



Contrôle de qualité des eaux minérales de deux stations thermales de la région de Fès (Maroc): Ain Allah et Moulay Yaâcoub

Quality control of Mineral water from two spas in Fez area (Morocco): Ain Allah and Moulay Yacoub

A. Houti^{1,2,3}, K. Fikri Benbrahim^{1*}, S. Rachiq², L. Zbadi³, R. Belfqih⁵,
A. El Ouali Lalami^{3,4}

¹ Laboratoire de Biotechnologie Microbienne, Faculté des Sciences et Technique-Fès., Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc

² Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement, Faculté des Sciences et Technique-Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc.

³ Laboratoire Régional de Diagnostic Epidémiologique et d'Hygiène du Milieu, Direction Régionale de la Santé, Hôpital EL Ghassani, Fès, Maroc.

⁴ Institut Supérieur des Professions Infirmières et Techniques de Santé (Annexe de Meknès), Direction Régionale de la Santé, Hôpital El Ghassani, Fès, Maroc.

⁵ Station Thermale de Moulay Yaâcoub, Fès, Maroc.

Received 17 Sep 2015, Revised 24 Nov 2015, Accepted 02 Dec 2015

*Corresponding Authors. E-mail: kawtar.fikribenbrahim@usmba.ac.ma; Tel: (+212661216598).

Résumé

Les stations Ain Allah et Moulay Yaâcoub sont deux stations thermales parmi les plus connues dans la région de Fès depuis plusieurs siècles, par leurs effets thérapeutiques dans le traitement de certaines infections de natures variées. Afin de prévenir le risque sanitaire lié à l'utilisation de leurs eaux auprès des curistes, des campagnes d'échantillonnage et d'analyses physicochimiques et microbiologiques des eaux de fontaine et de piscine de ces deux stations ont été effectuées trimestriellement durant l'année 2014 au niveau de différents points. Les résultats ont montré que les paramètres physico-chimiques des eaux des deux stations prélevées au niveau des fontaines répondent aux normes marocaines en vigueur. Les eaux de la station Moulay Yaâcoub sont hyperthermales (50 °C) et présentent une conductivité élevée (de l'ordre de 47800 µS/cm) et des teneurs élevées en sodium (>1000 mg. L⁻¹) et en calcium (>800 mg. L⁻¹) par rapport aux eaux de la station Ain Allah, qui sont méso-thermales (39 °C) et présentent une conductivité moyenne (870 µS/cm). Les analyses bactériologiques ont montré l'absence des microorganismes pathogènes dans les eaux de fontaines des deux stations étudiées. Alors que les eaux de piscine de la station Ain Allah ont présenté une forte contamination par la flore mésophile et les indicateurs de pollution fécale (coliformes totaux, coliformes fécaux, *Escherichia coli* et les streptocoques fécaux) durant la période estivale par rapport aux eaux de piscine de la station Moulay Yaâcoub qui présentent des densités très faibles. Les résultats de cette étude devraient inciter les autorités responsables à prendre les mesures nécessaires pour la surveillance et le contrôle de la qualité de ces eaux.

Mots-clés: Risque sanitaire, Moulay Yaâcoub, Ain Allah, Physico-chimie, Bactériologie, Conformes, Contamination fécale, Fès, Maroc.

Abstract

Moulay Yaâcoub and Ain Allah are two spas among the best known in the Fez region for centuries due to their therapeutic effects in the treatment of different infection's types. In order to prevent health risks related to the use of their waters by spa guests, sampling campaigns of water from fountain and swimming pool were conducted on quarterly during 2014 in both stations Moulay Yaâcoub and Ain Allah. The results showed that the physico-chemical parameters of the fountain's waters of the two stations respect Moroccan standards and that waters of the Moulay Yacoub station are hyperthermal (50 °C) and have a high conductivity (47800 µS / cm) and high levels of sodium (> 1000 mg. L⁻¹) and calcium (> 800 mg. L⁻¹) comparatively to water of the Ain Allah station which are mesothermal

(39 °C), have an average conductivity (870 $\mu\text{S} / \text{cm}$) and exhibit lower sodium and calcium levels. Bacteriological analysis showed the absence of pathogens in the fountain waters of both studied stations. The pool's waters of Ain Allah station showed high contamination levels by mesophilic flora and fecal pollution indicators (total coliforms, fecal coliforms, *Escherichia coli* and fecal streptococci) during the summer period compared to pool waters of Moulay Yacoub station which showed very low densities. This bacterial charge is probably due to contamination primarily related to a large number of bathers in this station during this season. The results of this study should therefore encourage responsible authorities to take necessary measures for the supervision and the control of these waters quality.

Keywords: Health risk, Moulay Yaâcoub, Ain Allah, Physicochemical, Bacteriology, Conform, Fecal contamination, Fez, Morocco.

