



UTILISATION DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP) POUR EVALUER LA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES EN MILIEU RURAL (VILLE DE SEBAA AYOUNE, MAROC)

USE OF PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA) TO ASSESS GROUNDWATER POLLUTION IN RURAL AREAS (SEBAA AYOUNE, MOROCCO)

**ZERHOUNI J.¹, RHAZI FILALI F^{*1}, ABOULKACEM A.²,
NACIRI BENNANI M.³**

¹Equipe Microbiologie et Santé: Laboratoire de Chimie Biologie Appliqué à
l'Environnement, Université Moulay Ismail Faculté des Sciences,
B.P .11201 Zitoune Meknès, Maroc.

²Laboratoire de Santé Publique- Délégation du Ministère de la Santé- Meknès, Maroc.

³Équipe Matériaux et Catalyse Appliqués, Laboratoire de Chimie --Biologie Appliquées
à l'Environnement, Faculté des Sciences, BP 11201 Zitoune Meknès Maroc.

Fouzia.filali@yahoo.fr

RESUME

La présente étude a pour but d'évaluer la qualité des eaux souterraines en milieu rural de la ville Sebbaa Ayoune. Le choix des stations s'est basé essentiellement sur le fait de leur exposition aux différents facteurs de risques sanitaires, tels que: l'absence ou présence, d'aménagement, de Latrine à fosse et/ou du dépôt de fumier à proximités, et le respect ou non des périmètres protections. Afin d'étudier la contribution de ces facteurs de risque à la pollution des eaux souterraines, nous avons choisi de traiter les données récoltées, par l'analyse en composantes principales (ACP). Ce traitement statistique a montré une forte corrélation entre ces facteurs et la pollution des eaux étudiées. En effet, le coefficient de corrélation dépasse 0,67 entre ces facteurs et les bactéries indicatrices de la pollution. En plus, cette étude a dénudé que les eaux des stations choisies constituent un risque sanitaire sérieux pour la population. Pour

les 5 stations sélectionnées, la période d'étude s'est étalée sur 3 mois (Avril, Mai et juin de l'année 2017).

En perspective, nous envisageons de tester de nouvelles membranes élaborées à partir de matériaux naturel et synthétique dans la décontamination bactérienne des eaux de ces stations.

Mots-clés : Eau souterraine, facteurs de risque de la pollution, ACP, Qualité.

ABSTRACT

The present study aims to assess the quality of groundwater in rural areas of the city Sebaa Ayoune. The choice of the selected stations is primarily based on the fact of their exposure to various health risk factors, such as, the absence or the presence of development, Septic tank and/or the deposit of manure, and the respect or not perimeters protections. To study the contribution of these risk factors to the pollution of groundwater, we have chosen to treat the data collected by the (PCA) principal component analysis.

This statistical treatment showed a strong correlation between these factors and the pollution of the waters studied, with a correlation coefficient that exceeds 0.67. This study revealed that waters of the aforementioned stations constitute a serious health risk for the population. The study period lasts 3 months (April, May and June of the year 2017).

In prospect, we envisage to test new membranes developed from natural and synthetic materials in the bacterial decontamination of waters of these stations.

Keywords: Groundwater, risk factors of the pollution, PCA, Quality

INTRODUCTION

La santé peut être compromise lorsque des bactéries pathogènes, des virus et des parasites contaminent l'eau de boisson soit à la source, soit par infiltration d'eaux de ruissellement contaminées, soit à l'intérieur même du système de distribution sous canalisation (OMS, 2007). De même, l'insuffisance voire l'absence de l'assainissement liquide notamment en milieux périurbain et rural engendre des impacts négatifs sur la santé de la population et sur leur cadre de vie (Département de l'Environnement, 2010).

