

N°

Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2021

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA



Faculté des Sciences et Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de Fin d'Etude

Présenté par :

BOUCHERAIN KATIA
HABET YAMINA

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : **Hydraulique**

Option : **Ressources Hydrauliques**

Thème

ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES QUALITATIVES AUX EAUX
SOUTERRAINES DE LA WILAYA DE BOUIRA

Devant le jury composé de :

GHERNAOUT	REDHOUANE	MCA	UAMOB	Président
METAICHE	MEHDI	MCA	UAMOB	Encadreur
DJAFERKHODJA	HAKIM	MCB	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2021/2022

Remerciement

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier Allahle tout puissant de nous avoir donnés la force, la santé et la volonté afin de réaliser ce mémoire de fin d'études

*Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à notre encadreur, Monsieur le Professeur **METAICHE Mehdi** pour sa disponibilité, ses conseils, sa générosité, ses encouragements et son aide précieuse*

Nous remercions également les membres de jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail. Nos vifs remerciements vont également à : Tous nos enseignants du département Génie Civil

*Tous le personnel du SEAAAL surtout monsieur **CHIBANE KARIM***

Enfin, un grand merci à tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

*Les étudiantes : **Habet Yamina** et **Boucheraïne Katia***

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

*A celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs, a la source
d'amour Incessible, à la mère des sentiments fragiles qui ma bénie par
ces prières **BAYA** ma mère.*

*A mon support dans ma vie, qui m'a appris m'a supporté et ma
dirigé Vers la gloire **KAMEL** mon père*

*A ma raison de vivre, a mon cher mari **ZINDINE** qui a été
toujours là pour moi.*

*A mes chères sœurs **RIMA, WIZA, MIRA** A mes oncles et mes
tantes A tous mes cousins et cousine*

A mes beaux parents et belle sœurs

*A toutes mes amies **LOUBNA, DJOUZA, LILI, KATIA , MIHA,**
Rima.*

AMINA

DEDICACE

*A l'aide de notre dieu le tout puissant on a pu faire ce modeste travail
que je dédie a :*

*-A celle qui m'a comblé d'amour, de soutien et de tendresse, a mon
bonheur, ma fierté et mon honneur : Ma Mère (ZAHRA) qu'a Allah la
garde dans son vaste paradis.*

*-A celui qui a sacrifié sa vie pour me guider et m'encourager avec ces
précieux conseils et son soutien tout au long de mes études : Mon
Père(AMAR)*

-A ma belle mère (NADIA)

- A mes chers frères : KARIM, ALI, SAMIR, IMAD

- A mes chères sœurs : NORA, HANIA, WIDAD

-A Ma binôme AMINA

-A mes meilleures amies SARA, LILI, SAMAH, KATIA, RIMA

-A mes meilleurs amis ISLEM et CHERIF

*-A tous mes enseignants qui nous donnent le maximum durant nos
études.*

-A tous mes amis de promo d'hydraulique

-A tous ceux qui m'ont aidé durant ma vie Universitaire.

Katia

Resumé :

L'eau souterraine supposée d'une qualité supérieure et relativement loin des agents de pollution, ce qui lui donne une grande importance dans le domaine de l'exploitation pour les différents types d'usage.

Ce sujet vise l'analyse statistique de l'eau souterraine de la wilaya de Bouira à travers la collecte et le traitement des différentes données de mesure des différents paramètres physico-chimiques.

Ce qui nous a permis de caractériser le chimisme de ces eaux souterraines en vue de leur utilisation dans l'alimentation en eau potable, avec leur origine.

Cette étude a été réalisée par l'inspection des résultats des analyses chimiques des échantillons d'eau prélevés (159 forages durant 9 ans), en utilisant l'application des analyses statistiques par la méthode de l'Analyse en Composante Principale (ACP), à l'aide du logiciel statistique XLSTAT 2007.

Mots clé : Eaux souterraines, qualité, Bouira, éléments majeurs

Abstract :

Groundwater assumed to be of high quality and relatively far from pollution agents, which gives it great importance in the field of exploitation for different types of use.

This topic aims at the statistical analysis of groundwater of the region of BOUIRA through the collection and processing of different measurement data of different parameters physico-chemical.

This made it possible to characterize the chemistry of this groundwater for use in the supply of drinking , with their origin.

This study was carried out by the inspection of the results of the chemical analyses of the water samples taken (159 boreholes during 9 years), using the application of the statistical analyses by the method of the Analysis in Main Component (ACP), using the statistical software XLSTAT 2007.