1. Introduction

Les eaux thermo-minérales naturelles ont une large distribution mondiale et une vaste utilisation à des fins thérapeutiques. Leurs utilisations varient selon les habitudes des populations. Certaines eaux minérales de sources thermales sont commercialisées ou bien utilisées comme bains thérapeutiques pour guérir certaines maladies [1]. La composition physico-chimique d'une eau minérale naturelle lui confère des propriétés favorables à la santé [2]. En effet, elle est liée à son parcours souterrain, à sa profondeur, au temps de transit et à la variété des roches du sous-sol. Ainsi, la profondeur exerce un effet sur la température alors que le temps de transit affecte la minéralité. En plus, l'eau peut aussi s'enrichir, en profondeur, en gaz (CO_2 , H_2S) selon la nature de la roche [3]. En outre, les eaux souterraines, souvent protégées géologiquement, sont exposées à des pollutions agricoles, industrielles et / ou urbaines ce qui provoque une modification de leur composition physico-chimique [4] et par conséquent, elle peut véhiculer des agents potentiellement dangereux, notamment des micro-organismes pathogènes [5] et être à l'origine des maladies [6].

Les eaux thermales ont fait l'objet de plusieurs études scientifiques dans différentes régions du monde. Ainsi, en Afrique du Nord, de nombreux travaux ont étudié la nature géochimique et la qualité chimique des eaux thermo-minérales [7]. En Turquie, des études hydrogéologiques ont été réalisées sur des zones géothermales de Karahayit [8]. En France, les études se sont intéressées à la qualité microbiologique des eaux minérales utilisées à des fins thérapeutiques dans 119 établissements thermaux [9]. Il en est de même au Québec [10]. Dans le Maroc, qui compte plus d'une vingtaine de sources thermales à vertu thérapeutique de première qualité [11], certains travaux se sont intéressés à quelques unes de ces eaux thermales, comme ceux de Rimi, Lakhdar et al, Ghazali et Zaid [12, 13,14]. Cependant seules quelques études se sont intéressées à la qualité microbiologique des eaux thermales de la région de Fès [15, 16,17].

Afin de mettre en évidence le risque sanitaire lié à la contamination des eaux thermales notamment par des microorganismes pathogènes, et de vérifier que les paramètres physicochimiques répondent aux normes en vigueur, des campagnes d'échantillonnage et d'analyses physicochimiques et microbiologiques des eaux ont été effectuées trimestriellement durant l'année 2014 au niveau de deux stations Moulay Yaâcoub et Ain Allah et à différents points selon des protocoles standardisés conformément aux normes.

2. Matériels et méthodes

2. 1. Stations étudiées

La station thermale Ain Allah située à 15 km au Nord Ouest de la ville de Fès est localisée dans le domaine Douiyet (34°3'0" N et 5°6'36" W). L'eau de cette source, extraite d'un forage artésien à 1650 m de profondeur, est destinée à l'alimentation de la fontaine, des douches au jet et de deux piscines qui sont ouvertes à la baignade publique.

La station thermale de Moulay Yaâcoub est un complexe hydrothermal qui s'étend sur une superficie de 300 hectares et qui est situé à 25 km au Nord West de la ville de Fès, à 34° 5' 28.00'' N et à 5° 10' 58.50'' W. Les eaux thermales de cette station circulent à des profondeurs de 1,2 km à 6,4 km et ont un débit à la source qui peut dépasser les 70 l/s. En effet, il comporte un griffon principal et six résurgences secondaires, le volume des

roches gorgées d'eau dépasse 500 000 m³. Ce complexe comprend des douches au jet, une piscine pour les femmes et deux autres piscines larges mixtes.

2. 2. Prélèvements

Les prélèvements ont été effectués trimestriellement durant l'année 2014, au niveau des points suivants :

- La fontaine (eau de la douche au jet) et la piscine mixte pour la station thermale Moulay Yaâcoub.
- La fontaine (eau de boisson) et la piscine des femmes pour la station thermale Ain Allah.

Les échantillons ont été recueillis aseptiquement dans des flacons stériles de 500 ml, selon les normes [18], transportés au laboratoire dans une enceinte isotherme à 4°C et analysés dans les huit heures qui suivent le prélèvement.

2. 3. Analyses physico-chimiques et microbiologiques

L'étude physico-chimique a porté sur la mesure du pH, de la conductivité (par un conductimètre portable de type Consort K912) et de la température de l'eau sur place, puis sur la détermination au laboratoire de certains éléments majeurs : ammonium, nitrates, ortho-phosphates, azote total, phosphore total par des méthodes colorimétriques décrites par Rodier [18].

Le dosage des éléments majeurs suivants : Ca²⁺; Na⁺; K⁺ et des éléments traces et métalliques: Cr ; Cu ; Mn ; Ni; Pb et Zn, a été effectué par la technique ICP (inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry) [19] à la Cité d'innovation de Fès, dans le cadre de contrôle de qualité de ces eaux.

L'étude microbiologique a porté sur le dénombrement des germes totaux à 22°C et à 37°C, des coliformes totaux et des coliformes fécaux, des entérocoques intestinaux, des bactéries anaérobies sulfite-réductrices et de *Pseudomonas aeruginosa* selon les méthodes décrites par Rodier [18].

