



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) [Evaluation of hygienic quality of waters in wells and springs by using a Principal Component Analysis (PCA): A case study of the region of Fez (MOROCCO)]

A. El Ouali Lalami^{1*}, F. EL-Akhal^{1,2}, S. Berrada¹, L. Bennani^{1,3}, N. Raiss⁴, S. Maniar⁵

1- Laboratoire Régional de Diagnostic Epidémiologique et d'Hygiène du Milieu, Direction Régionale de la Santé, Hôpital El Ghassani, Fès, Maroc.

2- Laboratoire d'Analyse et de Modélisation des Ecosystèmes Continentaux, Fès, Maroc. Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc.

3- Institut Supérieure des Professions Infirmières et des Techniques de Santé, Fès, Maroc.

4- Laboratoire d'Informatique et modélisation, Université Sidi Mohamed ben Abdellah, Faculté des Sciences Dhar Mahraz., Fès, Maroc.

5- Observatoire Régional de la Santé, Direction Régionale de la Santé, Hôpital El Ghassani, Fès, Maroc.

* : Auteur correspondant, E-mail: eloualilalami@yahoo.fr

Résumé

Dans le cadre de la surveillance et du contrôle des maladies à transports hydriques réalisées par les services de la santé, une étude étalée sur une année, de janvier à décembre de l'année 2012 et ayant pour objectif l'évaluation de la qualité hygiénique (physico-chimiques et bactériologiques) des eaux de puits et de sources utilisées, comme eau de boisson et également pour les activités domestiques, par la population de certains quartiers de la ville de Fès, a été réalisée. Les principales composantes physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau ont donc été mesurées puis une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée à partir des valeurs moyennes de chaque paramètre. Au total, 180 prélèvements d'eau ont été effectués au niveau de 20 puits et 10 sources susceptibles d'engendrer un risque pour la santé de leurs utilisateurs. Ces puits et sources ont été identifiés par des fiches techniques indiquant leurs coordonnées et la nature de la pollution avoisinante. Les échantillons d'eaux étudiés ont été prélevés, analysés et interprétés selon les normes en vigueur. L'analyse en composantes principales (ACP) réalisée à partir des valeurs moyennes de chaque paramètre, a pu montrer des groupes de stations très disproportionnés et bien différenciés : certains groupes rassemblent des puits et des sources ayant une eau de moyenne qualité ou légèrement polluée et d'autres contiennent des puits et des sources dont l'eau est très polluée. Nous avons ainsi, mis en évidence la présence d'une pollution de deux types :

➤ Une pollution microbienne importante et presque permanente dans la plupart des points d'eaux étudiés, provenant des eaux de ruissellement et des eaux usées domestiques et industrielles.

➤ Une contamination chimique de faible à importante pour l'ensemble des puits et sources, ayant comme origine les rejets industriels, les activités agricoles et/ou domestiques.

Pour éviter des éventuels risques sanitaires, l'adoption des mesures d'hygiène pour le transport et le stockage de l'eau, notamment le traitement par la chloration périodique de l'eau de puits au niveau familial a été conseillée pour la population concernée ; et un aménagement et/ou du contrôle permanent des puits et des sources d'eau polluées à proximité des points potentiels de pollution ont été recommandés pour les autorités locales et les services d'hygiène.

Mots-clés : Eau de boisson, Puits, Source, Pollution, Risque sanitaire, ACP, Fès, Maroc.

Abstract

As a part of monitoring and control of diseases to hydric transport conducted by health services, a study spread out on one year from January to December 2012 and with the objective to assess the hygienic quality of well and springs water used for drinking water and also for domestic activities, the for population of some areas of the city of Fez, was performed.

The main physico-chemical and bacteriological quality of the water components have therefore been measured and a principal component analysis (PCA) was carried. Total of 180 water withdrawals were carried out at 20 wells and 10 springs could cause a health risk for their users. These wells and springs were identified by technical data sheets indicating their contact details and the nature of the nearby pollution. The principal component analysis (PCA) realized from the mean values of each parameter could show groups of stations very disproportionate and well differentiated: some groups combining wells and water sources with average quality or lightly polluted and others contain wells and springs whose water is very polluted. Thus we have demonstrated the presence of two types of pollution:

- An important and almost permanent microbial pollution in most waters points studied from runoff and domestic and industrial waste water.
- Chemical contamination from low to important for all wells and sources of agricultural origin and / or industrial and domestic waste.

To avoid possible health risks, the adoption of hygiene measures for the transport and storage of water, particularly the treatment with the periodic chlorination of wells at the family level has been advised for the population concerned; and permanent control of water points particularly those in proximity to potential sources of pollution was recommended for local authorities and health authorities responsible for monitoring and control of water wells.

Keywords: Water, Well, Spring, Pollution, Health, Sanitary risk, Fez, Morocco.

1. Introduction

L'eau est une substance vitale pour l'Homme et l'environnement. Sa contamination est la principale source de maladie comme les gastroentérites, l'hépatite virale, douleurs abdominales, typhoïdes, leptospirose... D'après la littérature, des millions de nourrissons et d'enfants meurent chaque année de maladies diarrhéiques dues à la contamination des aliments ou de l'eau de boisson [1-3].

Ainsi, la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de boisson desservie à la population a fait l'objet de nombreuses études qui ont montré les risques sanitaires et l'impact de la consommation d'une eau de qualité douteuse sur la santé humaine [4-8]. Dans certaines régions du Maroc, les eaux souterraines qui constituent la seule ressource en eau potable des populations humaines sont sous la dépendance d'un ensemble de facteurs naturels et anthropiques [9]. Ces ressources subissent des perturbations quotidiennes, qui entraînent une détérioration de leur qualité hygiénique [10, 11].

La présente étude a pour objectif l'évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits et de sources utilisées, comme eau de boisson et également pour les activités domestiques, par la population de certains quartiers urbains et pré urbains de la ville de Fès par l'utilisation d'une Analyse en Composantes Principales (ACP) afin de déceler la liaison entre les différentes variables et variables-individus.

