique : l'analyse en composantes principales (ACP), la classification ascendante hiérarchique (CAH) et l'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) pour évaluer et caractériser les sources d'eau. En utilisant ces méthodes d'analyse, il devient possible d'obtenir des informations précieuses sur la qualité de l'eau, les composants chimiques présents, les facteurs environnementaux, et de nombreux autres paramètres pertinents.

Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'ACP réduit la dimensionnalité des données et identifie les variables les plus significatives.

A l'aide du logiciel R, la méthode d'Analyse en Composantes Principales (ACP) permet de décrire des proximités entre des individus sur lesquels plusieurs caractères quantitatifs ont été mesurés. C'est une méthode qui nécessite de nombreux calculs matriciels (Lafaye de Micheaux, 2014 ; David V., 2017). L'ACP s'applique aux tableaux Individus x Variables quantitatifs. Les variables qualitatives ordonnées dont les modalités sont chiffrées sont concernées aussi.

L'ACP permet de répondre à deux questions :

- ✓ Concernant les individus, quels sont ceux qui se ressemblent ou qui ont le même profil et se regroupent en ensembles plus ou moins homogène au regard de ces variables étudiées ?
- ✓ Concernant les variables, comment se structurent-elles ? En d'autres termes, existe-t-il celles qui sont corrélées ?

Il a été question ici d'étudier la ressemblance ou la dissemblance entre les sources d'eau et la corrélation ou non entre les paramètres retenus.

Le résultat est une table contenant les coefficients de corrélation entre les variables.

L'analyse en composantes principales a été effectuée sur une matrice de données composée de neuf échantillons d'eau. Pour traiter les données à l'aide de l'analyse en composantes principales, nous avons utilisé quelque 15 variables : Les caractéristiques physico-chimiques suivantes ont été étudiées : Turbidité, Couleur, Indice permanganate, TAC, Fe, Phosphates, Chlorures, Nitrites, Nitrates, Sulfates, Dureté, Température, TDS, pH et Conductivité.

Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM)

L'Analyse Factorielle de Correspondances Multiples (AFCM) est l'une des méthodes qui permet de représenter graphiquement un tableau de contingence créé par le ou les croisements (tris croisés) de deux ou plusieurs variables qualitatives. La méthode vise à rassembler sur un ou plusieurs graphiques (plan factoriel) la plus grande partie possible de l'information contenue dans le tableau en s'attachant non pas aux valeurs absolues mais aux correspondances entre les caractéristiques, c'est-à-dire aux valeurs relatives. L'AFCM est une technique statistique utilisée sur les tableaux avec les individus en ligne, numérotés de 1 à N et à qui on a posé des questions à réponses qualitatives notées de 1 à P (Kizungu, 2022).

L'AFCM est utilisé pour étudier les relations entre différentes caractéristiques des sources d'eau (Karimi, H. et al., 2004, Kamtchueng, B.T et al., 2016, Lavoie, L. et Dillon, P.J., 2006, Loughead, V.L. et al, 2001, Reavie, E.D. et Smol, J.P., 1998, Szoskeiwicz, K. et al., 2014).

Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

La CAH regroupe les échantillons d'eau en groupes homogènes en fonction de leurs similitudes. En parlant en termes de individus et des variables, supposant que « n » individus soient caractérisés par les « p » variables ou caractères, alors, l'arbre est construit tel que pour les éléments qui sont dans un même groupe, chacun a plusieurs caractères communs avec les autres et chaque caractère est possédé par les membres du groupe.

Les algorithmes qui construisent ces arbres sont connus sous le nom de « classification ascendantes hiérarchique ». Le plus utilisé est l'algorithme de Ward ou la méthode des moments d'ordre 2.

En classification automatique, il n'y a pas de groupes a priori. La méthode cherche dans le nuage de points les zones denses qui formeront des groupes qu'il restera à interpréter par la suite. La notion d'homogénéité est liée à celle de la proximité (similarité ou dissimilarité). D'où la notion de mesure de ressemblance.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Description des paramètres physico-chimiques

L'ACP et le CAH ont constitué les analyses statistiques effectuées sur les échantillons d'eaux de sources, de puits, de forage et de la REGIDESO pour dégager le comportement de certains paramètres descriptifs de la qualité physico-chimique. Les paramètres concernés sont : l'indice permanganate, la conductivité, les TDS, le TAC, la dureté, les chlorures, les nitrates, les nitrites, les phosphates, la température, le pH, la dureté, la turbidité, la couleur et les sulfates.

