



Comparative study of three groundwater pollution cities of Mohammedia, Temara and Dar Bouazza by nitrates (Moroccan meseta) **Etude comparative de la contamination des eaux souterraines des villes de Mohammedia, Temara et Dar Bouazza par les nitrates (Meseta marocaine)**

M. Laaouan^{1*}, M.A. Aboulhassan^{2,3}, S. Bengamra^{2,3}, A. Taleb¹, S. Souabi¹, M. Tahiri⁴

¹Faculté des Sciences et Techniques, Université Hassan II-Mohammedia, Maroc

²Ecole Nationale des Sciences Appliquées, BP 3, Ajdir, Al Hoceïma, Maroc

³Centre de l'Oriental des Sciences et Technologies de l'eau, BP 717, Oujda, Maroc

⁴Faculté des Sciences Aïn Chock, Km 8 Route d'El Jadida B.P 5366 Maarif, Casablanca 20100 Maroc

Received 09 Mar 2015, Revised 03 Feb 2016, Accepted 08 Feb 2016

*Corresponding author. E-mail: mLaaouan@gmail.com

Abstract

The quality of water resources in Morocco is degraded by pollution from agriculture, industry and urbanization. In this work we have realized a comparative study of three groundwater pollution sites: Mohammedia, Temara and Dar Bouazza. In general, the results of this study showed that most water wells are strongly mineralized as the conductivity far exceeds the standard of drinking water. Sodium chloride (NaCl) concentration is between 300 and 4000 mg / l and shows some of the wells are loaded with salts. These wells are ready for the old Mohammedia dump to be built in the industrial zone. The basic pH is generally in all wells. Pollution by nitrates three regions showed that the ground water is strongly affected Mohammedia terms of the permeability of the soil of the city. The concentration of nitrate can reach high values compared to the results obtained on the ground water at Temara and Dar Bouazza whose nitrate concentrations around 100 mg/l. Further pollution of groundwater in the three regions of the shows values of organic matters that go far beyond the standards of drinking water.

Keywords : groundwater, pollution, nitrates, Quality

Résumé :

Aujourd'hui, l'état qualitatif des ressources en eau au Maroc est clairement dégradé par les pollutions d'origine agricole, industrielle et urbaine. Dans ce travail nous avons réalisé une étude comparative de la pollution de trois nappes phréatiques: Mohammedia, Dar Bouazza et Temara. En général, les résultats de cette étude ont montré que la plupart des eaux de puits sont fortement minéralisés puisque la conductivité dépasse largement la norme d'une eau de consommation. La concentration en chlorure de sodium (NaCl) varie entre 300 et 4000 mg/l montrant ainsi que certains puits de la ville de Mohammedia sont chargés en sels. Ces puits se trouvent soit prêt de l'ancienne décharge de la ville, soit intégrés au niveau de la zone industrielle. Le pH est généralement basique dans l'ensemble des puits. La pollution des trois régions par les nitrates a montré que la nappe de Mohammedia est fortement touchée à cause de la perméabilité du sol de la ville. La concentration du nitrate peut atteindre des valeurs élevées comparés aux résultats obtenus sur les eaux prélevées au niveau de Temara et Dar Bouazza dont la concentration en nitrates tourne autour de 100mg/l. En outre la pollution des eaux souterraines des trois régions marque des valeurs en matières organiques qui dépassent largement les normes de potabilisation.

Mots clés : eau souterraines, pollution, nitrates

Introduction :

Les eaux souterraines constituent une source en eau stratégique pour les activités humaines. Outre, qu'elles représentent des volumes souvent importants, elles offrent généralement une eau de meilleure qualité que les

eaux de surface. Ces eaux constituent 23 % des ressources en eau douce de la planète [1] qui doivent être conservées et protégées de toutes sortes de pollutions. En effet, les niveaux naturels en nitrates dans les eaux souterraines sont en général très faibles (typiquement moins de 10 mg/l NO_3^-), mais leurs concentrations augmentent avec l'activité humaine comme l'agriculture (fertilisants azotés), l'industrie (effluents rejetés dans le milieu récepteur sans aucun traitement préalable), les effluents domestiques, les lixiviats des décharges publiques. Cette augmentation est la principale cause de dégradation de la qualité des eaux souterraines et principalement des nappes phréatiques plus vulnérables.

La mise en culture intensive des terres agricoles au niveau des périmètres irrigués, les décharges publiques produisant énormément de lixiviat riche en azote d'une part et la création des zones industrielles d'autre part, ont engendrées depuis quelques années l'apparition du problème de pollution des ressources en eau souterraine par les nitrates. Ainsi, les préoccupations à l'égard de ces substances comme polluants se sont alors accrues, non seulement en raison des pertes économiques pour l'agriculteur ou des conséquences sur la santé de la population, mais aussi du fait de la complexité du problème vu que la population en milieu rural en partie s'alimentent en eau potable par les puits existants.

En général, les nitrates se déplacent relativement lentement dans le sol et les eaux souterraines : il y a un temps de latence d'approximativement 20 ans entre l'activité de pollution et la détection du polluant dans les eaux souterraines. Pour cette raison, on prévoit que les activités courantes de pollution continueront à affecter les concentrations en nitrate pendant plusieurs décennies. Cependant, si la pression dans la couche aquifère est élevée, le transport peut être très rapide dans la zone de saturation.

Les nappes libres aussi appelées nappes phréatiques, alimentées directement par les eaux de pluie, sont plus vulnérables aux pollutions. Les nappes captives s'étendent sous des niveaux imperméables. Elles sont alimentées, non pas directement par les pluies, mais latéralement par les zones, parfois très éloignées, où elles sont libres. Ce qui rend ces dernières peu vulnérables à la contamination par les divers polluants.

Plusieurs facteurs influencent la mobilité des nitrates à travers le sol et la pollution de la nappe :

- Les facteurs intrinsèques du milieu physique qui déterminent le degré de vulnérabilité de la nappe à la pollution, tels que le niveau de la surface libre de la nappe par rapport au sol, la profondeur de la nappe, la perméabilité du sol, sa texture et sa teneur en argile, le sens d'écoulement de la nappe et la teneur en matière organique et en azote dans le sol.

- Les facteurs dynamiques comportant les processus qui régissent le régime hydrique du sol et les processus biogéochimiques de transformation et de transfert des nitrates dans la couche du sol non saturée.