En effet, l'ACP est une méthode non supervisée, où aucune hypothèse n'est faite concernant des relations éventuelles entre les individus et entre les variables. Elle fait simplement l'hypothèse optimiste, mais raisonnable, que les directions Composantes Principales) de plus grandes dispersions des échantillons sont les directions les plus intéressantes et que la variabilité associée avec ces directions correspond à de l'information [12, 13]. L'ACP permet ainsi à son utilisateur de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante en particulier lorsqu'il s'agit de déterminer une corrélation entre un nombre assez important de paramètres et de variables.

Les résultats de cette étude seront d'un grand intérêt pour les services d'hygiène de la santé dans les actions préventives et curatives menées contre les maladies à transports hydriques.

2. Matériel et méthodes

2.1 Milieu d'étude

La zone d'étude est localisée dans la région de Fès, située au pied de la chaîne montagneuse du Rif et au bas de la pleine de Saïss qui dispose d'une nappe phréatique profonde, et d'une autre superficielle, ayant donné lieu notamment, à l'émergence de sources naturelles abondantes.

Ainsi, la nappe phréatique sous la ville se compose de deux ensembles : une nappe superficielle de quelques mètres de profondeur alimentée par les eaux de pluie, et une nappe profonde de 1000 mètres alimentée par les eaux d'infiltration du Moyen Atlas. En effet, la richesse en eau de la région de Fès est liée aux ressources du Moyen Atlas; mais également à une pluviométrie locale relativement régulière s'élevant en moyenne à 500 mm par an, répartie sur 8 mois humides, d'octobre à mai inclus. Ce réseau hydraulique favorise une assez forte potentialité agricole.

Dans notre zone d'étude, 20 puits (tableau 1) et 10 sources (tableau 2) ont été choisis et identifiés par des fiches techniques indiquant leurs coordonnées dans l'espace et la nature de la pollution avoisinante (tableau 1 et 2). Ces points d'eau sont utilisés à des fins de boisson et à d'autres activités domestiques et sont susceptibles d'engendrer un risque pour la santé de leurs utilisateurs. Rappelant que, ces puits et sources sont en principe inspectés quotidiennement par des Techniciens d'Hygiène du Milieu relevant de la préfecture Médicale de Fès dans le cadre de la surveillance et du contrôle des maladies à transports hydriques réalisées par les services de la santé.

Tableau 1 : Caractéristiques des puits étudiés

Code des Puits	Dénomination de puits	Centre de Santé	Pollution avoisinante
1	Puits Narjiss	Narjiss	Agricole et industrielle
2	Puits Ouled Tayeb 1	Ouled Tayeb	Humaine et Agricole
3	Puits Ouled Tayeb 2	Ouled Tayeb	Humaine et Agricole
4	Puits Ouled Tayeb 3	Ouled Tayeb	Humaine et Agricole
5	Puits Garage Laghzaoui	Ville Nouvelle	Humaine et industrielle
6	Puits Ben Souda 1	Ben Souda	Agricole et industrielle
7	Puits Ben Souda 2	Ben Souda	Agricole et industrielle
8	Puits Ben Souda 3	Ben Souda	Agricole et industrielle
9	Puits Adwa	Adwa	Humaine et Agricole
10	Puits Oued Fes	Oued Fes	Humaine et Agricole
11	Puits Abattoir poisson	Ain Kadous	Humaine et Agricole
12	Puits 1 Bain Lalla Soukina	Lalla Soukina	Humaine et Agricole
13	Puits 2 Bain Lalla Soukina	Lalla Soukina	Humaine et Agricole
14	Puits Moulin Fejjalin	Ain Kadous	Humaine et Agricole
15	Puits Hôpital Enfant Tajmouâti	Ben Souda	Humaine et Agricole
16	Puits Hay Rajae 2	Dokkarate	Agricole et industrielle
17	Puits Châteaux garde Royale	Dokkarate	Agricole et industrielle
18	Puits Bain Ain Kadous	Ain Kadous	Humaine et Agricole
19	Puits Grouana	Sidi Boujida	Humaine et Agricole
20	Puits Douar Berkani	Sidi Brahim	Agricole et industrielle

Tableau 2 : Caractéristiques des sources étudiées

Code des Sources	Dénomination de la source	Centre de Santé	Pollution avoisinante
1	Source Makouar	Jnana El ward	Humaine et Agricole
2	Source Sahrij Gnoua	Sahrij Gnoua	Humaine et Agricole
3	Source Zalagh	Ville nouvelle	Humaine et Agricole
4	Source Ain Hout	Aouinat Hajjaj	Humaine et Agricole
5	Source Rahbat Zbib	Rcif	Humaine
6	Source Ain Azliten	Fès Médina	Humaine et industrielle
7	Source Skayt Demnati	Boutwil	Humaine
8	Source Karaouiyene	Blida	Humaine et industrielle
9	Source Bab Jdid	Bab Jdid	Humaine
10	Source Oued Zitoun	Andalouss	Humaine et industrielle

2.2. Méthodes de prélèvements et des analyses

Les échantillons d'eau ont été prélevés durant l'année 2012 du mois de janvier au mois de décembre et analysés selon les normes en vigueur (tableau 3 et 4). Après chaque prélèvement d'eau de puits ou de source dans des flacons appropriés de 500 ml, ces derniers ont été étiquetés et mis dans une glacière d'une température maintenues entre 0 °C et 4 °C. Ils ont été ensuite acheminés au laboratoire accompagnés d'une fiche de prélèvement portant tous les renseignements nécessaires notamment l'origine et la date du prélèvement ainsi que les conditions sanitaires du point de prélèvement.

Analyses physicochimiques

La mesure de la température a été effectuée par un thermomètre digital mené d'une sonde au moment du prélèvement alors que les autres analyses ont été réalisées au laboratoire selon les méthodes d'analyses préconisées par les normes marocaines et par Rodier et al., [14] (tableau 3).

Analyses bactériologiques

La qualité bactériologique des eaux a été déterminée par la recherche et le dénombrement de bactéries faisant l'objet des normes Marocaines: les germes aérobies mésophiles totales, les coliformes totaux et fécaux, les entérocoques fécaux et les bactéries anaérobies sulfite-réductrices (tableau 4).