Key words: Groundwater, quality, Bouira, Major elements

ملخص

يفترض أن تكون المياه الجوفية عالية الجودة وبعيدة نسبيا عن عوامل التلوث، مما يعطيها أهمية كبيرة في مجال الاستغلال لأنواع مختلفة من الاستخدام.

لتحليل الاحصاء للمياه الجوفية لولاية البويرة من خلال جمع المعلومات نقوم بتجهيز بيانات القياس المختلفة لمختلف الاعدادات الفيزيائية الكيميائية.

هذا العمل سمح لنا بتوصيف كيمياء هذه المياه الجوفية لاستخدامها في إمدادات مياه الشرب مع تحديد أصلها. اجريت هذه الدراسة من خلال فحص نتائج التحاليل الكيميائية لعينات المياه المأخوذة (159 بئر لمدة 9 سنوات) و ذلك باستخدام

تطبيق التحليلات الاحصائية بواسطة طريقة تحليل المكونات الرئيسية باستخدام البرنامج الاحصائي XLSTAT2007

XLSTAT2007

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، الجودة، البويرة، العناصر الرئيسية

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction

Chapitre I : généralités sur les eaux souterraines

<i>I-1-Introduction</i>	4
<i>I-2- Les eaux souterraines</i>	4
<i>I-2-1-Les nappes</i>	5
<i>I-2-1-1- Les différents types de nappes</i>	5
<i>I-2-1-1-1- Les nappes profonde : peut êtres</i>	5
<i>I-2-1-1-1-1-Nappe libre</i>	5
<i>I-2-1-1-1-2- Nappe captive</i>	6
<i>I-2-1-1-1-3- Nappe semi captive</i>	7
<i>I-2-1-1-2- Les nappes phréatiques</i>	7
<i>I-2-1-1-3- Les nappes alluviales</i>	7
<i>I-2-1-1-4- Les nappes karstiques</i>	7
<i>I-2-2- l'aquifère</i>	8
<i>I-1-2-1-les grands types d'aquifères</i>	9
<i>I-3- Le captage des eaux souterraines</i>	9
<i>I-3-1- Puits (classique)</i>	9
<i>I-3-2- Forage</i>	10
<i>I-3-3-Puits à drains rayonnants</i>	10
<i>I-3-4-Captage de source</i>	11
<i>I-3-5- Galerie drainante</i>	11
<i>I-4-La qualité des eaux souterraines</i>	11
<i>I-4-1-Qualité physico-chimique</i>	11
<i>I- 4-1-1-Les paramètres physique</i>	12
<i>I- 4-1-1-1- La température</i>	12
<i>I-4-1-1-2- Turbidité</i>	12
<i>I-4-1-1-3- Le PH</i>	13

<i>I-4-1-1-4- La conductivité.....</i>	13
<i>I-4-1-1-5- Couleur.....</i>	13
<i>I-4-1-1-6- Odeur.....</i>	14
<i>I-4-1-2- Les paramètres chimiques.....</i>	14
<i>I-4-1-2-1- Ions majeurs.....</i>	14
<i>I-4-1-2-1-1-Les cations.....</i>	14
<i>I-4-1-2-1-2- Les anions.....</i>	15
<i>I-4-1-2-1-3- Les éléments en trace.....</i>	16
<i>I-4-1-2-1-3- La dureté.....</i>	18
<i>I-4-1-2-1-4- Oxygène dissous.....</i>	18
<i>I-5-Les normes de la qualité des eaux souterraines.....</i>	18
<i>I-5-1-Substances chimiques dont la présence dans l'eau de boisson: (Rodier, 1976)...</i>	19
<i>I-5-2- Substance et paramètre de l'eau de boisson.....</i>	19
<i>I-5-3-Substances inorganiques.....</i>	20
<i>I-6. Conclusion.....</i>	21

Chapitre II : présentation et l'aperçu sur la géologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude

<i>La première partie : présentation hydrologique du site d'étude</i>	23
<i>II.1 Introduction.....</i>	23
<i>II. 2. Aperçu géographique.....</i>	23
<i>II. 2.1. Localisation géographique de la Wilaya de Bouira.....</i>	23
<i>II.2.2 Développement et économie.....</i>	24
<i>II.2.2 .1-Principales activité agro-industrielles dans Bouira.....</i>	24
<i>II.2.2 .2- les grandes infrastructures économiques.....</i>	24
<i>II.2.2.3. Potentialités et activistes touristiques.....</i>	25
<i>II.2.3. Le relief.....</i>	25
<i>II.3. Répartition administrative.....</i>	26
<i>II.4. La démographie.....</i>	27
<i>II.5. Le climat.....</i>	27
<i>II.5.1 Les précipitations.....</i>	28
<i>II.5.1.1 Evaluation de la lame d'eau précipitée.....</i>	29
<i>II.5.2 La Température.....</i>	30