L'étude bactériologique des eaux minérales de boisson, de la station Ain Allah, a été effectuée selon la circulaire marocaine du 9 Mai 1983 du ministère de l'agriculture et de la réforme agraire et du ministère de la santé relative aux critères bactériologiques d'usage pour les eaux minérales naturelles.

3. Résultats et discussion

3. 1. Paramètres physico-chimiques

Le régime thermique des eaux des fontaines a varié de 42°C à 50°C avec une température moyenne de l'ordre de 46,3°C ±3,32 pour la station de Moulay Yaâcoub et de 37 °C à 44 °C avec une température moyenne de l'ordre de 39,6°C ±3,05 pour la station Ain Allah. La température moyenne des eaux des piscines était de 38,5°C±1,21 et 35,77°C±2,53, respectivement pour les stations de Moulay Yaâcoub et Ain Allah (Tab. 1, 2).

En effet, la station Moulay Yaâcoub présente les eaux les plus chaudes, ces dernières sont hyperthermales [11], alors que les eaux de la station Ain Allah sont méso thermales.

Les valeurs de pH des eaux des deux stations, tous prélèvements confondus, ont été proches de la neutralité avec une moyenne de 7,05±0,05 au niveau de la fontaine Ain Allah (Tab. 1, 2).

Le pH des eaux de la station Ain Allah était supérieur à celui relevé dans les eaux d'Ain Hamma Moulay Idriss [20] et comparable à celui des eaux d'Ain Salama [14]. Ces valeurs sont admissibles par la norme marocaine (03.07.001 /2006) des eaux de boisson humaine.

La valeur de la conductivité électrique dans la station Moulay Yaâcoub est très élevée. Elle a varié de 46000 µS /cm à 47800 µS /cm avec une moyenne de 47050 µS /cm ±772,44 pour l'eau de fontaine et de 46520 µS /cm à 47500 µS /cm avec une moyenne de 47005 µS/cm ±400,12 pour l'eau de piscine. Alors que pour la station Ain Allah la conductivité est plus faible et a varié de 823 à 870 µS/cm avec une moyenne de 842,5 µS /cm ±19,77 (eau de la fontaine) et de 817 à 840 µS /cm avec une moyenne de 828,5 µS /cm ±9,47 (Tab. 1, 2).

La conductivité électrique est directement liée aux formations des terrains géologiques traversées [21]. Par exemple une étude préalable a montré que les valeurs de la conductivité électrique les plus élevées ont été enregistrées dans les écoulements du Briançonnais siliceux et des Schistes lustrés qui est due à la présence d'importants amas d'évaporites (gypse, anhydrite, halite) au sein de ces unités [22]. Dans le cas de la station Moulay Yaâcoub, la découverte d'extrusions de blocs métriques à décimétriques minéralisés de nature

sédimentaire, magmatique et métamorphique riches en minéralisation reflète les valeurs élevées de la conductivité électrique trouvées dans cette station [13].

Tableau 1: Valeurs minimales, maximales et moyennes trimestrielles durant l'année 2014 des Paramètres physico-chimiques étudiés pour les eaux issues de fontaine et de piscine Moulay Yaâcoub (MY)

	Eau de la fontaine M Y			Eau de piscine M Y		
	Min	Max	Moyenne ± écart type	Min	Max	Moyenne ± écart type
T ^{re} (°C)	42	50	46,3 ± 3,32	37,1	39,9	38,5±1,21
pH	7,08	7,2	7,117±0,055	7	7,1	7,06±0,046
Conductivité électrique (µS/cm)	46000	47800	47050±772,44	46520	47500	47005±400,12
Nitrates (mg. L ⁻¹)	0,0002	0,0008	0,0004±0,0003	0,0001	0,06	0,028±0,027
Ortho phosphate (mg. L ⁻¹)	0,0004	0,0009	0,0006±0,0002	0,001	0,008	0,004±0,003
Azote total (mg. L ⁻¹)	0,04	0,09	0,06±0,02	0,6	1,2	0,875±0,25
Phosphore total (mg. L ⁻¹)	0,0001	0,0005	0,0003±0,0002	0,001	0,005	0,003±0,002
Ammonium (mg. L ⁻¹)	0,001	0,022	0,007±0,0099	0,015	0,05	0,029±0,015

Tableau 2: Valeurs minimales, maximales et moyennes trimestrielles durant l'année 2014 des paramètres physico-chimiques étudiés pour les eaux de la fontaine et de la piscine de la station Ain Allah (AA)

	Eau de la fontaine AA			Eau de piscine AA		
	Min	Max	Moyenne ± écart type	Min	Max	Moyenne ± écart type
T ^{re} (°C)	37	39	38,35±0,94	32	37,4	35,77±2,53
pH	7	7,1	7,05±0,052	7,09	7,19	7,12±0,47
Conductivité électrique (µS/cm)	823	870	842,5±19,77	817	840	828,5±9,47
Nitrates (mg. L ⁻¹)	0,0006	0,006	0,002±0,002	0,009	0,05	0,024±0,018
Ortho phosphates (mg. L ⁻¹)	0,0001	0,0005	0,0003±0,0001	0,002	0,03	0,0115±0,013
Azote total (mg. L ⁻¹)	0,008	1	0,455±0,52	0,008	1,8	0,798±0,89
Phosphore total (mg. L ⁻¹)	0,003	0,03	0,0105±0,013	0,01	0,2	0,0725±0,088
Ammonium (mg. L ⁻¹)	0,0004	0,008	0,0025±0,003	0,003	0,09	0,027±0,042