Tableau 3 : Résultats des analyses physico-chimiques

N°	ECHANTILLON	Directives OMS 2017	W	P	L	S	Q	AK	C	K	V
1	TEMPERATURE	25°C	26,7	26,4	26,6	26,6	26,7	25,6	26,1	26,6	26,5
2	TURBIDITE	Max 5 UNT	0,62	0,59	8,5	12,07	13,23	1,14	13,43	7,88	29,87
3	pH	6,5-8,5	7,1	6,9	6,5	5,9	4,8	5,7	5,5	4,9	6,1
4	COULEUR	Max 15 Pt-Co	5	1	14	31	17	0	34	3	48
5	Ind PERMA	PVG	0,8	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	2	2,2	2,9
6	CONDUCTIVITE	Max 1500 µs/cm	323,3	345,29	64,99	368,28	22,55	36,6	24,33	78,42	87,39
7	TDS	PVG	169,5	171,32	32,92	126,3	10,63	18,7	10,83	33,73	41,91
8	TA	PVG	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	DURETE	PVG	204	197	170	153	218	254	169	525	620
10	TAC	PVG	7,21	7,215	2,96	8,575	6,225	5,91	4,855	16,79	6,13
11	CHLORURES	Max 250 mg/l	39,76	47,54	58,86	57,24	31,32	46,4	43,99	39,29	37,19
12	NITRATES	Max 50 mg/l	1,3	2	2,4	4,4	2	6,3	2,7	3,4	4,5
13	NITRITES	Max 0,5 mg/l	0,052	0,029	0,046	0,063	0,036	0,09	0,186	0,02	0,031
14	PHOSPHATES	Max 0,1 mg/l	0,138	0,155	0,218	0,358	0,055	0,12	0,121	0,253	0,164
15	SULFATES	PVG	49	56	1	22	1	9	19	6	3
16	FER TOTAL	Max 0,2 mg/l	0,71	0,74	0,38	3,82	2,37	0,18	0,65	1,5	3,26
17	CHLORE RÉSIDUEL	Min 0,2 mg/l	0,3	0,3							

Analyse Des Paramètres De Potabilité Des Sources D'approvisionnement En Eau Dans La Zone...

Tableau 4 : Analyse de corrélation

Variables	TEMP	TURB	pH	COUL	Ind PERMA	COND	TDS	DUR	TAC	CHLO	NITRA	NITRI	PHOS	SULF	FER T.	
TEMPERATURE	Corrélation	1														
	Signification															
TURBIDITE	Corrélation	0,59	1													
	Signification	0,13														
pH	Corrélation	-0,13	0,30	1												
	Signification	0,77	0,47													
COULEUR	Corrélation	0,35	0,90	0,33	1											
	Signification	0,40	0,00	0,43												
Ind PERMA	Corrélation	0,41	0,65	0,82	0,56	1										
	Signification	0,32	0,08	0,01	0,15											
CONDUCTIVITE	Corrélation	0,22	0,19	0,36	0,28	0,44	1									
	Signification	0,59	0,65	0,39	0,50	0,28										
TDS	Corrélation	0,20	0,13	0,51	0,17	0,58	0,94	1								
	Signification	0,64	0,76	0,20	0,69	0,13	0,00									
DURETE	Corrélation	0,47	0,16	0,48	-0,15	0,66	0,36	0,54	1							
	Signification	0,25	0,72	0,23	0,72	0,08	0,38	0,17								
TAC	Corrélation	0,35	-0,45	-0,28	-0,53	-0,15	0,46	0,47	0,43	1						
	Signification	0,39	0,26	0,50	0,18	0,73	0,25	0,24	0,29							
CHLORURES	Corrélation	-0,25	0,00	0,22	0,19	-0,11	0,13	-0,07	-0,33	-0,17	1					
	Signification	0,54	1,00	0,60	0,66	0,79	0,76	0,87	0,43	0,69						
NITRATES	Corrélation	-0,63	-0,28	0,16	-0,15	-0,23	0,20	0,07	-0,14	-0,11	0,51	1				
	Signification	0,09	0,51	0,71	0,72	0,59	0,63	0,87	0,74	0,79	0,20					
NITRITES	Corrélation	-0,54	-0,15	-0,02	0,24	-0,25	-0,22	-0,26	-0,80	-0,46	0,22	0,01	1			
	Signification	0,17	0,72	0,96	0,56	0,55	0,61	0,53	0,02	0,26	0,60	0,98				
PHOSPHATES	Corrélation	0,30	0,11	0,09	0,19	0,09	0,61	0,40	0,10	0,44	0,70	0,30	-0,20	1		
	Signification	0,46	0,80	0,83	0,66	0,83	0,11	0,33	0,81	0,28	0,06	0,48	0,63			
SULFATES	Corrélation	-0,17	-0,18	0,43	-0,02	0,35	0,65	0,80	0,23	0,31	-0,23	-0,09	0,17	-0,03	1	
	Signification	0,70	0,68	0,29	0,97	0,39	0,08	0,02	0,58	0,46	0,58	0,82	0,69	0,94		
FER TOTAL	Corrélation	0,60	0,68	-0,08	0,61	0,31	0,61	0,43	0,17	0,13	0,00	0,05	-0,38	0,47	-0,04	1
	Signification	0,12	0,07	0,85	0,11	0,46	0,11	0,29	0,69	0,76	0,99	0,91	0,36	0,24	0,92	