<i>II.5.3 Le vent</i>	31
<i>II.5.4 Humidité relative</i>	32
<i>II.5.5 Evaporation</i>	33
<i>II.5.6. Régime climatique et identification du climat</i>	34
<i>II.5.6.1. Indice d'aridité de la FAO</i>	34
<i>II.5.6.2 Indice annuel d'aridité de De Martonne</i>	35
<i>II.6 Hydrographie</i>	36
<i>Deuxième Partie : Présentation hydrogéologique de la zone d'étude</i>	
<i>II.7. Introduction</i>	38
<i>II.8. Aperçu sur la géologie de la zone d'étude</i>	38
<i>II.8.1. Contexte géologique régional</i>	38
<i>II.8.1.1. Domaine tellien</i>	39
<i>II.8.1.2 Les hauts plateaux et les hautes plaines</i>	40
<i>II.8.1.3 L'Atlas Saharien</i>	40
<i>II.8.1.4 La plateforme Saharienne</i>	41
<i>II.8.2 Cadre géologiques local</i>	41
<i>II.8.2.1 Les flyschs du flanc du Sud du Djurdjura</i>	41
<i>II.8.2.2 Le Miocène</i>	41
<i>II.8.2.3 Le Quaternaire</i>	42
<i>II.8.3 Lithostratigraphie</i>	42
<i>II.8.3.1 Le Quaternaire</i>	43
<i>II.8.3.2 Le Miocène post-nappe</i>	43
<i>II.8.3.2.1 Le Crétacé</i>	43
<i>II.8.3.2.2 Le Jurassique</i>	43
<i>II.8.3.2.3 Le Trias</i>	43
<i>II.8.4 Tectonique</i>	43
<i>II.8.4.1 Formations autochtones et parautochtones</i>	43
<i>II.8.4.2 Formations allochtones</i>	44
<i>II.9 Carte piézométrique 2011</i>	45
<i>II.10 Conclusion</i>	46

Chapitre III : moyens, résultats et discussions

<i>III.1. Introduction</i>	48
----------------------------------	----

<i>III.2. Présentation de logiciel XLSTAT 2007.....</i>	49
<i>III.3. Etude statistique des données hydro- chimiques.....</i>	49
<i>III.3.1 Statistique descriptive.....</i>	49
<i>III.3.1.1 Le maximum et le minimum.....</i>	49
<i>III.3.1.2 La moyenne arithmétique.....</i>	49
<i>III.3.1.3 L'écart-type.....</i>	49
<i>III.3.1.4 Le coefficient de variation (CV).....</i>	49
Interprétation	54
<i>III.3.2 Analyse de la matrice de corrélation.....</i>	55
<i>III.3.3-Analyse en composantes principales (A.C.P).....</i>	60
<i>III.3.1.1-Définition.....</i>	60
<i>III.3.1.2. Principe de l'ACP.....</i>	61
<i>III.3.1.3. Bref historique de l'ACP.....</i>	61
<i>III.3.1.4 Objectifs.....</i>	62
<i>III.3.1.4 Avantages et Inconvénients de l'ACP.....</i>	62
<i>III.3.1.4.1. Avantages.....</i>	62
<i>III.3.1.4.2.Inconvénients.....</i>	63
<i>III.3.1.5- Application de L'ACP sur des données chimiques de la zone d'étude.....</i>	63
<i>III.3.1.4 Etude des valeurs propres.....</i>	63
<i>III.3.1.5 : Etude des variables.....</i>	73
<i>III.3.1.6 Conclusion.....</i>	89

