

# Evaluation de la qualité de l'eau souterraine, Gressier, Haïti

A. Augustin<sup>1</sup>, Y. Chérémont<sup>1</sup> et G. Morency<sup>2</sup>, <sup>1</sup> Département de chimie, Faculté des Sciences (FDS), Université d'Etat d'Haïti (UEH), <sup>2</sup> Direction Nationale de l'Eau Potable et Assainissement (DINEPA), Haïti

## RESUME

Augustin A., Chérémont Y. et G. Morency G. 2017. Evaluation de la qualité de l'eau souterraine, Gressier, Haïti. RED 8 (1) : 24 - 28

La Région de Gressier (Ouest d'Haïti) a connu un développement urbain important au cours des 10 dernières années. L'approvisionnement en eau de consommation se fait à partir de puits traditionnels privés, de forages publics et de kiosques d'eau traitée. De plus, la population ne dispose pas d'un système de traitement des ordures ménagères, encore moins d'un système de collecte, de traitement et d'évacuation des eaux usées. Les activités anthropiques et domestiques liées aux habitations font que les eaux souterraines sont exposées à différentes sources de pollution. La qualité des eaux souterraines est très sensible aux polluants liquides et / ou solides. Afin d'évaluer la qualité hygiénique de ces eaux et l'impact anthropique, une étude a été réalisée en 2014 dans une localité de Gressier. Des points d'eau au nombre de 7 ont été sélectionnés pour les recherches sur les paramètres chimiques et bactériologiques. Les analyses chimiques des eaux de puits testées ont montré que ces eaux ont toutes une dureté totale dépassant les normes de consommation ainsi que des taux de Mn très élevés. Certains points d'eau ont des concentrations d'arsenic, de chlorures bien au-dessus des normes de l'OMS. Les analyses bactériologiques montrent que la grande majorité des puits étudiés dans la zone de Lambi hébergent de fortes densités de *Escherichia Coli* (4 à plus de 816 CFU/100ml) et de *Streptococcus Fecaux* (7 à plus de 727 CFU/100ml). La présence de ces fortes quantités de germes pathogènes, qui sont des indicateurs de pollution et de contamination bactériologiques par les eaux usées, pourrait être due aux activités anthropiques et à la mauvaise gestion sur la qualité des eaux de la nappe exploitée dans la zone.

**Mots clés :** Menace anthropique, arsenic, pollution bactériologique, eau souterraine.

## ABSTRACT

Augustin A., Chérémont Y. et G. Morency G. 2017. Groundwater quality assessment, Gressier, Haiti. RED 8 (1): 24 - 28

The Region of Gressier (West of Haiti) has experienced significant urban development over the last 10 years. The supply of drinking water is made from traditional private wells, public drilling and treated water stalls. The population does not have a system for the treatment of household waste, let alone a system for collection, treatment and disposal of waste water. The anthropogenic and domestic activities associated with dwellings mean that groundwater is exposed to various sources of pollution. The quality of groundwater is very sensitive to deterioration by liquid and / or solid pollutants. In order to assess the hygienic quality of these waters and the anthropogenic impact, a study was carried out in 2014 in a locality in Gressier. 7 water points were selected for research on chemical and bacteriological parameters. Chemical analysis of the well water tested showed that these waters all had a total hardness exceeding the norm as well as very high levels of manganese. Some water points have concentrations of arsenic, chlorides that are above the norm. Bacteriological analyzes show that the vast majority of the wells studied in the Lambi area contain high densities of *Escherichia Coli* (4 to more than 816 bacteria / 100ml) and *Fecal Streptococci* (7 to more than 727 bacteria / 100ml). The presence of these large quantities of pathogenic germs, which are indicators of pollution and bacteriological contamination by wastewater, clearly shows the negative impact of anthropogenic activities and poor management on the water quality of the aquifer in the zoned.