Au Maroc ; les ressources naturelles en eau sont parmi les plus faibles au monde, plus de la moitié de ces ressources sont concentrées dans les bassins du nord et le Sebou couvrant près de 7% du territoire national. A cette limitation des ressources en eau s'ajoute la dégradation de la qualité de l'eau suite à l'augmentation de la pollution. Les eaux usées générées en milieu rural sont estimées à environ 500 000 m³/j, qui sont évacuées directement dans la nature, et acheminées gravitairement dans des Chaâba (talweg des vallées). Elles aboutissent, par infiltration, dans le sous-sol ou utilisées pour l'irrigation de petites parcelles si elles existent. Leur impact sur la nappe souterraine et les cours d'eau est certes réduit en raison notamment des faibles teneurs en produits chimiques dangereux (absence de rejets industriels en milieu rural) mais au niveau sanitaire, les populations rurales sont fortement exposées aux maladies d'origine hydrique (Rapport sur les sources de pollution de l'eau au Maroc, 2014).

Concernant la ville de Sebaa Ayoune, le réseau de distribution ne couvre pas tous les quartiers, surtout ceux en milieu périurbain et/ou douars. En plus, les systèmes d'évacuation des eaux usées et des excréta utilisés dans ces quartiers sont les puits perdus ou fosses septiques, et la mise en place de ces dispositifs se fait sans aucune étude préalable des caractéristiques du sol (géologique, hydrologique et lithologique) (DAT, 2011). La qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau souterraine de la région Fès-Meknès a fait l'objet de nombreuses études qui ont montré l'impact de la consommation d'une eau de qualité douteuse sur la santé humaine (Zerhouni et al., 2015; Lalami et al., 2014 ; El Haissoufi et al., 2011).

C'est donc au cœur de cette préoccupation que s'inscrit cette étude portant sur la détermination de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits du milieu rural de la commune Sebaa Ayoune.

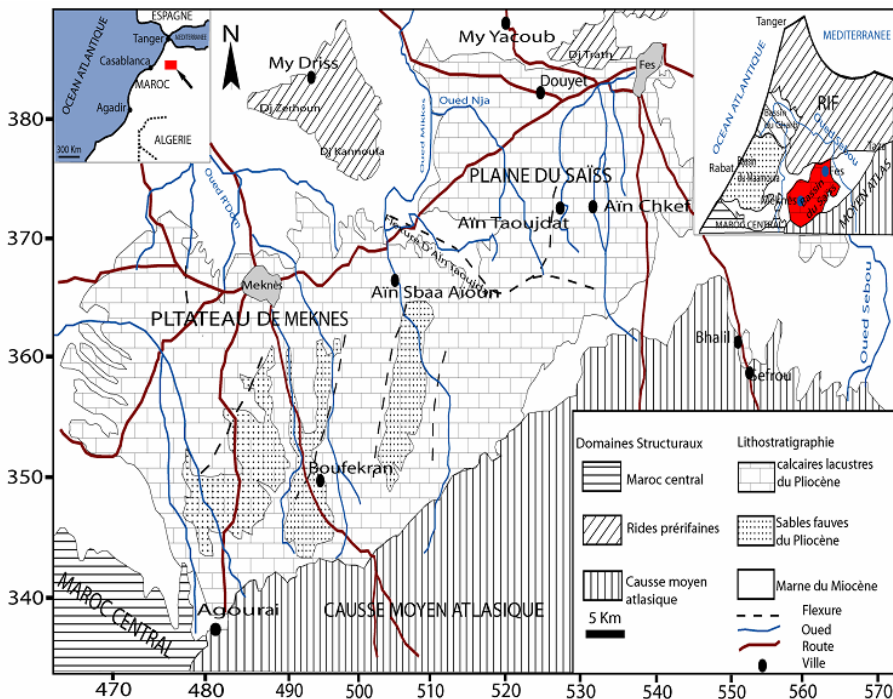
MATERIEL ET METHODES

Milieu d'étude

Environnement physique et naturel

La ville de Sebaa Ayoune s'étend sur un vaste territoire de 40 km² environ, ses coordonnées polaires sont 33°53' Nord de latitude et 5°21' Ouest de longitude et environ 590 m d'altitude, alors que ses coordonnées Lambert moyennes sont: x=505 000, y=370 000. Elle se caractérise par un relief faiblement accidenté,

formé de roches perméables et karstifiables qui jouent un grand rôle hydrogéologique en constituant l'aquifère profond du bassin de cette région. Elle est sur une formation calcaire lacustre du Pliocène (Figure 1), et définie par sa situation entre trois domaines hydrogéologiques : La nappe Meknès-Fès, la nappe du causse d'Agourai et la nappe des causses moyen atlasique. Dans cette zone, les ressources en eau souterraines sont emmagasinées dans deux aquifères superposés. Il s'agit de la nappe plio-quadernaire superficielle et de la nappe profonde liasique (DAT, 2011).