Conclusion générale

Liste des figures

<i>Figure I.1: Présentation des eaux souterraines.....</i>	<i>5</i>
<i>Figure I.2: schéma explicatif d'une nappe libre.....</i>	<i>6</i>
<i>Figure I.3: schéma explicatif d'une nappe captive.....</i>	<i>6</i>
<i>Figure I.4: Schéma d'un aquifère.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure I.5: Un puits classique.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure I.6: Un forage.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure I.7: Puits à drains rayonnant.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure I.8: Captage des sources.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure I.9: Galerie drainante.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure I.10: cycle de l'azote.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure II.1: Situation géographique et administrative de la wilaya de Bouira (ANIRF 2013).....</i>	<i>23</i>
<i>Figure II.2: Histogramme des précipitations mensuelles pour la période 1970-2009.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure II.3: Répartition mensuelle des températures moyennes mensuelles, maximales et minimales (station de Bouira).....</i>	<i>31</i>
<i>Figure II.4: Répartition mensuelle de vent, max et moy (station de Bouira).....</i>	<i>32</i>
<i>Figure II.5: Humidité relative pour la région Bouira (Période 1997-2007 station de Bouira).....</i>	<i>33</i>
<i>Figure II.6: Evaporation pour la région Bouira (Période 1997-2007 station de Bouira)</i>	<i>34</i>
<i>Figure II.7: Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure II.8: Réseau hydrographique des trois sous bassins versants (Source : ANRH de Blida).....</i>	<i>37</i>
<i>Figure II.9: Carte structurale schématique de la chaîne des maghrébines montrant la disposition de la zone externe et la zone interne dans la grande Kabylie.....</i>	<i>39</i>
<i>Figure II.10: coupe synthétique et interprétative N-S de la partie centrale du domaine Tellien (Durand Delga et al, 1969 ; modifiée par Ait, 1994).....</i>	<i>40</i>
<i>Figure II.11: Localisation des points d'eau dans la région de Bouira.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure II.12: Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau D'El Asnam (Mai 2011).....</i>	<i>45</i>
<i>Figure III.1: représentation graphique de valeurs propres (2003).....</i>	<i>64</i>

<i>Figure III.2: représentation graphique de valeurs propres (2005).....</i>	<i>65</i>
<i>Figure III.3: représentation graphique de valeurs propres (2006).....</i>	<i>66</i>
<i>Figure III.4: représentation graphique de valeurs propres (2007).....</i>	<i>67</i>
<i>Figure III.5: représentation graphique de valeurs propres (2008).....</i>	<i>68</i>
<i>Figure III.6: représentation graphique de valeurs propres (2009).....</i>	<i>69</i>
<i>Figure III.7: représentation graphique de valeurs propres(2011).....</i>	<i>70</i>
<i>Figure III.8: représentation graphique de valeurs propres (2012).....</i>	<i>71</i>
<i>Figure III.9: représentation graphique de valeurs propres (2013).....</i>	<i>72</i>
<i>Figure III.10 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1et F2) (2003).....</i>	<i>73</i>
<i>Figure III.11 : représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1et F2)</i>	<i>74</i>
<i>Figure III.12 : cercle de corrélation des variables dans sur plan (F1et F2) (2005)...</i>	<i>75</i>
<i>Figure III.13: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1et F2).....</i>	<i>76</i>
<i>Figure III.14 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1et F2) (2006).....</i>	<i>77</i>
<i>Figure III.16: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1et F2).....</i>	<i>78</i>
<i>Figure III.17 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1et F2) (2007).....</i>	<i>79</i>
<i>Figure III.18: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1et F2).....</i>	<i>80</i>
<i>Figure III.19 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1et F2) (2008).....</i>	<i>81</i>
<i>Figure III.20: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1et F2).....</i>	<i>81</i>
<i>Figure III.21 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1et F2) (2009).....</i>	<i>82</i>
<i>Figure III.22: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1et F2).....</i>	<i>83</i>
<i>Figure III.23 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1et F2) (2011).....</i>	<i>84</i>
<i>Figure III.24: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1et F2).....</i>	<i>85</i>
<i>Figure III.25 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1et F2) (2012).....</i>	<i>86</i>
<i>Figure III.26: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1et F2).....</i>	<i>87</i>
<i>Figure III.27 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1et F2) (2013).....</i>	<i>88</i>

<i>Figure III.28: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1etF2).....</i>	88
--	----

Liste des tableaux

<i>Tableau I.1: Substance chimiques dont la présence dans l'eau de besoin revêt une importance sanitaire.....</i>	19
<i>Tableau I.2: Paramètres physiques (organoleptiques).....</i>	20
<i>Tableau I.3: Substances inorganiques.....</i>	20
<i>Tableau II.1: Découpage administratif de Bouira (ANIRF 2013).....</i>	27
<i>Tableau II.2: Précipitations moyennes mensuelles (1970-2009).....</i>	28
<i>Tableau II.3: Evaluation de lame précipitée par la méthode arithmétique.....</i>	30
<i>Tableau II.4: Température moyenne mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997- 2007).....</i>	31
<i>Tableau II.5: La vitesse du vent (max et moy) mensuelles et annuelles en m/s (1997-2007).....</i>	32
<i>Tableau II.6: Moyennes mensuelles du taux d'humidité relative. Période (1997-2007)</i>	33
<i>Tableau 4: Evaporation moyenne mensuelle et annuelle à la station de Bouira (1997 –2007).....</i>	34
<i>Tableau II.8: Indice d'aridité de De Martonne.....</i>	36
<i>Tableau III.1: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2003).....</i>	49
<i>Tableau III.2: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2005).....</i>	50
<i>Tableau III.3: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2006).....</i>	50
<i>Tableau III.4: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2007).....</i>	51
<i>Tableau III.5: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2008).....</i>	51
<i>Tableau III.6: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2009).....</i>	52