**Keywords:** Anthropogenic threat, arsenic, bacteriological pollution, groundwater.

## Introduction

Depuis la catastrophe du 12 janvier 2010 en Haïti, une migration importante est observée depuis le centre-ville pour s'établir dans les villes et communes périphériques, dont Gressier, ville côtière en direction du Sud d'Haïti, aussi y assiste-t-on à une importante augmentation de la population (15). La très faible présence de kiosques publics d'eau dans la zone oblige la grande majorité de la population à forer des puits. D'autres décident de s'accommoder aux ressources disponibles.

Selon Duhri *et al*, Asonye *et al* ainsi que Carmon *et al*, le développement urbain a un impact négatif sur la qualité des eaux souterraines (14,3,6). De plus l'urbanisation croissante du littoral fait peser une menace sur les aquifères côtiers constituant des ressources en eau stratégiques suivant Dörfli (17). Dans une étude sur l'île de la Dominique, la contamination venait principalement d'une surcharge des habitants, causée par une subdivision incontrôlée des lots de terre et l'occupation inadéquate d'un environ-

nement fragile (8). De plus dans cette commune, la population ne dispose pas d'un système de traitement des ordures ménagères, encore moins d'un système de collecte, de traitement et d'évacuation des eaux usées. Or la pression démographique, l'urbanisation imprévue, les politiques d'exploration sans restriction et le déversement de l'eau polluée à des endroits inappropriés augmentent l'infiltration de composés nocifs dans les eaux souterraines (22). Sans ignorer le lessivage des terres en amonts, pour les îles d'Antigua et Barbuda, on a assisté à une pollution des écosystèmes aquatiques par la sédimentation, à la suite l'érosion du sol, qui envase les eaux de surface (7). Des liens existent forcément entre les phénomènes précités et la détérioration de la qualité de l'eau s'était accentuée considérablement en Haïti depuis la fin des décennies 2000-2010 (12).

Face à ces considérations, il y a lieu de s'interroger sur la qualité de l'eau souterraine de chaque zone habitable d'Haïti. La présente étude s'est donnée pour but d'évaluer la qualité de l'eau à Lambi et Macome ; deux localités de la commune de Gressier afin de dégager l'impact des activités anthropiques.

## Matériels et méthodes

### Sites de prélèvements

Les localités de Macome et de Lambi sont situées dans la section communale de Morne à Bateau, l'une des 3 communes de Gressier. Cette commune est située dans la partie orientale de la presqu'île du sud sur le versant nord du massif de la Selle. Ses coordonnées géographiques sont localisées entre les méridiens 72°33' à 72°44' Ouest et les parallèles 18°26' et 18°34° nord. Gressier jouit d'un climat tropical influencé fortement par la proximité de la mer. Il existe deux périodes pluvieuses : l'une qui s'étend d'avril

à juin et l'autre d'octobre à novembre.

Les marnes et les sables, datant du miocène supérieur et du pliocène dans le cas de Gressier, sont généralement des matériaux meubles en surface et particulièrement sensibles à l'érosion superficielle et aux mouvements de masse. La nature et les caractéristiques des sols de Gressier varient suivant que l'on se trouve en montagnes ou en plaines. Dans les montagnes et sur les plateaux, les calcaires massifs donnent par altération une argile latéritique rouge à la fois très poreuse et très perméable (5). Beaucoup de ces sols rouges se développant sur du calcaire sont des sols à sesquioxydes d'alumines et renferment souvent des matières tuffacées non altérées et sont donc impurs.

Les sols de plaines de Gressier appartiennent dans leur totalité à la catégorie des sols alluviaux. Ils sont formés de dépôts fluviatiles de composition hétérogène allant des matériaux fins aux cailloux calcaires arrondis. Ce sont en général des sols de couleur brun-foncé. Leur texture va de limono-sableuse à argilo-limoneuse. Leur pH légèrement alcalin oscille entre 7,0 et 8,0. Ils bénéficient dans leur majorité d'un excellent drainage vertical sauf dans la partie basse à cause du haut niveau de la nappe (9).