La lithostratigraphie régionale (Figure 2) ne diffère pas beaucoup de celle connue à l'échelle du nord du Maroc. Les variations à noter sont celles des formations plio-quadernaire dans le bassin qui varient selon le contexte sédimentaire local (Harmouzi, 2010). Les formations liasiques présentent une puissance très variable. L'épaisseur connue maximale du lias dans les forages est de 280m (région de Sebaa-Ayoune). Au-dessus des marnes du Miocène, il se dépose des sables à matrices carbonatées datées du pliocène inférieur. Dans la région occidentale du bassin, ces sables peuvent atteindre une épaisseur de 50 à

80m. Leur puissance diminue en allant vers l'Est où ils disparaissent dans les environs de la ville de Fès (Essahlaoui, 2000). Les sables fauves affleurent dans les parties les plus orientales du bassin de Saïs (Ain Taoujdat, Sebaa Ayoune) (Harmouzi, 2010).

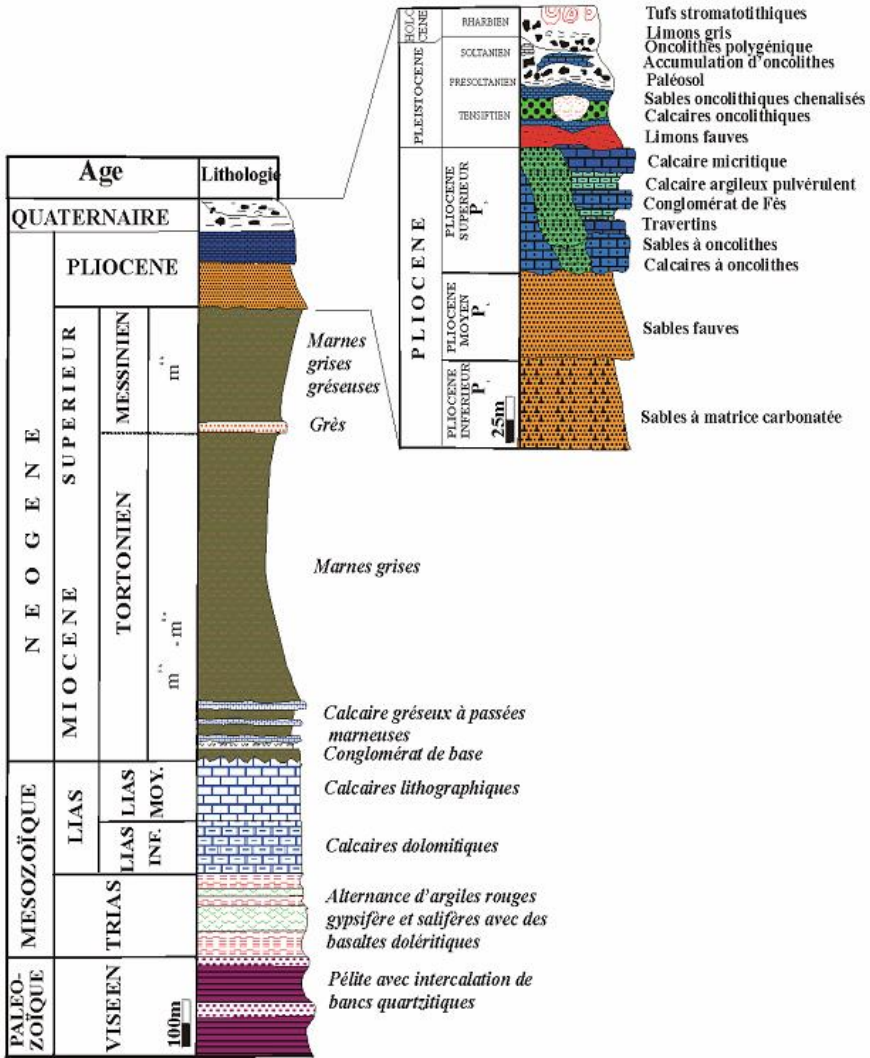


Figure 2 : Colonne synthétique du bassin de Saïs (Essahlaoui, 2000)

Les données sur les différentes stations choisies

La localisation des différentes stations des prélèvements a été faite par leurs coordonnées géographiques Lambert à l'aide d'un GPS (Global Positioning System) de type etrex SUMMIT GARMIN (Tableau 1). En plus, une prospection sur le terrain, nous a permis de déterminer les caractéristiques environnementales des puits choisis (Tableau 2).