Tableau 3 : Méthodes d'analyses physicochimiques des eaux de puits et de sources

Paramètres recherchés	Références de la méthode d'analyse	Valeurs Maximales Admissibles (NM 03.07.001, 2006)
pH	ISO 10523, NM 03.7.009, 2001	6,5<pH<8,5
Conductivité électrique à 20°C (µS/cm)	ISO 7888, NM 03.7.011, 2001	2700
Oxygène dissous (mg/l)	Rodier 2009	5<O ₂ <8
DCO	NF T90-101	-
Nitrates (NO ₃ ⁻) (mg/l)	Rodier 2009	50
Nitrites (mg/l)	NF T 90-040	0,5
Ammonium NH ₄ ⁺ (mg/l)	Rodier 2009	0,5
Chlorures (Cl) (mg/l)	Rodier 2009	750
Sulfates (SO ₄) (mg/l)	Rodier 2009	400
Orthophosphates (mg/l)	Rodier 2009	-

* Une gamme d'étalonnage de tous les paramètres analysés au laboratoire, ainsi qu'un contrôle de tous les facteurs (5M) affectant la qualité des analyses, ont été réalisées selon les exigences et les procédures décrites par la NM ISO 17025 et adoptées par le LRDEHM depuis l'année 2008.

Tableau 4 : Méthodes d'analyses bactériologiques dans les eaux de puits et de sources.

Germes dénombrés ou recherchés (NM 03.07.001, 2006) [15]	Références de la méthode d'analyse*	Valeurs Maximales Admissibles (NM 03.07.001, 2006)
Flore mésophile aérobie totale (FMAT) 22°C et 37°C	ISO 6222, NM 03.7.005, 2007	20/1 ml à 37°C 100/1 ml à 22°C
Coliformes totaux et fécaux	ISO 9308-1, NM 03.7.003, 2007	0/100 ml
Entérocoques fécaux	ISO 7899-2, NM 03.7.006, 2007	0/100 ml
Bactéries anaérobies sulfite réductrices	ISO 6461-2, NM 03.7.004, 2007	0/100 ml

* Un contrôle qualité régulier, des milieux de culture, des réactifs, de l'eau distillée, des témoins, du matériels et des équipements, de l'opération de stérilisation à l'autoclavage ainsi que des conditions ambiantes de l'environnement des analyses au laboratoire (prise de la température et de l'humidité), a été réalisé selon les exigences de la NM ISO 17025 adoptée par le LRDEHM.

2.3. Outil statistique

Les paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont été traités par une Analyse en Composantes Principales (ACP) moyennant le logiciel R-STUDIO version 2.13.0. En effet, cette technique consiste à transformer des variables liées entre elles (dites "corrélées" en statistique) en nouvelles variables décorrélées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées "composantes principales", ou axes principaux.

3. Résultats et discussions

Nous avons réalisé des analyses physico-chimiques et bactériologiques pour 20 puits et 10 sources et nous avons choisis la moyenne des résultats trouvés pour exprimer chaque paramètre.

3.1. Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de puits et l'Analyse en Composantes Principales (ACP)

Le pH, l'oxygène dissous, la conductivité électrique, la DCO, les nitrates, les nitrites, l'ortho phosphate, les chlorures, les sulfates et l'ammonium ont été les paramètres déterminés.

L'analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée sur une matrice de données composée de 20 lignes représentant les puits prospectées et 10 colonnes représentant les variables physico-chimiques mesurées ou analysées (tableau 1).

Le but de l'analyse est d'obtenir un petit nombre de combinaisons linéaires des 10 variables qui représentent la majeure partie de la variabilité des données. Les résultats numériques de cette ACP montre que la première composante, qui cumule 32,07% de la variabilité capturée, oppose (NH₄⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, DCO, PO₄³⁻) à coordonnées positives, à la CE et NO₂⁻ ayant une forte contribution du côté négatif. La deuxième composante avec 16,66% de la variabilité capturée oppose surtout DCO et O₂ qui contribuent positivement à l'expression de cet axe. Contrairement au pH qui corrèle négativement avec cet axe (Figures 1 et 2). La troisième composante

qui cumule 13,53% de la variabilité capturée oppose O_2 et NO_2^- qui contribuent positivement à cet axe et CE qui corrèle négativement (Figure 3). La classification hiérarchique des puits sur la base de la qualité physico-chimique de l'eau des puits nous a permis de distinguer six groupe de stations (figures 2, 4 et 5).

Tableau 1: Résultats des analyses physicochimiques de l'eau des puits étudiés (valeurs moyennes)

Puits	pH	CE ($\mu\text{s/cm}$)	O_2 (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	NO_2^- (mg/l)	PO_4^{3-} (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	DCO (mg/l)	Cl^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)
P1	7,11	1172,5	6,4	14,2	0,01	0,05	0,43	93,05	272	202
P2	7,52	1189	5,96	9,72	0	0,01	0,23	77,83	589	528
P3	7,18	857	6,1	33,1	0,03	0,06	0,19	106,2	457	357
P4	6,62	988	7,2	22,03	0,02	0,03	0,53	67,97	388	368
P5	6,66	1012	6,5	6,43	0,01	0,07	0,25	78,74	212	252
P6	7,44	871	7,4	0,08	0	0,07	0,85	97,71	671	371
P7	6,87	1037	5,92	15,08	0	0,04	0,28	82,93	737	537
P8	6,43	1122	6,32	37,93	0,01	0,02	0,74	112,61	322	332
P9	7,25	982	6,1	28,64	0,01	0	0,71	82,21	482	382
P10	7,04	913	5,76	18,75	0,01	0,02	0,64	101,33	933	533
P11	7,37	847	6	0,02	0	0,14	0,85	96	857	557
P12	7,03	1016	6,3	25,02	0,11	0	0,17	24,53	316	316
P13	6,67	824	6,1	4,47	0	0,06	0,2	110	824	424
P14	6,82	1123	6,1	9,63	0	0,03	0,52	53,33	323	223
P15	6,5	900	6,2	0,14	0,01	0,04	0,2	83,33	300	350
P16	6,41	1021	7,2	46,37	0	0,06	0,01	116,67	321	326
P17	6,67	1114	7	9,16	0,05	0,04	0,03	73,33	414	314
P18	7,31	973	6,9	32,79	0,02	0,04	0,11	80	473	273
P19	6,71	1359	5,2	14,65	0	0,05	0,01	50	359	259
P20	7,5	949	6	32,37	0,01	0,01	0,49	30	449	249

CE = Conductivité Électrique; O_2 = Oxygène dissous; DCO = Demande Chimique en Oxygène; NO_3^- = Nitrates; NO_2^- = Nitrites; NH_4^+ = Ammonium; PO_4^{3-} ; Orthophosphates ; Cl^- = Chlorure ; SO_4^{2-} = Sulfates

Groupe 1: composé de 2 puits, il s'agit de P11 et P6, dont les eaux sont de moyenne qualité. Ce groupe représente les eaux plus riches en Cl^- et SO_4^{2-} . Ces ions proviennent généralement des roches calcaires ou salines traversées par les eaux souterraines.