#### Prélèvements et analyses des échantillons

Les enquêtes de terrain ont permis de faire le relevé de tous les points d'eau situés dans la zone délimitée. Une seule source et 29 puits ont été répertoriés. Le travail a été réalisé au niveau de sept points d'eau : La source (SM) et les puits de Macome PM3, PM5 et de Lambi PL1, PL3, PL5, PL7.

Les prélèvements ont été effectués en fin de période sèche, une hausse de la demande en eau en temps de sécheresse risquant d'affecter le plus la qualité de l'eau (4). L'apport des précipitations saisonnières dans les eaux à analyser a été évité.

Les prélèvements au niveau des deux pompes sont effectués après

**Tableau 1. Concentration des cations dans les points d'eau échantillonnés**

| Concentration mg/l | PL7   | PL5   | PL3   | PL1   | SM     | PM3   | PM5    |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Arsenic (µg/ml)    | 15    | 0     | 10    | 0     | 0      | 0     | 0      |
| Aluminum           | 0.007 | 0.008 | 0.006 | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |
| Zinc               | 0.07  | 0.13  | 0.37  | 0.27  | 0.14   | 0.14  | 0.10   |
| Fer                | 0.12  | 0.06  | 0.15  | 0.02  | 0.06   | 0.02  | 0.03   |
| Manganèse          | 0.882 | 1.075 | 0.695 | 0.970 | 1.107  | 0.999 | 0.788  |
| NH <sup>4+</sup>   | 0.040 | 0.148 | 0.080 | 0.180 | 0.075  | 0.086 | 0.064  |
| Calcium            | 35.24 | 32.03 | 67.27 | 56.06 | 100.90 | 59.27 | 105.71 |
| Magnésium          | 85.55 | 65.07 | 32.05 | 63.13 | 23.31  | 40.80 | 13.60  |

**Tableau 2. Concentration des anions dans les points d'eau échantillonnés**

| Concentration mg/l | PL7    | PL5    | PL3   | PL1    | SM    | PM3   | PM5   |
|--------------------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Carbonates         | 438    | 302    | 288   | 296    | 264   | 268   | 270   |
| Fluorides          | 0.54   | 1.26   | 0.45  | 0.35   | 0.68  | 0.73  | 0.62  |
| Hydroxides         | 0      | 0      | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     |
| Nitrates           | 9.74   | 40.29  | 5.31  | 15.05  | 16.38 | 15.94 | 16.83 |
| Chlorures          | 102.47 | 106.97 | 29.49 | 439.86 | 67.98 | 50.98 | 70.98 |
| Sulfates           | 21     | 32     | 10    | 46     | 12    | 9     | 8     |
| Nitrite            | 0.14   | 0.14   | 0.09  | 0.1    | 0.09  | 0.11  | 0.11  |

flambage du robinet et un pompage prolongé dans le but d'avoir une eau de qualité permanente. Ceux au niveau des puits ont été effectués après désinfection du sceau et rinçage avec l'eau du puits à l'étude. Les échantillons d'eau ont été recueillis dans des flacons de 1.5 L et des pots stérilisés, conservés en glacière réfrigérée (4°C) jusqu'au moment de l'analyse. La température et le potentiel Hydrogène (pH) ont été mesurés *in situ*. Les autres analyses ont été effectuées dans 2 laboratoires : Le laboratoire du Centre Technique d'Exploitation (CTE) de la région métropolitaine de Port-au-Prince et le laboratoire vétérinaire et de contrôle de qualité des aliments de tamarinier.