La dégradation de la qualité des eaux de la nappe de Berrchid (Maroc) est provoquée, d'une part, par la nature du sol à dominance calcaire qui permet une infiltration facile, et d'autre part par les rejets liquides domestiques et industriels rejetés dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable [2]

En outre, il a été montré que le risque de la pollution de la nappe phréatique de Tadla (Maroc) est aggravé, pour les cultures maraîchères, par l'application régulière du fumier à des doses pouvant atteindre 80 T/ha sans oublier les conditions de stockage des effluents d'élevage (lisier, jus d'écoulement...) et des fumiers [3]. En effet, l'épandage doit respecter les besoins physiologiques des plantes et en aucun cas ne peut dépasser les valeurs définies suivantes : betteraves : 330 kg, céréales d'hiver : 280 kg, céréales de printemps : 200 kg, maïs : 300 kg, pommes de terre : 330, lin : 80kg [4].

Les objectifs de ce travail consistent à évaluer et comparer la pollution des eaux souterraines des trois villes de Dar Bouazza, Mohammedia et celle de Temara (50 Km de Mohammedia) par les nitrates. Cette étude permettra par la suite de sensibiliser les dirigeants pour mettre en œuvre un plan d'action pour minimiser les facteurs de vulnérabilité des nappes phréatiques au Maroc.

1. Situation géographique et cadre géologique des trois secteurs d'étude

La région étudiée fait partie de la Meseta côtière (Fig. 1), c'est un ensemble de bas plateaux inclinés vers le littoral. Le climat est de nature semi-aride avec une tendance vers le climat tempéré dans l'extrême nord [5].

La zone de Mohammedia fait partie d'un plateau constitué d'un ensemble de plaines littorales correspondant soit à des zones agricoles, soit à des dépressions submergées temporaires ou permanentes [6]. La moyenne pluviométrique annuelle est de 404 mm/an et la proximité de l'océan Atlantique donne à cette région un climat tempéré et humide avec un hiver doux et un été rafraîchi par l'action atténuante exercée par la brise de mer (température maximale 23 °C, température minimale 10 °C).

La région est caractérisée par un réseau hydrique important avec, en surface, deux oueds et leurs affluents qui traversent la ville en diagonale (Oued Nfifikh, Oued Malleh) et des *dayas* temporaires et permanents [7]. Le secteur de la ville de Mohammedia fait partie de l'unité géologique appelée plaine de la basse Chaouia.

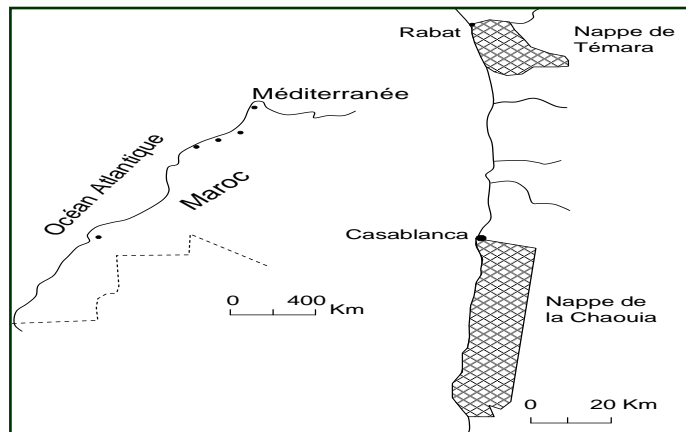


Figure 1 : Carte de situation des nappes de Temara et de la Chaouia.

Généralement, la nappe circule de Sud-Est, dans le complexe aquifère Schiste-Quartzite, les quartzites jouent un rôle de drain vis-à-vis de l'eau souterraine des autres formations. Les niveaux d'eau par rapport au sol varient en général de 4 à 10 m.

La nappe de Temara située au sud de la ville de Rabat, couvre une surface de 350 km². C'est une unité bien individualisée, limitée au NE et à l'Est par l'oued Bou Regreg et son affluent l'oued Akreuch, au sud et au SW par l'oued Ykem, et au NW par l'océan Atlantique. Plus au sud, la grande partie de la Chaouia côtière s'étend de Casablanca à l'oued Oum Er Rbia (Azemmour), sur une distance de 65 km et une largeur de l'ordre de 15 km, soit une surface de quelques 1000 km² [5].

Les deux régions se caractérisent par la présence d'un Paléozoïque à prédominance schisteuse fortement tectonisé. Pour la nappe de Temara, les formations primaires sont surmontées en discordance par des marnes miocènes, puis par des formations plio-quaternaires, alors que pour la Chaouia, des lambeaux de Crétacé (partie SW) surmontent le Paléozoïque, et l'ensemble est fréquemment recouvert par des terrains pliocènes et quaternaires peu épais [8]. La nappe de Temara se développe principalement dans des calcarénites plio-quaternaires et au niveau des schistes primaires dans la partie SW. Quant à la nappe de la Chaouia, de nature plus hétérogène, elle est contenue à la fois dans les formations grésocalcaires du Plio-quaternaire, dans les marnocalcaires du Cénomaniens et dans les terrains primaires schisteux, gréseux et quartzitiques (Fig. 2).