<i>Tableau III.7: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2011)</i>	52
<i>Tableau III.8: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2012)</i>	53
<i>Tableau III.9: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2013)</i>	53
<i>Tableau III.10: Matrice de corrélation entre les variables (2003)</i>	55
<i>Tableau III.11: Matrice de corrélation entre les variables (2005)</i>	56
<i>Tableau III.12: Matrice de corrélation entre les variables (2006)</i>	57
<i>Tableau 5: Matrice de corrélation entre les variables (2007)</i>	57
<i>Tableau III.14: Matrice de corrélation entre les variables (2008)</i>	58
<i>Tableau III.15 : Matrice de corrélation entre les variables (2009)</i>	58
<i>Tableau III.16: Matrice de corrélation entre les variables (2011)</i>	59
<i>Tableau III.17: Matrice de corrélation entre les variables (2012)</i>	59
<i>Tableau III.18: Matrice de corrélation entre les variables (2013)</i>	60
<i>Tableau III.19: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2003)</i>	64
<i>Tableau III.20: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2005)</i>	65
<i>Tableau III.21: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2006)</i>	66
<i>Tableau III.22: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2007)</i>	67
<i>Tableau III.23: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes(2008)</i>	68
<i>Tableau III.25: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2009)</i>	69
<i>Tableau III.25: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2011)</i>	70
<i>Tableau III.26: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2012)</i>	71
<i>Tableau III.27: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2013)</i>	72

<i>Tableau III.28: Corrélations entre les variables et les facteurs (2003)</i>	73
<i>Tableau III.29: Corrélations entre les variables et les facteurs (2005)</i>	75
<i>Tableau III.30: Corrélations entre les variables et les facteurs (2006)</i>	77
<i>Tableau III.31: Corrélations entre les variables et les facteurs (2007)</i>	79
<i>Tableau III.32: Corrélations entre les variables et les facteurs (2008)</i>	80
<i>Tableau III.33: Corrélations entre les variables et les facteurs (2009)</i>	82
<i>Tableau III.34: Corrélations entre les variables et les facteurs (2011)</i>	84
<i>Tableau III.35: Corrélations entre les variables et les facteurs (2012)</i>	86
<i>Tableau III.36: Corrélations entre les variables et les facteurs (2013)</i>	87

**INTRODUCTION
GÉNÉRALE**

Introduction générale

L'eau est un élément rare et un facteur essentiel qui conditionne fortement l'avenir et ce, indépendamment de tout changement climatique. Au centre du Maghreb, l'Algérie est un pays en stress hydrique qui devrait connaître une situation de pénurie d'eau.

Selon les Nations Unis, 10 millions de kilomètres cubes d'eau sont trouvés sous terre. United States Géologique Survey dit qu'il y en a environ 4,2 millions kilomètres cubes d'eau moins de 0,8 kilomètres de la surface de la terre.

Au fur et à mesure que les ans s'écoulent, la population s'accroît en s'accélégrant, augmente de plus en plus ses besoins unitaires en eau, pour elle même et pour toutes ses activités tel que l'agriculture, l'industrie, etc. Ceci car l'eau est une ressource indispensable à la vie.

D'habitude, quand les personnes pensent à propos des sources d'eau, ils pensent à des rivières et des cours d'eau; en d'autres mots, eaux de surface. Mais, de toute l'eau douce utilisable dans le monde, approximativement 97 % est de l'eau souterraine.

Les Agences de l'eau et le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ont souhaité harmoniser, moderniser et enrichir le système d'évaluation de la qualité des cours d'eau et mettre en place pareillement, un système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines qui puisse rendre compte de leur spécificité tout en restant cohérent avec le système mis au point pour les eaux superficielles (Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines SEQ ; Rapport de présentation 2003) et ainsi que certaines activités reliées au transport et à l'industrie ont contribuées à la contamination des eaux souterraines notamment par les produits pétroliers et l'utilisation massive d'engrais et de pesticides à des fins d'embellissement de propriétés privées et publiques est également un risque potentiel de contamination pour la nappe phréatique.