#### Résultats et discussion

##### Caractéristiques physico-chimiques et concentrations en ions des eaux analysées

La nappe exploitée dans la région est une nappe alluviale, généralement peu profonde (10 m en moyenne) par rapport au sol. Les puits des ménages échantillonnés

dans notre zone d'étude sont traditionnels, réalisés par des puisatiers locaux disposant d'un matériel rudimentaire. Deux de ces puits sont à motricité humaine. Ils sont de petits diamètres et moins profonds (10 à 80 m). Certains de ces puits disposent des systèmes de protection, à savoir : la margelle et un couvercle. Le pH des eaux analysées est compris entre 7.05 et 7.25. Des valeurs inférieures aux normes recommandées pour les eaux de boisson ont été enregistrées (18). Ceci a été observé pour les différents paramètres incluant : la salinité, le pH, les nitrates, l'azote ammoniacal, les sulfates, le magnésium, le zinc et l'aluminium (Tableaux 1, 2 et 3).

Tous les échantillons analysés ont présenté une concentration en manganèse supérieure à 0.05 mg/L, ce qui ne correspond pas à la norme recommandée par l'OMS (18). Les eaux de certains des puits prélevées présentent un taux de nitrates (PL5) et de fer (PL3, PL7) deux fois supérieur aux autres points d'eau (Tableau 2). Pour les chlorures, un seul des puits considérés enregistre

**Tableau 3. Caractéristiques physico-chimiques des échantillons**

| Concentration mg/l | PL7  | PL5  | PL3  | PL1  | SM   | PM3  | PM5  |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Dureté Calcique    | 88   | 80   | 168  | 140  | 252  | 148  | 264  |
| Dureté Magnétique  | 340  | 268  | 132  | 260  | 96   | 168  | 56   |
| Dureté Totale      | 428  | 348  | 300  | 400  | 348  | 316  | 320  |
| Salinité           | 0.52 | 0.50 | 0.29 | 0.88 | 0.34 | 0.32 | 0.34 |
| Turbidité          | 1.71 | 1.00 | 1.07 | 0.36 | 0.12 | 0.20 | 0.85 |
| Conductivité       | 1152 | 1864 | 1048 | 3094 | 2050 | 185  | 1230 |
| DCO                | 16.1 | 16.3 | 13.4 | 12.8 | 13.8 | 15.4 | 14.2 |
| TDS                | 631  | 496  | 496  | 871  | 340  | 317  | 339  |

**Tableau 4. Quantité de bactéries détectée dans les eaux analysées en CFU/100 ml**

| CFU/100 ml              | PL7  | PL5  | PL3  | PL1  | SM   | PM3   | PM5 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|-------|-----|
| Coliforme totaux        | 2419 | 2419 | 1986 | 2419 | 39.9 | 290.9 | 7.5 |
| Streptocoque fécaux     | 727  | 118  | 21.5 | 118  | 2    | 149   | 0   |
| <i>Escherichia coli</i> | 365  | 816  | 4    | 96   | 3    | 3     | 0   |
| Numération germe 36°C   | 738  | 738  | 738  | 738  | 195  | 339   | 97  |

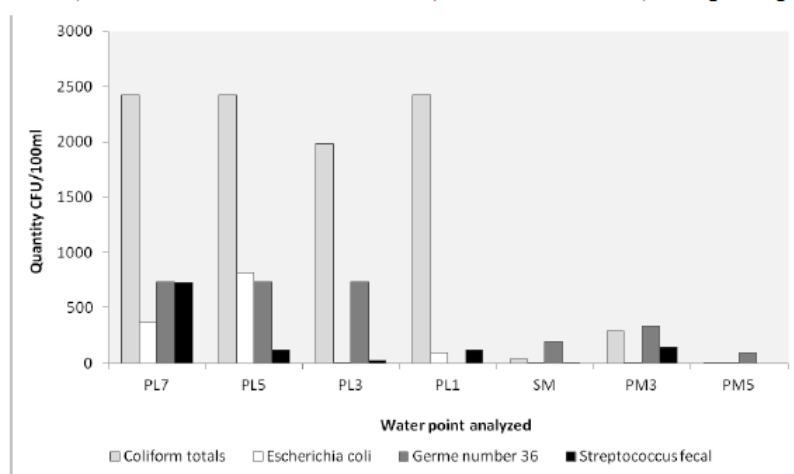
des valeurs supérieures aux normes recommandées (18), le puits PL1 pour les chlorures (>250 mg/l). Les eaux de Lambi et de Macome sont en outre caractérisées par une dureté totale élevée notamment au niveau des puits PL7 et PL1 respectivement 428 mg/l CaCO<sub>3</sub>; 400 mg/l CaCO<sub>3</sub>. Cependant, on a constaté que la dureté calcique est plus importante à Macome alors qu'à Lambi c'est la dureté magnésique qui prévaut (Tableau 3).