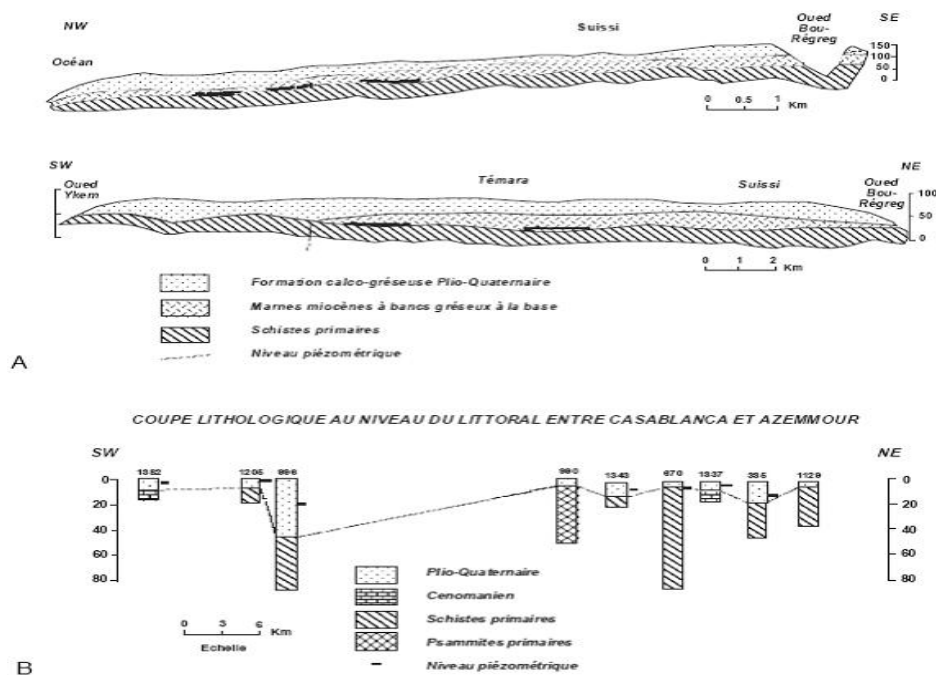
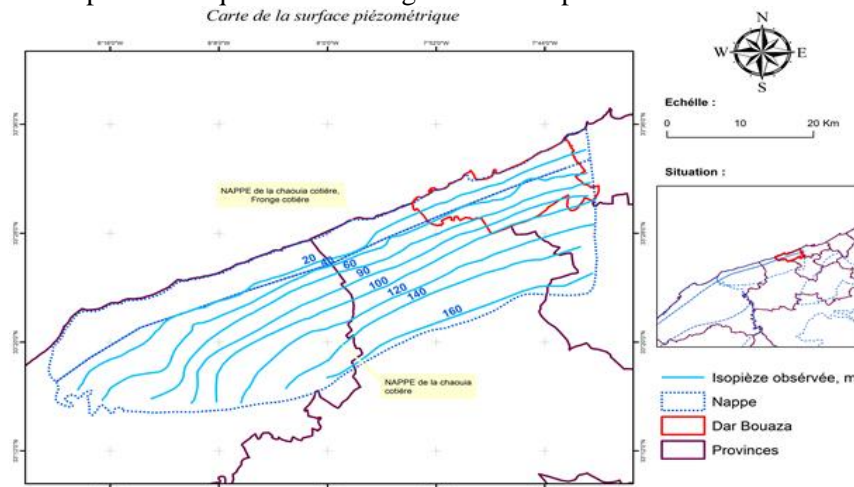
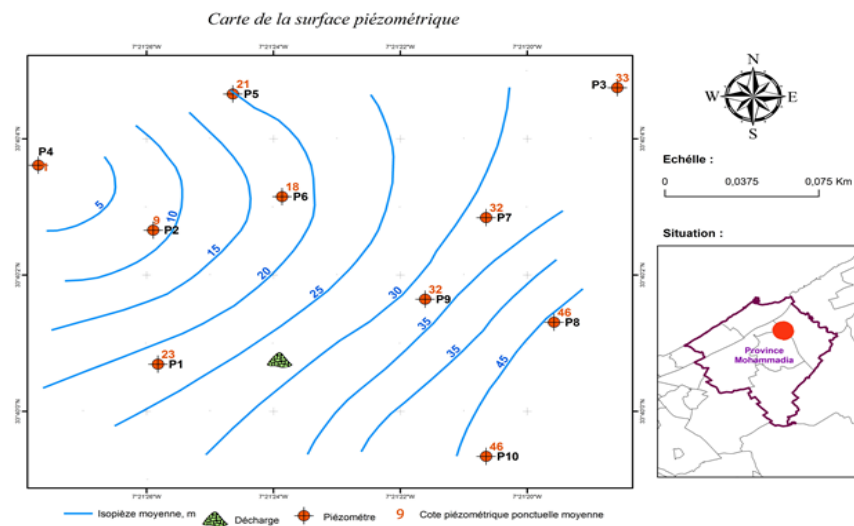


Figure 2 : Coupes lithologiques au niveau des nappes de Temara (A) et Chaouia (B) [5]

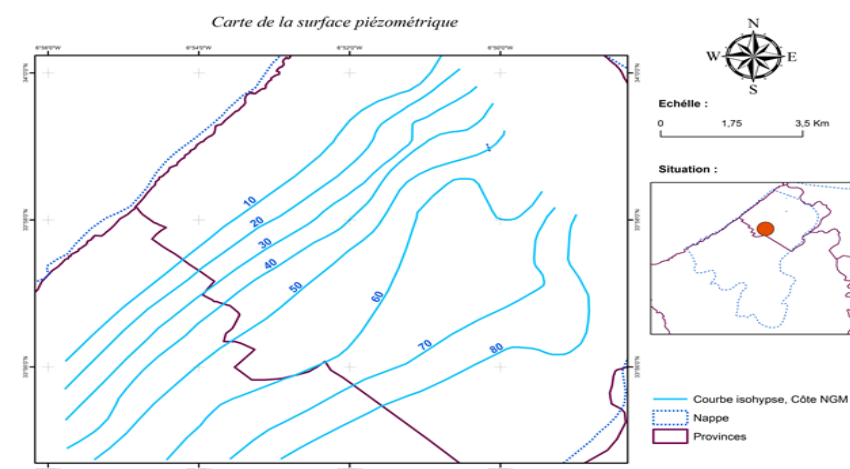
La zone de Dar Bouazza se situe au sud de la ville de Casablanca et présente la continuité de la nappe de Mohammedia. Les cartes piézométriques des trois régions choisies pour l'étude sont illustrées sur la figure 3.



(a) carte piézométrique Dar Bouazza



(b) carte piézométrique de la ville de Mohammedia



(c) Carte piézométrique Temara

Figure 3: Cartes piézométriques des trois régions choisies pour l'étude
 (a) carte piézométrique Dar Bouazza
 (b) carte piézométrique de la ville de Mohammedia
 (c) Carte piézométrique Temara

La zone d'action est donnée essentiellement par les grandes cultures, les cultures maraîchères (les pommes de terre, les tomates,..) le blé... (Dar Bouazza, et Temara) Le tableau suivant donne les principales cultures et les doses d'engrais appliqués au niveau de tout le pays[9]

Tableau 1: Doses d'engrais appliquées pour les principales cultures : Utilisation des engrais

Cultures	Sup. (Ha)	Qtité d'Engrais (Kg/Ha)			Fréquence Util. (%) *	Qtité Totale d'Engrais (Tonne)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
IRRIGUE	33.423					5.853,82	2.949,87	3.274,3
* C. Sucrières	7.400							
+ C. à sucre	5.200	175-200	55	35-102	100	910-1.040	286	182-530,5
+ B. à sucre	2.200	155	126	63	-	341	277,2	138,6
* Céréales	5.556	67-97	42-56	21-28	-	372,2-539	233,4-311,1	116,6-155,7
* Maraîchage	8.265							
+ Tomate ind.	1.417	153-400	200-250	288-440	100	216,8-556,8	283,4-396,7	428-623,5
+ P. de terre	2.719	296-600	50-255	110-350	-	805-1.631,4	136-693,3	293-951,6
+ Fraisier	1.624	160-400	100-140	70-155	-	259,8-641,6	162,4-227,4	113,7-251,7
+ Melon –Pastèque	1.650	60	28	14	-	99	46,2	23
+ Niora	8.55	130-160	114-225	180-220	-	111,2-138,8	97,5-192,4	153,9-188,1
* Arachide	10.283	115-180	0-80	0-85	-	1.263,1-1.977,1	878,7	933,6
* Agrumes	1.919	54-132	45-54	94-96	-	103,6-253,3	86,35-103,6	180,4-184,2
BOUR	99.252					3.227,4	1.841,64	907,24
* C. Sucrières (BAS)	2.075	155	126	63	100	321,6	261,45	130,72
* Céréales	59.067	60-67	28-42	14-21	60	2.126,4-2.374,5	992,3-1.488,5	496,2-744,2
* Légumineuses	7.744	14	28	14	10	10,85	21,7	10,85
* Fourrages	9.376	60	28	14	30	168	78,4	39,2
* Maraîchage (Melon)	6.092	60	28	14	60	219,3	102,34	51,17
* Tournesol	6.847	60	28	14	60	246	114,8	57,4
* Olivier	8.051	14	28	14	10	11,2	22,54	11,2
Total Périmètre	132.675					9.131,22	4.791,51	4.181,54