Dans ce cadre, notre étude proposée a pour objet : de connaître les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, et hydro chimiques au niveau de la région de la Wilaya de Bouira.

Cette étude est basée sur deux axes principaux :

Le premier axe : est consacré pour la collecte des données relatives à la qualité des eaux souterraines de la région plus spécialement : les éléments majeurs et les caractéristique physico chimique. Cette partie est abordée en deux chapitres ; le premier chapitre est réservé à la recherche bibliographique sur l'eau et les eaux souterraines d'une façon générale ; et le deuxième chapitre présente la présentation du site d'étude avec une aperçu sur la géologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude.

Le deuxième axe qui est abordée en un chapitre (le 3^{ème} chapitre) : qui vise l'analyse statistique des données de mesure relatives à l'eau souterraine à travers le traitement des différentes données de mesure.

Dans ce cadre, nous avons procédé à l'étude des résultats de mesure des différents paramètres relatifs à 159 forages pendant 09 ans.

L'actuelle étude est consacrée à :

i)-l'analyse statistique descriptive à travers la détermination des paramètres descriptifs pour chaque paramètre de mesure (valeur maximale, valeur minimale, moyenne, écart type, et coefficient de variation),

ii)-l'analyse de corrélation à travers la détermination de la matrice de corrélation englobant les coefficients de corrélation entre les différents paramètres pris 02 à 02.

iii)-l'analyse en composantes principales ACP : qui est utilisée pour la réduction des dimensions comme une étape préliminaire afin d'extraire les paramètres les plus influençant.

Nous signalons aussi que notre étude est menée sous le logiciel XLSTAT 2007.

CHAPITRE I
GÉNÉRALITÉS SUR LES
EAUX SOUTERRAINES

I-1-Introduction :

Les glaciers représentent la plus grande réserve en eau douce de la planète. Avec environ 23% des stocks, les eaux souterraines couvrent la quasi-totalité des volumes restants. Les rivières et les lacs ne représentent que 0,3% des stocks. Contrairement aux glaciers, les nappes constituent une réserve relativement disponible pour l'homme. Elles sont en outre souvent mieux protégées que les eaux de surface (rivières et lacs) et forment à ce titre une ressource stratégique pour l'alimentation en eau potable

Contrairement aux eaux de surface confinées à quelques canaux (les cours d'eau) et dépressions (les lacs), l'eau souterraine est omniprésente dans le sous-sol. Elle y remplit les interstices entre les particules du sol ou encore les crevasses et les fissures du roc. La formation de nappes d'eau souterraines ou « nappes phréatiques » résulte de l'accumulation d'eau infiltrée depuis la surface du sol suite, par exemple, à un épisode de pluie.

I-2- Les eaux souterraines :

On entend par « eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels les sables et les graviers. Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas canalisée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain. L'eau souterraine est une composante importante du cycle hydrologique; l'eau provenant des précipitations s'infiltré dans le sol, circule verticalement jusqu'à la zone de saturation (nappe phréatique) et se déplace vers la zone naturelle de résurgence (les cours d'eau) située en aval (Myrand, 2008).

Dans le milieu poreux, on considère deux types d'eau :

- l'eau de gravité : entraînée par la pesanteur, circule dans les pores grossiers et moyens. Elle représente la fraction mobile dans le sol et contribue aux transferts de matière en solution et en suspension.
- l'eau de rétention immobilisée au cours de l'infiltration par les pores fins et très fins : Il est alors possible de considérer l'eau absorbée par la roche qui est retenue très énergiquement et n'est pas disponible pour les racines (Duchaufour, 1995 ; Alexander, 1977), et L'étude de l'écoulement en milieu poreux a fait l'objet de nombreux travaux (De marsily, 1981 ; Castany, 1982 ; Musy, 1991).