Groupe 2: ce groupe réunit quatre puits P13, P10, P7 et P2. L'eau de ces puits est de bonne qualité. Ces puits sont caractérisés par des teneurs faibles ou absents de NO_2^- et des teneurs faibles en PO_4^{3-} .

Groupe 3: composé de six puits, il s'agit de P1, P14, P15, P5, P17 et P19. L'eau de ces puits est caractérisée par des teneurs relativement marquées en CE élevée et faible en SO_4^{2-} , ces eaux sont de moyenne qualité.

Groupe 4: ce groupe composé des puits: P3, P4, P18, P8 et P16, qui présentent également une eau de moyenne qualité physico-chimique. L'eau de ces puits est caractérisée par des ions en NO_3^- élevée. La cause principale de pollution de l'eau de ces puits est sans doute en rapport avec la présence d'activités humaines et agricoles (déchets de toutes natures, élevage et fumier...).

Groupe 5 : ce groupe réunit les deux puits P9 et P20, dont les eaux sont de qualité assez bonne avec une pollution physico-chimique qui ne dépasse pas les normes marocaines.

Groupe 6: il ne contient que le puits P12, qui présente une eau de mauvaise qualité physico-chimique, mais relativement riche en ions NO_2^- .

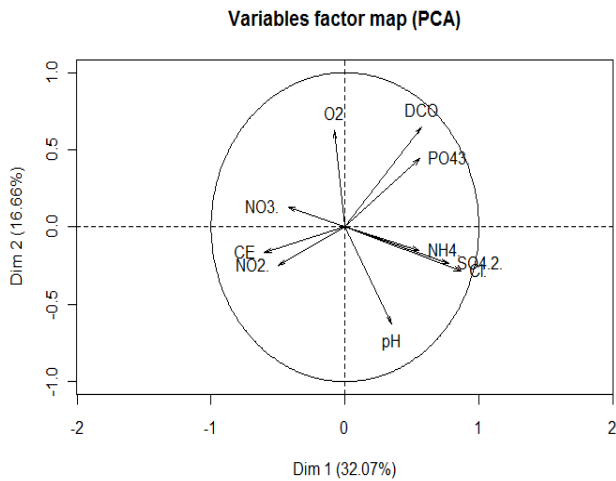


Figure 1: Projection des facteurs physico-chimiques de l'eau des puits sur le plan factoriel axe1-axe2 de l'ACP

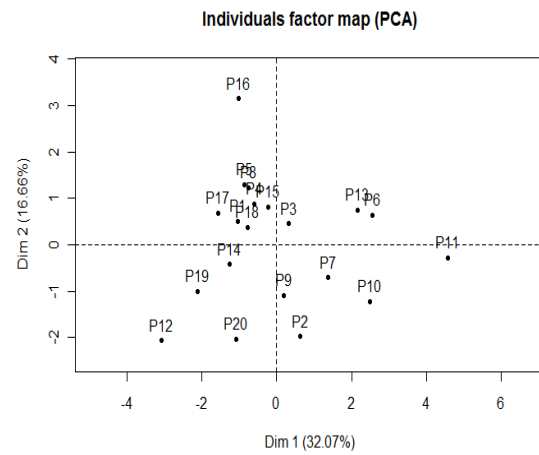


Figure 2: Projection des puits prospectés sur le plan factoriel axe1-axe2 de l'ACP

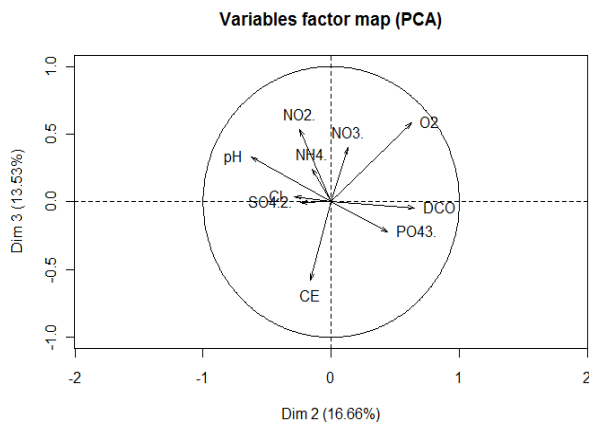


Figure 3 : Projection des facteurs physico-chimiques de l'eau sur le plan factoriel axe2-axe3 de l'ACP

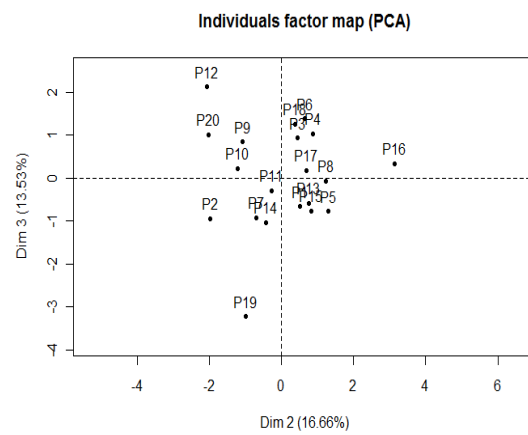


Figure 4 : Projection des puits prospectés sur le plan factoriel axe2-axe3 de l'ACP