Tableau 1 : Coordonnées GPS des différentes stations choisies

Code des stations	Nom des stations	Nom des douars	Coordonnées GPS		
			Latitude (N)	Longitude (W)	Altitude en mètre
S1	Alawia	Alawia	33°53.033'	005°23.055'	614
S2	Ait dawd	Ait dawd	33°53.486'	005°22.264'	577
S3	Bounss	Bounss	33°54.513'	005°24.873'	579
S4	Mahdouma	Mahdouma	33°56.133'	005°19.425'	488
S5	Al awra	Ait yahya	33°55.082'	005°24.589'	567

Tableau 2 : Caractéristiques et environnement des puits étudiés

Stations	Profondeur du puits (m)	Equipement, aménagement	Pollution avoisinante et protection	population desservie
S1	18	Puisage par pompe immergée, non aménagée.	Latrines, dépôt du fumier Non protégée	120
S2	30	Château d'une capacité de 36 m3, aménagée.	Il y a respect de la zone de protection proche	1400
S3	20	château d'une capacité de 25 m3, Aménagée.	dépôt du fumier non protégée	700
S4	20	château d'une capacité de 36 m3, aménagée	Il y a respect de la zone de protection proche	1300
S5	16	Puisage par pompe immergée. Aménagée.	Latrines, dépôt du fumier. Non protégée	30

Méthodes de prélèvements et des analyses

Matériel et méthodes des analyses bactériologiques

L'échantillonnage et l'acheminement des échantillons ont été effectués selon la NM 03.7.058 et la NM 03.7.059. Les échantillons ont été analysés au laboratoire de Chimie Biologie Appliquée à l'Environnement selon les méthodes

d'analyses préconisées par la Normes Marocaines (NM) appropriées (Tableau 3).

Tableau 3 : Méthodes et techniques utilisées pour les analyses des paramètres bactériologiques

Paramètres	Méthodes et références	Unités
<i>micro-organismes revivifiables à 22°C et 37°C</i>	NM ISO 6222, 2007 Technique par incorporation en gélose	Les résultats sont exprimés en UFC/1ml
<i>Bactéries Coliformes et Escherichia coli</i>	NM ISO 9308-1 année 2007 Indice de classement NM 03.7.003 Méthode par filtration sur membrane.	Les résultats sont exprimés en UFC/100ml
<i>les entérocoques intestinaux</i>	NM ISO 7899-2 année 2007 Indice de classement NM 03.7.006 Méthode par filtration sur membrane.	
<i>Spores de micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs</i>	NM ISO 6461-2 année 2007. Méthode par filtration sur membrane de 0,2 µm	

Matériel et méthodes physicochimiques

Les paramètres physicochimiques (NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) ont été déterminés selon les méthodes d'analyses préconisées par Rodier et al (2009). Les nitrates ont été déterminés par la méthode Salicylate de sodium, L'ammonium par la méthode au bleu d'indophénol, les sulfates par la méthode Néphélométrique, la lecture a été réalisé par le spectrophotomètre du type ANACHEH 220. Le dosage des chlorures a été effectué par titrimétrie. Les résultats ont été exprimés en milligramme du paramètre par litre d'eau (Rodier et al., 2009). La Conductivité, pH et la Turbidité ont été mesurés *in situ* par des appareils portatifs.