L'analyse de la colinéarité entre les paramètres sous étude montre une forte corrélation entre les paramètres ci-après au seuil de 95% de confiance : Couleur et Turbidité ; TDS et Conductivité ; Nitrites et Dureté et Sulfates et TDS.

Analyse en Composantes Principales (ACP)

La cartographie des sites en fonction des paramètres physico-chimiques se présente comme suit à la suite de la projection des variables dans l'espace des axes CP1, CP2 et CP3 (Figure 2).

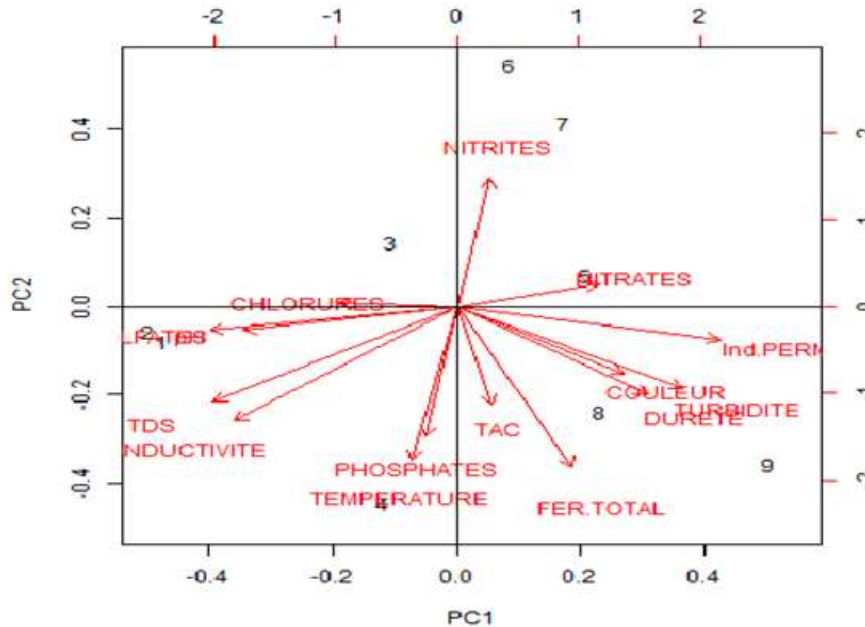


Figure 2 : Projection des paramètres physico-chimiques dans l'espace des axes CP1, CP2 et CP3.

Légende : W : Robinet REGIDESO Avenue Athénée n°27 ; P : Robinet REGIDESO Garage EX-TP ; L : Puits Avenue Yukula n°50 ; S : Puits Avenue Athénée n°17 ; Q : Puits Avenue Nseka n°30 ; AK : Forage Aqua Kola ; C : Source Tadila ; K : Source Kumbi ; V : Source Nsenze.

La résolution ou l'analyse de la projection des individus sur les plans factoriels PC1 et PC2 a donné les caractéristiques suivantes des sources d'approvisionnement en eau (figure 2) :

Corrélées positivement avec l'axe PC1, ces sources d'eau 8 et 9, soit Source Kumbi et Source Nsenze sont caractérisées par des eaux dures, riches en Fer total, colorées, alcalines et turbides. Négativement corrélés à l'axe PC1, 5, 6 et 7, soit Puits Avenue Nseka, Forage Aqua Kola et Source Tadila sont moins dures, riches en Nitrates et Nitrites.

Corrélées positivement avec l'axe PC2, ces sources d'eau 1, 2 et 4, soit les deux robinets de la REGIDESO et Puits Avenue Athénée n°17, sont caractérisées par les eaux salines, riches en Chlorures, Sulfates, Conductivité et Solides totaux dissous. Négativement corrélé avec le PC2, avec l'eau moins dure, source d'eau 3, soit Puits Avenue Yukula n°50.

Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

La classification ascendante hiérarchique (CAH) a été utilisée pour regrouper les eaux ayant des caractéristiques de salinité et de dureté similaires. Cette classification permet de comprendre la similitude et la dissemblance entre les sources d'eau, ce qui peut être utile pour prendre des décisions sur l'utilisation de ces sources et les besoins en matière de traitement de l'eau. La figure 3 montre qu'il existe deux groupes de sources d'eau. Le premier groupe est composé de sources 1, 2, et 4, qui se caractérisent par une eau salée et moins dure.

Le deuxième groupe est constitué des sources d'eau 3, 5, 6, 7, 8 et 9, qui se caractérisent par de l'eau moins saline et dure.

La figure 3 donne l'arbre hiérarchique des sources d'approvisionnement en eau potable dans la zone de santé de Mbanza-Ngungu.

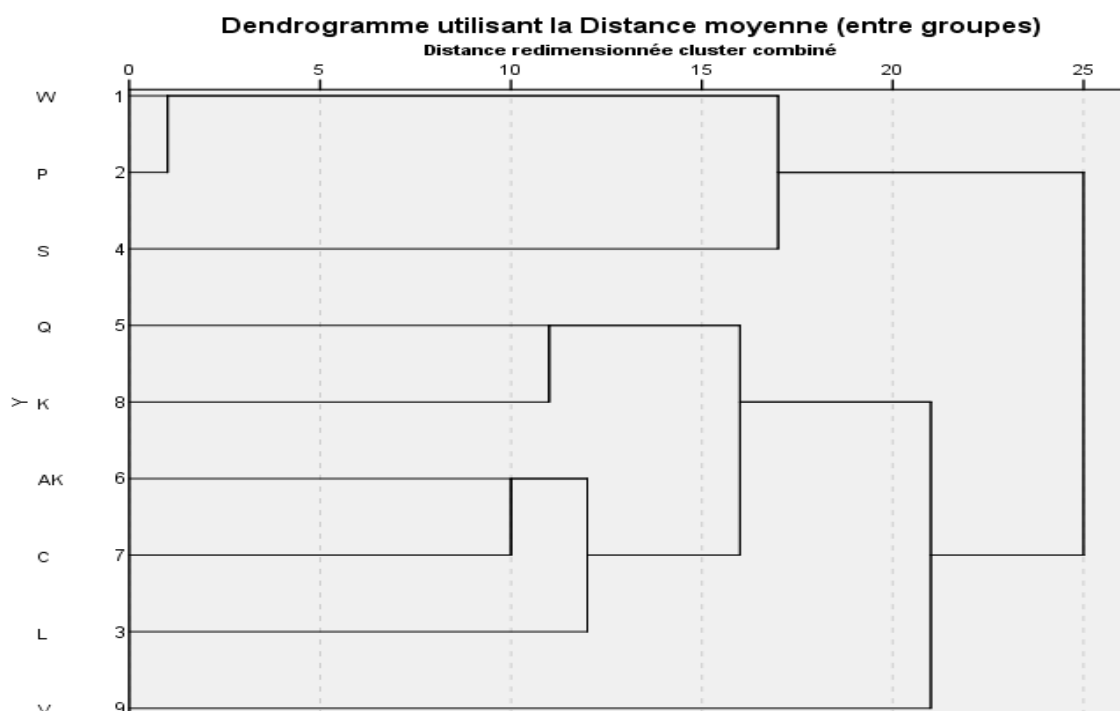


Figure 3 : Projection des paramètres physico-chimiques dans l'espace des axes CP1, CP2 et CP3.

Légende : W : Robinet REGIDESO Avenue Athénée n°27 ; P : Robinet REGIDESO Garage EX-TP ; L : Puits Avenue Yukula n°50 ; S : Puits Avenue Athénée n°17 ; Q : Puits Avenue Nseka n°30 ; AK : Forage Aqua Kola ; C : Source Tadila ; K : Source Kumbi ; V : Source Nsenze.

Qualité bactériologique

Description des paramètres bactériologiques

Aucun indicateur de contamination fécale dans tous les échantillons d'eau de la REGIDESO et d'Aqua Kola n'a été détecté. Ce sont les eaux qui sont traitées, en plus du fait que ces eaux sont pompées à des profondeurs assez grandes dépassant les 100 mètres.

A propos de la présence des E. Coli, tous les échantillons ayant positivement aux coliformes fécaux ont accusé leur présence, soit 2 puits sur 3 (soit 66.67%) et 1 source sur 3 (soit 33.33%). Il s'agit des échantillons d'eau du puits de l'avenue Athénée n°17, du puits de l'avenue Nseka n°30, de la source de Kumbi. Cela s'explique dans la mesure où ces 2 sources et 1 puits ne sont pas aménagés, par manque de périmètre de protection, les exposant aux eaux de ruissellement des eaux de pluie, aux contaminations des matières fécales humaines et animales à sang chaud. Les eaux en question ne sont pas traitées et sont tirées à une profondeur moyenne de 10 mètres.