Les puits PL3 et PL7 présentent une concentration de fer total très supérieure à celle des autres points d'eau. De même, l'arsenic a un taux supérieur à celui recommandé (<10µg/ml) a été décelée dans l'eau de ces deux puits (Tableau 1).

La mauvaise gestion des ordures ménagères et des eaux usées, la contamination du sol par les excréta humains, le non-respect de la distance entre les latrines et les puits se traduisent par la forte teneur de l'eau en certains éléments chimiques (nitrates, fer, manganèse) qui sont des indices de pollution. La présence de ces éléments dans nos résultats pourrait traduire l'impact des actions anthropiques sur l'eau souterraine.

### Qualité microbiologique des eaux analysées

Nous avons recherché les germes pathogènes, qui sont des indicateurs de pollution et de contamination bactériologiques. Trois ont été sélectionnés : *Escherichia coli*, streptocoque fécal et coliforme total (Tableau 4).



**Figure 1. Concentrations de germes pathogènes observées dans les eaux analysées**

**Tableau 5. Caractéristiques microbiologiques des eaux analysées (CFU/100ml)**

| Points d'eau               | PL7  | PL5  | PL3  | PL1  | SM   | PM3  | PM5  |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Escherichia coli</i>    | 365  | 816  | 4    | 96   | 3    | 3    | 1    |
| <i>Streptococcus fecal</i> | 727  | 118  | 21.5 | 118  | 2    | 149  | 0    |
| EC/SF                      | 0.50 | 6.92 | 0.19 | 0.81 | 1.50 | 0.02 | ---- |

Une comparaison de tous ces résultats nous permet de comparer la qualité des divers points d'eau. Les points d'eau à Lambi sont plus contaminés tant en streptocoques fécaux qu'en *Escherichia coli* (Figure 1). La présence de ces fortes concentrations de germes pathogènes, qui sont des indicateurs de pollution et de contamination bactériologiques par les eaux usées, montre clairement l'impact négatif des activités anthropiques et de la mauvaise gestion des déchets sur la qualité des eaux de la nappe exploitée dans la zone. L'analyse des coliformes totaux nous permet d'obtenir de l'information sur la vulnérabilité possible d'un puits à la pollution de surface. Ces résultats laissent à croire que durant les périodes de pluies le taux de pollution serait très élevé vu qu'en période sèche le taux de coliformes totaux est élevé. Suivant les observations de Jagals et al. repris par Bricha et al. un rapport EC/SF élevé (>4) peut être considéré comme un bon indice d'une pollution d'origine humaine (19, 21). Ainsi en utilisant ces rapports (Tableau 5), on peut affirmer qu'à Lambi, la pollution au niveau du puits PL5 est d'origine anthropique (EC/EF = 6.92 >4), ce qu'on pourrait

tenter d'expliquer par le fait que le forage se trouve dans un village aménagé pour les familles ayant perdu leurs logis après le séisme de 2010. La densité de population est visiblement élevée autour de ces puits et les eaux usées sont rejetées à même le sol dans les environs. Cependant une étude sur l'origine de ces bactéries serait de mise. Ce qui pourrait expliquer aussi le taux élevé de nitrates dans les eaux de ces puits (Tableau 2).

