



## MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme de licence science et technique  
Eau et Environnement

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2013/2014

### *Hydrochimie des eaux commercialisées au Maroc*

*Réalisé par :*

- ✚ Mohamed EL GHAZI
- ✚ Mehdi EL OUAZZANI CHAHDI
- ✚ Hamza ENNABIH

*Encadré par :*

- ✚ Pr. Lahcen BENAABIDATE

*Soutenu le 12 juin devant le jury:*

- ✚ Pr. A LAHRACH (FST Fès)
- ✚ Pr. M BEN ABDELHADI (FST Fès)
- ✚ Pr. L BENAABIDATE (FST Fès)
- ✚ Mr. O SADKI (ONHYM Rabat)



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

## **Dédicace**

*A nos chers parents dont la vie synonyme d'amour et de sacrifice : aucune dédicace ne saurait exprimer la reconnaissance du grand amour et de l'affection dont vous nous avez comblés.*

*A nos chers frères et à nos chères sœurs : que vous trouverez ici, le témoignage d'une fraternité indéfectible, que votre vie soit pleine de succès.*

*A nos ami(e)s, et à tous ceux qu'on aime et qui nous aiment : je dédie cet humble travail.*

*Sans oublier nos professeurs qui ont contribué à notre formation à la FST de Fès.*



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

## REMERCIEMENTS

Ce mémoire de fin d'étude est l'aboutissement d'une période où se succédaient joies et déceptions, réussites et échecs. Mais ce qui est sûr c'est que ce travail n'aurait pu voir le jour sans la contribution de nombreuses personnes. Ici nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à ce mémoire.

Nous tenons tout d'abord à remercier chaleureusement **Mr Abderrahim LAHRACH**, professeur et chef de département de sciences de la terre à la faculté des sciences et techniques de Fès, qui a assuré l'encadrement scientifique. Par sa disponibilité sans faille, ses conseils pour l'aboutissement de ce travail et pour l'amélioration du manuscrit nous lui exprimons ici toute notre gratitude.

Nous remercions également notre encadrant **Mr Lahcen BENAABIDATE**, pour avoir accepté de nous encadrer et de nous suivre tout au long de la réalisation de ce mémoire de fin d'étude, pour avoir montré un grand intérêt à ce travail, aussi pour ses conseils scientifiques très enrichissants pour son précieux encadrement durant la réalisation de ce projet, et de l'ensemble des connaissances qui nous a fourni tout au long de notre formation.

Nous remercions tous les membres de jury composé de **A.LAHRACH, M. BEN ABDELHADI, L. BENAABIDATE** et **O. SADKI** d'avoir accepté d'évaluer ce rapport. Nous sommes vraiment honoré de les voir comme membres de jury.

Un grand remerciement aussi à tous les professeurs de département de l'environnement, leurs encouragements et leurs soutiens moraux. D'une façon ou d'une autre, pour ceux qui nous ont aidés pendant notre travail de fin d'étude.

Nous tenons à remercier chaleureusement de tout nos cœurs nos familles de nous avoir, encouragées et supportées durant le long parcours de notre études. Nous leurs dédions ce mémoire.

Nous remercions également tous nos amis et collègues qui ont toujours été à nos côtés dans les moments difficiles.



## Sommaire

### Introduction générale .....

### Chapitre I : Classification des eaux commercialisées au Maroc

#### I. Les Catégories des eaux embouteillées .....

1. L'eau minérale naturelle .....

2. L'eau de source naturelle .....

3. L'eau de table traitée .....

#### II. Les principales eaux embouteillées au Maroc .....

1. <u>Introduction</u> .....	9
2. <u>Les eaux minérales naturelles d'Oulmès</u> .....	13
2.1. <u>L'Histoire</u> .....	13
2.2. <u>Cadre géographique du plateau d'Oulmès</u> .....	14
2.3. <u>Cadre géologique du plateau d'Oulmès</u> .....	15
2.4. <u>Les sources naturelles d'Oulmès</u> .....	16
✓ <u>La source Lalla Haya : Eau minérale gazeuse Oulmès</u> .....	16
✓ <u>La source Sidi Ali Cherif : Eau minérale Sidi Ali</u> .....	17
✓ <u>La source Hammou Agamgam : Eau minérale Aïn Atlas</u> .....	17
3. <u>Les eaux minérales naturelles : Sidi Harazem, Aïn Saiss</u> .....	18
3.1. <u>Sidi Harazem</u> .....	18
✓ <u>Généralité</u> .....	18
✓ <u>Cadre géologique de Sidi Harazem</u> .....	19
3.2. <u>Aïn Saiss</u> .....	20
✓ <u>Généralité</u> .....	20
4. <u>Les eaux de sources naturelles : Aïn Soltane, Aïn Ifrane, Chaouen</u> .....	20
4.1. <u>Aïn Soltane</u> .....	20
4.2. <u>Aïn Ifrane</u> .....	21
✓ <u>Généralité</u> .....	21
✓ <u>La source bensmim</u> .....	21
4.3. <u>Chaouen</u> .....	21
5. <u>Les eaux de table traitées : Bahia, Bonaqua, Ciel, Mazine, Hania</u> .....	22



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

Chapitre II : Etude hydrochimique des eaux commercialisées

I. <u>Introduction à l'hydrochimie</u> .....	
II. <u>Signification des faciès chimique</u> .....	
III. <u>L'hydrochimie des eaux commercialisées</u> .....	
1. <u>Etude générale</u> .....	24
2. <u>Classification des faciès chimiques</u> .....	27
2.1. <u>Faciès bicarbonaté calcique et magnésien</u> .....	27
2.2. <u>Faciès bicarbonaté sodique et potassique</u> .....	29
2.3. <u>Faciès chloruré sodique et sulfato-potassique</u> .....	31
2.4. <u>Faciès chloruré sulfaté calcique et maagnésien</u> .....	33
3. <u>Traitement statistique des données</u> .....	35
3.1. <u>Introduction</u> .....	35
3.2. <u>Application</u> .....	36
3.2.1. <u>Similarité / Dissimilarité</u> .....	36
3.2.2. <u>Analyse en compantes principales (ACP)</u> .....	37
a) .....	
Valeurs propres .....	38
b) .....	
Corrélation entre les variables et les facteurs .....	38
c) .....	
Contribution des variables .....	39
d) .....	
Représentation graphique .....	39
<u>Conclusion générale</u> .....	

**Liste des figures :**

Figure 1 : Carte Structural du Maroc au 1/ 4.000.000 des domaines Mésetien et Atlasique [6].....	11
Figure 2 : carte géologique du plateau d'Oulmès tirée à partir des cartres géologiques 1/50000 d'Oulmès et de Tifoughaline.....	12
Figure 3 : Carte topographique de la Source Lalla Hava.....	13



**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah**  
**Faculté des Sciences et Techniques de Fès**  
**Département de sciences de la Terre**

Figure 4 : Carte topographique de la Source Sidi Ali.....	14
Figure 5 : Carte topographique de la source Hammou Agamgam.....	15
Figure 6 : Paléogéographie de la partie est du Saïs (Plaine de Fès) au Pliocène supérieur : Alimentation du bassin lacustre de Saïs par le Paléofleuve de Sebou ; coupe générale N-S dans le bassin lacustre de Saïs montrant le passage latéral de faciès.....	16
Figure 7 : carte et coupe géologique illustrant la relation entre la position résurgence principale de la source, les formations géologiques et les structures tectoniques au niveau de la source Ras El Ma.....	19
Figure 8 : Projection sur le diagramme de piper des analyses des eaux embouteillées.....	22
Figure 9 : Projection sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff des analyses des eaux embouteillées..	23
Figure 10 : Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux de faciès chimique bicarbonaté calcique et magnésien.....	24
Figure 11 : Projection sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff des résultats des analyses des eaux de faciès chimique bicarbonaté calcique et magnésien.....	25
Figure 12 : Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux de faciès chimique bicarbonaté sodique et potassique .....	26
Figure 13 : Projection sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff des résultats des analyses des eaux de faciès chimique bicarbonaté sodique et potassique.....	27
Figure 14 : Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux de faciès chimique chloruré sodique et sulfato-potassique.....	28
Figure 15 : Projection sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff des résultats des analyses des eaux de faciès chimique chloruré sodique et sulfato-potassique.....	29
Figure 16 : Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux de faciès chimique chloruré et sulfaté calcique et magnésien.....	30
Figure 17 : Projection sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff des résultats des analyses des eaux de faciès chimique chloruré et sulfaté calcique et magnésien.....	31
Figure 18 : Représentations des valeurs propres des axes et leur variabilité.....	36
Figure 19 : Représentation graphique des variables en %.....	37
Figure 20 : Représentation graphique des individus.....	38

### Liste des tableaux

Tableau 1 : Analyses chimiques des eaux embouteillées.....	24
Tableau 2 : La balance ionique des analyses des eaux embouteillées.....	25
Tableau 3 : Min, Max, Moyenne et Ecart-type des variables traitées des eaux embouteillées.....	36
Tableau 4 : Résultats du test de sphéricité de Bartlett.....	36
Tableau 5 : Matrice de corrélation pour les variables en analyses chimiques des eaux embouteillées..	37
Tableau 6 : Valeurs propres de chacun des axes et leur variabilité en %.....	38
Tableau 7 : Corrélation entre les variables et les facteurs.....	38
Tableau 8 : Contribution des variables en %.....	39



## Introduction générale

Le marché marocain des eaux minérales est un marché en pleine expansion, il est évalué à 1.5 milliard de DHS avec la présence de 11 marques concurrentes et une consommation annuelle de 450 millions de litres.

Entre 2006 et 2011 la consommation des eaux minérales a triplé pour atteindre 450 millions de litres, soit 15 litres par habitant et par an [1]. Cette hausse peut s'expliquer d'abord par la multiplicité des marques présentes sur le marché (Oulmes, Sidi Ali, Sidi Harazem, Aïn Saiss, Aïn Atlas, Aïn Soltane, Chaouen, Aïn Ifrane, Bahia, Bonaqua et Ciel) ainsi que par la bataille que se livrent les sociétés concurrentes au niveau de la diversification des produits et des contenances, outre la bouteille classique de 1,5 litre, presque tous ont mis sur le marché des contenances spécifiques aux enfants, soit le 33 cl, et le 75 cl destiné aux sportifs. Par ailleurs, plusieurs marques ont lancé le bidon de 5 litres pour une consommation familiale. On assiste aussi sur le changement dans les habitudes de consommation des marocains de plus en plus sensibilisés à une



**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah**  
**Faculté des Sciences et Techniques de Fès**  
**Département de sciences de la Terre**

alimentation saine et équilibrée. Ensuite, il y a lieu de citer le développement des loisirs et des voyages qui a favorisé parallèlement une consommation dans les cafés, hôtels et restaurants, sans oublier les rôles que jouent les opérateurs du secteur à sensibiliser à l'importance de la consommation d'eaux minérales naturelles.

En effet, ces raisons à permis aux grands groupes d'asseoir de nouveaux modèles, des standards de qualité, de s'imposer sur le marché national, voire même exporter. Cette mutation a encouragé la création de nouvelles marques et la pérennité des produits historiques. Derrière cette tendance, la perte de confiance en la qualité de l'eau du robinet, la recherche d'une consommation équilibrée et nutritive, ainsi que l'amélioration du pouvoir d'achat. De plus en plus de consommateurs marocains se tournent vers une consommation plus régulière d'eau minérale naturelle.

## **Chapitre I : Classification des eaux commercialisées au Maroc**

### **I. Les catégories des eaux embouteillées :**

Il existe plusieurs classifications possibles des eaux en bouteilles. Ainsi, selon leurs sources et les traitements subis, trois catégories d'eaux conditionnées se trouvent sur le marché marocain [2].

#### **1. L'eau minérale naturelle :**

Elle est par définition douée de propriétés médicinales. D'après la réglementation, c'est «une eau possédant un ensemble de caractéristiques de nature à lui apporter ses propriétés favorables à la santé». L'appellation «eau minérale naturelle» est accordée après constitution d'un dossier complet accepté par le Ministère de la Santé. Elle doit subir des contrôles réguliers réalisés par des laboratoires agréés par ce ministère. Elle est caractérisée par sa pureté originelle (origine souterraine à l'abri de tout risque de pollution), sa composition physico-chimique et sa température constantes, ainsi que par l'absence de contamination bactérienne. Elle ne subit pas de traitement ou de stérilisation, en dehors de l'éventuelle séparation des éléments instables comme le fer ou le soufre, d'où l'appellation « naturelle ».

#### **2. L'eau de source naturelle :**

C'est une eau dont les propriétés médicinales ne sont pas encore reconnues. Elle est définie par une émergence naturelle ou forée, sa composition physico-chimique constante, et l'absence de traitement sauf ceux autorisés par la législation en vigueur. Contrairement à l'eau minérale, tenue à une stabilité en sels minéraux et oligo-éléments,



**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah**  
**Faculté des Sciences et Techniques de Fès**  
**Département de sciences de la Terre**

l'eau de source ne subit pas ces contraintes ce qui justifie qu'elle soit moins chère puisque sa teneur en minéraux et oligo-éléments est variable et non garantie.

### **3. L'eau de table traitée :**

Elle a pour origine un gisement souterrain. Elle doit être microbiologiquement pure, avec une minéralisation constante et apte à la consommation humaine par des traitements autorisés par la législation en vigueur.

Toutes ces catégories d'eaux peuvent être vendues éventuellement sous la forme «gazeuse», naturelle ou pas. Quand elle est naturellement gazeuse, l'eau à la même teneur en gaz en bouteille qu'à la source. Elle peut bénéficier d'un rajout de gaz provenant de la source et être toujours naturellement gazeuse. Enfin, l'eau peut être renforcée avec du gaz autre que celui de la source, c'est à dire par adjonction de gaz carbonique.

Plusieurs autres paramètres interviennent dans la classification des eaux conditionnées comme le débit et la température à la source, le point de congélation, le résidu sec à 180° et l'ion prédominant [3]. Ces deux derniers critères sont importants à considérer puisqu'ils ont des conséquences directes sur le choix de l'eau en bouteille.

Le résidu sec à 180° est la quantité des sels en grammes après évaporation de 1 litre d'eau minérale à 180°C. Il permet de définir :

- l'eau riche en minéraux (résidu sec > 1500 mg/l),
- l'eau à contenu moyen en minéraux (résidu sec entre 500 mg/l et 1500 mg/l),
- l'eau à faible contenu en minéraux (résidu sec entre 50 mg/l et 500 mg/l),
- et l'eau à très faible contenu en minéraux (résidu sec < 50 mg/l).

Les eaux à faible ou à très faible contenu en minéraux ont un effet diurétique particulièrement important dans la prévention des lithiases. Elles sont également utilisées dans la préparation du lait artificiel pour le nourrisson.

## **II. Les principales eaux embouteillées au Maroc :**

### **1. Introduction :**

Au Maroc, l'eau plate et l'eau gazeuse représentent respectivement 85% et 15% de parts de marché. Les principaux acteurs sont Sotherma, Oulmès et Al Karama. Trois sociétés avec des produits qui ne sont pas de la même catégorie (eau minérale, eau gazeuse, eau de source et eau de table). D'une valeur de 1,5 milliard de DH, selon le site de boisson sans alcool, le marché reste dominé par les eaux plates qui représentent 91% de la consommation, dont 70% d'eaux minérales, contre 9% pour les eaux gazeuses.