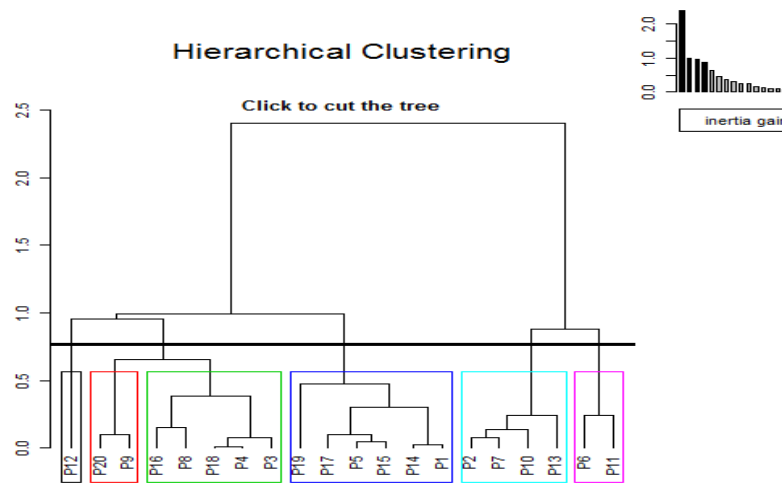


Figure 5: Projection des groupes des puits

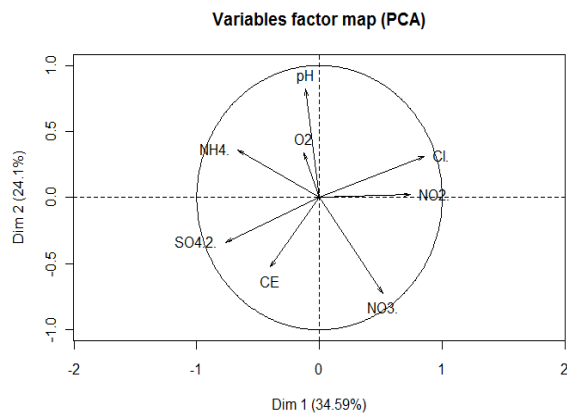


Figure 6: Projection des facteurs physico-chimiques de l'eau des sources sur le plan factoriel axe1-axe2 de l'ACP

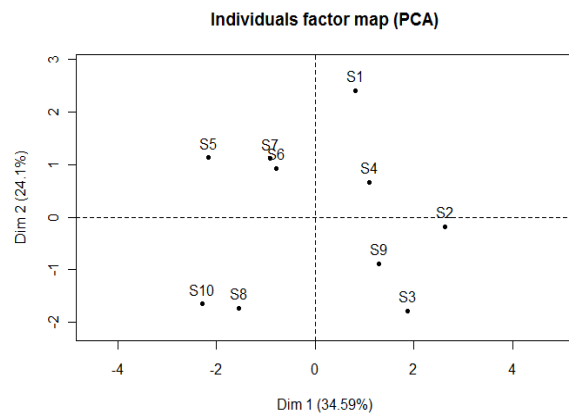


Figure 7: Projection des sources prospectées sur le plan factoriel axe1-axe2 de l'ACP

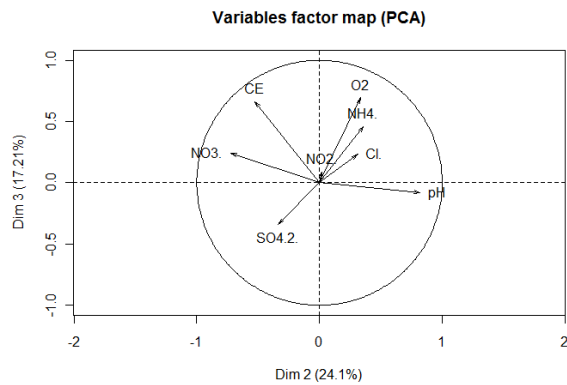


Figure 8: Projection des facteurs physico-chimiques de l'eau des sources sur le plan factoriel axe2-axe3 de l'ACP

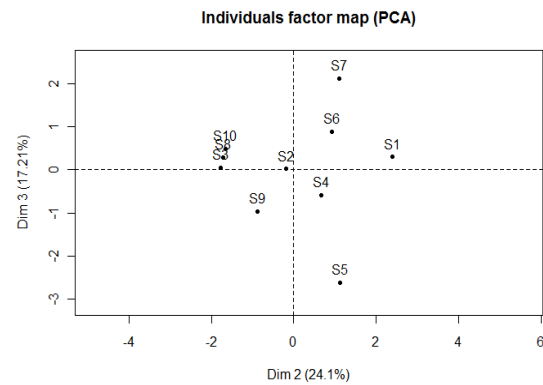


Figure 9: Projection des sources prospectées sur le plan factoriel axe2-axe3 de l'ACP

3.2. Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de sources et l'Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée sur une matrice de données composée de 10 lignes représentant les sources et 8 colonnes représentant les variables physico-chimiques mesurées ou analysées (Tableau 2).

Tableau 2: Résultats des analyses physicochimiques de l'eau des sources prospectées (valeurs moyennes)

Sources	pH	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	NO_3^- (mg/l)	NO_2^- (mg/l)	O_2 (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	Cl^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)
S1	7,86	1355	27,19	0,018	7,49	0,34	205	20,5
S2	7,67	1567	45,57	0,086	5,96	0,32	189	18,9
S3	7,24	1556	46,63	0,03	6,32	0,21	177	17,5
S4	7,42	1394	22,03	0,026	6,29	0,35	206	20,3
S5	7,74	1312	14,56	0,006	5,5	0,52	71	73,5
S6	7,63	1809	20,15	0,013	6,42	0,58	155	15,5
S7	7,62	1804	28,01	0,02	6,92	0,82	168	16,8
S8	7,39	1845	36,93	0,007	6,32	0,47	85	58,9
S9	7,51	1626	38,67	0,012	5,18	0,26	200	20,1
S10	7,48	1913	36,75	0,0018	6,76	0,46	89	89,7

CE= Conductivité Électrique; O_2 = Oxygène dissous; NO_3^- = Nitrates;
 NO_2^- = Nitrites; NH_4^+ = Ammonium; Cl^- = Chlorure ; SO_4^{2-} = Sulfates

L'examen des résultats numériques de cette ACP montre que la première composante, qui cumule 34,59% de la variabilité capturée, oppose les ions Cl^- , NO_2^- , qui contribuent positivement à l'expression de cet axe. Contrairement aux ions NH_4^+ et SO_4^{2-} qui corrént négativement à cet axe. La deuxième composante, avec 24,1% de la variabilité capturée oppose surtout pH, qui contribue positivement à l'expression de cet axe et les ions NO_3^- qui sont corrélés négativement à cet axe (Figure 6). La troisième composante cumule un taux de variabilité capturée de 17,21%, avec O_2 et CE qui contribuent positivement à cet axe (Figure 8).