(%)* : Fréquence d'utilisation par les agriculteurs

2. Matériels et méthodes

2.1. Caractéristiques des points de prélèvement des eaux souterraines

La présente étude est conduite sur un réseau de 32 stations réparties sur les villes de Mohammedia, Temara et Dar Bouazza (Casablanca). Les stations ont été choisies en fonction de leur représentativité par rapport au périmètre urbain de la ville, zone agricole (Dar Bouazza Casablanca) et de leur proximité des sources de pollution (zones industrielles ou décharge publique). La distribution géographique est la suivante :

- Stations PM1 et PM2, situées avant la décharge publique ;
- Stations PM3, PM4, PM5, PM6 et PM7, réparties au niveau de la zone industrielle ;
- Stations PM8, PM9, PM10, PM11, PM12, PM13, PM14, PM15 et PM16, localisées au nord, proches du littoral ;
- Stations PM17, PM18 et PM19, situées dans la ville haute (en amont).
- Station PM20 proche de la Faculté des Sciences et Techniques Mohammedia (au niveau des zones villas).
- Station PM21 puits utilisé pour l'irrigation au niveau de la Faculté des Sciences et Techniques Mohammedia.
- Stations PT1, PT2, PT3, PT4, PT5, PT6 et PT7 situés dans la ville de Temara (région Rabat).
- Stations PB1, PB2, PB3, PB4 situés à la région de Casablanca (Dar Bouazza zone agricole).

3.2. Techniques d'analyse

Les différents paramètres physico-chimiques (pH, turbidité, conductivité électrique, NO₃⁻, Oxydabilité par KMnO₄) ont été déterminés par les méthodes normalisées selon les Normes AFNOR 1999. Les paramètres pH, conductivité et turbidité ont été analysés in situ.

Pour certains puits les échantillons ont été prélevés durant le fonctionnement des pompes pour l'irrigation alors que pour d'autres puits, les prélèvements ont été réalisés par des techniques classiques.

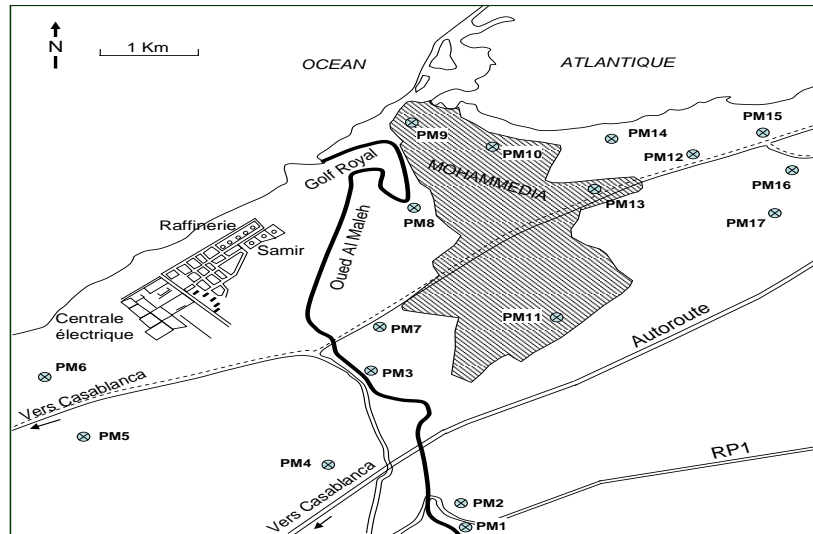


Figure 4 : Situation géographique des points de prélèvement des eaux souterraines de la zone de

4. Résultats et discussions

4.1. Paramètres physicochimiques

De fait que les eaux de surface participent à l'alimentation de la nappe, la qualité de l'eau souterraine est liée à celle des eaux de surface. Les activités humaines exercent de nombreuses pressions polluantes d'abord sur les eaux de surface, puis de manière différée sur la nappe. Cette altération de la qualité de certains puits de la nappe par les nitrates pourrait être attribuée aux rejets ponctuels et dispersés des produits d'élevage et aux eaux usées qui n'ont fait l'objet d'aucun traitement préalable. Certains facteurs semblent favoriser cette contamination tels que la faible profondeur, la perméabilité du sol, la vitesse d'infiltration, la proximité des décharges publiques, des zones industrielles.... Les aquifères profonds indirectement liés à la surface du sol sont donc mieux protégés contre le lessivage des nitrates, contrairement aux aquifères superficiels, plus vulnérables à cause de leur faible profondeur qui facilite le contact entre les nitrates lessivés et les eaux de la nappe [2].

La contamination de la nappe pourrait provoquer de nombreuses maladies au niveau de la population utilisant les eaux de la nappe comme source d'alimentation en eau potable. Les effets sur la santé humaine d'une intoxication aigue par les nitrates sont aujourd'hui connus, ce qui n'est pas le cas des effets à long terme.

Les résultats obtenus ont montré que le pH varie entre 6,8 et 7,3 pour la nappe de la ville de Temara. Alors que pour les 21 puits de la ville de Mohammédia le pH admet comme valeur minimale 6,5 et 7,8 comme valeur maximale tandis que les valeurs enregistrées pour les puits de Dar Bouazza varient entre 7,3 et 7,5. Les valeurs de pH ainsi mesuré pour les trois zones choisies pour l'étude ne présentent aucun danger pour le consommateur (figure 5).