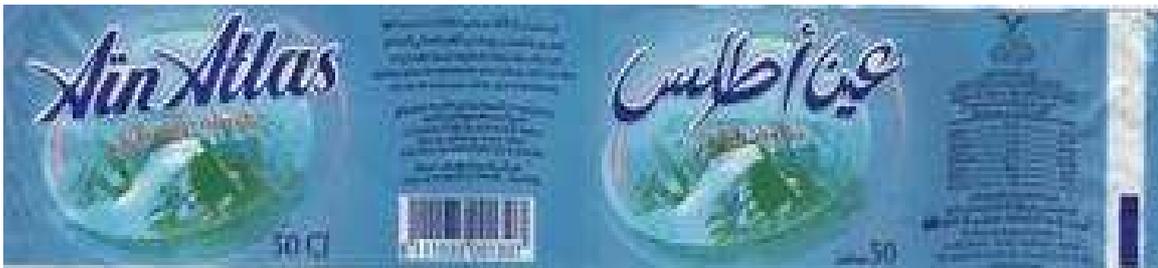
On peut trouver les eaux minérales naturelles plates, les eaux minérales naturelles gazeuses, les eaux de source et les eaux de table. L'essentiel de l'offre est produit par les sociétés locales :

- *Parmi les eaux minérales gazeuses on trouve :*



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

- **Oulmès**, prélevée à Lalla Haya (Tarmilate, Région de Khemisset) par « les Eaux Minérales d'Oulmès », filiale de Holmarcom



- Parmi les eaux minérales naturelles plates :

- **Sidi Ali**, prélevée à "Moulay Ali Cherif" (Bassin Tarmilate, Région de Khemisset) par les des Eaux Minérales d'Oulmès, filiale de Holmarcom.
- **Ain Atlas**, prélevée à « Hammou Aguemguem » (Région du Moyen Atlas, Oulmes) par les des Eaux Minérales d'Oulmès, Holmarcom.





Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

- **Sidi Harazem**, prélevée à "Sidi Harazem" (Région de Fès) par Sotherma, filiale de Brasseries du Maroc et l'ONA (Omnium Nord African).



- **Ain Saïss**, prélevée à "Ain Saïss" (Région de l'Atlas) par de Danone-Sotherma, filiale



Brasseries du Maroc et l'ONA.

- Dans la catégorie des eaux de sources naturelles :
- **Ain Soltane**, prélevée à « Ain Soltane » (Région du moyen Atlas, dans la province de Sefrou, Région de Fès Boulemane) par Al Karama-Ynna Holding.



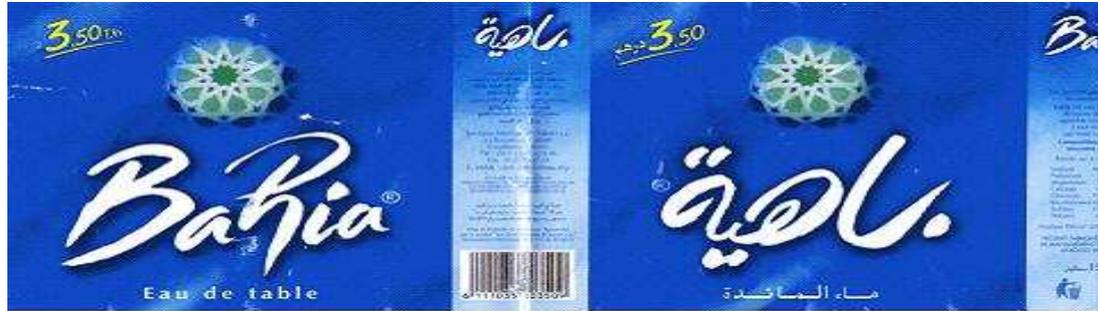
- **Chaouen**, prélevée à « Ain Sahel Kharrouba » (50 Km de Tétouan) par Water Minéral Chefchaouen.
- **Rif** : Mise en bouteille à « Ain Sahel Kharrouba » par Water Minéral Chefchaouen.





Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

- Aïn Ifrane, prélevée à « Ben Smim » dans la région d'Ifrane par Brasseries du



es eaux de table traitées et minéralisées sont :



aitée et embouteillée par « Les Eaux Minérales d'Oulmès », Holmarcom.



- Hania : Mise en bouteille par « SALIMCO », Berrechid-Casablanca.

- Mazine : Mise en bouteille par « VCR-SODALMU », Berrechid-Maroc.



M  
a  
r  
o  
c  
.  
L  
.  
B  
a  
h  
i  
a  
,  
t  
r



## 2. Les eaux minérales naturelles d'Oulmès :

### 2.1. *L'Histoire :*

Acteur majeur du paysage économique du pays, « les Eaux Minérales d'Oulmès » incarne aux yeux de tous les Marocains, une entreprise pionnière dans le secteur des eaux minérales, à travers le lancement de produits phares et emblématiques, tels que Oulmès et Sidi Ali. Leader incontesté du marché de l'eau, avec une offre complète et diversifiée, l'activité des Eaux Minérales d'Oulmès, filiale du groupe Holmarcom concerne l'ensemble des activités de la chaîne de valeur : captage, production et embouteillage.

La société « les Eaux Minérales d'Oulmès » voit le jour le 7 mars 1933, grâce à l'impulsion de Feu Abdelkader Bensalah. La concession d'exploitation est accordée dans un rayon de 30 km autour du point géodésique d'Oulmès, un territoire riche d'où jaillissent de nombreuses sources. A l'époque, seule la source Lalla Haya est alors



exploitée (Oulmès). L'eau

de la source Sidi Ali Chérif ne fera son apparition sur le marché qu'en 1978.

Dans le cadre d'une stratégie de diversification de son offre, d'autres marques sont commercialisées : l'eau de table Bahia à partir de 2001 et Aïn Atlas en 2008. Ces produits, plus accessibles, correspondent mieux aux réalités économiques du pays et aux attentes des consommateurs.

Le siège des Eaux Minérales d'Oulmès est basé depuis ses débuts dans la zone industrielle de Bouskoura, à Casablanca, au cœur d'un domaine s'étendant sur plusieurs hectares.

#### *Les dates clés de l'histoire des Eaux Minérales d'Oulmès :*

✓ 1933

Le 7 février 1933, les « Les Eaux Minérales d'Oulmès » voit le jour sous l'appellation « Société des Eaux Minérales d'Oulmès », grâce à une concession du Protectorat. La première bouteille d'Oulmès est mise sur le marché dès 1934.



**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre**

✓ 1978

Une année qui marque un tournant décisif dans l'activité des Eaux Minérales d'Oulmès, avec l'exploitation de la source « Sidi Ali Chérif », à l'origine de la marque Sidi Ali.

✓ 2001

En 2001, Oulmès innove en lançant la gamme Oulmès légère, une déclinaison de la traditionnelle eau pétillante. Avec la commercialisation de ce nouveau produit, une nouvelle étape importante est franchie dans la recherche et le développement.

La gamme se diversifie avec le lancement de Bahia, une nouvelle marque d'eau de table. A travers Bahia, Les Eaux Minérales d'Oulmès traduit sa volonté de satisfaire le plus grand nombre de consommateurs et consolide sa position de leader incontesté du marché de l'eau.

✓ 2009

Lancement de l'eau minérale Aïn Atlas, dernier né dans le paysage des Eaux Minérales d'Oulmès, qui se positionne comme une gamme intermédiaire, entre Sidi Ali et Bahia.

## *2.2. Cadre géographique du plateau d'Oulmès :*

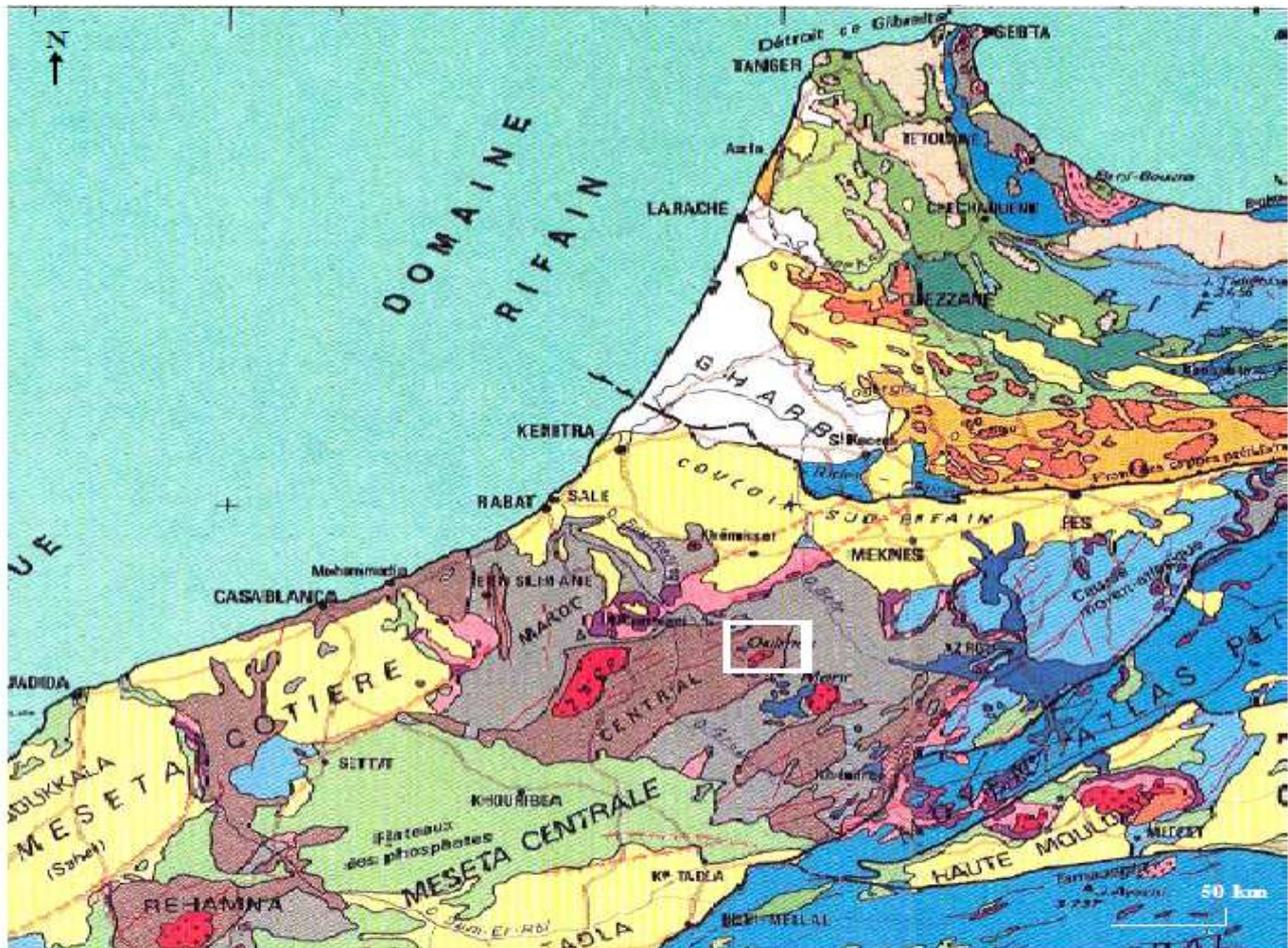


Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

Le plateau d'Oulmès est situé dans sa totalité, dans la méséta centrale, encore appelé plateau « central marocain » [4]. Celui-ci se présente comme un vaste quadrilatère dont Rabat, Azrou, Kasbat Tadla et Casablanca marquent les sommets. Il est limité au nord par le couloir Sud-Rifain, au sud par le plateau des phosphates, à l'est par le Moyen Atlas et à l'ouest par la Méséta côtière (Figure 1).

Figure 1 : Carte Structural du Maroc au 1/ 4.000.000 des domaines Mésetien et Atlasique [5].

2.3. Cadre géologique du plateau d'Oulmès :  
✓ contexte lithologique :



L'évolution géologique du plateau d'Oulmès s'inscrit dans l'évolution générale du plateau central et de ses bordures.

Les formations géologiques affleurantes dans la zone d'étude sont constituées principalement par (Figure 2) :

- Formation cristalline occupant le centre de la zone d'étude.
- Des formations cristallophylloïennes occupant le reste du secteur d'étude.



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

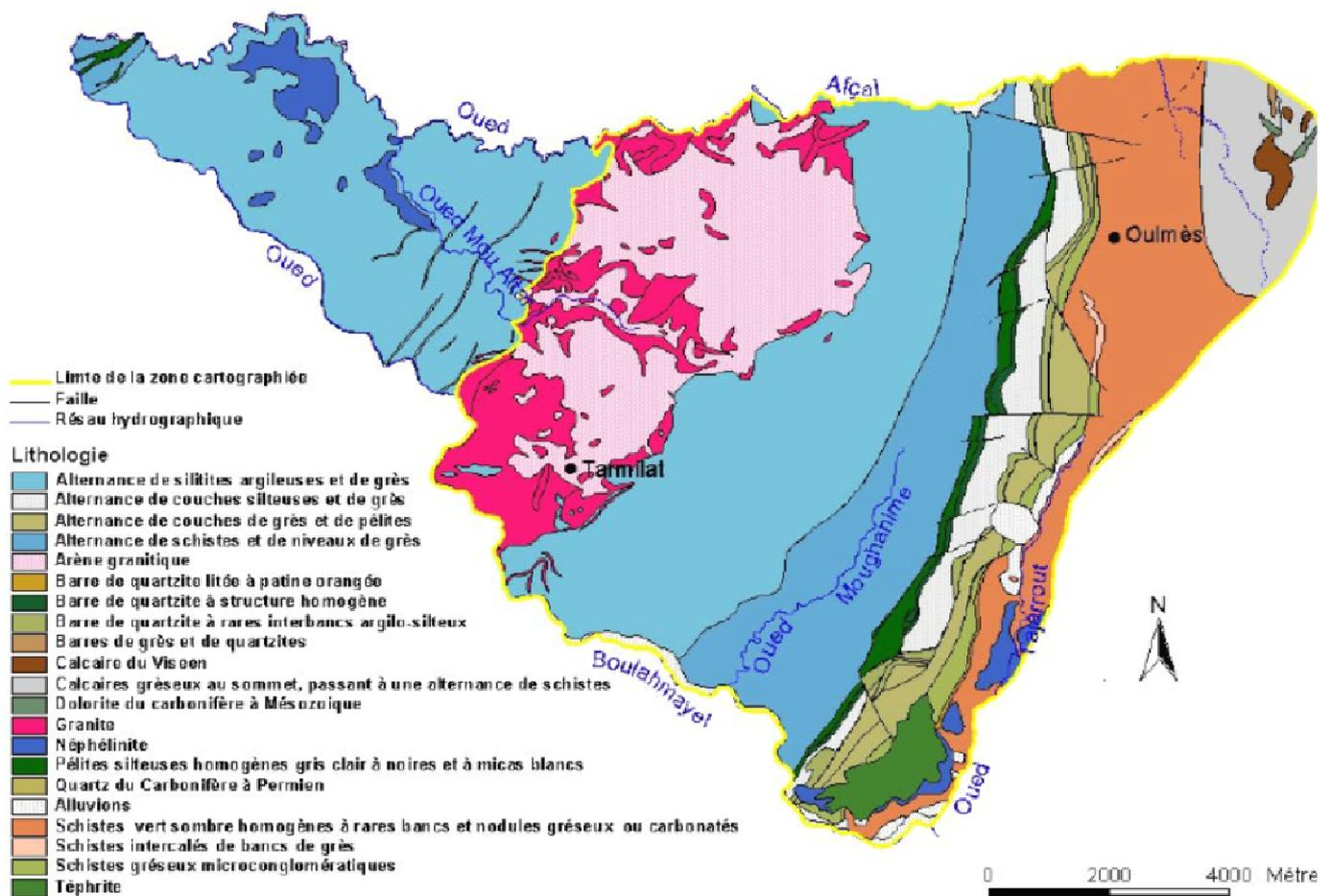
A celui-ci s'ajoutent : des formations volcaniques, des formations superficielles (arène granitique et alluvions localisés sur les rives d'oueds) [6].