La classification hiérarchique des puits sur la base de la qualité physico-chimique de l'eau des sources nous a permis de distinguer six groupes de stations (figures 7, 9 et 10) :

Groupe 1: il isole la station S2, qui présente des eaux de très mauvaise qualité physico-chimique, caractérisées par un taux très élevée en NO_2^- , chlorures et également en NO_3^- . Ceci pourraient être explique par les activités humaines et d'agriculture avoisinantes ce point d'eaux.

Groupe 2: ce groupe composé de trois sources, il s'agit de S3, S9 et S4, dont les eaux sont de moyenne qualité physico-chimique. Il représente les eaux très riches en ions NO_3^- .

Groupe 3: il isole la source S1, qui présente une eau de mauvaise qualité physico-chimique, caractérisé par un taux élevée en pH, Chlorures et O_2 .

Groupe 4 : ce groupe réunit deux sources S6 et S7, dont les eaux sont de bonne qualité physico-chimique mais caractérisées en ions Ammonium très élevés.

Groupe 5 : il contient que la source S5, qui présente une eau de mauvaise qualité physico-chimique, caractérisée par des ions de Sulfates élevés.

Groupe 6 : il réunit les 2 sources S8 et S10, dont les eaux sont de bonne qualité, avec une faible teneur de Cl^- .

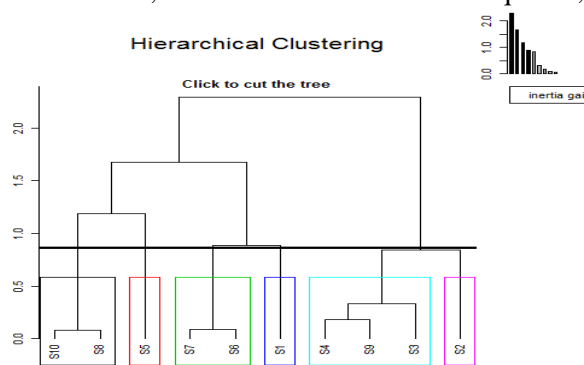


Figure 10: Projection des groupes des sources

3.3. Résultats des analyses bactériologiques dans l'eau de puits et des sources et l'Analyse en Composante Principale (ACP)

Les Germes Totaux (GT) à 22°C, les Germes Totaux (GT) à 37°C, les Coliformes Totaux (CT), les Coliformes fécaux (E. Coli), et les Streptocoques Fécaux (SF) ont été déterminés selon la norme marocaine NM 03.7.001 de l'année 2006 [13].

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée sur une matrice de données composée de 30 lignes représentant les puits et les sources et 5 colonnes représentant les variables bactériologiques mesurées ou analysées (Tableau 3).

Tableau 3: Résultats des analyses bactériologiques de l'eau des puits et des sources étudiées (valeurs moyennes)

Stations étudiées	GT à 22°C (UFC/1ml)	GT à 37°C (UFC/1ml)	CT (UFC/100ml)	CF (<i>E. Coli</i>) (UFC/100ml)	SF (UFC/100ml)
P1	33650	2459	450	168	0
P2	25620	39000	1200	4,5	100
P3	40950	39262,5	6907	9	260,5
P4	36470	36300	2600	101,5	825
P5	30050	31316	3880	101	260
P6	19804	23905	2103,5	768	51,5
P7	26812	2850	3808,5	115,5	558
P8	25205	27400,5	12500,5	2500,5	2530

P9	5101,5	9845,5	4669	16	9,5
P10	2744	5600,5	557	30	0
P11	0	0	0	0	0
P12	15154	4305	20,5	9	8,5
P13	73260,5	36905,5	4,5	0	4,5
P14	1105	28650,5	27,5	17	6,5
P15	425	1182	50,5	0	2,5
P16	52017	20040	52	0	53,5
P17	790	6548,5	0	0	0
P18	1525,5	3093,5	0	0	0
P19	36521	20039	280	38	0
P20	15616	3771	408,5	140,5	0
S1	20400	24832	3300	275	800
S2	28605,5	31200,5	705	8	0
S3	4479,5	20050,5	400	330	35
S4	10054	1127	496	2282	179
S5	220	85	530	180	150
S6	230	550	420	130	17
S7	500	600	0	0	60
S8	80	74	4	0	0
S9	480	33	340	68	5
S10	127	3400	25	0	0

GT= Germes Totaux ; CT= Coliformes Totaux ; CF=Coliformes Fécaux et SF=Streptocoques Fécaux.

L'ACP a montré que les germes totaux (GT) à 22°C et à 37°C ; Coliformes Totaux (CT); Coliformes Fécaux (CF); Streptocoques Fécaux (SF) contribuent positivement à l'expression de l'axe 1, qui cumule 53,28% de la variabilité capturée. La deuxième composante, avec la variabilité capturée de 29,4%, montre les germes totaux (GT) à 22°C et à 37°C qui contribuent positivement à l'expression de cet axe. Contrairement aux Coliformes Fécaux (CF) qui contribuent négativement à l'expression de l'axe 2 (Figure 11).

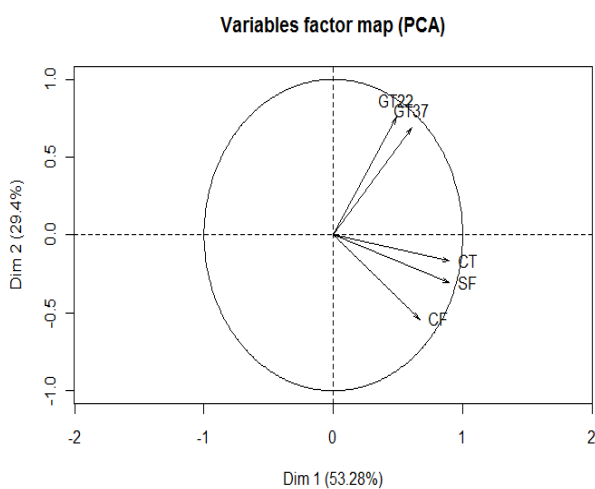


Figure 11: Projection des 5 germes recherchés dans l'eau des puits et des sources étudiées, sur le plan factoriel axe1-axe 2 de l'ACP d'une matrice stations/germes.