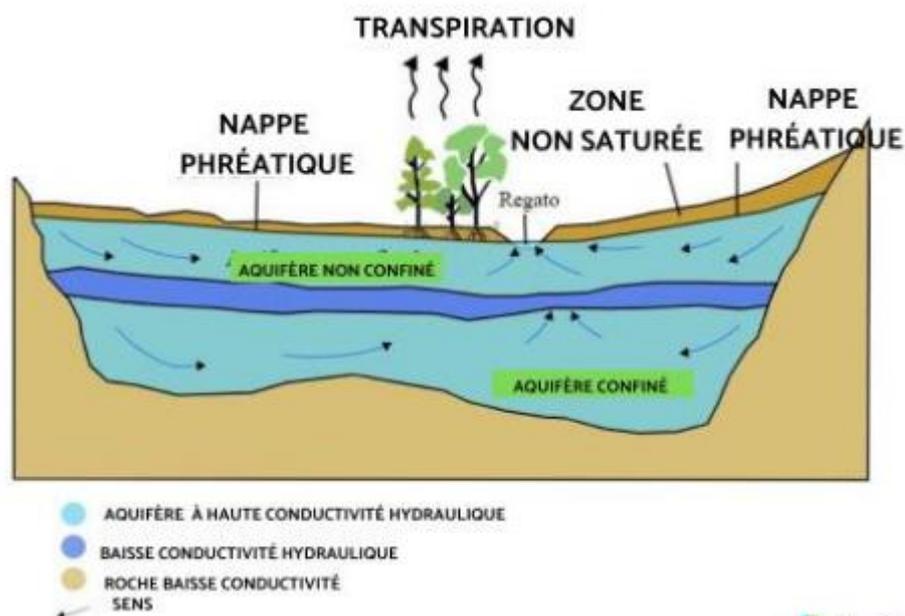


Figure I.12: Présentation des eaux souterraines

I-2-1-Les nappes :

La nappe chemine en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau. Les nappes souterraines fournissent ainsi presque le tiers du débit total de tous les cours d'eau de la planète, soit environ 12 000 kilomètres cubes d'eau par an.

I-2-1-1- Les différents types de nappes :

I-2-1-1-1- Les nappes profonde : peut êtres :

I-2-1-1-1-1 Nappe libre :

Les nappes d'eaux souterraines peuvent être de deux types selon qu'elles circulent sous une couche perméable ou non.

Les nappes situées sous un sol perméable sont dites libres. Au-dessus de la nappe en effet, les pores du terrain perméable ne sont que partiellement remplis d'eau, le sol n'est pas saturé, et les eaux de pluie peuvent toujours l'imprégner davantage. Aussi, le niveau de la nappe peut-il monter ou baisser à son aise. De telles nappes peuvent donc contenir des volumes d'eau variables.

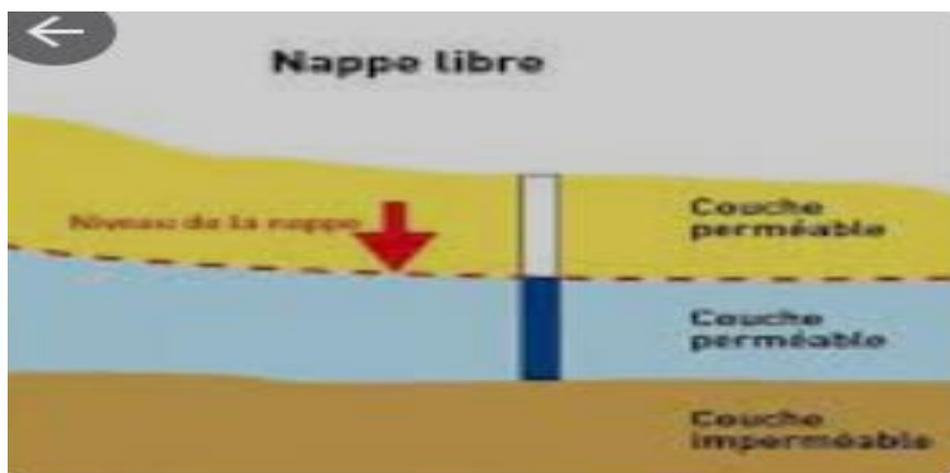


Figure I.13: schéma explicatif d'une nappe libre

I-2-1-1-2- Nappe captive :

Sont comprises entre deux couches géologiques imperméables qui confinent l'eau sous pression. Celle-ci peut jaillir dans des forages dits artésiens.

Les nappes captives sont souvent profondes de quelques centaines de mètres voire plus. Elles se renouvellent plus lentement. Leur alimentation provient pour partie de la zone affleurant de l'aquifère et elles bénéficient d'une protection naturelle, représentée par la formation géologique imperméable sus-jacente. Elles sont de ce fait peu vulnérables aux pollutions de surface.