Figure 2 : carte géologique du plateau d'Oulmès tirée à partir des cartres géologiques 1/50000 d'Oulmès et de Tifoughaline.

#### 2.4. Les sources naturelles d'Oulmès :

✓ La source **Lalla Haya** : Eau minérale gazeuse **Oulmès**

La source Lalla Haya jaillit au pied du plateau de Tarmilate et du massif de Zguit, à 552 m d'altitude, sur les rives de l'Oued Aguenour. Découverte en 1933, elle est située



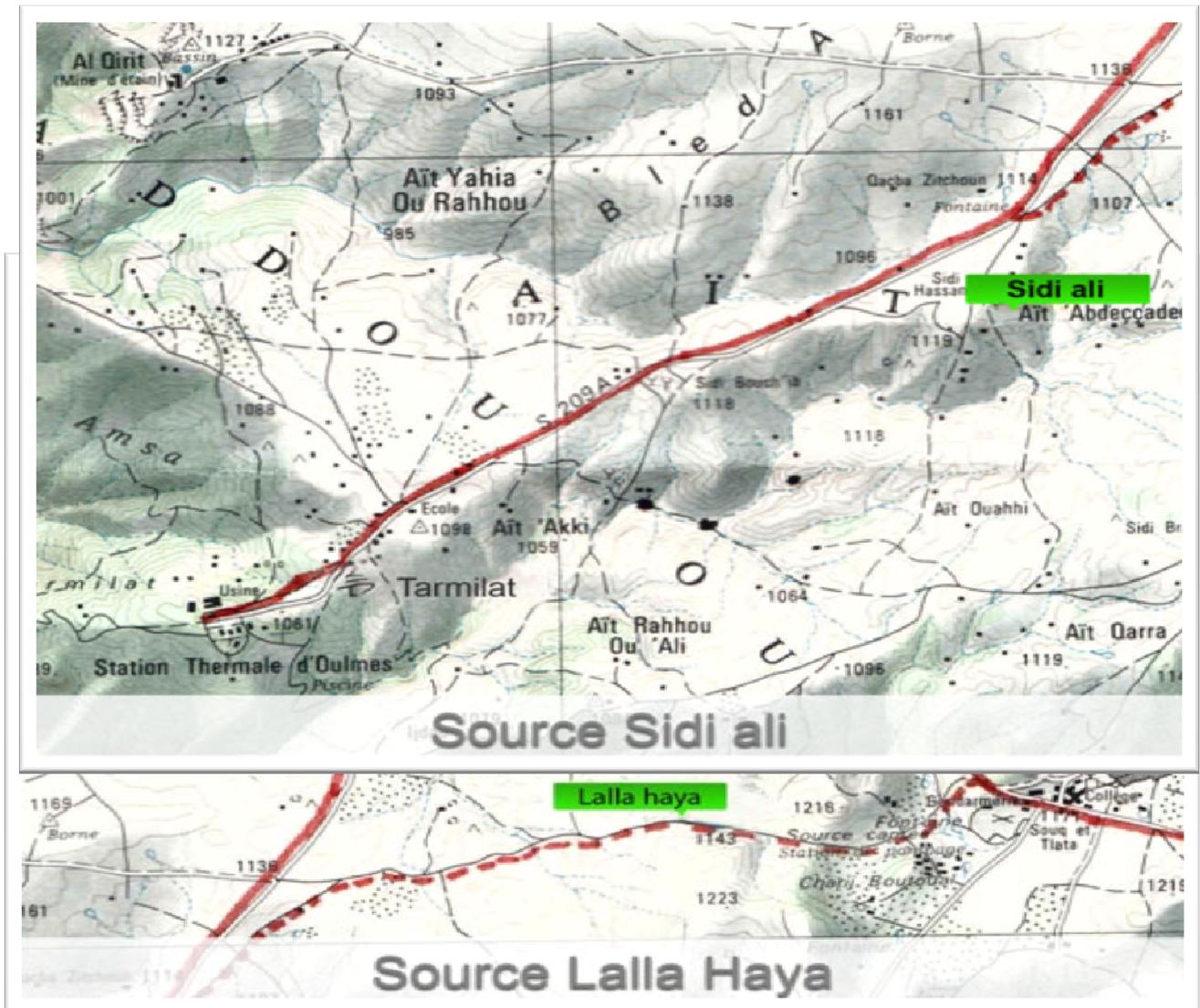
au cœur d'une région très boisée, essentiellement composée de chênes-lièges centenaires. Essentiellement volcanique, la source Lalla Haya est bicarbonatée, ferrugineuse et sulfureuse. L'eau provient de plusieurs milliers de mètres de profondeur sous forme de vapeur, poussée par le gaz carbonique qui remonte à la surface. L'eau y jaillit naturellement à une température de 42°C (Figure 3).



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

Figure 3 : Carte topographique de la Source Lalla Haya.

**Oulmès** est une eau minérale naturellement gazeuse à la source, un cas unique au Maroc, un miracle de la nature qui trouve sa source au pied des montagnes du Moyen-Atlas. Rafrâichissante et pétillante. Elle puise sa minéralité unique dans les profondeurs des roches volcaniques et remonte vers la surface, poussée par les bulles de gaz



carbonique, entre les schistes et les granites. L'eau jaillit à  $42.8^\circ$ , une propriété qui fait d'Oulmès une eau aux vertus thérapeutiques reconnues. Riche en gaz carbonique, en oligoéléments, en calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, lithium et fluor, des minéraux essentiels qui participent à la préservation de la capitale santé.

✓ *La source Sidi Ali Cherif : Eau minérale Sidi Ali*

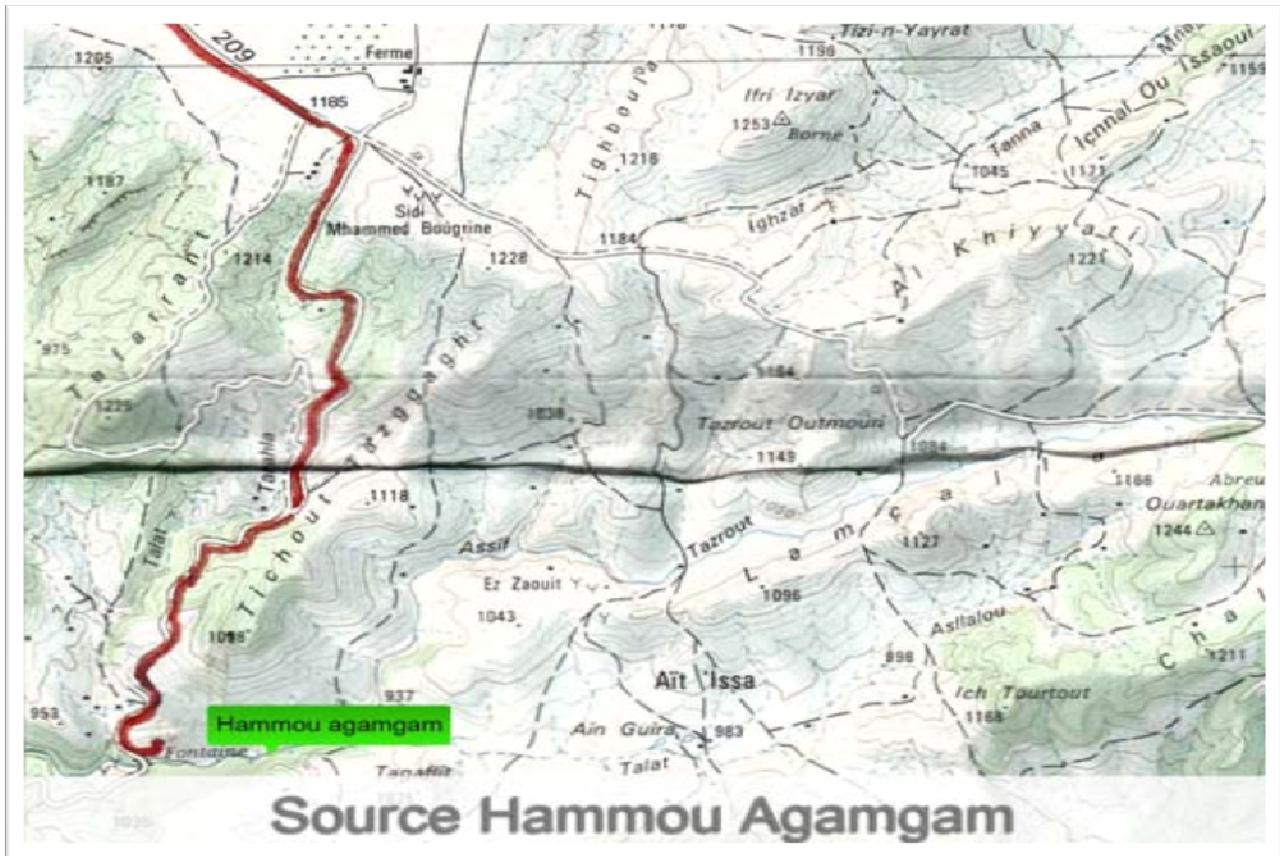
Découverte en 1972, la source Sidi Ali Chérif est située dans le lit de Talat Narset, un lieu hydrogéologique unique, naturellement protégé par les montagnes du Moyen-Atlas. Contrôlée régulièrement pendant les cinq années qui suivirent sa découverte, elle fut reconnue in fine Eau Minérale Naturelle (Figure 4).

Figure 4 : Carte topographique de la Source Sidi Ali.



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

L'eau minérale naturelle **Sidi Ali**, née dans les profondeurs des montagnes du Moyen Atlas, une eau pure, préservée de toute pollution de surface. Dans



son cheminement, Sidi Ali s'enrichi de minéraux et d'oligoéléments essentiels. Depuis son lancement en 1978, Sidi Ali s'est très vite imposée comme l'eau phare des consommateurs marocains. Faiblement minéralisée, c'est l'eau des nourrissons par excellence.

✓ *La source **Hammou Agamgam** : Eau minérale Aïn Atlas*

Source située à 5 Km 'Sud Sud Est' d'Oulmès. Elle sort à 930 m d'altitude en rive droite de l'oued Assif Tazrout. IL s'agit d'une source captée, appelée « fontaine Sidi Hammou Agamgam ». La source est au contact de deux terrains disparates, l'un schisteux et l'autre volcanique. L'eau Aïn Atlas est caractérisée par une minéralité diverse, lui donnant un faciès bicarbonaté sodique dominant. Sa température supérieure de 4°C à la température annuelle moyenne lui confère une origine profonde indiscutable (Figure 5).

**Figure 5** : Carte topographique de la source Hammou Agamgam.

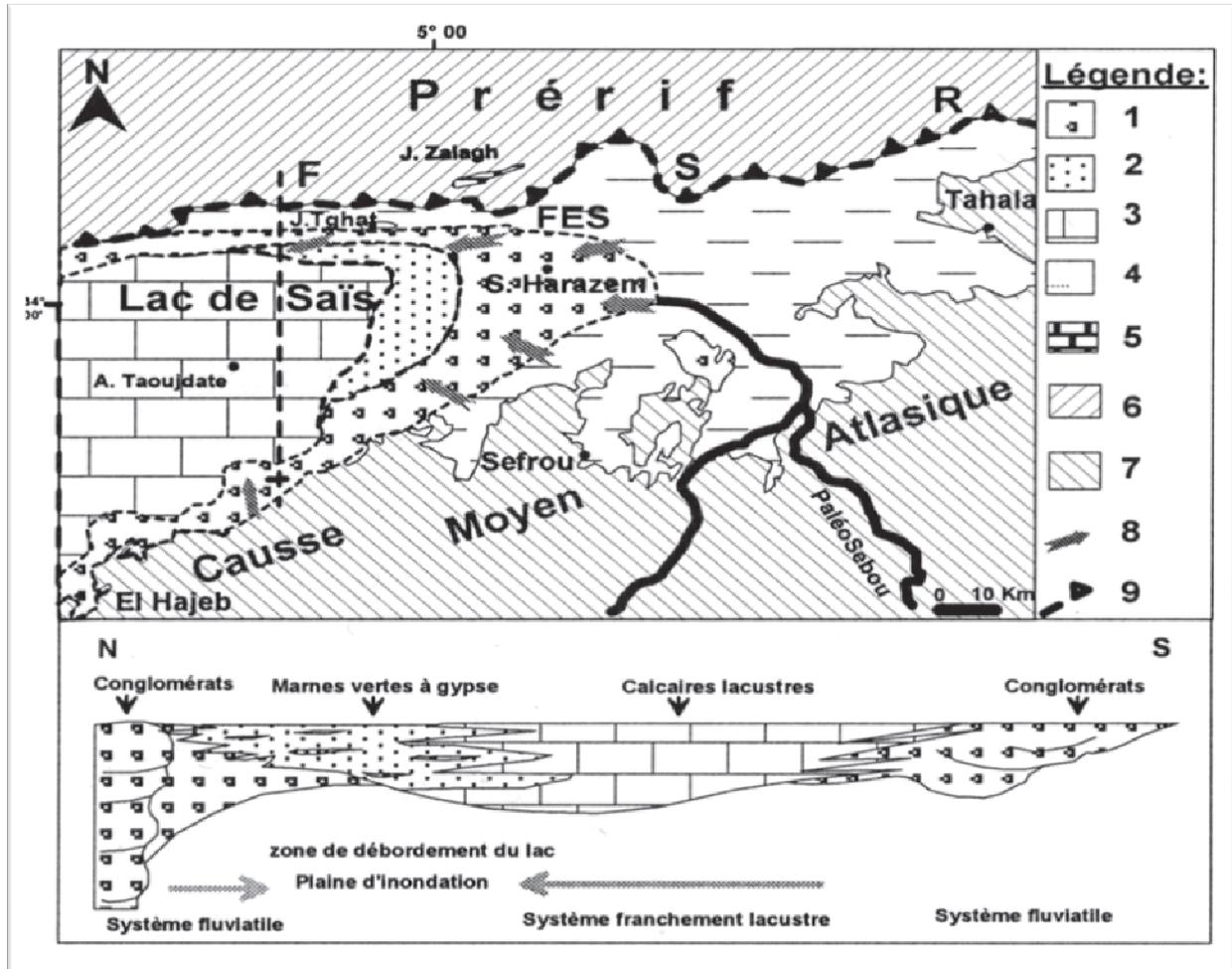
Dernière née dans le paysage des Eaux Minérales d'Oulmès, **Aïn Atlas** aspire à la même notoriété que ses autres consœurs. Elle puise toute sa force à partir de la source *Hammou AGamgam*, non loin d'Oulmès. Adaptée aux besoins des consommateurs désirant une eau naturellement saine et équilibrée, Aïn Atlas procure une sensation de fraîcheur et un bien-être unique, tout en contribuant à une parfaite hydratation.