Les deux sources et le seul puits n'ayant pas positivement aux coliformes fécaux sont aménagés de façon à éviter les eaux de ruissellement et contaminations fécales diverses ou sont situés loin des habitations humaines. C'est le cas de la source de Tadila, le puits de l'avenue Yukula n°50 et la source de Nsenze. Le tableau 5 donne les résultats d'analyses bactériologiques.

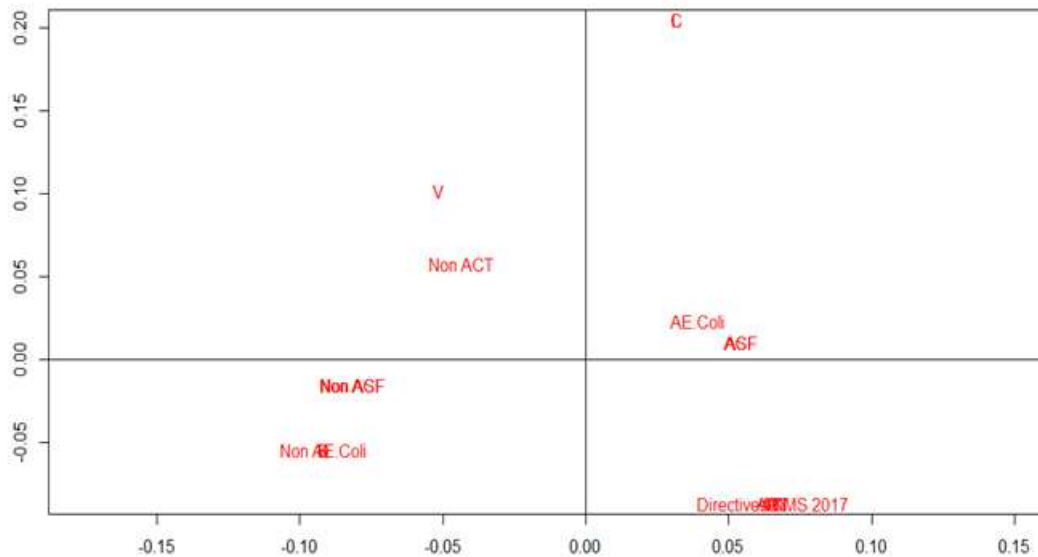
Tableau 5 : Résultats d'analyses des paramètres bactériologiques

N°	Echantillon	Directives OMS 2017	W	P	L	S	Q	AK	C	K	V
1	Coliformes totaux UFC/100ml	0 UFC/100ml	0	0	Ind	Ind	Ind	0	Ind	Ind	Ind
2	Coliformes fécaux UFC/100ml	0 UFC/100ml	0	0	0	Ind.	Ind.	0	0	Ind.	0
3	E. Coli UFC	A	A	A	A	P	P	A	A	P	A
4	Streptocoques fécaux UFC/100ml	0 UFC/100ml	0	0	0	Ind.	Ind.	0	0	101	Ind.

Légende : W : Robinet REGIDESO Avenue Athénée n°27 ; P : Robinet REGIDESO Garage EX-TP ; L : Puits Avenue Yukula n°50 ; S : Puits Avenue Athénée n°17 ; Q : Puits Avenue Nseka n°30 ; AK : Forage Aqua Kola ; C : Source Tadila ; K : Source Kumbi ; V : Source Nsenze.

Analyse factorielle des Correspondances multiples

L'AFCM a été réalisée sur les résultats des paramètres bactériologiques des neuf échantillons d'eau sous études en comparant les résultats obtenus aux directives de l'OMS en ce qui concerne la potabilité de l'eau. Il ressort de la figure 19 que, les sources W (Robinet REGIDESO Avenue Athénée n°27), P (Robinet REGIDESO Garage EX-TP) et AK (Forage Aqua Kola) répondent aux directives de l'OMS, par contre les sources L (Puits Avenue Yukula n°50) et C (Source Tadila) se rapprochent des directives de l'OMS. Les autres sources tel que V, K et Q ne répondent pas aux directives de l'OMS.



Légende

ACT: Acceptable Coliformes totaux	AE.Coli: Acceptable E. Coli
Non ACT: Non acceptable Coliformes totaux	Non AE.Coli: Non acceptable E. Coli
ACF: Acceptable Coliformes fécaux	ASF: Acceptable Streptocoques fécaux
Non ACF: Non acceptable Coliformes fécaux	Non ASF: Non acceptable Streptocoques fécaux

Figure 4 : Projection des sources d'approvisionnement en eau potable AFCM

Légende : W : Robinet REGIDESO Avenue Athénée n°27 ; P : Robinet REGIDESO Garage EX-TP ; L : Puits Avenue Yukula n°50 ; S : Puits Avenue Athénée n°17 ; Q : Puits Avenue Nseka n°30 ; AK : Forage Aqua Kola ; C : Source Tadila ; K : Source Kumbi ; V : Source Nsenze.