En ce qui concerne les teneurs en éléments nutritifs à base d'azote (nitrates, ammoniums et azote total) et de phosphore (ortho-phosphates et phosphore total), elles ont été très faibles dans les eaux des deux stations étudiées (Tab. 1, 2), ce qui témoigne de l'absence de toute source de pollution. De plus, les teneurs en ces éléments restent très inférieures aux valeurs maximales admissibles par les normes marocaines, françaises ou par l'O.M.S. Sachant que ces deux stations sont situées dans une région agricole (plaine de Saïss), les faibles teneurs en ces éléments justifient les origines très profondes de leurs eaux.

Les concentrations moyennes du calcium (Ca^{2+}) dans la station thermale Moulay Yaâcoub ont été de 812,89 mg.L^{-1} pour l'eau de la fontaine et de 834,52 mg.L^{-1} pour l'eau de piscine, alors qu'elles ont été plus faibles dans la station Ain Allah (70,41 mg.L^{-1} en eau de fontaine et 71,60 mg.L^{-1} en eau de piscine) (tab 3).

Les concentrations moyennes du potassium dans la station thermale Moulay Yaâcoub ont été de 320,91 et 319,95 mg.L^{-1} respectivement dans les eaux de la fontaine et de la piscine de cette station, alors que pour la station Ain Allah, les valeurs moyennes ont été plus faibles: de l'ordre de 2,18 mg.L^{-1} pour l'eau de la fontaine et de 3,10 mg.L^{-1} pour l'eau de la piscine (tab 3).

Tableau 3 : Valeurs moyennes des teneurs en sels minéraux (Ca^{2+} , K^+ et Na^+) et en métaux lourds dans les deux stations étudiées : Ain Allah (AA) et Moulay Yaâcoub (MY).

	Eau de la fontaine MY	Eau de la piscine MY	Eau de la fontaine AA	Eau de la piscine AA
Ca^{2+} (mg.L^{-1})	834,52	812,89	70,41	71,60
Cr^- (mg.L^{-1})	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cu^{2+} (mg.L^{-1})	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
K^+ (mg.L^{-1})	320,91	319,95	2,18	3,10
Mn^{2+} (mg.L^{-1})	0,77	0,72	0,13	0,12
Ni (mg.L^{-1})	0,113	0,117	<0,01	<0,01
Na^+ (mg.L^{-1})	1737,57	1730,5	54,61	63,61
Pb (mg.L^{-1})	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Zn (mg.L^{-1})	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Les concentrations moyennes de sodium ont été de l'ordre de 1737,57 mg.L^{-1} et de 1730,5 mg.L^{-1} respectivement dans les eaux de la fontaine et de la piscine de Moulay Yaâcoub et de 54,61 mg.L^{-1} et 63,61 mg.L^{-1} respectivement dans les eaux de la fontaine et de la piscine d'Ain Allah.

Les concentrations moyennes de Mn^{2+} ont été de l'ordre de 0,77 et 0,72 mg.L^{-1} respectivement dans les eaux de la fontaine et la piscine de Moulay Yaâcoub et de 0,13 et 0,12 mg.L^{-1} respectivement dans les eaux de la fontaine et la piscine d'Ain Allah. En effet, les teneurs élevées trouvés dans la station Moulay Yaâcoub traduirait des circulations profondes au contact d'un encaissant de nature magmatique et/ou cristallophyllienne très minéralisée. Ainsi, les extrusions très minéralisées reflétant la nature du socle, découvertes dans cette région, sont intimement associées aux sources thermales de M Y [13].

Les eaux des deux stations présentent généralement de très faibles concentrations (inférieures à 0,01 mg.L^{-1}) en certains métaux lourds Cr ; Cu ; Ni ; Pb et Zn.

Ces résultats concordent avec les valeurs trouvées dans les eaux de la station Ain Allah par Salame et al. [16] et répondent aux normes en vigueur (NM 03.07.001) et avec les valeurs trouvées par Lakhdar et al. [11] concernant les eaux de Moulay Yaâcoub. Ces dernières ne sont pas consommables à cause de leur forte salinité mais sont conseillées pour le traitement de maladies rhumatismales et des arthroses ainsi que des maladies cutanées (acné, eczéma, psoriasis entre autres) [17] car les eaux soufrées sont reconnues avoir une action anti-inflammatoire et immunitaire locale (regranulation des mastocytes) et anti-hypoxique. En effet, il existe de nombreuses cibles thérapeutiques du H_2S dont le cancer, l'insuffisance cardiaque, la transplantation d'organes, périphérique, les maladies artérielles, les maladies intestinales inflammatoires, la maladie d'Alzheimer [23,24].