### 3. Les eaux minérales naturelles : *Sidi Harazem, Aïn Saïss*

#### 3.1 *Sidi Harazem* :

✓ *Généralité* :



Entre Fès et Taza, **Sidi Harazem** est une oasis célèbre depuis le XVI<sup>ème</sup> siècle pour sa source d'eau minérale. Cette eau minérale est réputée posséder des vertus curatives pour les maladies du foie et des reins. Il s'agit d'une eau plate bicarbonatée magnésienne, peu minéralisée présentée ici dans la bouteille en plastique standard de 1.5 litre. Elle est commercialisée par la Société thermale des Eaux (Sotherma). Sidi Harazem est l'une des deux stations thermales de la région de Fès-Boulmane, celle-ci se trouvant à environ 12 km de la ville de Fès, elle est dotée d'une source chaude magnésienne (35°). Les résultats obtenus montrent que l'eau étudiée est de bonnes qualités physico-chimiques et riches en magnésium (Mg<sup>2+</sup>), en calcium (Ca<sup>2+</sup>) et en bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

✓ *Cadre géologique de Sidi Harazem*

**Figure 6** : Paléogéographie de la partie Est du Saïs (Plaine de Fès) au Pliocène supérieur : Alimentation du bassin lacustre de Saïs par le Paléofleuve de Sebou ; coupe générale N-S dans le bassin lacustre de Saïs montrant le passage latéral de faciès.

1 : conglomérats de Tghaytia ; 2 : marnes vertes à gypse ; 3 : calcaires



**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah**  
**Faculté des Sciences et Techniques de Fès**  
**Département de sciences de la Terre**

de Bensouda ; **4** : substratum marneux du Miocène supérieur-Pliocène inférieur et moyen ; **5** : Rides pré-rifaines ; **6** : Pré-rif ; **7** : Moyen Atlas ; **8** : sens des paléocourants fluviaux ; **9** : Front Sud-Rifain « FSR ».

Le Saïs connaît un grand changement environnemental au cours du Pliocène. Au Pliocène moyen, la mer régresse suite au comblement du bassin au Miocène. Au Pliocène supérieur, une phase de continentalisation s'installe et se traduit par des dépôts fluviaux, fluviolacustres et lacustres (Taltasse, 1953 ; Faugères, 1978 ; Ahmamou, 1987, 2002 ; Fassi, 1999 ; Boumir et al., 2003 ; Cherai et al., 2004). La répartition de ces formations au sein de la plaine de Fès permet de différencier deux ensembles lithostratigraphiques majeurs :

– le premier dont Sidi Harazem fait partie, est formé par des dépôts détritiques terrigènes de type fluvial, présent essentiellement dans la partie nord de la plaine, à la limite avec la ride de Tghat. Ils s'étendent vers l'est au niveau du Borj sud de la ville et à Al Gâada [7]. Nous avons désigné cette formation sous le nom de « Conglomérats de Tghaytia » [8]. Ces conglomérats sont discordants sur les marnes sableuses du Pliocène inférieur et moyen (angle de discordance inférieur à 10°). Cette formation est constituée par une succession de bancs de conglomérats métriques intercalés par de petites passées de grès grossiers en marquant un ensemble de séquences séparées par des surfaces de ravinements. Les éléments constitutifs des conglomérats sont hétérogènes et polymériques d'origine liasique ou miocène. Ils sont emballés dans une matrice gréseuse et grésoargileuse (Figure 6) [9].

### 3.2 *Aïn Saïss* :

#### ✓ *Généralité* :

**Aïn Saïss** est née en 2002, de l'alliance de 2 acteurs majeurs dans les eaux en bouteille : Sotherma (Société du Thermalisme Marocain) et Danone, référence mondiale dans le secteur des eaux. Aïn Saïss, dont la pureté exceptionnelle et la composition parfaitement équilibrée lui viennent des montagnes du Moyen Atlas, elle a une faible teneur en sodium qui la rend adaptée aux régimes hyposodés (norme inférieure à 20mg/l) et une concentration de calcium dont la biodisponibilité équivaut à celle des produits laitiers, ce qui permet une contribution significative à l'équilibre du bilan calcique.

## **4. Les eaux de sources naturelles : Aïn Soltane, Aïn Ifrane, Chaouen**

### 4.1 *Aïn Soltane* :

**Aïn Soltane** est une eau puisée et mise en bouteille directement à sa source, à Imouzzar Kandari (à 30 km de Fès et à quelques kilomètres d'Ifrane), porte du Moyen Atlas et région réputée pour l'abondance et la qualité de ses eaux. Une région préservée de l'industrialisation et de la pollution.



**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah**  
**Faculté des Sciences et Techniques de Fès**  
**Département de sciences de la Terre**

Aïn Soltane est une eau de source naturelle d'une grande qualité au goût léger et agréable Elle apporte la juste teneur en Magnésium, calcium et bicarbonates, ce qui en fait l'eau idéale pour l'organisme, et sa faible teneur en sodium la rend parfaitement adaptée aux problèmes d'hypertension, de plus en plus fréquents.

#### 4.2 Aïn Ifrane :

✓ *Généralité :*

**Aïn Ifrane**, une eau minérale naturelle naît dans les montagnes de la région d'Ifrane, loin de toute pollution et de toute activité industrielle. Son jaillissement naturel au travers d'une couche calcaire très épaisse, lui confère des caractéristiques minérales exceptionnelles et une pureté sans équivalent.

✓ *La source Ben smim :*

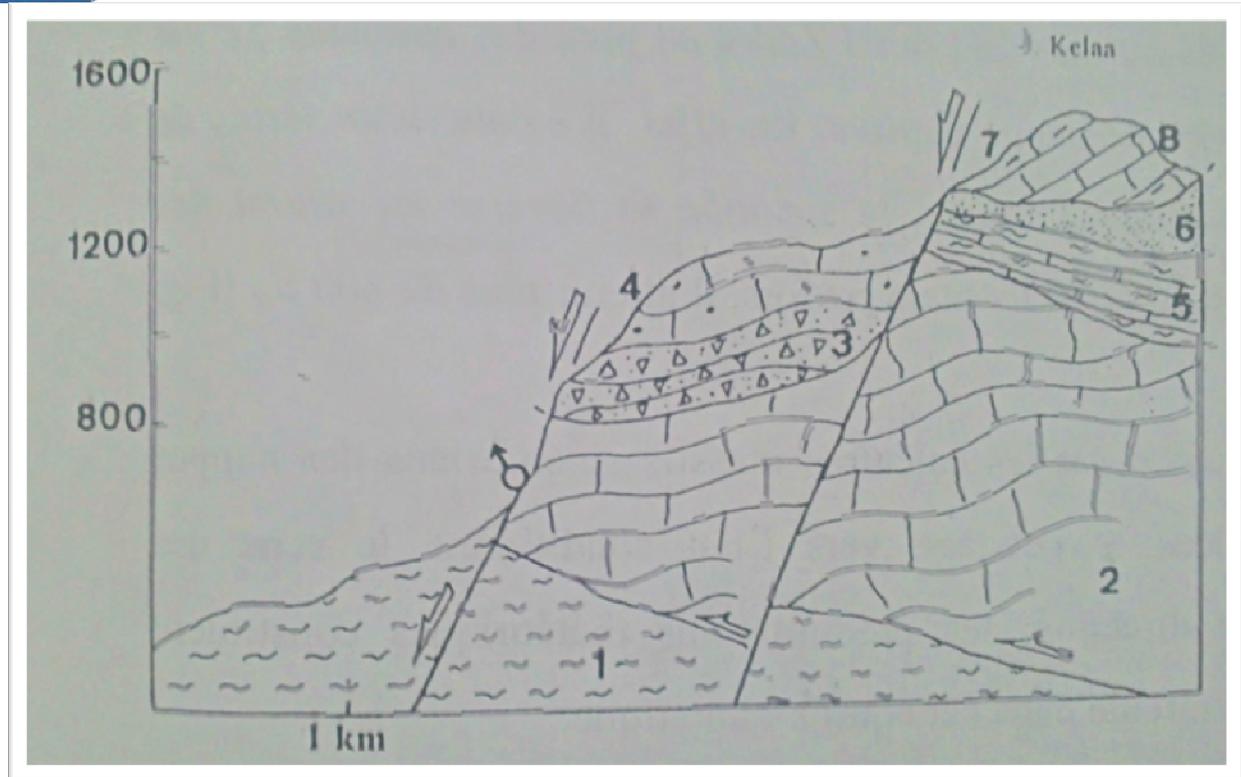
La source Ben smim, tient son nom de la petite localité de Ben smim, au cœur du Moyen Atlas. La localité est précisément située à 10 km de la ville d'Ifrane et 6 km de la ville d'Azrou, dans un paysage naturellement riche. Cette source qui jaillit des profondeurs de la terre pour couler paisiblement dans une harmonie avec sa nature environnante. Elle se faufile à travers une épaisse couche calcaire, dans un long cycle qui la nourrit et l'enrichit, pour produire une eau cristalline.

#### 4.3 Chaouen :

✓ *Généralité :*

L'eau de source embouteillée de **Chaouen** est prélevée de la source **Ras El Ma** située à l'EST de la ville, cette source sourd au niveau des calcaires à silex d'âge Plienbachien ( Jbel Tissouka) à la faveur du contact chevauchant entre ces formations carbonatées et celles de Tanger interne. Les formations carbonatées de l'unité du Jbel Tissouka (Calcaires à silex pleinsbachiens, brèches à silex sinémuriens et dolomies à stromatolithes noriens à carniens) sont le siège d'un aquifère Karstique. Le Substratum est représenté par les marnes turono-sénoniennes de l'unité de Tanger interne qui affleurent sur les berges de l'oued Ras El Ma, en aval de la source (Figure 7).

La source sourd au pied d'une falaise. Le bassin d'alimentation est constitué par les formations carbonatées des Jbels Tissouka, Imensorine et Bab Aîdine. Ces Formations constituent un aquifère caractérisé par un fort coefficient d'infiltration [10].



**Figure 7 :** carte et coupe géologique illustrant la relation entre la position résurgence principale de la source, les formations géologiques et les structures tectoniques au niveau de la source Ras El Ma.

**8 :** alternance calcaréo-dolomitique Dors.int.(Rhéten) ; **7 :** Dolomies à stromatolithes Dors.int.(Norien Carnien) ; **6 :** Grès grossiers B'' Ider (Oligocène) ; **5 :** Marnes calcaires, microbrèche B'' Ider (Crétacé sup) ; **4 :** Calcaire à silex Dors.ext.(Pliensbachien) ; **3 :** Breche à silex Dors.ext.(Sinémurien) ; **2 :** Dolomies à stromatolithes Dors.ext.(Norien-Carnien) ; **1 :** Marnes Tang.int.(Turona-Sénonien)

## **5. Les eaux de table traitées : Bahia, Ciel, Mazine, Hania**

### ➤ Bahia :

L'eau de table **Bahia** traitée et embouteillée par « Les Eaux Minérales d'Oulmès » est purifiée par un système d'ultrafiltration et d'osmose inverse, un principe qui permet de d'éliminer tous les résidus, pour ne garder que l'essentiel de l'eau.

### ➤ Ciel :

Coca-Cola lance une eau minérale **Ciel**, un nouveau concurrent pour les traditionnelles Sidi Ali et Sidi Harrazem. D'après la société, cette eau est «purifiée, non gazeuse et enrichie en magnésium et calcium». D'autre part, elle «répond aux standards internationaux en termes de qualité et de minéralité». La Compagnie a investi en équipement pour utiliser un procédé qui permet de filtrer et purifier l'eau avant de l'enrichir en minéraux.

## **Chapitre II : Etude hydrochimique des eaux commercialisées au Maroc**



## I. Introduction à l'hydrochimie :

L'hydrochimie étudie les processus chimiques qui affectent la distribution et la circulation des composés chimiques des eaux. Pour cela l'hydrochimie se sert essentiellement de la chimie, mais aussi de la biologie et de la géologie. Elle met en place des modèles propres tels les modèles de la dissolution du dioxyde de carbone, la précipitation et la dissolution des minéraux (oxydes, dioxydes, carbonates, etc.), la spéciation des métaux, les interactions solides-liquides. On peut également ranger dans l'hydrochimie les techniques et protocoles d'échantillonnage des eaux, l'étude de la pollution des milieux aquatiques et de nombreuses autres applications qui sont devenues des sciences à part entière au vu de leur complexité.

## II. Signification des faciès chimiques :

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessitent l'utilisation des représentations graphiques.

De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer :

- le diagramme de Piper,
- le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff,
- le diagramme de Stiff,
- le diagramme à coordonnées rayonnantes...

Dans notre étude, seules deux représentations graphiques qui ont été retenues et utilisées : le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff et le diagramme de Piper.

### ✓ **Diagramme de Piper :**

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet une représentation des cations et anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée. Le diagramme de Piper permet également :

- d'illustrer l'évolution chimique d'une eau dans un aquifère ainsi que les mélanges d'eaux de minéralisations différentes,
- d'avoir une idée sur la lithologie à partir des analyses chimiques,
- d'avoir une relation entre le chimisme de l'eau et la nature lithologique de l'encaissant,
- la projection de plusieurs échantillons en même temps :
  - Pour suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace,
  - Pour les comparer,
  - Pour avoir une idée sur la notion de mélange,



**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah**  
**Faculté des Sciences et Techniques de Fès**  
**Département de sciences de la Terre**

- de suivre les propriétés physico-chimiques au cours de leur évolution spatiotemporelle.

✓ **Diagramme de Schöeller-Berkaloff :**

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff est une représentation graphique semilogarithmique sur laquelle les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites. L'allure du graphique permet de visualiser le faciès des eaux analysées. Cette représentation permet aussi la détermination du faciès d'une eau. En effet, le diagramme de Schöeller-Berkaloff indique pour chaque eau analysée la teneur moyenne (mg/l) en éléments majeurs de ces eaux, de comparer des éléments en traces et d'établir les faibles variations entre les éléments chimiques.

Les deux représentations Piper et Schöeller-Berkaloff ont été utilisées car elles sont complémentaires.