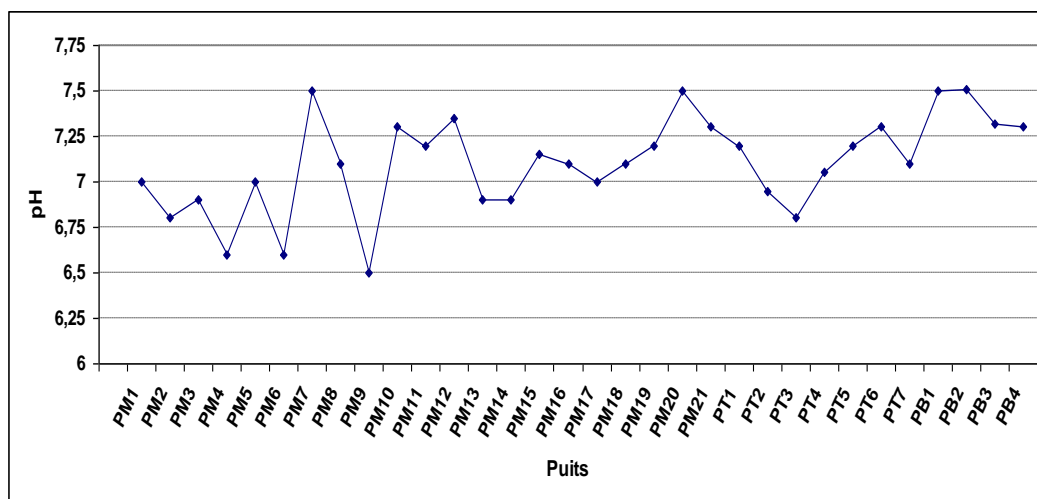


Figure 5 : Variation des valeurs de pH.

La conductivité électrique permet d'évaluer le taux de minéralisation du milieu. Plus la conductivité est élevée plus l'eau est fortement minéralisée. Les résultats de cette étude montrent que les puits de la ville de Mohammedia PM2 et PM5 sont fortement minéralisés. Les valeurs se situent entre 800 et 8210 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Par ailleurs, la conductivité des eaux souterraines au niveau de la ville de Temara montre une valeur maximale de 4120 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Au niveau de cette ville les eaux de puits sont utilisées essentiellement par les unités avicoles répondues dans la région. Ceci s'accompagne d'une salinité élevée en particulier le puits PT3 qui présente une concentration de 1560 mg/l en NaCl (figure 6) alors que les autres puits présentent des concentrations variant entre 450 et 1320 mg/l. Par ailleurs, la salinité pour les puits de la ville de Mohammedia varie entre 300 et 4000 mg/l. La conductivité mesurée pour les puits de Dar Bouazza varie entre 1530 et 4790 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et montre que le puits 2 est chargé sels par rapport aux autres puits.

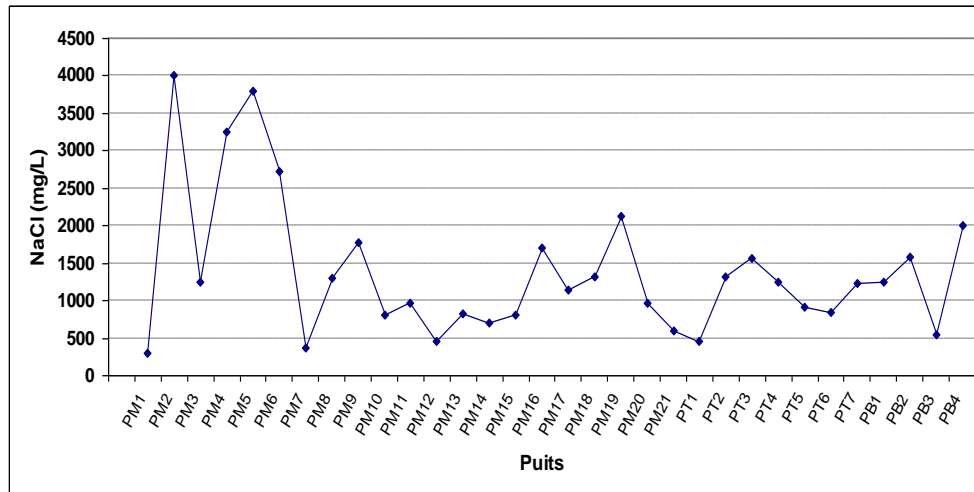


Figure 6 : Variation de la concentration des ions NaCl.

La turbidité des puits choisis pour l'étude varie d'un puits à l'autre. En effet, les puits de la ville de Mohammedia présentent des valeurs variant entre 0,25 et 5,8 NTU alors que les puits de la ville de Temara et Dar Bouazza varient respectivement entre 0,9 et 2,1 NTU et 0,1 et 3,95 NTU (figure 7). Ceci montre que la valeur de la turbidité pour la plupart des puits dépasse largement les normes d'eau de consommation.

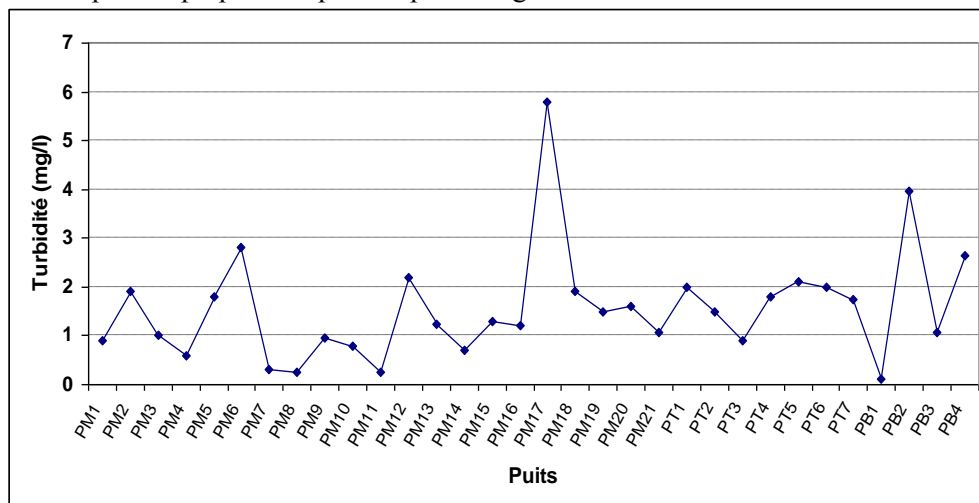


Figure 7 : Variation de la turbidité dans les eaux souterraines des zones d'étude

4.2. Etude de la pollution par les nitrates

Les rejets domestiques et urbains contribuent localement à la contamination des nappes par les nitrates, mais la fertilisation par l'épandage d'engrais chimiques ou organiques azotés et l'élevage intensif (déjections animales), en constituent la cause principale. Les nitrates en excès sur les sols sont entraînés chaque année un peu plus en profondeur, principalement par les pluies hivernales. La vitesse de migration des nitrates vers les nappes est lente, en moyenne 1 à 2 m/an, mais varie en fonction de la nature du sous-sol. L'excès d'azote

épandu en surface met donc en moyenne 10 à 20 ans pour atteindre une nappe à 20 m de profondeur [10]. Les pollutions diffuses sont en effet difficiles à identifier et donc à maîtriser, car elles concernent des espaces importants, aux contours imprécis et sont générées par des pratiques variées qui interfèrent de façon complexe avec le sol et les aléas météorologiques [11]. A la surface du sol, les éléments organiques et minéraux, altèrent les cycles de l'eau, du carbone et de l'azote à l'échelle globale. Ces transformations induisent de multiples risques sur la santé humaine, sur les espaces aquatiques, sur la biodiversité et sur la productivité agricole (érosion et dégradation des sols). L'enjeu pour l'agriculture est donc à présent de produire plus avec moins tout en respectant les ressources en eau, en conservant la biodiversité et en limitant les émissions de gaz à effet de serre [13].