Outil et traitement statistique

Nous avons effectué une analyse en composantes principales (ACP) en utilisant le logiciel R version 3.5.0., en prenant les moyennes des valeurs de trois prélèvements. L'Analyse factorielle a été appliquée pour les 5 stations et les 18 variables.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Pour l'analyse factorielle, nous avons retenu deux axes factoriels (1 et 2). Le premier axe factoriel (Dim1) représente 58,70 % de l'information et le second axe (Dim2) représente 22,89 % de l'information, ainsi la première et la deuxième dimension peuvent expliquer 81,6 % d'information qui est contenue dans le jeu des données (Tableaux 5 et 6). Les paramètres bactériologiques et physico-chimiques correspondent aux variables actives et participent à la formation des axes factoriels, alors que les facteurs de risque de pollution correspondent aux variables supplémentaires et ne contribuent pas à la formation des axes factoriels. Nous avons utilisé des codes pour la représentation des variables supplémentaires ; présence et absence (1 et 0), et des codes pour les variables actives (Tableau 4).

Tableau 4 : Codes des variables utilisées dans le traitement du tableau par A.C.P.

Variables	Code
Bactéries Coliformes	BC
Escherichia coli	E coli
Entérocoques intestinaux	ET
Spores des Anaérobies sulfito-réducteurs	S ASR
Germes totaux à 22°C	GT22
Germes Totaux à 37°C	GT37
Aménagement des stations	Aménagmt
Respect des périmètres de protection.	protection
Latrine à fosse	Latrines
Dépôts du Fumier	fumier
Chlorure (Cl ⁻)	Cl
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	SO ₄ ²⁻
Température (T°)	T
Nitrate (NO ₃ ⁻)	NO ₃
Ammonium (NH ₄ ⁺)	NH ₄
Conductivité électrique	CE
Turbidité	Trb
Potentiel d'hydrogène	pH

La projection des variables et des individus sur le plan factoriel (1X2) (Figure 3 et 4) et la matrice des corrélations (Tableau 7), nous ont permis de faire ressortir les différentes corrélations entre les paramètres microbiologiques et physico-chimiques et la contribution des facteurs du risque à la pollution fécale. En plus, la classification ascendante hiérarchique (CAH) (Figure 5), nous a permis de regrouper ces points d'eau en 3 classes, les variables supplémentaires (facteurs de risque de pollution) n'ont pas été utilisés pour construire les classes, mais elles ont servi éventuellement lors de la caractérisation des classes.

Tableau 5 : Résultats des analyses bactériologiques de l'eau des stations prospectés dans la région d'étude

Station	BC (en UFC/100mL)	Ecoli (en UFC/100mL)	ET (en UFC/100mL)	SASR (en UFC/100mL)	GT22 (en UFC/mL)	GT37 (en UFC/mL)
S1	1413	1221	150	26	1357	1287
S2	158	157	43	11	96	108
S3	121	108	28	12	900	857
S4	20	17	12	9	927	847
S5	1407	1227	187	17	1133	950

Tableau 6 : Résultats des analyses physicochimiques de l'eau des stations prospectés dans la région d'étude

Station	T (°C)	pH	CE (µs/cm)	Trb (NTU)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Aménagement	protection	Latrines	fumier
S1	19,2	7,4	1138	2,5	19,2	0,62	94	141,5	0	0	1	1
S2	19,8	7,5	840	0,9	19,4	0,39	38	92,7	1	1	0	0
S3	19,6	7,4	721	0,8	18,3	0,46	19,2	119,4	1	0	0	1
S4	20,1	7,6	980	0,7	16,3	0,28	53,7	91,5	1	1	0	0
S5	19,5	7,1	723	1,2	16	0,32	25	98,8	1	0	1	1

0	Absence
1	présence

Les codes des Numéros:

Tableau 7 : Matrice des corrélations des variables actives

	CE	BC	Cl ⁻	SASR	E. COL I	ET	GT22° C	GT37° C	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	pH	SO ₄ ²⁻	T°	Tr b	
CE	1														
BC	0.2	1													
Cl ⁻	0.4	0.4	1												
SASR	0.5	0.8	0.8	1											
E.COL I	0.2	0.9	0.4	0.88	1										
ET	0.0	0.9	0.3	0.79	0.98	1									
GT22° C	0.3	0.6	0.6	0.66	0.64	0.57	1								
GT37° C	0.4	0.6	0.6	0.68	0.61	0.51	0.99	1							
NH ₄ ⁺	0.5	0.4	0.9	0.78	0.41	0.28	0.34	0.43	1						
NO ₃ ⁻	0.3	-	0.5	0.30	-0.08	-0.16	-0.36	-0.27	0.75	1					
pH	0.4	-	-	-0.43	-0.75	-0.83	-0.41	-0.32	-0.01	0.33	1				
SO ₄ ²⁻	0.9	0.4	0.5	0.68	0.40	0.24	0.41	0.48	0.61	0.35	0.31	1			
T°	-	-	-	-0.91	-0.81	-0.76	-0.55	-0.56	-0.80	-0.38	0.60	-0.37	1		
Trb	0.6	0.7	0.8	0.98	0.78	0.67	0.58	0.62	0.81	0.40	-0.23	0.81	-	-	1
	0.8	0.8	1										0.83		

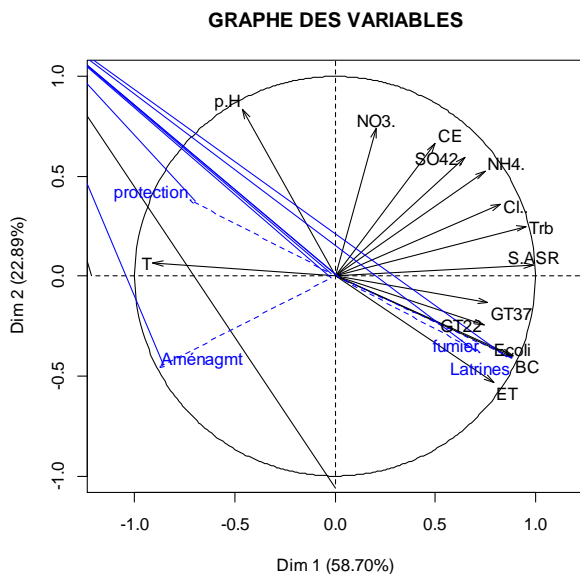


Figure 3 : Projection des variables sur le plan factoriel (1 x 2)

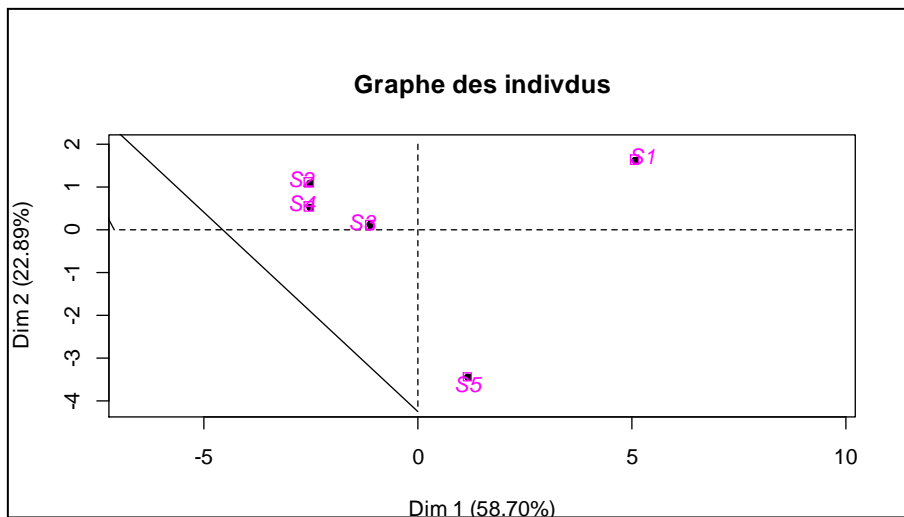


Figure 4 : Projection des stations suivies sur le plan factoriel (1X2)