La teneur en calcium trouvée dans la station Ain Allah est proche de celle des eaux thermales d'Avène qui ont révélé leur bénéfice thérapeutique dû à cet élément dans le traitement de certaines pathologies dermatologiques, par la régulation du calcium intracellulaire au niveau des kératinocytes [25,26].

Selon Pecastaings et al. (2009) [2], la composition physico-chimique d'une eau minérale naturelle lui confère des propriétés favorables à la santé. Plusieurs auteurs ont montré l'effet des eaux thermales dans le traitement de

certaines maladies telles que la dyspepsie fonctionnelle, le syndrome du côlon irritable et les troubles fonctionnels des voies biliaires [27,28].

3-2 Paramètres microbiologiques

Les densités bactériennes de la flore totale énumérée dans les eaux de fontaines étudiées à 22 °C et à 37 °C sont très faibles et respectent la norme marocaine des eaux minérales (figure 1). Les valeurs moyennes sont respectivement 3 UFC/ml et 5 UFC/ml pour les microorganismes de la flore mésophile aérobie totale (FMAT) à 22 et 37 °C à Moulay Yaâcoub et de 7 UFC/ml et 9 UFC/ml à Ain Allah. Les bactéries indicatrices de contamination fécale : coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF), streptocoques fécaux (SF) ne sont pas détectées, dans l'eau de la fontaine des deux stations étudiées (Figure 1).

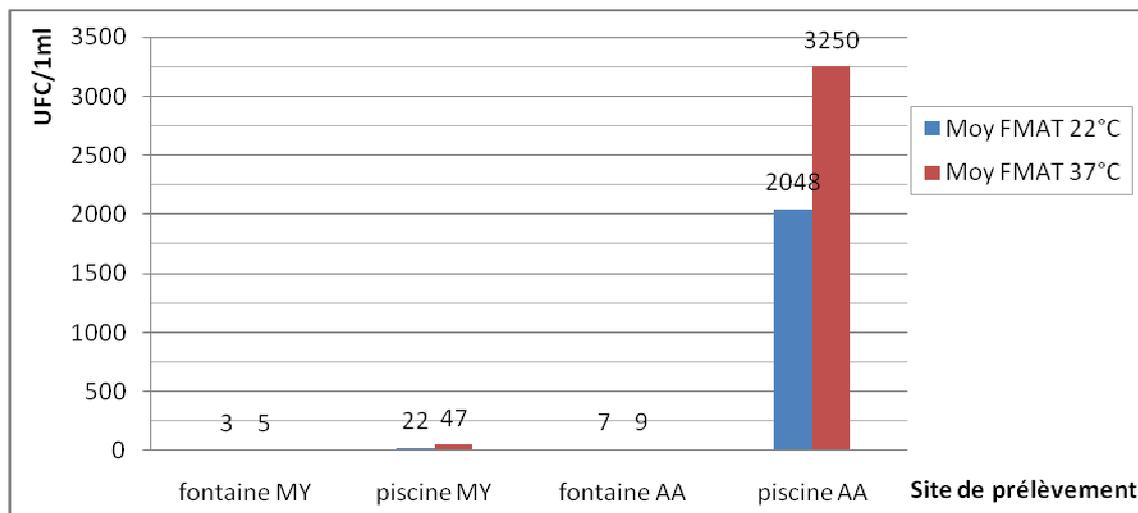


Figure 1: Valeurs moyennes des microorganismes de la flore mésophile aérobie totale (FMAT) dans les différents points de prélèvements MY: Station thermale Moulay Yaâcoub, AA: Station thermale Ain Allah.

Ceci permet de conclure que les eaux de ces sites sont bien protégées *vis-à-vis* de toute contamination fécale. Ce qui est concordant avec les résultats de Salame et al. [16] concernant l'eau thermale d'Ain Allah.

Les résultats d'analyse des eaux de fontaine d'Ain Allah répondent aux valeurs fixées par la circulaire marocaine du 9 Mai 1983 relative à l'analyse bactériologique des eaux minérales de boisson et à la norme marocaine 03.07.001 /2006 relative aux eaux de boisson humaine.

Les résultats d'analyse des eaux de la piscine d'Ain Allah montrent des teneurs élevées en germes totaux à 37°C, avec des valeurs comprises entre 10^2 UFC/ml en hiver et $8 \cdot 10^3$ UFC/ml en été (Figures 1) et une moyenne de $3,25 \cdot 10^3$ UFC/ml. Le dénombrement trimestriel de la FMAT à 22°C montre que ces bactéries présentent une évolution similaire à celle de la FMAT à 37°C avec des valeurs comprises entre $9 \cdot 10^2$ UFC/ml en hiver et $5 \cdot 10^3$ UFC/ml en été et une moyenne de $2,05 \cdot 10^3$ UFC/ml, alors que les eaux de piscine de la station Moulay Yaâcoub ont de faibles teneurs et respectent donc les normes avec des valeurs moyennes de l'ordre de 22 UFC/ml à 22°C et 47 UFC/ml à 37°C (Figures 1).