Les nitrates et nitrites ne sont pas cancérigènes s'ils ne dépassent pas les normes de l'OMS, mais leur transformation possible en composés N-nitroso dans l'eau ou les aliments avant l'ingestion, ou dans l'organisme après ingestion, pourrait augmenter le risque de cancer et de malformation du fœtus (tératogénicité) chez l'être humain [13-14].

Les résultats obtenus pour l'analyse des nitrates pour les trois zones d'étude ont montré que les concentrations pour les 21 points de prélèvement de Mohammedia varient entre 11,93 et 530 mg/l alors que celles détectées au niveau des puits de la ville de Temara varient entre 91 et 131 mg/l (figure 7). Pour les puits de Dar Bouazza zone agricole loin de zones industrielles, les concentrations varient entre 58,3 et 97,3 mg/l. Pour la ville de Mohammedia, on remarque que les puits proches de la décharge publique et de la zone industrielle sont chargés en élément nitrates avec des valeurs qui dépassent largement les normes de potabilisation. Toutefois, les puits P12, P13, P14 et P21, loin de sources de pollution, les concentrations en nitrates sont inférieures à la norme de l'OMS (50 mg/l)[13].

Toutefois, dans les formations géologiques fortement fissurées, les pluies atteignent la nappe en quelques heures à quelques mois, c'est le cas de la ville de Mohammedia dont le sol présente des fissures, alors que dans les formations moins perméables, il leur faudra plusieurs dizaines voire centaines d'années.

Les apports d'azote, s'ils sont supérieurs aux exportations des plantes, représentent des surplus susceptibles de s'écouler vers les cours d'eau et les nappes. En 2010, les surplus azotés varient de 5 à 145 kg/ha de surface agricole utile (SAU), avec une moyenne de 32 kg/ha [9].

En outre, il a été montré que le risque de la pollution de la nappe phréatique de Tadla est aggravé, pour les cultures maraîchères, par l'application régulière du fumier à des doses pouvant atteindre 80 T/ha[3]. Ceci montre que la mauvaise gestion des produits fertilisants peut participer à l'augmentation de la pollution de la nappe et par la suite l'infiltration de substances solubles non retenues par la végétation : cas excédentaires par rapport à ses besoins. Il a été apporté que les régions les plus touchées par la pollution azotée sont celles d'élevage intensif à forte charge en azote organique due aux effluents animaux, celles de grandes cultures fortement fertilisées et celles où les ressources en eau sont superficielles ou de faible profondeur (zones de socle aux sous-sols peu perméable, nappes aquifères alluviales, nappes aquifères karstiques) [15].

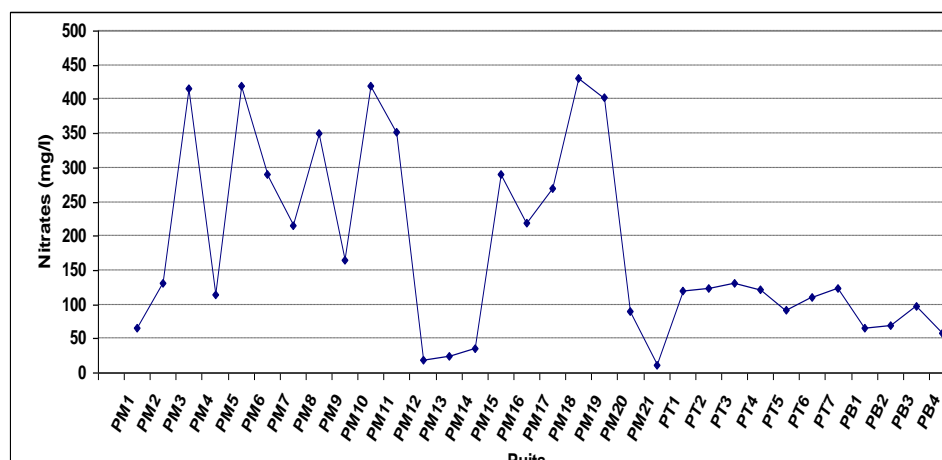


Figure 8 : Variation de la concentration des ions nitrates.

Toutefois la nappe de la ville de Mohammedia présente des teneurs plus élevées, comparées aux zones Temara et Dar Bouazza. Ceci peut être dû à la contamination par les activités industrielles largement développées au niveau de la ville de Mohammedia, mais aussi par les lixiviats de la décharge non contrôlée de la ville.

Il a été montré que la pollution de la nappe phréatique de la ville de Berchid est probablement dû à un apport par la décharge publique non contrôlée présente dans la région et qui reçoit des déchets ménagers et industriels [16].

La vulnérabilité des eaux souterraines dépend essentiellement des pays et des régions car en réalité la variable essentielle à considérer est la ressource renouvelable et, c'est-à-dire le volume qui recharge chaque année la nappe [17]. En outre, les résultats de l'analyse physico-chimique du lixiviat de plusieurs décharges ont montré une forte contamination des sels organiques et des métaux lourds au niveau de l'Égypte [18]. Par ailleurs, il a été montré qu'en Roumanie les décharges peuvent représenter des sources potentielles de pollution pour les eaux de surface et des eaux souterraines [19]. Il est pour cette raison que l'aménagement de nouvelles zones d'élimination est de la plus haute importance. La percolation du lixiviat en provenance des déchets des décharges constitue une source de pollution des ressources en eau souterraine par infiltration, constituant ainsi une menace aussi importante que celle liée à l'accentuation du déficit hydrique. La décharge publique de la ville de Larache constitue un modèle type de détérioration des ressources en eau par un effet de contamination du lixiviat en provenance de la décharge et des pratiques agricoles [20].

Les résultats obtenus sur la pollution de la nappe de la ville de Taza ont montré une dégradation plus ou moins forte spécialement en aval de la décharge de la ville [21]. L'analyse des eaux souterraines et superficielles a révélé que les ions nitrates présentent une concentration moyenne inférieure à 50 mg/l avec des variations temporelles d'une amplitude remarquable (Norme suggérée par l'OMS) [22].