### III. L'hydrochimie des eaux commercialisées :

#### 1- Etude générale :

Les analyses chimiques des eaux embouteillées et leurs balances ioniques sont représentées dans les tableaux suivants :

**Tableau 1 : analyses chimiques des eaux embouteillées.**

Composition en mg/l		Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>
<b>Eaux minérales naturelles</b>	Oulmès	108.21	57.39	313.5	22	854	284	11.22	4.96
	Sidi Ali	12.02	8.7	25.5	2.8	103.7	14.2	41.7	0.1
	Ain Atlas	17.63	13.13	48	8	216.55	12.42	7.85	3.81
	Sidi Harazem	70	40	120	8	355	220	20	4
	Ain Saiss	63.5	35.5	8	1	372	19.8	3.8	7
<b>Eaux de sources naturelles</b>	Ain Soltane	70	44	4	1	402	7.1	3.7	19
	Ain Ifrane	67.73	40.61	3	1	402.6	10.65	5.13	5.18
	Chaouen	80.4	16.2	14.5	1	309.8	17.5	20.9	0.32
	Rif	25.1	7.37	10.6	1	122	14.8	12.5	0.5
<b>Eaux de table traitées</b>	Bahia	8.02	7.29	46	1	42.7	78.8	15.69	0.2
	Mazine	11.22	9.72	52	1	42.7	88.75	20.55	3.42
	Hania	15.23	8.75	36.5	1	36.6	79.87	10.49	1.81

**La balance ionique :** c'est le bilan en deux colonnes (cations et anions) des résultats de l'analyse d'une eau (tab) ;



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

$$B (\%) = 100 \times \left| \frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} \right|$$

En général, les données hydrochimiques sont en mg/l, pour pouvoir calculer leurs balances ioniques, nous devons les convertir en meq/l en utilisant l'équation suivante :

$$\text{Meq/l} = \frac{\text{Mg/l}}{\text{PA/V}}$$

Avec : PA : poids atomique  
V : valence ionique

• **Notions :**

BI : balance Ionique: les cations et les anions sont présentés en milliéquivalents.

- ✓ Lorsque BI < 5% ; l'analyse est bonne.
- ✓ Lorsque  $5\% \leq \text{BI} \leq 10\%$  : l'analyse est acceptable, mais à utiliser avec précaution.
- ✓ Lorsque BI > 10% : l'analyse est mauvaise et à refaire.

**Tableau 2 :** la balance ionique des analyses des eaux embouteillées.

Eaux	Oulmès	Sidi Ali	Ain Atlas	Sidi Harazem	Ain Saiss	Ain Soltane	Ain Ifrane	Chaouen	Rif	Bahia	Mazine	Hania
BI %	4,19	6,81	1,79	0,04	2,54	1,31	1,14	0	6,53	3,8	2,86	0,03

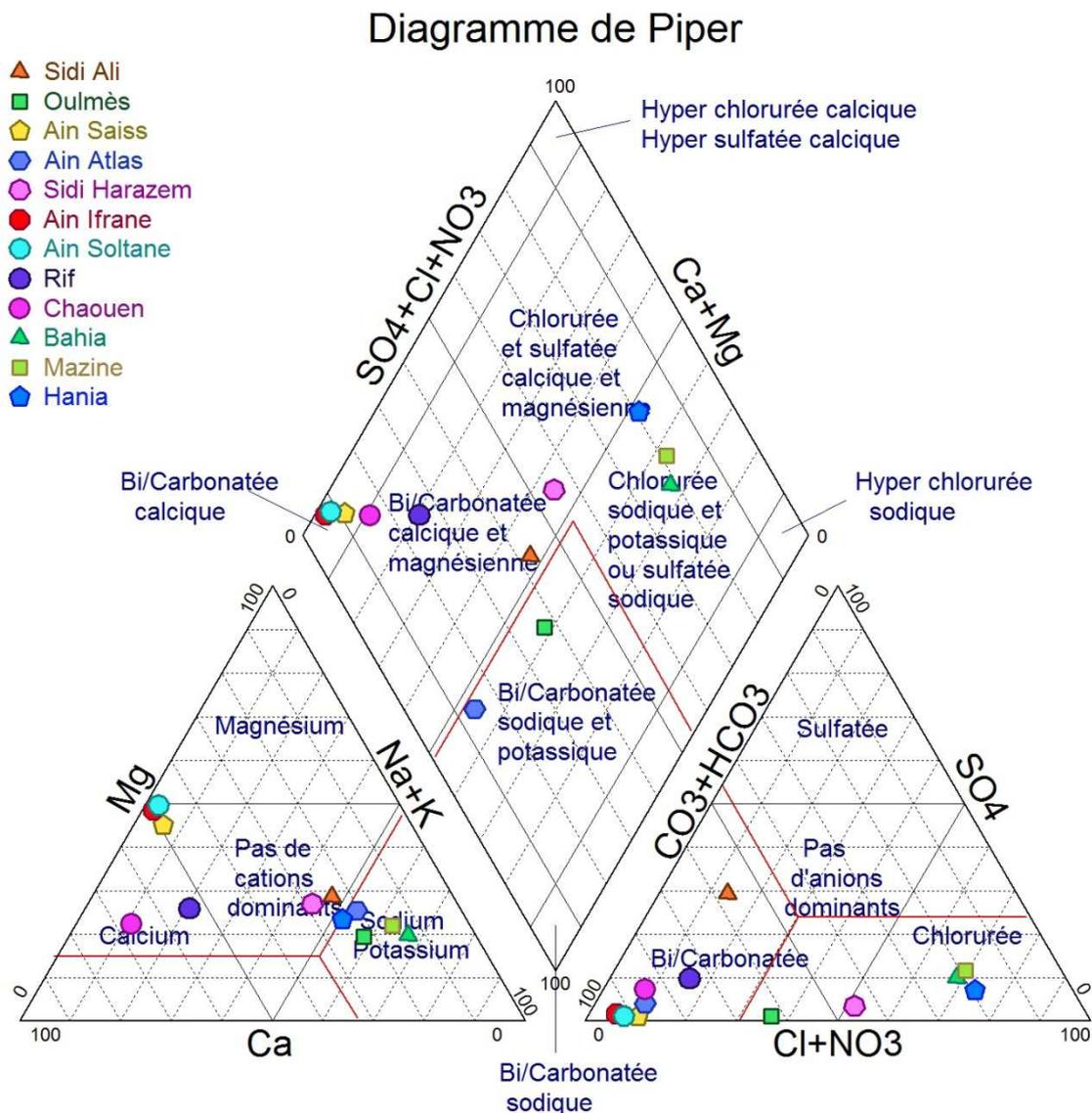
Dans notre étude, les balances ioniques calculées pour les 12 eaux embouteillées sont portées dans le tableau ci-dessus. On constate que la balance ionique de toutes les eaux sont inférieures à 5% d'où la plupart des analyses sont bonnes, sauf les eaux Sidi Ali et Rif qui ont des analyses acceptable.



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

La projection des analyses relatives aux eaux étudiées représentée dans le tableau 1 ci-dessus. Les eaux se répartissent selon les quatre faciès principaux suivants (figures 8 et 9) :

- Faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.
- Faciès chloruré sodique et sulfato potassique.
- Faciès bicarbonaté calcique et magnésien.
- Faciès bicarbonaté sodique et potassique.



**Figure 8 :** Projection sur le diagramme de piper des analyses des eaux embouteillées.



Lieu

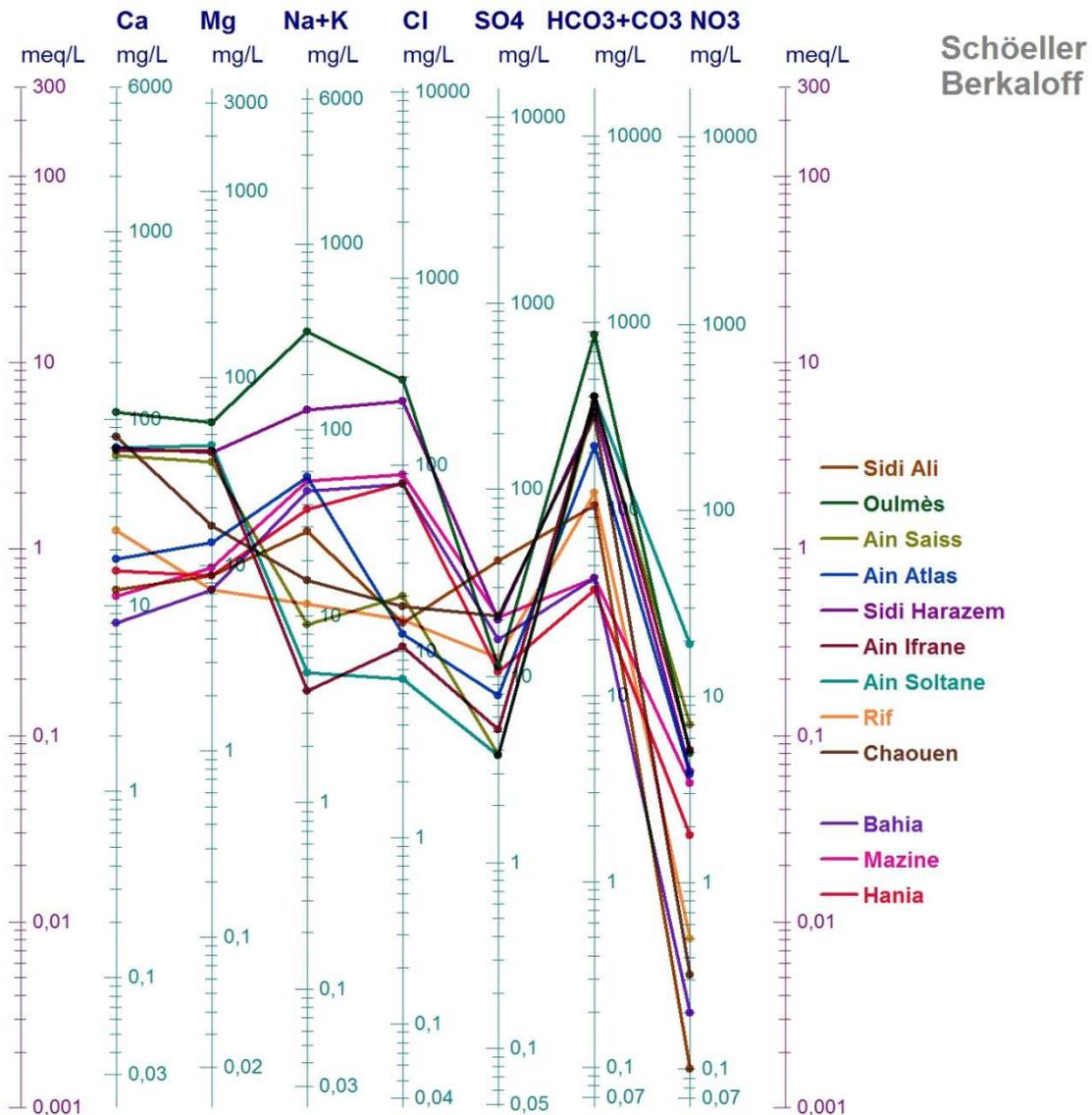


Figure 9 : Projection sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff des analyses des eaux embouteillées.

## 2- Classification des faciès chimiques :

### 2.1 Faciès bicarbonaté calcique et magnésien :

Les eaux du faciès bicarbonaté calcique et magnésien sont Ain Soltane, Ain Ifrane, Chaouen, Rif, Sidi Ali, Ain Saiss, le calcium et les bicarbonates sont respectivement le cation et l'anion les plus dominants, ces eaux présentent un appauvrissement relatif en sodium (3 mg/l pour l'eau Ain Ifrane) (fig 11).

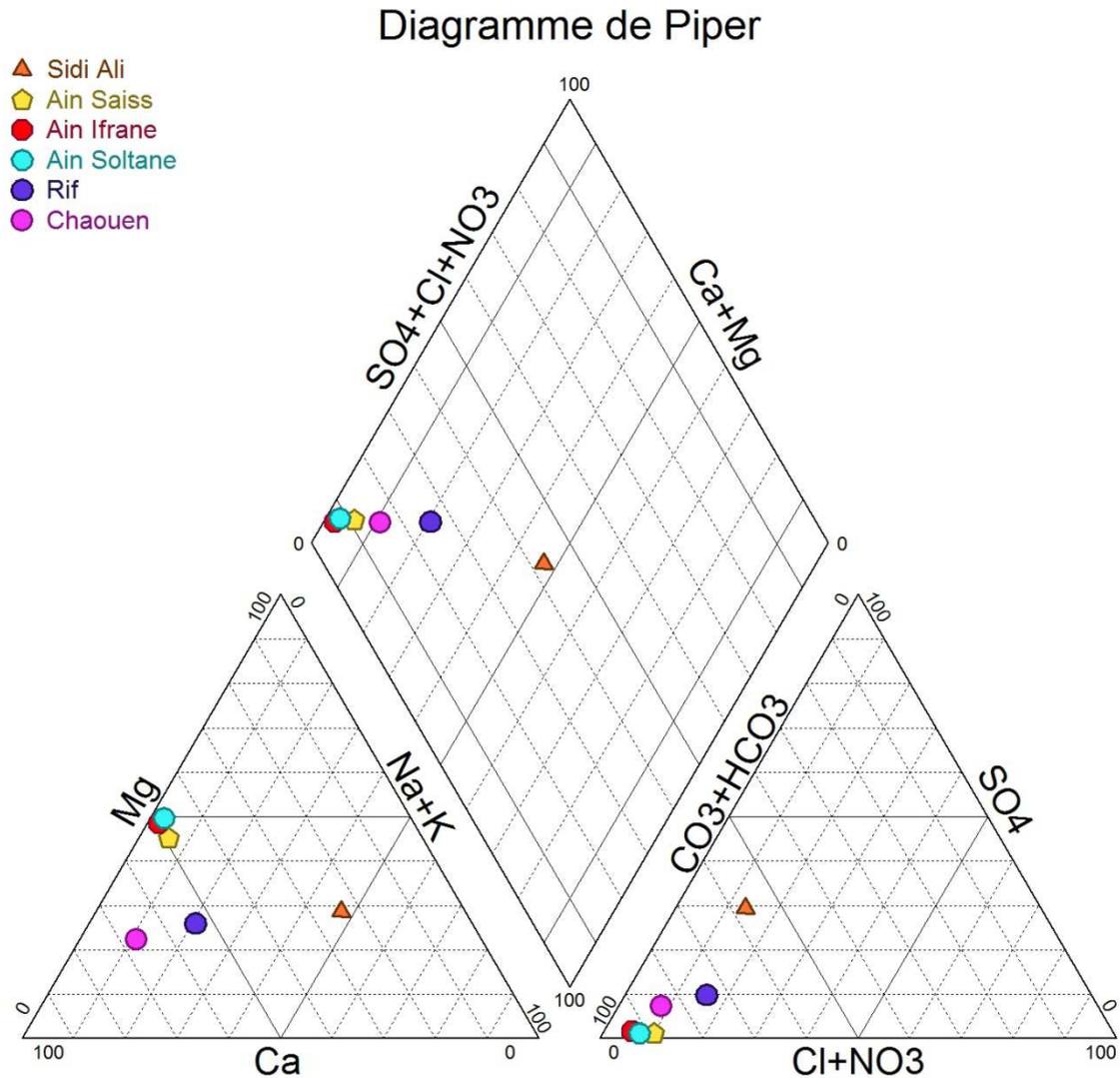
Pour les eaux Chaouen et Rif, l'origine du faciès bicarbonaté calcique et magnésien est résultante des interactions avec les formations du Rif notamment les formations carbonatées de l'unité du Jbel Tissouka (Calcaires à silex pleinsbachiens, brèches à silex sinémuriens et dolomies à stromatolithes noriens à carniens) qui sont le siège d'un aquifère Karstique.