IV. DISCUSSION

Rappelons-le que, sur les 17 paramètres physico-chimiques analysés, 12 ont présenté des valeurs conformes aux directives de l'OMS. Ainsi, les paramètres concernés sont : l'indice permanganate, la conductivité, les TDS, le TA, le TAC, la dureté, les chlorures, les nitrates, les nitrites, les phosphates, le chlore résiduel et les sulfates. (Shima et al., 2020 ; EU, 2006 ; Atibu et al, 2013 et OMS, 2000).

A l'opposé, la turbidité, la couleur, la température, le pH et le Fer total constituent les paramètres analysés soit 5 sur les 17 dont les valeurs trouvées ne sont pas conformes aux directives de l'OMS avec des grandes différences entre les échantillons. Nous pensons que la non-conformité des valeurs de ces paramètres pourrait avoir été influencée par la saison sèche, pendant laquelle les prélèvements d'échantillons d'eau avaient été effectués et la géochimie du sol de Mbanza-Ngungu, particulièrement pour le fer total (Sekalo M., et al., 2020 et OMS, 2017).

Sur le plan bactériologique, les résultats de l'étude ont révélé que la plupart des eaux de sources et de puits ne sont pas conformes aux directives de l'OMS (Linangelo S. B. et al., 2018 ; Lubera J., 2022 et Wanga B., OMS, 2017 et al., 2015).

Il n'est pas étonnant que les valeurs de ces paramètres soient conformes aux directives par manque de rejet d'eaux usées industrielles ou exploitation minières dans la contrée, l'utilisation des produits phytosanitaires

étant très limitée. La dureté ou la salinité de ces eaux pourrait être justifiée par la géologie de Mbanza-Ngungu. Sur le plan bactériologique, les eaux alternatives font courir des risques à leurs consommateurs en dehors de l'eau d'Aqua Kola. Ces eaux sont porteuses d'indicateurs de contamination fécale pour la plupart, les coliformes fécaux, dont les E. Coli. D'où la nécessité de traiter ces eaux avant toute consommation.

En fait, les points de captage d'eau potable, puits, sources ou autres, doivent être aménagés de façon à éviter toute sorte de pollution notamment par les eaux de ruissellement. Car, ces sources et puits sont très souvent entourés des habitations, sans périmètre de protection (Iungbi S. et al., 2023 ; Mukeba B. F. et al., 2022, Vuvu K. A., 2021, OMS, 2011, Malenga M. C., 2020 et Feukem T. et al., 2020).

V. CONCLUSION

Les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques ont été décrites dans le cadre de ce papier, à l'aide des analyses statistiques, notamment l'ACP, l'AFCM et le CAH, en guise de comparaison des eaux alternatives à l'eau distribuée par la REGIDESO du point de vue de la potabilité.

La classification a permis de comprendre la similitude et la dissemblance entre les sources d'approvisionnement en eau potable, ce qui peut être utile pour prendre des décisions sur l'utilisation de ces sources et les besoins en matière de traitement de l'eau. Sur le plan physico-chimique, les résultats d'analyses des sources d'approvisionnement en eau potable dans la zone de santé de Mbanza-Ngungu qui ne présentent pas une pollution particulière, ont révélé que trois sources sont salines, tandis que deux autres sont dures et que les quatre autres sont moins dures. De plus, une corrélation très significative a été observée entre les paramètres de ces cinq sources. Par contre, la plupart des eaux des sources et des puits font état de pollution fécale en portant des coliformes fécaux dont les E. Coli sur le plan bactériologique. D'où la nécessité que la REGIDESO étende son réseau de distribution aux zones marginales de la zone de santé et que les autorités politiques et sanitaires puissent sensibiliser et éduquer la population à constituer des comités locaux pour la gestion de l'eau afin de fournir de l'eau de qualité à un prix négocié et à traiter les eaux dont les sources ne sont pas protégées. Et enfin, l'application des principes de la GIRE peut assurer la durabilité de l'approvisionnement en eau potable.

Remerciements

Cette recherche a été réalisée dans le cadre de la formation au Programme de International de Master en Ressources en Eau organisée à l'Ecole de Régionale de l'Eau (ERE) de l'Université de Kinshasa. Les auteurs remercient la direction de l'ERE sans oublier les autorités politico-administratives et sanitaires de Mbanza-Ngungu.