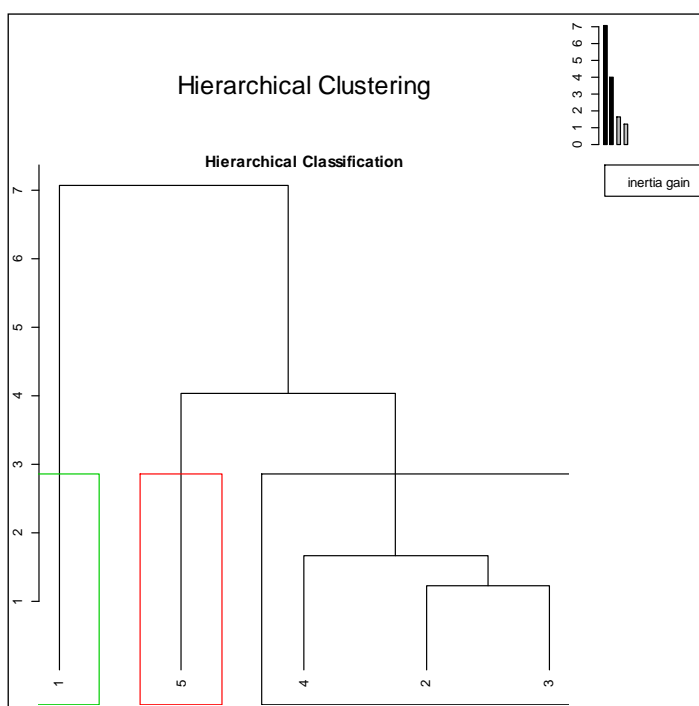


Figure 5 : Graphe de la Classification Hiérarchique Ascendante

Selon la matrice des corrélations (Tableau 7) : Les Spores des Anaérobies sulfito-réducteurs (SASR) ont une corrélation positive avec les BC ($r= 0.88$), *E. coli* ($r= 0,88$), ET($r= 0.79$), GT22°C ($r= 0.66$), GT37°C ($r= 0.68$), NH₄⁺ ($r= 0.78$), SO₄²⁻ ($r=0.68$), Cl⁻ ($r= 0.81$), Turbidité ($r=0.98$) et une corrélation négative avec le pH ($r= -0.43$), et T° ($r=-0.91$).

Les projections des vecteurs représentant les variables et des stations suivies (Figure 3 et 4) dans le plan factoriel (1x2) et le graphe de la Classification Hiérarchique Ascendante (Figure 5) ; montrent qu'il y a trois groupes :

- Le premier groupe est constitué par les variables : BC, E.coli, GT22, GT37, ET, SASR, NH₄⁺, Cl⁻, turbidité. Ces variables sont corrélées positivement avec l'axe 1. Ces variables ont toutes une qualité de représentation \cos^2 supérieur à 0,5, si le \cos^2 est proche de 1 ; cela signifie que la variable est bien projetée sur la dimension. En plus la contribution (égale à 11.97) de la variable SASR à la construction de cet axe ; montre qu'elle le caractérise. Pour cette dimension, les variables supplémentaires Latrine et fumier ont une qualité de représentation de 0.78 et 0.53. Donc la dimension 1 peut donc être considérée comme un axe de pollution, et caractérise la station 1 ; avec une contribution de 62.2 sur l'axe de la dimension 1.
- Le second groupe est corrélé négativement avec l'axe 1. Il n'est représenté que par la température de l'eau, sa qualité de représentation \cos^2 égale à 0.83, une contribution à la construction à cet axe est 10,1 et une coordonnée de -0.9 sur l'axe de la dimension 1. Les variables supplémentaires aménagement et protection ont une qualité de représentation de 0.78 et 0.53, avec les coordonnées -0.88 et -0.72. Les stations 2, 3 et 4 caractérisent la partie négative de cet axe ; avec les coordonnées de -2.54, -1.12 et -2.54.
- Le troisième groupe est corrélé positivement avec l'axe 2 qui correspond aux variables pH et NO₃⁻. Ces variables ont respectivement une qualité de représentation \cos^2 de 0.69 et 0.55. La station 5 caractérise cet axe ; avec une contribution de 73.35 et une coordonnée de -3.43.

La variable SO₄²⁻ ne peut pas être interprétée, vu qu'elle a une mauvaise qualité de représentation (\cos^2) : 0,42 sur l'axe 1 et 0,35 pour la dimension 2, de même pour CE ; qui a un \cos^2 0.44 sur l'axe 1 et 0,25 pour la dimension 2.