Dans les eaux de piscine, les densités observées pour les indicateurs de contamination fécale au cours de cette étude sont élevées en été et en automne, alors qu'elles sont plus faibles en hiver et moyennes au printemps dans les deux stations. Les concentrations ont varié de 3 UFC/100ml en hiver dans la piscine Moulay Yaâcoub à $5 \cdot 10^3$ UFC/100ml enregistrées en été dans la piscine de Ain Allah (Figure 3). C'est dans cette dernière piscine que les valeurs les plus élevées ont été enregistrées ($m = 1,2 \cdot 10^3$ UFC/100ml), alors que dans la piscine Moulay Yaâcoub les valeurs ont été beaucoup plus faibles ($m = 18,41$ UFC/100ml). En effet, cette faible densité serait due à l'action antiseptique de ces eaux soufrées qui est à l'origine de l'interaction entre les radicaux de soufre et d'oxygène qui conduit à la formation de sous-produits tels que l'acide penta thionique ($H_2S_5O_6$), qui peut être à

l'origine de l'activité antibactérienne et antifongique de cette eau thermale [29] et de l'action bactéricide modérée sur les souches de *S. aureus*; qui pourraient être reliées aux ions manganèse et iodure [30].

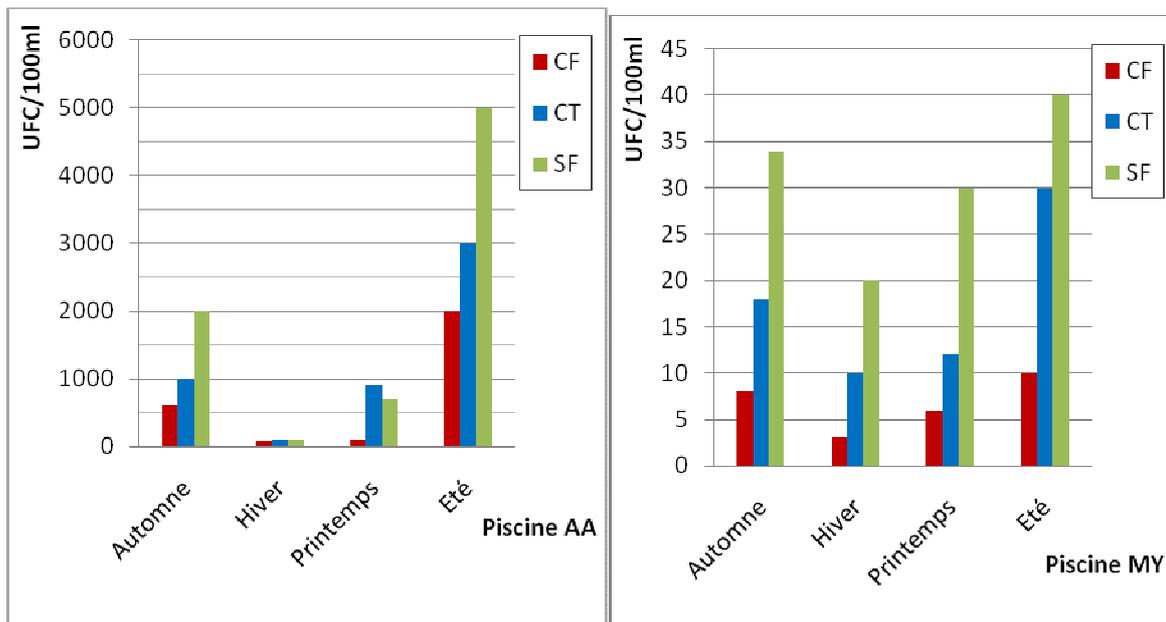


Figure 3 : Valeurs saisonnières des CT, CF, SF dans les eaux de la piscine Ain Allah (AA) et Moulay Yaâcoub (MY):
(CT) : Coliformes Totaux; (CF) : Coliformes Fécaux ; (SF) : Streptocoques Fécaux.

Les valeurs enregistrées pour les concentrations des germes indicateurs de la pollution fécale ont été plus importantes que celles rapportées par Salame et al. [16] concernant la piscine d'Aïn Allah. De plus, ce sont les streptocoques fécaux qui ont dominé la flore bactérienne indicatrice de la pollution (50 % de ces germes), alors que les coliformes totaux et fécaux ont représenté 32 % et 18% respectivement. Il en est de même pour la piscine Moulay Yaâcoub, avec 56% de streptocoques fécaux suivis par les coliformes totaux (32 %) et enfin les coliformes fécaux (12 %). Ceci pourrait être expliqué par le nombre plus élevé de gens qui ont fréquenté la piscine et par le non respect des règles d'hygiène.

Concernant le cadre réglementaire, les eaux de piscine d'Aïn Allah présentent une forte charge en bactéries entériques qui dépasse les valeurs tolérables fixées par la norme marocaine des eaux de piscine, décrite dans le manuel de microbiologie du Ministère de la Santé (1997). Ceci pourrait constituer un risque sanitaire pour les baigneurs.