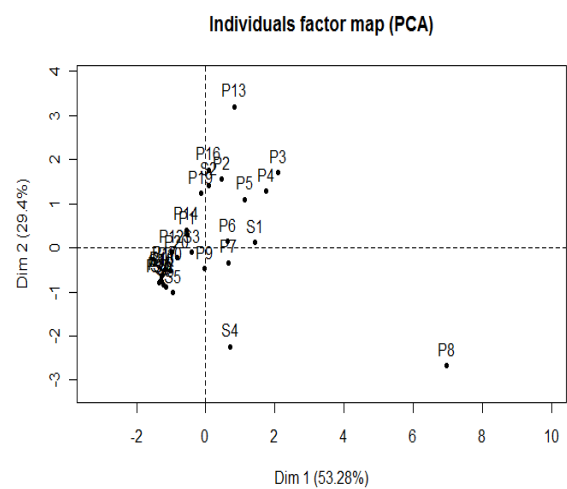


Figure 12: Projection des puits et des sources étudiées sur le plan factoriel axe1-axe2 de l'ACP d'une matrice Puits, sources/germes.

La troisième composante, qui cumule 9,02% de la variabilité capturée, Coliformes Fécaux (CF), qui contribue positivement à cet axe (Figure 13). La classification hiérarchique des puits et des sources, sur la base de leurs contaminations par des germes, a permis de distinguer 4 groupes différents (figures 12, 14 et 15).

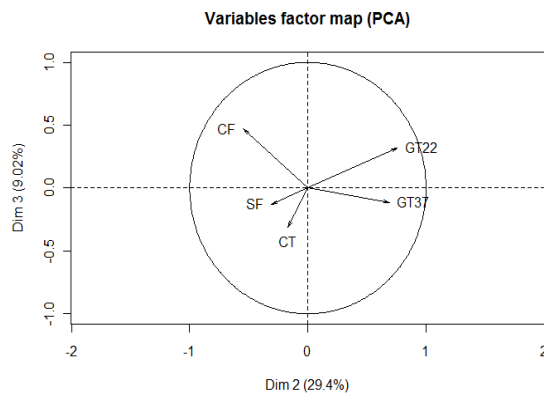


Figure 13 : Projection des 5 germes recherchés dans l'eau des puits et des sources étudiées, sur le plan factoriel axe2-axe 3 de l'ACP d'une matrice stations/germes.

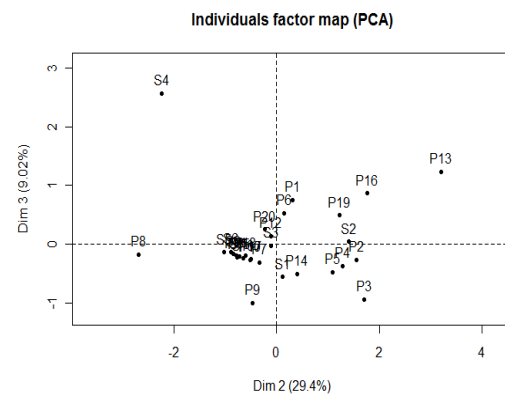


Figure 14 : Projection des puits et des sources étudiées sur le plan factoriel axe2-axe3 de l'ACP d'une matrice Puits, sources/germes.

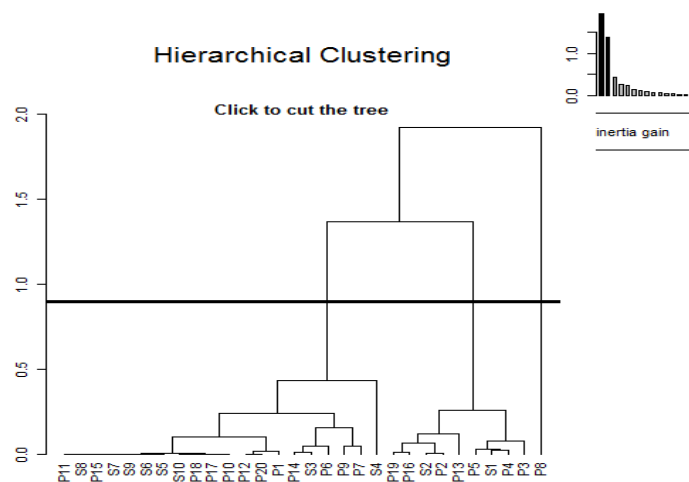


Figure 15: Projection des groupes des puits et des sources

Groupe 1: il contient le puits P8, qui présente une eau de mauvaise qualité bactériologique, ce groupe caractérisé par des teneurs en Coliformes Totaux(CT), les Coliformes fécaux (E. Coli), et les Streptocoques Fécaux très élevée.

Groupe 2: ce groupe composé des puits P3, P4, P5, P13, P2, P16 P19 et des sources S1, S2 , dont les eaux sont de moyenne qualité bactériologique,

Groupe 3: il contient la source S4, qui présente des eaux de très mauvaise qualité bactériologique. Cette source est caractérisée par un taux très élevée en contamination des germes indicateurs de la pollution fécale notamment les Coliformes fécaux.

Groupe 4: ce groupe réunit l'ensemble des puits et des sources suivant P7, P9, P6, S3, P14, P1, P20, P12, P10, P17, P18, S10, S5, S6, S9, S7, P15, S8 et P11, dont les eaux sont de moyenne qualité.

Ainsi, l'étude de la qualité bactériologique des eaux des points d'eaux étudiés a mis en évidence la contamination de la nappe phréatique dans certains points par de la pollution. Cette dernière pourrait être due aux activités humaines domestiques et d'agriculture, à la présence de déchets de toute nature et de décharges publique non contrôlées, à l'existence des fausses septiques, à l'épandage des eaux usées et à l'élevage des bétails, ...).