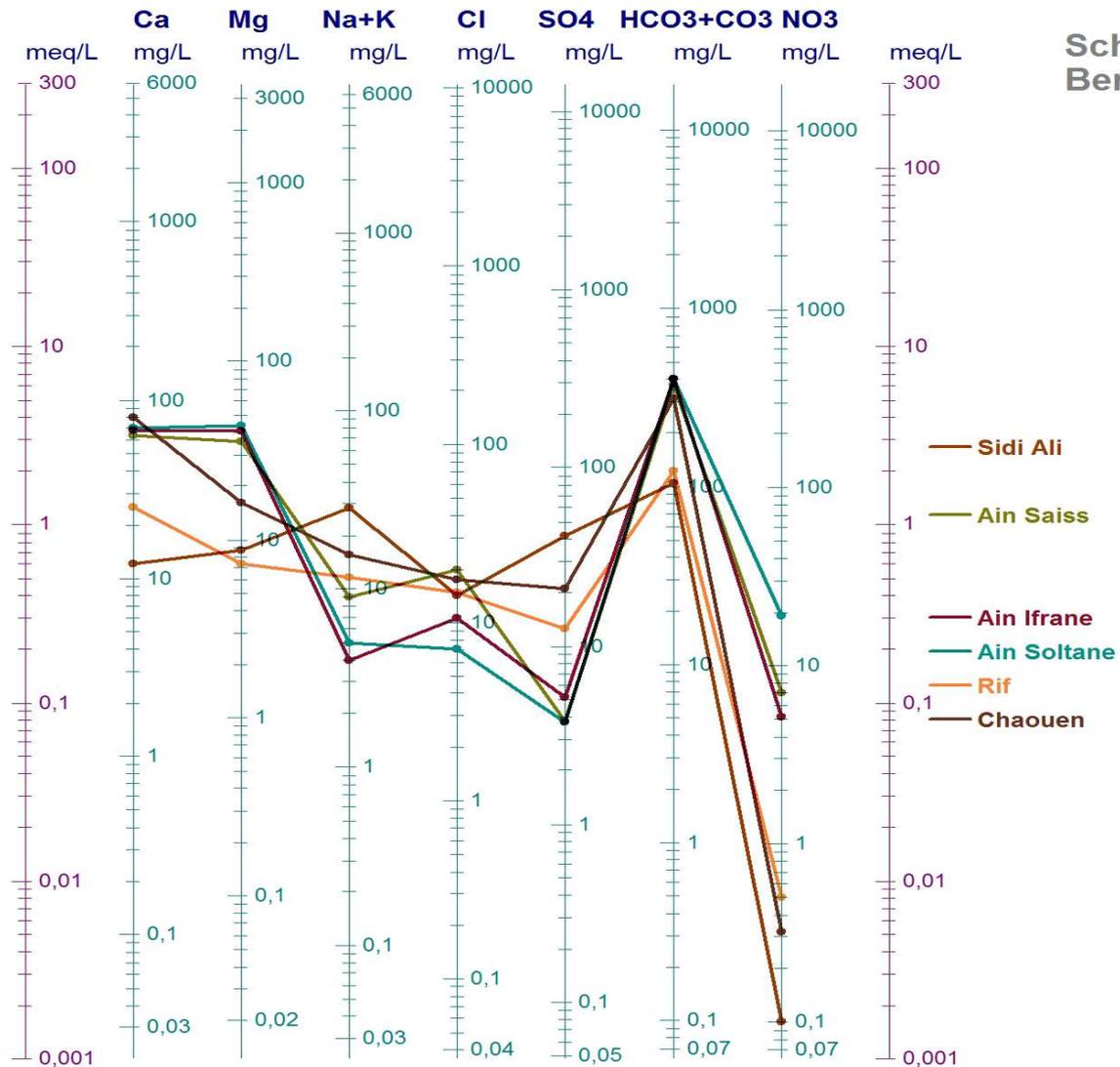


Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

Pour les eaux Ain Ifrane et Ain Soltane et Ain Saiss, l'origine de ce faciès est le cause moyen atlasique, composé essentiellement de carbonates néritiques du Lias inférieur et moyen. L'eau Sidi Ali jaillit de la source Sidi Ali Cherif qui se trouve au sein des schistes métamorphique, première auréole qui ceinture le granite.



**Figure 10 :** Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux de faciès chimique bicarbonaté calcique et magnésien.



**Figure 11 :** Projection sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff des résultats des analyses des eaux de faciès chimique bicarbonaté calcique et magnésien.

## 2.2 *Faciès bicarbonaté sodique et potassique :*

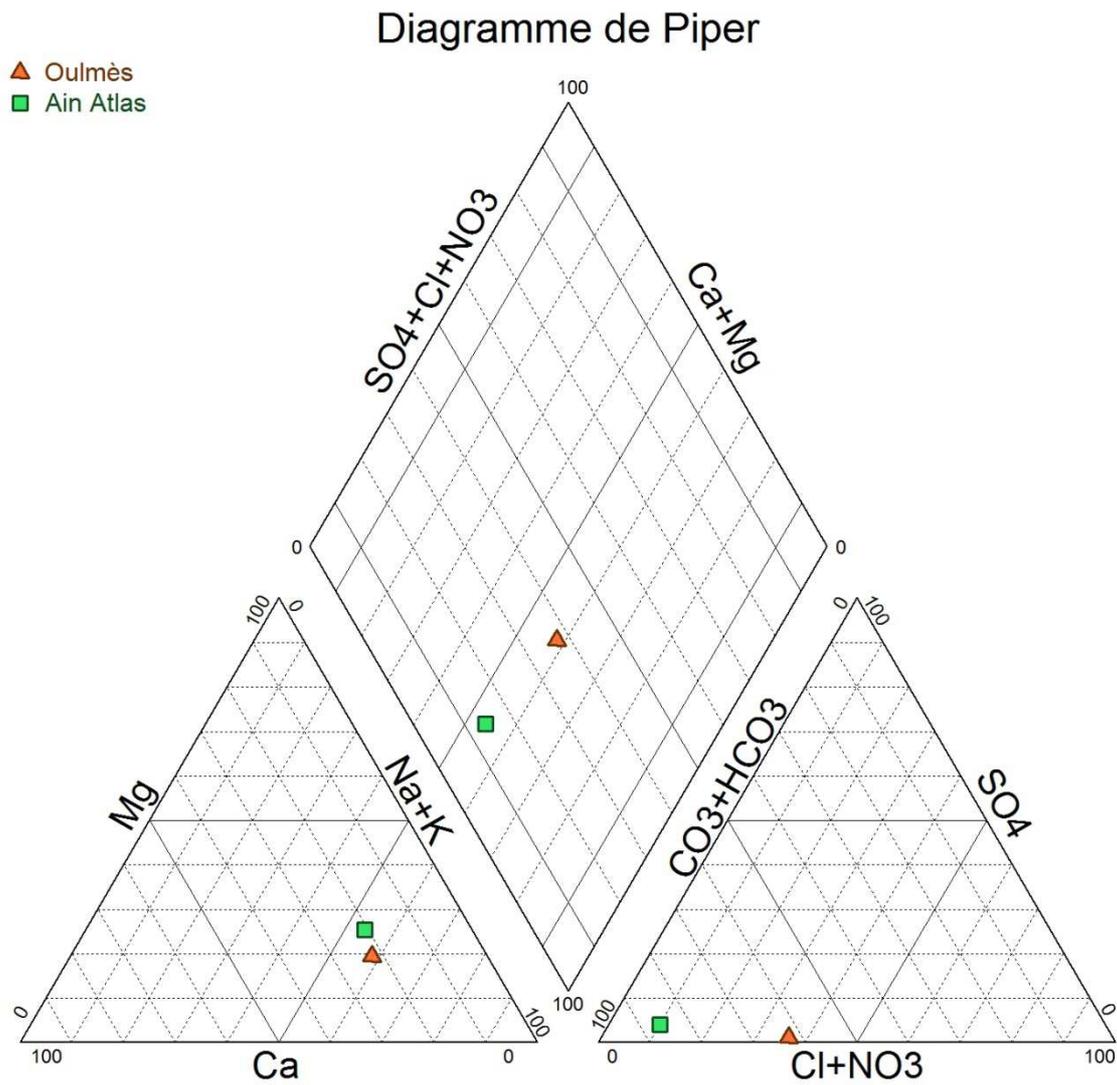
Les eaux bicarbonatées sodiques et potassiques renferment une forte proportion de Na, K,  $\text{HCO}_3$  par rapport à celle du Ca, caractère qui apparaît sur les diagrammes logarithmiques, ces eaux présentent une faible teneur en Sulfate (7, 85 mg/l pour Ain atlas) (fig 13).

L'origine de ce faciès dans les eaux Oulmès et Ain atlas est liée aux interactions des eaux avec l'encaissant formée essentiellement des schistes à calcaire gréseux et des roches volcaniques de l'Ordovicien, Oulmès puise sa minéralité dans

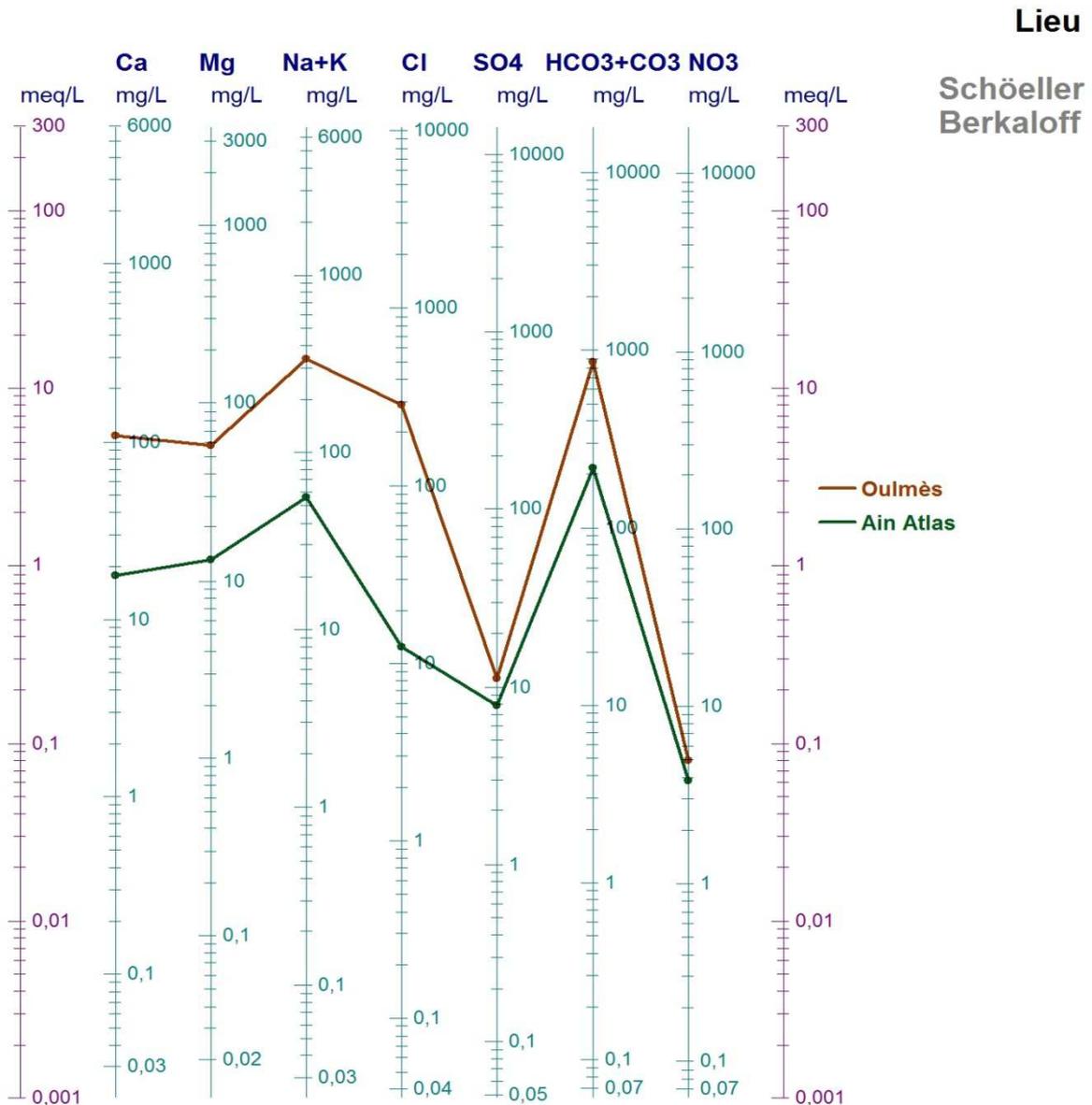


Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

les profondeurs des roches volcaniques et remonte vers la surface, poussée par les bulles de gaz carbonique entre les schistes et les granites, L'eau Ain Atlas est caractérisée par une minéralité diverse, lui donnant un faciès bicarbonaté sodique dominant.



**Figure 12 :** Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux de faciès chimique bicarbonaté sodique et potassique.