En effet, les procédures de désinfection, chloration ou traitements ozone, largement adoptées en piscines, ne sont généralement pas applicables aux piscines de spa ni aux piscines thermales car elles peuvent réduire la qualité physicochimique de l'eau [31] en affectant les teneurs notamment en oligoéléments, en sulfures et en carbonates. Ce qui augmente le risque d'introduction, par des voies fécales et non fécales (crachats, salive ou peau), d'une variété de micro-organismes dont certains peuvent être pathogènes dans de telles piscines [32].

Par ailleurs, la présence des streptocoques dans les piscines de natation peut être liée au nombre important de nageurs d'une part et au non respect des règles d'hygiène d'autre part. La forte concentration de ces indicateurs est associée avec un risque épidémiologique élevé [33].

En effet, les baigneurs constituent les principales sources de contamination et par conséquent des dangers microbiologiques liés aux piscines, en rejetant un nombre élevé de microorganismes (environ 10^6 UFC), surtout pendant les 15 premières minutes d'immersion [34]. Un baigneur apporte environ $35 \cdot 10^6$ micro-organismes par l'intermédiaire de la peau, des muqueuses, des sécrétions rhinopharyngées, des matières fécales, etc [35]. Ce qui peut être à l'origine de diverses pathologies par contact [33]. Par ailleurs, la quantité moyenne de selles émise

par baigneur, en l'absence de tout incident de défécation, a été estimée à 140 mg, les enfants rejetant entre 10 mg et 10 g, les adultes entre 0,1 et 100 mg) [36].

Il est intéressant de préciser que nos prélèvements n'ont révélé la présence d'aucun germe anaérobie sulfite-réducteur ni de *Pseudomonas aeruginosa*. Cependant, les travaux de Salame et al. [16] ont détecté la présence de ces germes en période estivale dans l'eau de la piscine d'Aïn Allah. L'absence de *Pseudomonas*, dans cette étude, pourrait être expliquée par une coïncidence de nos prélèvements avec les périodes de vidange et de désinfection des piscines et/ou par les caractéristiques physico-chimiques particulières des eaux des deux stations étudiées, tel leur caractère mésophile / thermophile ainsi que la richesse de l'eau de Moulay Yaâcoub en H₂S. Par ailleurs, des études menées sur plusieurs stations thermales à travers le monde, ont mis en évidence la présence d'*E. coli* [32], des mycobactéries [37], de *Pseudomonas* [38,39] et du genre *Legionella* [40,41].

Conclusion

Les résultats obtenus dans ce travail montrent que les eaux prélevées au niveau de la fontaine d'Aïn Allah sont considérées comme des eaux méso-thermales dont les caractéristiques physicochimiques répondent aux normes marocaines des eaux potables.

L'eau de la station Moulay Yaâcoub est considérée comme hyperthermale. De plus, les résultats de notre analyse ont confirmé sa conductivité très élevée et sa teneur importante en H₂S. Ce qui explique que cette eau n'est pas destinée à la consommation humaine.

La composition minérale des eaux des deux stations en certains éléments majeurs tels que le Calcium peut offrir à ces eaux un bénéfice thérapeutique et un effet curatif dans le traitement de certaines pathologies dermatologiques.

La qualité bactériologique des eaux de la piscine Moulay Yaâcoub est satisfaisante, par contre les eaux de piscine de la station Aïn Allah sont caractérisées par une forte contamination par la flore mésophile et par les indicateurs de pollution fécale durant la période estivale.

Ce degré de contamination élevé dans l'eau de piscine de la station Aïn Allah serait essentiellement lié au nombre important des baigneurs et au non respect des règles d'hygiène. Ce qui doit inciter les autorités à prendre les mesures nécessaires pour la surveillance et le contrôle de la qualité des eaux utilisées dans cette station thermale.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier infiniment M^{lle} H. Knidri et Pr. T. Seffaj de la cité d'innovation (USMBA), ainsi que Dr. L. Bennani, Dr. S. Berrada et tous les membres du laboratoire régional de Diagnostic Epidémiologique et d'hygiène du milieu, Direction Régionale de la Santé, Fès, Maroc.