Respect des normes éthiques

Les études de terrain n'ont pas impliqué d'espèces menacées et protégées. Aucune personne physique ou morale n'a joué un quelconque rôle dans la conception de l'étude, la collecte et l'analyse des données, la décision de publier ni dans la préparation du manuscrit.

Conflit d'intérêt

Aucun conflit d'intérêt n'a été mentionné par les auteurs.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. Atibu EK, Devarajan N, Thevenon F, Mwanamoki PM, Tshibanda JB, Mpiana PT, Prabakar K, Mubedi JI, Walter Wildi, Poté J. (2013). Concentration of metals in surface water and sediment of Luilu and Musonoie Rivers, KolweziKatanga, Democratic Republic of Congo. *Appl. Geochem.* 39 : 26–32
- [2]. Beyene A. et Luwesi C. N., 2018, Innovative water finance for Africa – Vol, Uppsala: Nordic Africa Institute University of Uppsala (www.nai.uu)
- [3]. David Valérie., 2017, Traitement de données en sciences environnementales, ISTE Editions LTD, Londres, 177 pages.
- [4]. EU, 2006, European Directive 2006/7/CE of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC.
- [5]. Feukem T. A., et al., 2020, Gouvernance de l'eau et maladies hydriques dans les campagnes des Hautes Terres de l'Ouest Cameroun:Analyse à partir du cas du village Bangoua, in *European Scientific Journal*, edition Vol.16, No.17, pp. 1857- 7881.
- [6]. <https://www.radiookapi.net/>, consulté le 06/04/2023
- [7]. Iungbi Singa Nathan et al., 2023, Qualité des eaux des sources utilisées pour la consommation et usages ménagères dans la ville de Kisangani. « cas des eaux des sources de la commune Makiso », in *IJRDO - Journal of Applied Science*, Volume 9, Issue 7, pp. 14-26.
- [8]. Kamtchueng, B.T., Fantong, W.Y., Wirmven, M.J., Tiodjia, R.E, Takounjou, A.F., Jules, R.,