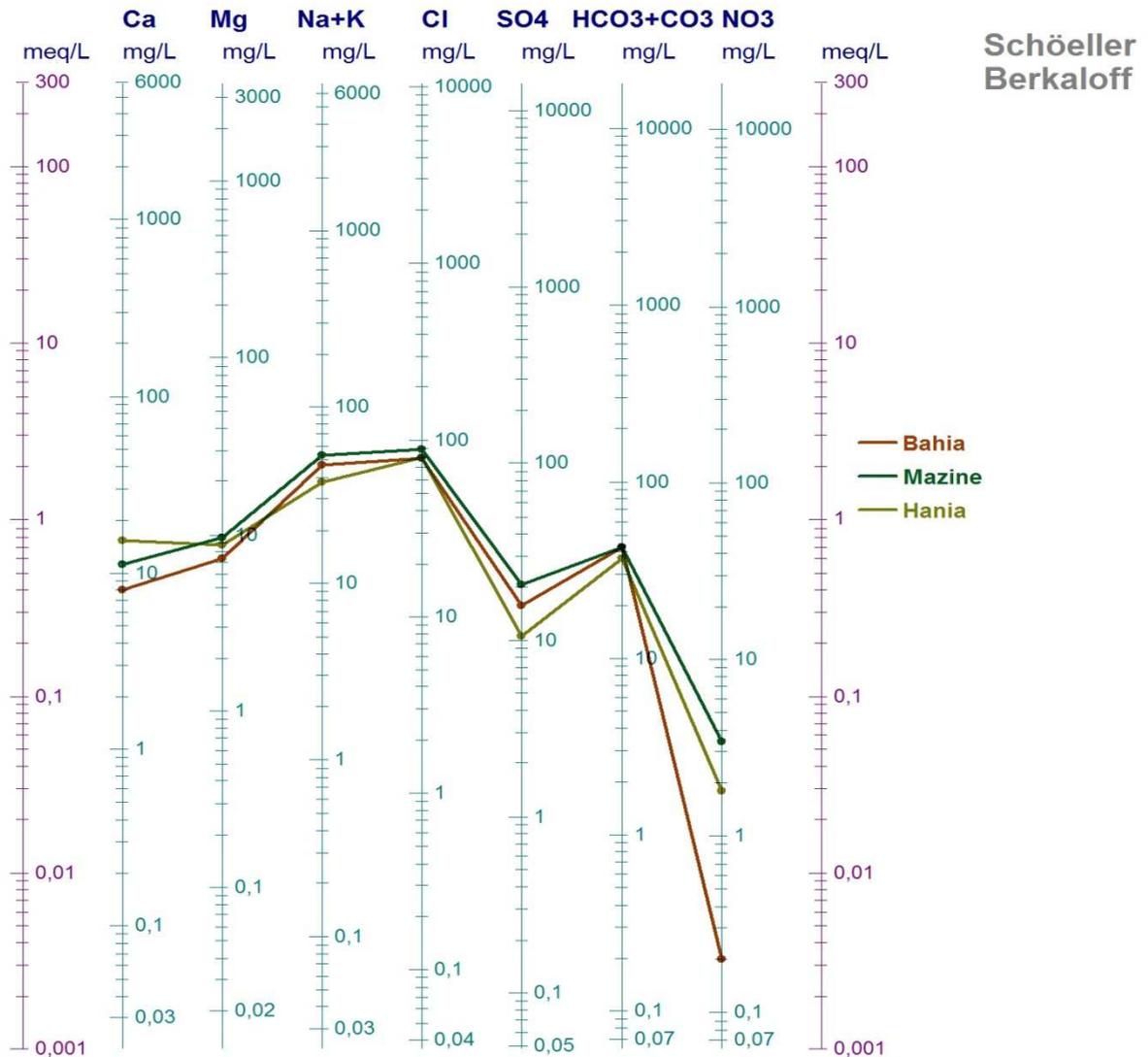


**Figure 13 :** Projection sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff des résultats des analyses des eaux de faciès chimique bicarbonaté sodique et potassique.

### 2.3 *Faciès chloruré sodique et sulfato-potassique :*

Les eaux chlorurées sodiques sont les eaux de table Bahia, Mazine, Hania. Ce sont en général, des eaux à forte concentration de sels dissous. Les chlorures prédominent. Elles sont riches en Na et Cl. La teneur en carbonates par contre est normale avec absence de carbonates alcalins. En fait, elles sont souvent de simples dissolutions de sels sodiques (figure 15).

**Figure 14 :** Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux de faciès chimique chloruré sodique et sulfato-potassique.

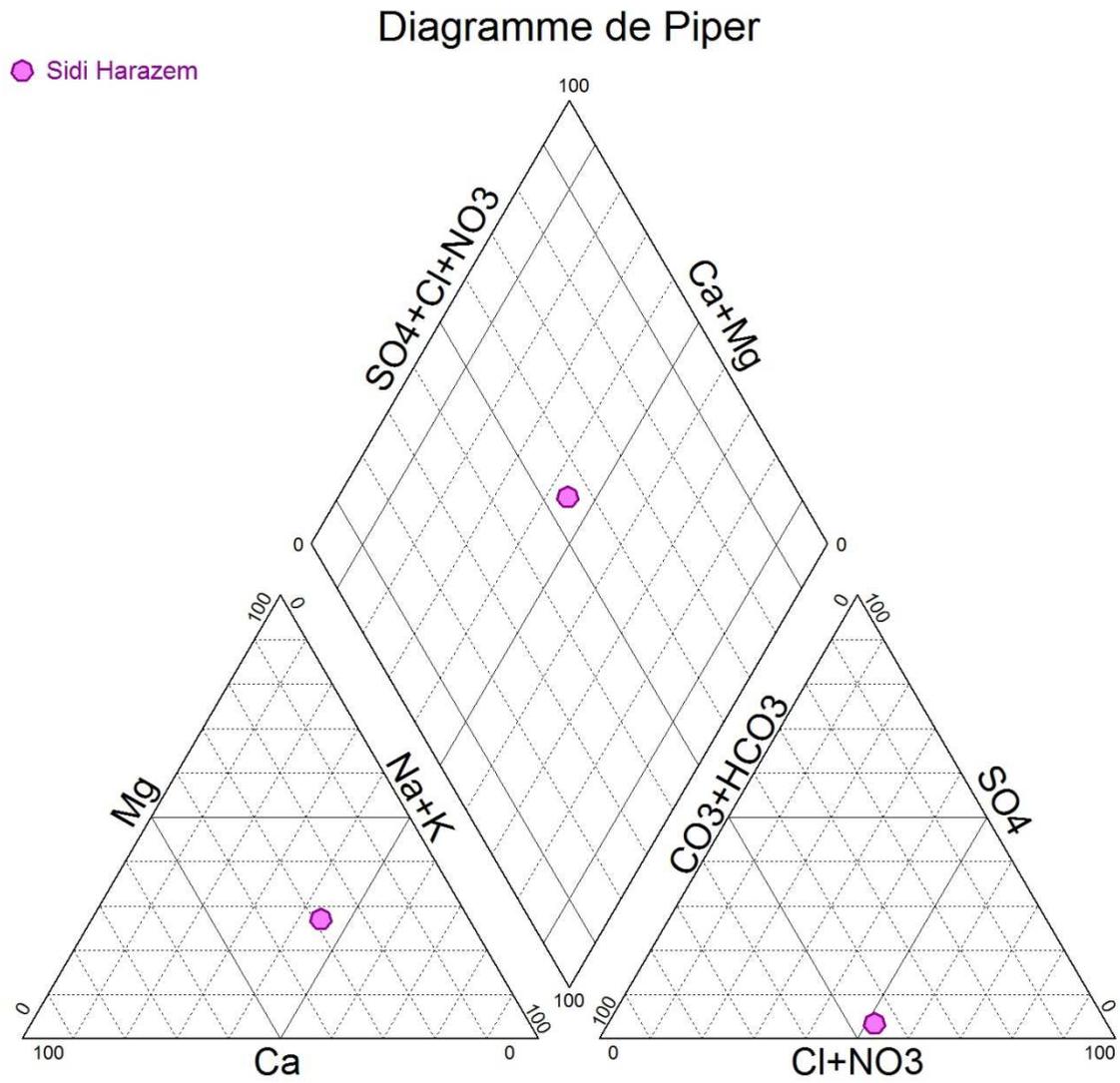


**Figure 15 :** Projection sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff des résultats des analyses des eaux de faciès chimique chloruré sodique et sulfato-potassique.

#### 2.4 *Faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien :*

L'eau Sidi Harazem du faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien présente l'anion du chlorure le plus dominant (220 mg/l), cette eau montre aussi une teneur relativement élevée en sodium (figure 17).

Le faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien est un faciès moyennement évolué. L'eau est sous-saturées vis-à-vis de pas mal de minéraux, telles que la dolomite (IS dolomite=0,18), l'aragonite (IS aragonite= 0,23) et la calcite (IS calcite=0,38). L'eau de Sidi Harazem subit une acquisition de la minéralisation pendant son chemin par les interactions avec les calcaires dolomitiques du Lias inférieur et moyen.



**Figure 16 :** Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux de faciès chimique chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

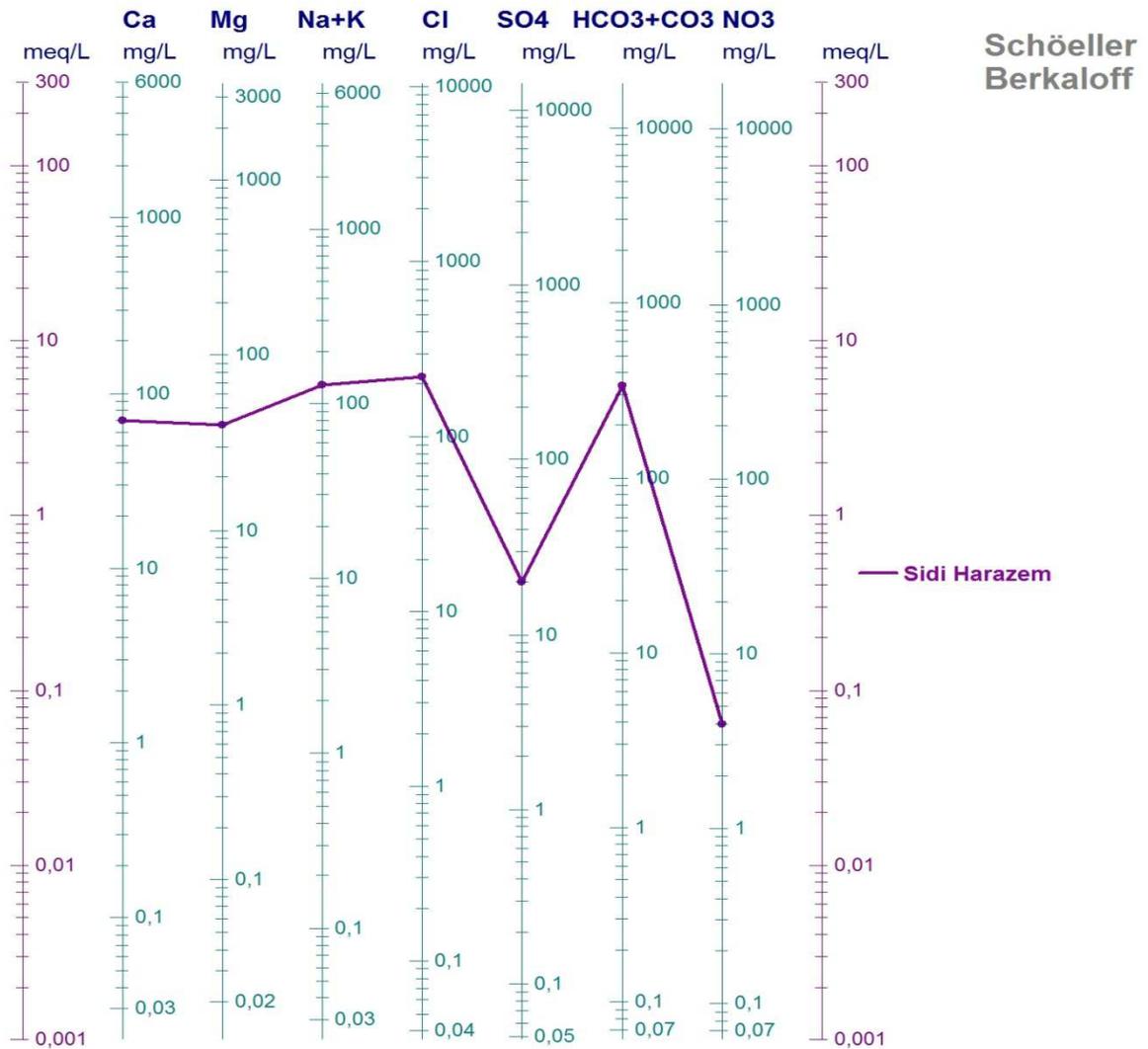


Figure 17 : Projection sur le diagramme de Schöeller-Berkaloff des résultats des analyses des eaux de faciès chimique chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

### 3. Traitement statistique des données :

#### 3-1 Introduction :

Le grand nombre de données collectées de l'analyse chimique des eaux ne permet pas de faire directement l'interprétations des résultats. Ces analyses permettent de tenir compte de l'ensemble des variables qui caractérise les eaux.

Les méthodes des statistiques descriptives sont de grandes utilités en Hydrochimies et particulièrement en combinaison avec l'information apportée par d'autres méthodes comme le diagramme de Piper. Dans ce traitement statistique, on a fait appel à des mesures de ressemblances (similarité/dissimilarité) et l'analyse en composantes principales (ACP) afin de préciser entre les variables chimiques les phénomènes à l'origine de ces relations ainsi que les relations communes ou spécifiques à chaque



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

systèmes. Dans le cadre de ce travail, on a utilisé le logiciel XLSTAT.  
(BENAABIDAT, 2000).

### **3-2 Application :**

#### *3.2.1 Similarité / Dissimilarité :*

Les résultats du calcul des paramètres statistiques représentatifs des 12 eaux embouteillées (Observations) et des 8 variables représentés par les teneurs en mg/l des éléments chimiques Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau 3 :** Minimum, Maximum, Moyenne et Ecart-type des variables traitées des eaux embouteillées.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ca	8,020	108,210	45,755	34,349
Mg	7,290	57,390	24,055	18,051
Na	3,000	313,500	56,800	87,118
K	1,000	22,000	4,067	6,248
HCO <sub>3</sub>	36,600	854,000	271,638	234,611
Cl	7,100	284,000	70,658	90,979
SO <sub>4</sub>	3,700	41,700	14,461	10,630
NO <sub>3</sub>	0,100	19,000	4,192	5,192

Du tableau 3, les bicarbonates et les chlorures présentent les plus grandes valeurs relatives à l'écart-type. Ceci montre la grande dispersion des teneurs de ces deux paramètres. Les plus faibles dispersions par contre, sont relatives aux nitrates et au potassium.

#### ➤ **Test de sphéricité de Bartlett :**

Le test de sphéricité de Bartlett est un test statistique utilisé pour estimer la corrélation entre les variables et permet de déterminer si les composantes hors de la diagonale de la matrice sont différentes de zéro.

- **H<sub>0</sub>** (hypothèse nulle) : les lignes et les colonnes de la matrice de corrélation sont indépendantes (matrice identité).
- **H<sub>a</sub>** (hypothèse alternative) : les lignes et les colonnes sont dépendantes au seuil de significativité, par exemple  $\alpha=0.05$ , on peut rejeter l'hypothèse nulle d'indépendance entre les lignes et les colonnes. Autrement dit, la dépendance entre les lignes et les colonnes est significative.

**Tableau 4 :** Résultats du test de sphéricité de Bartlett.

Khi <sup>2</sup> (Valeur observée)	116,011
Khi <sup>2</sup> (Valeur critique)	41,337
DDL	28
p-value	< 0,0001
Alpha	0,05



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

*Intéretation du test :*

H0 : Il n'y a pas de corrélation significativement différente de 0 entre les variables.