Par la suite, les stations S2, S3 et S4, se caractérisent par un bon aménagement, le respect des périmètres de protection proche (20-50m) (DELM, 2007). La station S5, est bien aménagée, mais elle ne respecte pas le périmètre de

protection proche (présence des dépôts du fumier et des latrines en amont de ce puits) ce qui contribue à la pollution des eaux par infiltration et aboutira à une mauvaise qualité bactériologique, présentant un sérieux risque sanitaire. La station S1, se caractérise par l'absence d'aménagement et ne respecte pas les périmètres de protection, avec la présence des facteurs du risque de la pollution fécale, fumier et latrines à fosses, qui contribue à une très mauvaise qualité d'eau de point de vue bactériologique, présentant ainsi un grand risque sanitaire pour la population utilisatrice de ces eaux.

CONCLUSION

Après le traitement statistique des données bactériologiques, physico-chimiques et les facteurs du risque de pollution des stations, il nous semble que l'absence de l'aménagement des points d'eau et le non-respect des périmètres de protection, ainsi que la présence des facteurs de risque de pollution (fumier et latrine à fosse), contribuent positivement à la contamination bactérienne fécale des eaux souterraines des stations étudiées.

PERSPECTIVE

Cette étude est préliminaire à celle de test d'efficacité des membranes élaborées, à partir de matériaux naturel et synthétique, qui seront appliquées dans le traitement antibactérien des eaux.

REMERCIEMENTS

Ce travail est soutenu par le MENFPESRS et le CNRST - Rabat Maroc, dans le cadre du projet PPR2.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DAT (2011). Rapport diagnostic, Direction de l'Aménagement du Territoire, Inspection Régionale de l'habitat, de l'urbanisme et de la politique de la ville Meknès- Tafilalt. Plan d'aménagement de la ville de Sebaa Ayoune.
- DELM. (2007). Direction de l'épidémiologie et de la lutte contre les maladies. Service de l'assainissement de base. Guide d'inspection sanitaire des systèmes d'alimentation en eau potable, 141 p.

- Département de l'Environnement. (2010). Etat de l'Environnement du Maroc, Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie des Mines de l'Eau et de l'Environnement chargé de l'Eau et de l'Environnement, 52 p.
- EL HAISSOUFI H., BERRADA S., MERZOUKI M., AABOUCH M., BENNANI L., BENLEMLIH M., IDIR M., ZANIBOU A., BENNIS Y., EL OUALI LAMALI A. (2011). Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc, Rev. Microbiolol. Ind. san et Environn., Vol 5, n°1, pp. 37-68.
- ESSAHLAOUI A. (2000). Contribution à la reconnaissance des formations aquifères dans le Bassin de Meknès-Fès (Maroc). prospection géoélectrique, étude hydrogéologique et inventaire des ressources en eau, Thèse de Doctorat en sciences Appliquées, Université Mohammed V, Rabat, Maroc, 258p.
- HARMOUZI O. (2010). Reconnaissance détaillée de la partie nord-est du Bassin de Saïss (Maroc): interprétation de sondages électriques verticaux par combinaison des méthodes statistique. Géostatistique et d'inversion. Thèse de Doctorat en géosciences de l'environnement, Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc, 302p.
- LALAMI A.E.O., EL-AKHAL F., BERRADA S., BENNANI L., RAISS N., MANIAR S. (2014). Evaluation de la qualité hygiénique des eaux de puits et de sources par l'utilisation d'une analyse en composantes principales (ACP) : Une étude de cas de la région de Fès (Maroc), J. Mater. Environ. Sci. 5. (S1), pp. 2333-2344.
- OMS. (2007). Combattre les maladies véhiculées par l'eau a la maison, Réseau international pour le traitement et la bonne conservation de l'eau a domicile, Organisation mondiale de la Sante, 36 p.
- Rapport sur les sources de pollution de l'eau au Maroc. (2014), Ministère délégué auprès du Ministère de l'Energie des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Chargé de l'Eau, 25 p.
- RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., BRUNET R. (2009). L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer : Analyse de l'eau, 9ème édition, Dunod, Paris, France, 1600p.
- ZERHOUNI J., RHAZI FILALI F., ABOULKACEM A. (2015). Qualité et facteurs de risque de pollution des eaux souterraines périurbaines de la ville de Sebaa Ayoune (Meknes, Maroc), LARHYSS Journal, Vol.22, pp. 91–107.