## Conclusion

Il a été constaté au cours de cette étude que la conductivité, la salinité, la concentration en ions chlorures diminue en altitude à Lambi, tandis qu'à Macome elles ont des valeurs avoisinantes. Cela traduit une infiltration de l'eau de mer dans les eaux souterraines à Lambi. Les variations climatiques, le pompage des eaux souterraines et les fluctuations du niveau de la mer imposent des conditions hydrologiques dynamiques, qui sont liées à la distribution des sels dissous (1).

De même, tous les points d'eau n'ont pas la quantité de fluor nécessaire pour la santé dentaire. Emmanuel et al en 2002 avaient déjà posé le problème de la prévalence de la carie dentaire chez les populations vivant dans la région hydrographique Centre-Sud d'Haïti (13). Selon les travaux de Travi un apport et une concentration non négligeables de calcium dans les eaux souterraines pourrait limiter les teneurs en fluor (25). En comparaison à l'étude d'Emmanuel et al., l'alcalinité de l'eau a augmenté et le taux de fluor a diminué.

Il existe certes des facteurs qui ne sont pas d'origine anthropique. La présence de l'aluminium par exemple est due à l'influence de la lithologie et de la géomorphologie de la zone d'étude. Ces facteurs agissent également sur la qualité de l'eau souterraine (20).

La géologie du territoire d'Haïti est dominée à 2/3 par le calcaire influençant la qualité physico-chimique des ressources en eau. La

présence de calcium et de magnésium dans les eaux de Macome et de Lambi est en conformité avec les travaux réalisés sur les sources, exploitées pour approvisionner la population de la Région Métropolitaine de Port-au-Prince, par Tractebel Development et Emmanuel et al. (24,13).

L'impact des activités anthropiques doit être pris en considération car il est évident que les maladies d'origine hydrique sont dues à l'élimination incorrecte des déchets, à la contamination de l'eau par les eaux usées, au ruissellement de surface (23). De plus, la consommation en arsenic de l'eau des puits artésiens était significativement associée à terme aux cancers de la vessie, du poumon et du foie au niveau individuel dans les études de Wu et al. (16).

## Références bibliographiques

1. Adrian, D., Werner, M.B. Vincent, E.A. Alexander, V., Chunhui L., Behzad A.A., Craig T. et Simmons, D.A.B. 2013. Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges, *Advances in Water Resources* 51 pp 3–26
2. Angerville, R., Emmanuel, E., Nelson, J. et Saint-Hilaire, P. 1999. Évaluation de la concentration de fluor dans les ressources en eau de la région hydrographique Centre-Sud de la République d'Haïti. Rapport de recherche, Laboratoire de qualité de l'eau et de l'environnement, Université Quisqueya. Port-au-Prince : Éditions du LAQUE, Presses de l'université Quisqueya, 1999 : 1-11.
3. Asonye, C.C., Okolie, N.P., Okenwa, E.E et Iwuanyanwu, U.G. 2007. Some physico-chemical characteristics and heavy metal profiles of Nigerian rivers, streams and waterways. *African Journal of Biotechnology*, 6 (5) : 617-624.
4. Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., Davidson, O., Hare, W., Huq, S., Kattsov, V., Kundzewicz, Z., Liu, J., Lohmann, U., Manning, M., Matsuno, R., Menne, B., Metz, B., Mirza, M., Nicholls, N., Nurse, L., Pachari, R., Palutikof, J., Parry, M., Qin, D., Ravindranath, N., Reisinger, A., Ren, J., Riahi, K., Rosenzweig, C., Risticucci, M., Schneider, S., Sokona Y., Solomon S., Tott P., Stouffer R., Sugiyama T., Swart R., Tirpak D., Vogel C. et Yohe G. (2007). Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, OMM et PNUE. 114 p.
5. Butterlin, J. 1960 *Géologie générale de la République d'Haïti*. Institut des Hautes Etudes de l'Amérique Latine, Paris, 1960.
6. Carmon, N., Shamir, U. et Meiron-Pistiner, S., 1997. Water-sensitive Urban Planning: Protecting Groundwater. *Journal of Environmental Planning and Management*, 40(4): 413-434.
7. Carter, S. S. 2010a. National Environmental Summary : Antigua and Barbuda. *UNEP*. 36 p.
8. Carter, S. S. 2010. National Environmental Summary : Barbados. *UNEP*. 56 p.
9. Ceraqui, F. 2000. Caractérisation des systèmes agro forestiers pratiqués dans la commune de Gresier. Mémoire de fin d'études. Port-au-Prince : Université d'Etat d'Haïti, inédit
10. Christe, R., Grobet, D. et Burrus, F. 2001. Aspects géotechnique liés au gonflement des marnes dans la galerie de reconnaissance du tunnel de Bure (A 16, Jura, Suisse). *Bulletin géologique appliqué*. 2(6), 111-118
11. Edberg, S.C., Rice, E.W., Karlin, R.J. et Allen, M.J. 2000. *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection, *Journal of Applied Microbiology*, 88, 1068-1168
12. Emmanuel, E. et Lindskog, P. 2000. Regards sur la situation des ressources en eau de la République d'Haïti.