Nous avons constaté également à travers cette analyse que, certains puits et sources étudiées ont enregistré d'importantes pollutions en indicateurs de contamination fécale (Coliformes Totaux et Coliformes fécaux). Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par El Haissoufi et al.,[8] pour les puits prospectés dans la ville de

Fès, aussi avec ceux obtenus pour la nappe de Meknès [9] et ceux enregistrés pour la nappe phréatique superficielle de Marrakech [16]. Les travaux de Boutin [17] ont rapporté également que l'eau d'une nappe phréatique est d'autant plus vulnérable et prédisposée à la contamination que le sommet de la nappe est proche de la surface du sol, que les terrains qui surmontent l'aquifère sont perméables et que les sources superficielles de pollution sont importantes.

Ainsi, pour éviter des éventuels risques sanitaires, l'adoption des mesures d'hygiène pour le transports et le stockage de l'eau, notamment le traitement par la chloration périodique de l'eau de puits au niveau familial a été conseillée pour la population concernée ; et un aménagement et/ou du contrôle périodique et systématique des puits et des sources d'eau notamment ceux pollués et/ou a proximité des points potentielles de pollution a été recommandé pour les autorités locales et les services d'hygiène responsables de la surveillance et du contrôle des eaux de puits.

Conclusion

Cette étude nous a permis de conclure que la contamination (bactériologique et chimique) des eaux de puits et de sources de certains quartiers de la ville de Fès est presque générale et varie d'un groupe à l'autre. La principale cause de cette pollution est les activités anthropiques qui continuent à présenter un risque majeur pour l'Homme et son environnement, notamment pour les ressources en eaux. Cette étude a montré également l'importance et l'utilité des techniques d'analyses multi variées pour obtenir des informations sur la qualité hygiénique de l'eau et de prévenir ainsi toutes sortes de pollutions originaires des activités humaines domestiques, agricoles et/ou industrielles.

Les résultats de cette étude seront d'un grand intérêt pour les services d'hygiène de la santé qui seront mener à mettre en place des actions préventives et curatives afin d'éviter des éventuels risques sanitaires graves. Aussi, ils vont permettre aux décideurs d'établir des politiques et des programmes d'Information, d'Éducation, de Communication et de Sensibilisation (IECS) destinés à la rationalisation, la préservation et la valorisation de nos ressources en eaux toute en s'alignant aux recommandations du développement durable.

Conflit d'intérêt : Aucun

Remerciements : Nous tenons à remercier en particulier les Techniciens d'Hygiène du Milieu de la Délégation Médicale de Fès, tous les cadres des Bureaux Communaux d'Hygiène ainsi que toutes personnes ayant donné un soutien de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Référence

1. Louis, J.P., Trebucq, A., Gbadjaamo, M., Arrive, P., Foumane, V., Kalite, J., Rounegou, J.B. Les maladies diarrhéiques infantiles en république centre africaine, *Médecine d'Afrique Noire*, 38 (4) (1991).
2. OMS: Directives de qualité pour les eaux de boisson; Volume 1- Recommandation. Organisation mondiale de la santé 2e édition (1994).
3. Nimri, L.F., El Nasser, Z. et Batchoun, R. Polymicrobial infections in children with diarrhoea in a rural area of Jordan. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*. 42 (2004) 255–259.
4. Bennasser, L., Fekhaouf, M., Benoit-Guyod, J-L., et Merlin G. Influence de la marine sur la qualité des eaux du bas Sebou soumis aux rejets de la plaine du gharb (Maroc). *War. Res.* 31(4) (1997) 859-867.
5. Gourari, L., Alaoui-mhamdi, M., Boushaba, A. et Bouazza F. Variations des paramètres physico-chimiques des eaux de l'Oued Aggai: significations géo-environnementales et conséquences sur la précipitation des travertins actuels (Causse de Sefrou, Moyen-Atlas – Maroc). *Journal of African Earth Sciences*, 30(2) (2000) 283-293.
6. Pritchard, M., Mkandawire, T., O'Neill, J.G. Biological, chemical and physical drinking water quality from shallow wells in Malawi: Case study of Blantyre, Chiradzulu and Mulanje. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32 (2007) 1167–1177.
7. Rossiter, H. M.A., Owusu , P. A., Awuah , E., MacDonald , A. M., Schäfer, A. I. Chemical drinking water (2010).
8. El Haissoufi, H., Berrada, S., Merzouki, M., Aabouch, M., Bennani, L., Benlemlih, M., Idir, M., Zanibou, A., Bennis, Y., El Ouali lalami, A. Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc, *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* 5 (1) (2011) 37-68.
9. El Moustaine, R., Chahlaoui, A., Rour, E., Bengoumi, D., Belghiti M L. Étude de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux de certains puits et sources par l'utilisation d'une analyse en composantes principales (ACP): Une étude de cas de la région de Meknès (MAROC), *Les Technologies de Laboratoire*, 8 (33) (2013).
10. Boulal, M. Recherches phréatobiologiques dans le Souss et les régions voisines du Maroc occidental: Qualité de l'eau, Biodiversité, Écologie et Biogéographie historique des espèces stygobies, thèse de doctorat d'État, Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech (2002).
11. Boubekraoui, M.H. Environnement et société des espaces oasiens marocains: cas du Tafilalet et de Marrakech, Mém. d'habilitation, Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech (2006).
12. Eriksson, L., Johansson, E., Kettaneh-Wold, N.; Wold, S. Multi- and Megavariate Data Analysis. Part I – basic principles and applications». *Umetrics AB, Umea, Sweden.* (2001) 1-527.

13. Lebart, L. Morineau, A. et Pirlo, M. L'Analyse en Composantes Principales : Statistiques exploratoires multidimensionnelles, Dunod, Bordas, Paris, (1995) 32-33.
14. Rodier, J., Legube, B. Merlet, N. et coll. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer. 9^{ème} édition, Dunod, Paris, France (2009).
15. NM 03.7.001. Norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine. Bulletin Officiel N° 5404 (2006).
16. Boutin, C. et Dias, N., Impact de l'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech sur la nappe phréatique. *Bull. Fac. Sc. Marrakech, Sér. Biol.* 2 (1987) 5-27.
17. Boutin, C., 1988. L'eau des nappes phréatiques superficielles, une richesse naturelle vitale mais vulnérable. L'exemple des zones rurales du Maroc. *Bull. Cons. Régional Tensift de l'Ordre Nat. des Médecins, Rabat*, 2 : pp 15-23, and *Environmental Safety* 72 (1988) 301-309.

(2014) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>