Références

1. Hakam O.K., Choukri A., Reyss L.L., Lferde M., *Rev. Sci. Eau*. 13 (2000) 185-192.
2. Pécastaings S., Dubourg K.M., Roques C., *Press. Therm. Climat* 146 (2009) 19-29.
3. Ben Moussa A., Chahlaoui A., Rour E.H., Chahboune M., *Sci Lib.*3 (2011) 1-17.
4. Ben Moussa A., Chahlaoui A., Rour E.H., Chahboune M., Aboukacem A., *Larhyss J.* 11 (2012) 17-36.
5. Hassoune E., El Kettani S., Koulali Y., Bouzidi A., *Rev. Microbiol. Ind. San. Environn.* 4 (2010) 1-21.
6. El Haissoufi H., Berrada S., Merzouki M., Abbouch M., Bennani L., Benlemlih M., Idir M., Zanibou A., Bennis Y., El Ouali Lalami A., *Rev. Microbiol. Ind. San. Environ.* 5(2011):37-68.
7. Fekraoui A., *Revue Énergies Renouvelables.* 07 (2007) 75-78.
8. Gokgoz A., Yilmazli I.E., Gungor I., Yavuzer I., *Proceedings. World Geothermal Congress* (2010) 25-29.
9. Direction Générale de la Santé, (2005) 22p.
10. Institut national de santé publique. Québec, (2009) 107p.
11. Lakhdar A., Ntarmouchant A., Ribeiro M.L., Beqqali M., EL Ouadeihe K., Benaabidate L., Dahire M., Driouche Y., Benslimane, A., *Comunicacoes Geologicas.* 93 (2006) 185-204.
12. Rimi, A., *Bull. Inst. Sci.* (2001) 1-6.
13. Lakhdar A., Ntarmouchant A., Ribeiro M.L., Beqqali M., et al., *Rev. Energ. Ren.* (2007) 81-84.
14. Ghazali D., Zaid A., *Larhyss Journal.* 12 (2013) 25-36.
15. Khayli I., Merzouki M., Benlemlih M., Maniar S., El Ouali Lalami A., *Cah de l'ASEES* 16 (2011) 27-39.

16. Salame B., Bahhou J., Bennani B., Hour R., Bennani L., *Sci Lib.* 5 (2013) 1-17.
17. Houti A., Fikri Benbrahim. K., El Ouali Lalami A., Zbadi L., Rachiq S., *Afri Sci.* 10 (2014)158-168.
18. Rodier J., Baszin C.J., Broutin P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., In : Quilbé J.M (eds.). 8^{ème} édition. Dunod, (1996).
19. Margui E., Queralt I., Carvalho ML., Hidalgo M., *Anal Chim Acta.* 549 (2005) 197-204.
20. Ben Moussa A., Chahlaoui A., Rour E.H, Chahboune M., *Sci Lib.* 5 (2013) 1-17.
21. Alayat H., Lamouroux C., *Press. Thermal. Climat.* 144 (2007) 191-199.
22. Zuppi G.M., Novel J. P., Dray M., Darmendrail X., Fudral S., Jusserand C., Nicoud G., *Geosci* 336 (2004) 1371-1378.
23. Predmore B.L., D.J. Lefer, G. Gojon., *Antioxid. Redox Signal* 17 (2012) 119-140.
24. Shatalin K., Shatalina E., Mironov A., Nudler E. *Sci.* 334 (2011) 986-990.
25. Guerrero D., *Presse.Therm. Climat.* 135 (1998) 7-12.
26. Bordat P., Toulmé E., Savignan F., Neuzil E., Dufy B., *Bull. Soc. Pharm.* 142 (2003) 7-24.
27. Grassi M., Lucchetta M.C., Grossi F., Raffa S., *Clin. Ter.* 153 (2002) 195-206.
28. Petraccia L., Masciullo G.S., Grassi M., Pace A., Lucchetta M.C., Valenzi V.I., Avino P., Fraioli A., *Clin Ter.* 156 (2005) 23-31.
29. Giampoli S., Valeriani F., Gianfranceschi G., Vitali M., Delfini M., Festa M.R., Bottari E., Spica R., *Microchem. J.* 108 (2013) 210-214.
30. Inoue T., Inoue S., Kubota K, *Acta Derm. Venereol.* 79 (1999) 360-362.
31. Giampaoli S., Bonadonna L., Romano Spica V., *Ann. Ig.* 23 (2011) 435-442.
32. Serrano C., Romero M., Alou L., Sevillano D., Corvillo I., Armijo F., Maraver F., *J. Water. Health.* 10 (2012) 400-405.
33. World Health Organisation (WHO). Guidelines for safe recreational water environments, swimming pools and similar environments, Vol. 2- *Water environments*. WHO Press, Geneva (2006). 118p.
34. Elmir S.M., Wright M.E., Abdelzaher A., et al., *Water Res.*41 (2007) 3-10.
35. Spinasse A., *J. Pediatr. Pueric.* 13 (2000) 334-341.
36. Gerba., *Quant. Microbiol.* (2000) 268p.
37. Briancesco R., Meloni P., Semproni M., Bonadonna L., *Microchem Journal.* 113(2014) 48-52.
38. Liu YC., Young L.S., Lin S.Y., Hameed A., Hsu Y.H., Lai W.A., Shen F.T., Young C.C., *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 63 (2013) 4591-4598.
39. Biing-teo W., Duu-jong L., *J. Biosci. Bioeng.* 117 (2014) 71-74.
40. Ghrairi T., Chaftar N., Jarraud S., Berjeaud J. M., Hani K., Frere J., *Research Microbiology.* 164 (2013) 342-350.
41. Liguori G., Valeria D.O., Gallè F., Liguori R., Nastro R .A., Guida M., *Microchem J.* 112 (2014) 109-112.

(2015) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>