- Ngoupuyou, N., Kusakabe, M., Zhang, J., Ohba, T., Tanyileke, G., Hell, J.V. and Ueda, A. 2016. Hydrogeochemistry and quality of surface water and groundwater in the vicinity of lake monoun, west Cameroon : approach from multivariate statistical analysis and stable isotopic characterization. *Environ Monit Asses*, 188: 524 :24. DOI: 10.1007/s10661-016-5514-x.
- [9]. Karimi, H., Raeisi, E. and Bakalowicz, M. 2004. Characterising the main karst aquifers of the alvand basin, northwest of Zagros, Iran, by a hydrogeochemical approach. *Hydrogeology journal*, 13 : 787-799. DOI : 10.1007/s10040-0004-0350-4.
- [10]. Kizungu V. R., 2022, Analyses statistiques avec le logiciel R, Notes de cours, 1ère année du Programme International de Master en Eau, Université de Kinshasa, 118 pages.
- [11]. Lafaye de Micheaux Pierre et al., 2014, Le logiciel R, Maîtriser le langage, Effectuer des analyses (bio)statistiques, Springer, 2ème Ed., Paris.
- [12]. Lavoie, L. and Dillon, P.J., 2006, A diatom-based index for the biological assessment of eastern Canadian rivers: an application of correspondence analysis (CA). *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 8 : 1793-1811. DOI: 10.1139/F06-086
- [13]. Linangelo S. B. et al., 2018, Problématique d'accès à l'eau potable en milieu rural en RDC : cas de la ville urbano-rurale de Bumba, in *International Journal of Innovation and Scientific Research*, Vol. 37 No. 2 Jul. 2018, pp. 130-138.
- [14]. Loughead, V.L., Crosbie, B. and Chow-Fraser, P. 2001. Primary determinants of macrophyte community structure in 62 marshes across the great lakes basin: latitude, land use, and water quality effects. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 58 : 1603-1612. DOI : 10.1139/cjfas-58-8-1603.
- [15]. Lubera J. F., 2022, Analyse des défis pour l'approvisionnement en eau potable dans les manages de la Ville d'Uvira, in *Multidisciplinary Research Academic Journal (MDRAJ)*, Vol 7. Issue 2, December 2022, 109-118.
- [16]. Malenga M. C., 2020, Evaluation de l'efficacité de la technique mixte ébullition/filtration (à l'aide du filtre Super Water) de traitement de l'eau, Mémoire de Licence/ISP Mbanza-Ngungu, Département de Chimie, Année Académique 2019- 2020, 106 pages, Inédit.
- [17]. Montginoul M., 2006, Les eaux alternatives à l'eau du réseau d'eau potable pour les ménages : un état des lieux. *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, Lavoisier ; IRSTEA ; CEMAGREF, p. 49 - p. 62. Ffhal-00601203.
- [18]. Mukeba B. F. et al., 2022, Approvisionnement et évaluation de la qualité des eaux souterraines de Selembao et Kimbanseke, in *RECOSH*, pp. 1-18.
- [19]. OMS, 2000, Directives des qualités pour l'eau de boisson, Volume II-critères d'hygiène et documentation à l'appui. 2ième édition, www.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/Summary_tables. 13/07/2013.
- [20]. OMS, 2000, Directives des qualités pour l'eau de boisson, Volume II-critères d'hygiène et documentation à l'appui. 2ième édition, www.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/Summary_tables. 13/07/2013.
- [21]. OMS, 2011, Directives de qualité pour l'eau de boisson. 4ème édition. Publication organisation mondiale de la santé. Genève, suisse. p.307.
- [22]. OMS, 2017, Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. Intégrant le premier additif, Genève, 564 pages.
- [23]. OMS, 2017, Directives de qualité pour l'eau de boisson, 2ème édition Recommandations, Genève, 216 pages.
- [24]. OMS, 2023, www.who.int, consulté le 23/11/2023.
- [25]. OMS/Unicef, 2022, Estimations 2022, www.inegalites.fr, consulté le 25/05/2023.
- [26]. Reavie, E.D. and Smol, J.P. 1998. Epilithic diatoms of the St. Lawrence river and their relationships to water quality. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 76: 251-257.
- [27]. Rodier J. et al., 2009, L'analyse de l'eau, 9ème éd., Paris, 1579 pages.
- [28]. Sekalo M., et al., 2020, Evaluation socio-environnementale des eaux de puits consommées au quartier Mamabalako dans la ville de Mbandaka, in *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 31 No. 1 Nov. 2020, pp. 43-51.
- [29]. Shima Ngoy T. et al., 2020, Caractérisation physicochimique, bactériologique et faciès hydrochimiques des eaux des sources aménagées dans la zone de santé de Lukula, Province du Kongo Central », in *Congo Sciences*, Volume 8, Number 3, pages 154-160.
- [30]. Szoszkiewicz, K., Ciecierska, H., Kolada, A., Schneider, S.C., Szwabinska, M. and Ruszczynska, J. 2014. Parameters structuring macrophyte communities in rivers and lakes –results from a case study in North-Central Poland. *Knowledge and management of aquatic ecosystem*, 415 :8p 16. DOI: 10.1051/kmae/2014034
- [31]. Van den Berg, Caroline, et Alexander Danilenko, 2017, Performance des services d'eau en Afrique,

- Banque mondiale, Washington, DC, 172 pages
- [32]. Vuvu K. A., 2021, Evaluation de la qualité des eaux brutes et traitées distribuées par la REGIDESO à Kisantu, Mbanza-Ngungu et Kimpese, Mémoire de licence en Sciences exactes, Département de Chimie, année académique, 2020-2021, 126 pages, Inédit.
- [33]. Wanga B. M. et al., 2015, Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Kalamu de Boma, R.D. Congo, Journal en Ligne de l'ACASTI et du CEDESURK ACASTI and CEDESURK Online Journal, Volume 3, Numero 1, pp. 50-57.

RESUME :- Dans cette étude, l'analyse en composantes principales (ACP), la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) et l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM) ont été utilisées pour évaluer la qualité de l'eau. L'ACP appliquée sur les résultats des analyses physico-chimiques a transformé les paramètres physico-chimiques en nouvelles variables non corrélées. Après avoir projeté les échantillons sur le plan factoriel défini par PC1 et PC2, les sources d'approvisionnement en eau ont été caractérisées en fonction de leurs propriétés, salines et dures. La CAH a regroupé les sources d'eau en fonction de leur similitude en termes de salinité et de dureté, ce qui a permis de comprendre les ressemblances et les différences entre ces eaux. L'AFCM a identifié les sources d'approvisionnement en eau potable dont les valeurs se rapprochent ou non des directives de l'OMS sur le plan bactériologique. Nous pouvons conclure que les eaux douces consommées par les populations de la zone de santé de Mbanza-Ngungu ne présentent pas de pollution particulière. Elles sont dures ou salines à cause de la géochimie du sol. Nous recommandons le traitement des eaux alternatives et l'aménagement des puits et sources pour éviter la contamination aux excréments des animaux à sang chaud.

Mots clés : Eaux alternatives, Eau du réseau public de distribution, Eau potable, Mbanza-Ngungu, Paramètres de potabilité.