Matières organiques par oxydabilité par $KMnO_4$

Ce paramètre permet d'évaluer la teneur en matières organiques se trouvant dans les eaux de puits. En effet, la matière organique présente dans les puits varie considérablement d'un puits à l'autre. Dans les eaux de puits de Mohammedia, elle varie entre 0,3 et 11,1 mg/l alors que celles de la ville de Temara présentent un maximum de 5,1 et un minimum de 1,3 mg/l (figure 9). En outre, les puits de Dar Bouazza présentent des concentrations inférieures à 2,5 mg/l. Toutefois, ces valeurs montrent que les eaux des différents puits ne peuvent être utilisées comme source d'alimentation en eau potable.

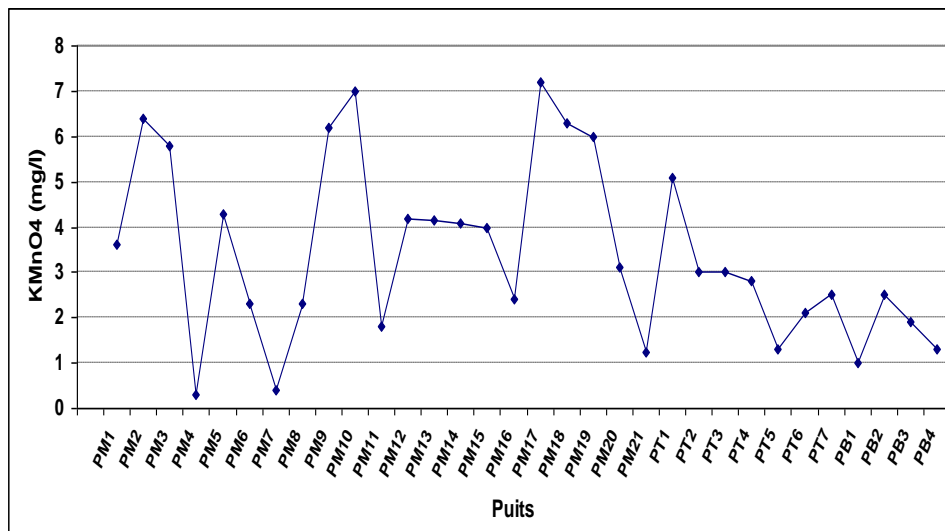


Figure 9: Variation de la concentration des ions $KMnO_4$.

5. Analyse statistique multivariée des paramètres physicochimiques

Les paramètres physicochimiques (variables) et les points d'eau (individus) ont été projetés séparément dans le plan factoriel ($F1 \times F2$) de l'analyse en composantes principales (ACP) afin de mieux comprendre leurs distributions représentatives par rapport aux axes factoriels.

L'interprétation de l'analyse statistique par l'ACP n'a été réalisée que sur deux axes $F1$ et $F2$ du fait qu'ils représentent à eux seuls plus de 60% de l'information. Ces axes factoriels $F1 \times F2$ totalisent plus de 62% de l'inertie, dont l'axe $F1$ présente 38% et l'axe $F2$ présente 24% de l'inertie totale (figure 10). L'ACP nous a permis de caractériser trois groupes d'éléments chimiques correspondants chacun à un ensemble d'échantillons des eaux souterraines présentant les mêmes caractéristiques.

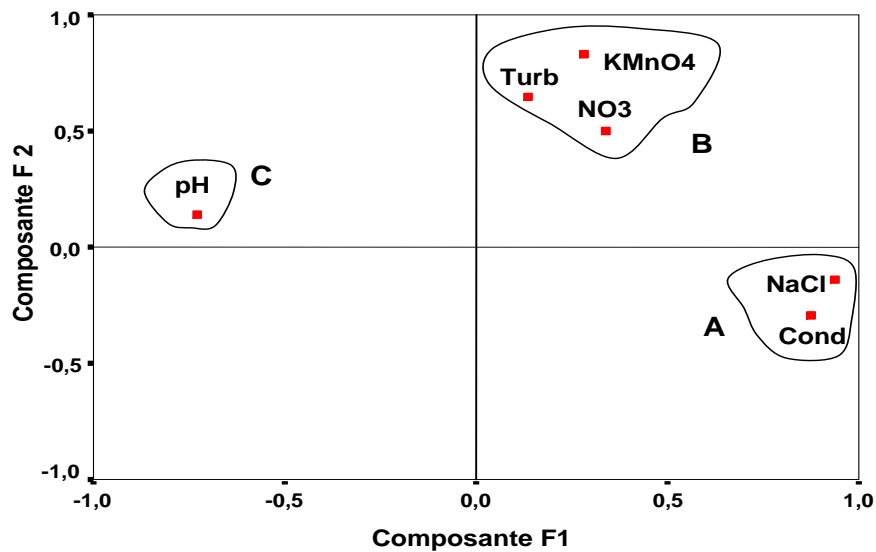


Figure 10 : Diagramme des composantes principales (ACP).

Groupes A :

Ce groupe est constitué essentiellement de NaCl et de la conductivité électrique (Cond) et s'oppose au premier groupe composé de pH suivant l'axe F1. Ces paramètres correspondent l'ensemble de puits constitué de PM2, PM4, PM5 et PM6 et qui présente une conductivité et une salinité très élevée (figure 10).

Groupes B :

Ce groupe est formé par les nitrates (NO₃⁻), Turbidité (Turbid) et l'oxydabilité (KMnO₄). Il se place en position positive sur les axes F1 et F2. Ces paramètres caractérisent les puits de la ville de Mohammedia et notamment PM3, PM9, PM10, PM15, PM17, PM18 et PM19. Cela explique que les puits de Mohammedia sont plus contaminés par les nitrates.

Groupes C :

Il est placé sur le pôle négatif de l'axe F1 de forte inertie et contribue fortement à cet axe. Il est formé par le paramètre pH. Ce paramètre est caractéristique des puits restant des zones d'étude (groupe 3).

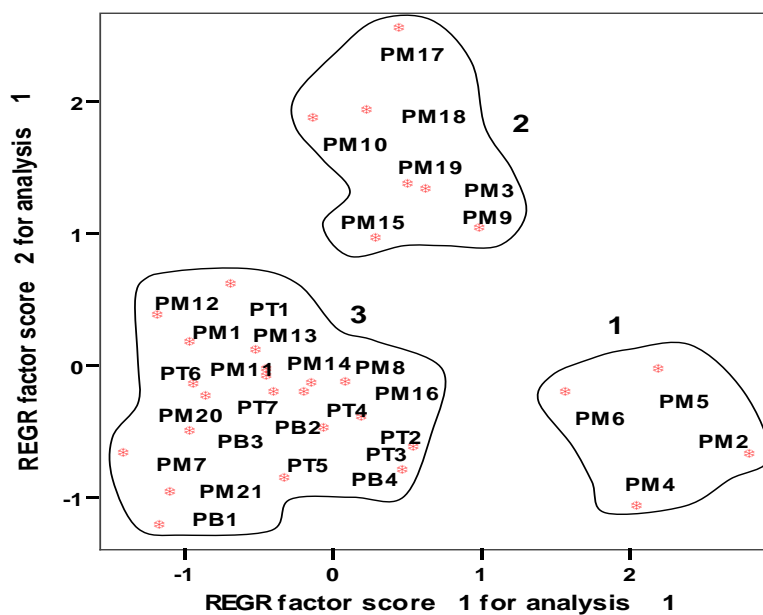


Figure 11 : Projection des prélèvements d'eau sur le plan factoriel de l'ACP.