Ha : Au moins l'une des corrélations entre les variables est significativement différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification  $\alpha=0,05$ , on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

➤ **Calcul des coefficients de corrélation :**

**Tableau 5 :** Matrice de corrélation pour les variables des analyses chimiques des eaux embouteillées.

Variables	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	NO3
Ca	<b>1</b>	0,881	0,493	0,518	0,920	0,431	-0,331	0,415
Mg	<b>0,881</b>	<b>1</b>	0,538	0,570	0,918	0,496	-0,437	0,621
Na	0,493	0,538	<b>1</b>	<b>0,955</b>	0,691	0,918	0,017	-0,045
K	0,518	0,570	<b>0,955</b>	<b>1</b>	0,752	0,802	-0,036	0,013
HCO3	<b>0,920</b>	<b>0,918</b>	0,691	0,752	<b>1</b>	0,538	-0,348	0,413
Cl	0,431	0,496	<b>0,918</b>	<b>0,802</b>	0,538	<b>1</b>	0,058	-0,079
SO4	-0,331	-0,437	0,017	-0,036	-0,348	0,058	<b>1</b>	-0,542
NO3	0,415	0,621	-0,045	0,013	0,413	-0,079	-0,542	<b>1</b>

A la lecture de la matrice de corrélation (Tab 5), on remarque des coefficients de bonnes corrélation  $> 0,7$  ; les associations qui présentent des bonnes corrélations sont :

- Le potassium et le sodium ( 0,955)
- Les bicarbonates et le calcium (0,920)
- Les bicarbonates et le magnésium (0,918)
- Les chlorures et le sodium ( 0,918)
- Le magnésium et le calcium (0, 881)
- Les chlorures et le potassium (0,802)

➤ **Liste des objets similaires (Seuil de dissimilarité = 0,95) :**

Objet1	Objet2	Similarité
Na	K	0,955

**3.2.2 Analyse en composantes principales (ACP) :**

Cette analyse multidimensionnelle des données est une méthode factorielle et linéaire qui traite des caractères numériques (dans notre cas, les résultats des analyses chimiques). Elle permet de mettre en évidence les ressemblances chimiques entre les différentes eaux et/ou les différents pôles d'acquisition de la minéralisation.



**Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre**

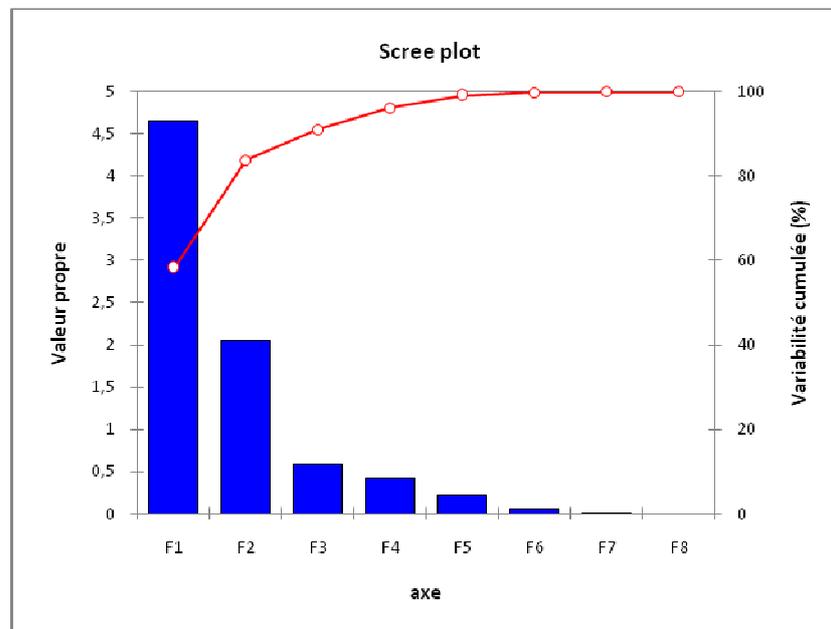
*a) Valeurs propres :*

La diagonalisation nous a permis de distinguer les axes suivants :

**Tableau 6 :** Valeurs propres de chacun des axes et leur variabilité en %.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Valeur propre	4,654	2,049	0,581	0,415	0,226	0,059	0,017	0,000
Variabilité (%)	58,172	25,609	7,258	5,187	2,819	0,742	0,208	0,005
% cumulé	58,172	83,781	91,039	96,226	99,045	99,787	99,995	100,000

La variance expliquée est de 83,8% pour les deux axes F1 et F2, avec plus de 50% pour le premier axe F1.



**Figure 18 :** Représentations des valeurs propres des axes et leur variabilité.

*b) Corrélations entre les variables et les facteurs :*

**Tableau 7 :** Corrélations entre les variables et les facteurs.

Facteurs	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>
F1	0,85	0,903	0,829	0,843	0,955	0,743	-0,352	0,383
F2	0,263	0,342	-0,518	-0,432	0,142	-0,539	-0,699	0,781

Les meilleures corrélations du facteur F1 se font respectivement avec HCO<sub>3</sub>, Mg, Ca, K, Na, Cl. Concernant le facteur F2, il est bien corrélé avec NO<sub>3</sub> et faiblement avec les ions Ca et Mg.



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

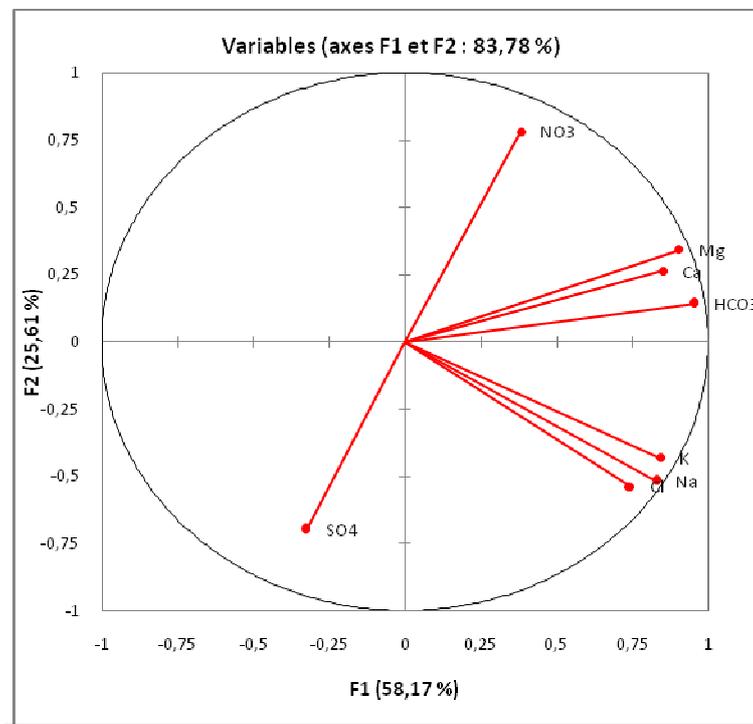
c) Contribution des variables :

**Tableau 8 :** Contribution des variables en%.

Facteurs	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>
F1	15,543	17,540	14,763	15,257	19,595	11,876	2,274	3,153
F2	3,367	5,711	13,086	9,113	0,978	14,175	23,822	29,748

Les ions HCO<sub>3</sub>, Mg, Ca, Na, K contribuent presque à 83% dans le facteur F1. Le facteur F2, est quant à lui représenté à plus de 67% par les ions NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl.

d) Représentation graphique :



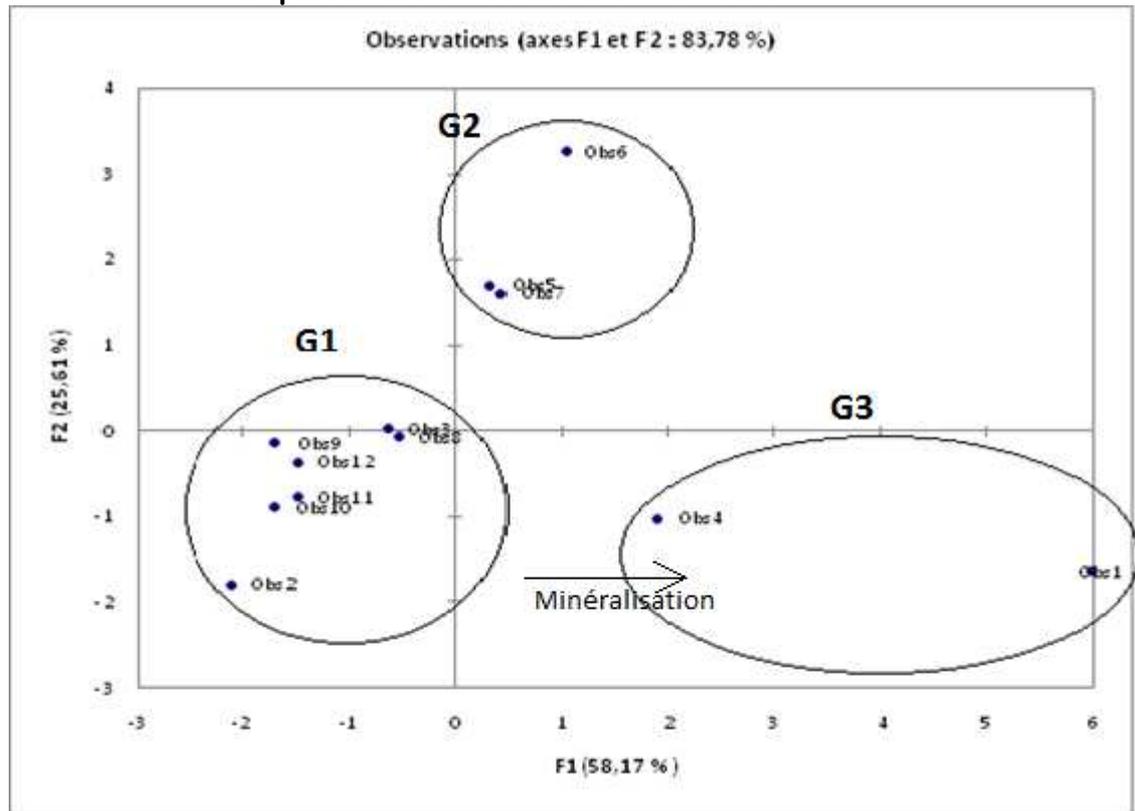
**Figure 19 :** Représentation graphique des variables en %.

La figure 19 montre que la majorité des paramètres est positivement corrélée autour de l'axe F1, à l'exception d'ion SO<sub>4</sub>. Selon l'axe F2, tous les paramètres sont positivement corrélés sauf SO<sub>4</sub>, K, Na, Cl.

Ainsi, les eaux les plus à l'Est de l'axe F1 seraient les plus minéralisées, tandis que ceux les plus au Nord de l'axe F2 seraient les plus riches en NO<sub>3</sub>.



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre



**Figure 20 :** Représentation graphique des individus.

Dans la figure 20, plusieurs remarques peuvent être faites, les plus importantes sont :

58% (7) des eaux sont négativement corrélées avec l'axe F1 et par conséquent avec les ions Ca, Na, Mg, K, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, Cl. Ainsi les eaux sont de plus en plus minéralisées en allant à droite de l'axe F1 et vice-versa.

4 eaux sont corrélées positivement avec l'axe F2. Étant donné que les ions NO<sub>3</sub> contribuent positivement à plus de 28% dans cette axe, les eaux se trouvant le plus au Nord de celui-ci, seront les plus riches en Nitrates.

**Groupe 1 :** ce groupe comporte le plus grand nombre des eaux embouteillées (7), se sont les eaux les plus faiblement minéralisées.

**Groupe 2 :** ce groupe renferme les eaux Ain Soltane, Ain Ifrane, Ain Saiss, qui sont des eaux bicarbonatées calciques à minéralisation intermédiaire entre le premier et le troisième groupe.

**Groupe 3 :** il est formé par 2 eaux (Oulmès et Sidi Harazem) les plus minéralisées.



## Conclusion générale

Les eaux en bouteille peuvent avoir de véritables indications thérapeutiques. Ainsi, le marché marocain devrait être enrichi en eau dont la composition électrolytique répond aux différentes situations physiologiques et pathologiques. L'amélioration de l'étiquetage des eaux conditionnées en bouteille est également nécessaire afin de faciliter le choix pour le consommateur.

Dans le but d'étudier l'hydrochimie des eaux embouteillées et expliquer les phénomènes à l'origine de la minéralisation de ces eaux, des analyses chimiques ont été effectuées sur 12 échantillons d'eau. L'analyse descriptive des paramètres chimiques a montré que les eaux sont faiblement minéralisées dans l'ensemble. Les teneurs en bicarbonates, chlorure et calcium sont très élevées. Le diagramme de Piper a révélé que les eaux sont à environ 66% bicarbonatées dont plus de 50% bicarbonaté calcique et magnésien. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a mis en évidence trois groupes dans l'acquisition de la minéralisation des eaux.



### Références bibliographiques

- [1] SAAD BOUTAIB., Avril 2010 : Eaux minérales au Maroc- dissertation.
- [2] SQALLI HOUSSAINI T, BENZAKOUR K, Maroc Médical, tome 32 n°3, septembre 2010, Les eaux en bouteille au Maroc : choix du néphrologue.
- [3] Monarca S, Donato F, Zerbini I, Calderon RL, Craun GF: Review of epidemiological studies on drinking water hardness and cardiovascular diseases. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil. 2006; 13:495-506.
- [4] TERMIER H.(1936) : Etudes géologiques sur le Maroc centrale et le moyne atlas septontrional (publication). BAUDET M.(1988) : Le plateau centrale marocain et ses bordures, études géomorphologiques (thèse).
- [5] SAADI M., 1982: Carte Structural du Maroc au 1/ 4.000.000 des domaines Mésetien et Atlasique.
- [6] EL BATLOUSSI D, CHEDDADI M, DADI S, RUTHY I, ORBAN PH, DASSARGUES A., Février 2005: Projet d'initiative propre (PIP) Etudes des potentialités, et de la vulnérabilité, et de la protection des ressources en eau des aquifères fissurés dans les zones semi-aride au Maroc financé par la Commission Universitaire pour le Développement (CUD), Belgique.
- [7] CHAMPOND G., & ICHTER J.-P., 1967-Mémoire explicatif de la carte géotechnique de Fès. Notes et Mémoires du Service Géologique, Maroc, 186 bis, 106 p.
- [8] CHERAI B., CHARROUD M., LAHRACH A., & EL MOUTAOUAKIL N., 2004 - Le front sud rifain une expression complexe d'une tectonique tangentielle à la limite du bassin de Sais au Mio-Pliocène et au Quaternaire (Région de Fès, Maroc). Colloque international à la mémoire de Feue A. Faure Muret, Rabat, Maroc, 13.
- [9] MOHAMMED CHARROUD, BOUMAMA CHERAI, MOHAMMED BENABDELHADI & CHRISTOPHE FALGUÈRES., 2007 : Impact de la néotectonique quaternaire sur la dynamique sédimentaire du saïss (Maroc) : du bassin d'avant fosse pliocène au plateau continental quaternaire, Quaternaire, 18, (4), 2007, p. 327-334.
- [10] ABDEL-ALI CHAOUNI., Juillet 1999 : Relation entre la circulation des eaux, les instabilites des bassins versants avec la fracturation dans la rive sud du détroit de Gibraltar (thèse).



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès  
Département de sciences de la Terre

### Webographie

- [http://www.boisson-sans-alcool.com/marques\\_eau-maroc.html](http://www.boisson-sans-alcool.com/marques_eau-maroc.html)
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrochimie>
- <http://www.leseauxmineralesdoulmes.ma/>
- <http://www.ainsoltane.com/>
- <http://www.ainifrane.ma/acc.php>
- <http://www.travel-in-morocco.com/modules/smartfes/fes.php?id=50>
- <http://www.leconomiste.com/article/ain-saiss-reconnue-eau-minerale-naturelle>