13. Emmanuel, E., Pierre, N., Fanfan, R.L. et Gérard-Alain M. 2002. Determining the optimal flourine dose in the drinking water of the South Center hydrological region of Haiti, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé* . Volume 12, Numéro 2, 241-5,
14. Douhri, H., Raissouni, I., Douhri, B., Zaoujal, A., Benchakhtir, M. Tazi, S., Bouchta, D. et Chaoukat, F. 2015). The quality of groundwater in several sites of Tangier Tetuan Region (Morocco), *International Journal of Innovation and Scientific Research*, Vol. 13 No. 1 Jan. 2015, pp. 257-263
15. IHSI. 2012. Inventaire des ressources et potentialités d'Haïti : commune de Gressier. Port-au-Prince : *Bibliothèque nationale*
16. Meei-Maan, W., Tsung-Li, K., Yi-Han, H., et Chien-Jen, C. 1989. Dose-response relation between arsenic concentration in well water and mortality from cancers and vascular diseases, *American journal of epidemiology*, vol. 130, no. 6 pp 1123-1132
17. Nathalie, D. 2013. Between land and sea, groundwater in coastal zones. *Géosciences*, pp.74-81.
18. OMS. Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable. <http://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-oms-eau-potable.htm>. Visité le 04/11/2015
19. Jagals, P., Grabow, W.O.K. et De Villiers, J.C. 1995. « Evaluation of indicators for assessment of human and animal faecal pollution of surface runoff », *Wat. Sci. Tech.*, 31: 235-241
20. Pradeep, K. S., Ritu, V., et Punia, M.P. 2015. Characterization of groundwater quality of Tonk District, Rajasthan, India using factor analysis, *International Journal of Environmental Sciences* 6, No 2, pp 454-466
21. Bricha, S., Ounine, K., Oulkheir, S. El Haloui, N. et Attarassi, B. 2007. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc). *Afrique Science* 03(3) : 391 – 404
22. Sandeep, K.P. et Shweta T. 2009. Physico-chemical analysis of ground water of selected area of Ghazipur city-A case study, *Nature and Science*, 2009;7(1), ISSN 1545-0740
23. Shittu, O.B., Olaitan, J.O. et Amusa, T.S. 2008. Physico-Chemical and Bacteriological Analyses of Water Used for Drinking and Swimming Purposes in Abeokuta, Nigeria., *African Journal of Biomedical Research*, Vol. 11; 285 - 290
24. Tractebel Development. 1998. Définition des périmètres de protection pour les sources exploitées par la CAMEP. *Bruxelles*.
25. Travi, Y. 1993. "Hydrologie et Hydrochimie des aquifères du Sénégal, Hydrogéochimie du fluor dans les eaux souterraines." Mémoire N095, institut de géologie, Université Louis Pasteur de Strasbourg et Centre de Géochimie de la surface, CNRS, 1, rue Blessig, F-67084 STRASBOURG Cedex France : 155 pages