Conclusion

Les résultats obtenus ont permis de montrer que les paramètres tel que la matière organique, la conductivité, les nitrates dépassent largement les normes de potabilisation. La concentration des nitrates dans les eaux de puits de la ville de Mohammedia varie autour de 400 mg/l alors que celles détectées au niveau des puits de la ville de Dar Bouazza et Temara sont voisines de 100 mg/l.

Les matières organiques déterminées par oxydabilité par KMnO_4 pour les différents puits varient entre 0,2 et 11 mg/l dépassant ainsi pour la plupart des points de prélèvement les normes de potabilisation. En outre, pour l'ensemble des puits choisis pour l'étude, la turbidité varie entre 1,4 et 2 NTU ; qui est en relation avec les matières organiques déterminées par oxydabilité par KMnO_4 .

Les eaux souterraines de la ville de Mohammedia sont plus contaminées par les nitrates et la salinité par rapport aux eaux de Temara et De Dar Bouazza. Cette pollution détectée au niveau des puits est due principalement à leurs situations par rapport à la décharge et également par rapport à l'industrie. Pour éviter la pollution de la nappe, il est nécessaire de trouver un juste milieu entre une utilisation abusive des sources de nitrates et l'interdiction totale de ceux-ci.

Afin d'éviter les problèmes écologique et sanitaires, il est nécessaire de prendre des mesures concrètes pour limiter la pollution de la nappe de Mohammedia et protéger la santé de la population en milieu rural.

Références

1. Institut Français de l'Environnement, le développement durable, par le décret no 2004-936 du 30 août 2004 ;
2. Hassoune E., Bouzidi A., Koulali Y., Hadarbach D., Effets des rejets liquides domestiques et industriels sur la qualité des eaux souterraines au nord de la ville de Settat (Maroc), *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, 28 (2006) 61-71 ;
3. Berdai H., Soudi B., Bellouti A., Contribution à l'étude de la pollution nitrique des eaux souterraines en zones irriguées, *Revue HTE*, 128 (2004) 70 ;
4. Vandiest P - F.I.O.W., La protection des eaux contre les nitrates d'origine agricole, *Filière Ovine*, 3 (septembre 2002) 2 ;
5. Amraoui F., Etude hydro-chimique des nappes de Temara et de la Chaouia côtière (Meseta marocaine). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, 22 (1999) 71-80 ;
6. Idrhacem A., Souabi S., Taleb A., Zahidi K., Bouezmarni M., Evaluation de la pollution générée par les lixiviats de la décharge publique de la ville de Mohammedia et son impact sur la qualité des eaux souterraines, *St. Cerc. St. CICBIA*, 15(1) (2014) 38 ;
7. Serghini A., Fekhaoui M., El Abidi A., Tahri L., Bouissi M., El Houssine Z., Contamination métallique des eaux souterraines de la ville de Mohammedia (Maroc), *Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé*, 13, 3 (2003) 2 ;
8. Amraoui F., Etude hydrochimique des nappes de Temara et de la Chaouia Côtière (Meseta Marocaine), *Bulletin de l'Institut scientifique, Rabat*, 22(1999-2000) 71-80 ;
9. Achkar M., Rationalisation de l'utilisation des engrais et pesticides au Maroc, *Revue H.T.E*, 123 (2002) 5 ;
10. Commissariat Général au Développement Durable., L'eau, source de vie, source de conflits, Conférence du Monde Diplomatique, (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/LPS161.pdf>), 161(2013) 2-4 ;
11. Laurent, F., Pollutions des ressources en eau et agriculture : l'ouest de la France. In Conférence du Monde Diplomatique "L'eau, source de vie, source de conflits", Le Mans, Presses Universitaires de Rennes, (2005) 143-150 ;
12. Griffon M., Pour des agricultures écologiquement intensives. Edition de l'Aube, (2010) 112 ;
13. World Health Organization., Guidelines for drinking water quality, 2nd Recommendations. Genève, (1993) ;
14. Levallois P., Phaneuf D., La contamination de l'eau potable par les nitrates : analyse des risques à la santé, *Revue canadienne de santé publique*, 85(3) (1994) 192-196 ;

15. Laurent F., Modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales. Habilitation à Diriger des Recherches en Géographie UMR ESO (Espaces et Sociétés) Université du Maine : Agriculture et pollution de l'eau, (2012) 1-186 ;
16. Bouqdaoui K., Aachir M., Blaghen M., Kholti A., Modélisation de la pollution par les nitrates de la nappe de Berrechid, au Maroc, *Afrique SCIENCE*, 05(1) (2009) 99 – 113 ;
17. Giroux I., Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et par les nitrates dans les régions en culture de pommes de terre, Campagne d'échantillonnage de 1999-2000-2001 Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, (2003) ;
18. Magda M., Abd El-Salam M., Gaber I., Abu-Zuid G., Impact of landfill leachate on the groundwater quality : A case study in Egypt, *Journal of Advanced Research*, 6 (2015) 579-586 ;
19. Casen P., Influence of the Leachate Drainage Systems on Groundwater Quality in Muntenia Region International Conference "Agriculture for Life, Life for Agriculture" *Agriculture and Agricultural Science Procedia*; 6(2015) 500-505 ;
20. Er-Raioui H., Bouzid S., Khannous S., Zouag M. A., Contamination des eaux souterraines par le lixiviat des décharges publiques : Cas de la nappe phréatique R'Mel (Province de Larache - Maroc Nord-Occidental), *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(3) (June2011) 1118-1134 ;
21. Ben Abbou M., El Haji M., Zemzami M., Fadil F., Impact des lixiviats de la décharge sauvage de la ville de Taza sur les ressources hydriques (Maroc), *Afrique SCIENCE* 10(1) (2014) 171 ;
22. El Kharmouz M., Sbaa M., Chafi A., Saadi S., L'étude de l'impact des lixiviats de l'ancienne décharge publique de la ville d'Oujda (Maroc oriental) sur la qualité physicochimique des eaux souterraines et superficielles, *Larhyss Journal*, 16 (2013) 105-119 ;

(2016) ; <http://www.jmaterenvironsci.com>