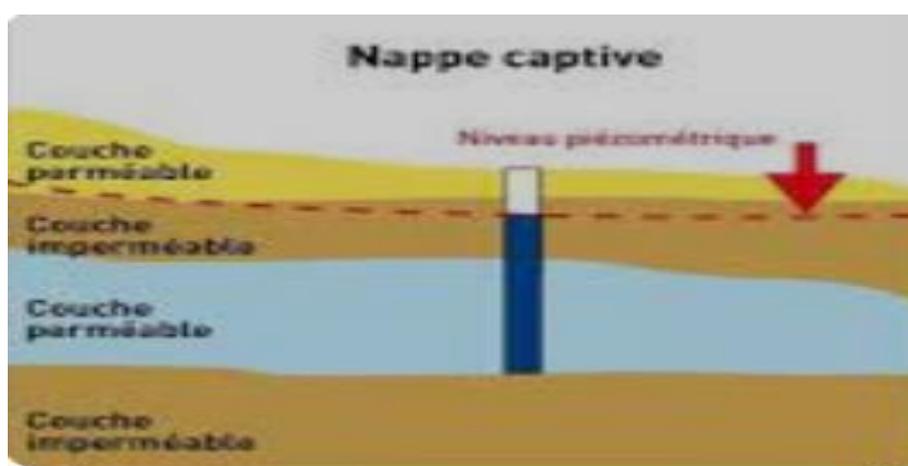


Figure I.14: schéma explicatif d'une nappe captive

I-2-1-1-1-3- Nappe semi captive :

Le toit ou le substratum (ou de les deux) de la nappe sont souvent constitués par une formation hydrogéologique semi-perméable. Celle-ci permet, dans certaines conditions hydrodynamiques favorables (différence de charge) des échanges d'eau (ou de pression) avec la nappe superposée ou sous-jacente appelée drainante. Ce phénomène implique une nappe semi captive (Castany, 2008).

I-2-1-1-2- Les nappes phréatiques :

Les nappes phréatiques sont des réservoirs d'eaux souterraines stockées à faible profondeur dans des roches poreuses et perméables qui composent les zones aquifères. Il existe des nappes souterraines profondes de plusieurs centaines de mètres, mais les nappes dites phréatiques sont des nappes suffisamment proches de la surface pour être accessibles aux activités humaines.

Ces eaux sont ensuite récoltées par captage puis traitées dans des unités de traitement afin de produire de l'eau potable pour la consommation humaine.

I-2-1-1-3- Les nappes alluviales :

Les nappes alluviales sont des nappes qui circulent dans les sédiments des rivières, c'est une masse d'eau se trouvant dans des terrains alluvionnaires. Elles se trouvent à faible profondeur et sont donc relativement faciles d'accès pour des prélèvements d'eau.

Une nappe alluviale est le plus souvent la nappe d'accompagnement d'un cours d'eau, avec lequel elle communique jusqu'à rencontrer une barrière géologique imperméable : si le niveau de la rivière s'élève rapidement (en période de crue), une partie de l'eau s'infiltrera pour recharger la nappe, tandis qu'au contraire en cas d'étiage, le débit du cours d'eau sera augmenté par l'écoulement de la nappe qu'il draine.

I-2-1-1-4- Les nappes karstiques :

La nappe karstique se rencontre dans les formations calcaires. Les eaux en dissolvant le calcaire à la faveur des fissures préexistantes constituent des vides dans lesquels peuvent s'écouler les eaux. Ces vides peuvent atteindre de grandes dimensions (gouffres, cavernes). Dans ces conduites, les eaux peuvent cheminer rapidement et constituer des cours d'eau souterrains. Aux points de sortie, les sources présentent des débits souvent variables dans le temps (leur valeur varie au cours de l'année) (Mourey et Vernoux, 2000).

I-2-2- l'aquifère :

Un aquifère est un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable. Un aquifère peut comporter une zone non saturée. L'aquifère est homogène quand il a une perméabilité d'interstices (sables, graviers); la vitesse de percolation y est lente. Il est hétérogène avec une perméabilité de fissures (granite, calcaire karstique); la vitesse de percolation est plus rapide (Castany, 1979).

Ils sont des couches de roches qui sont trouvés sous le sol et sont composés de roches perméables, du gravier, du sable ou d'argile d'où l'eau peut être extraite.

Les différents types de roches et du sol peuvent garder les montants différent d'eau, cependant les régions poreux (ou les espaces). Quand les espaces sont assez grandes pour contenir des quantités utilisables d'eau, il est appelé une aquifère. Grands particules comme sable ou gravier grossier peuvent garder plus d'eau que sable ou argile fin, parce que les espaces entre les particules de gravier sont plus grandes que les espaces entre les particules du sable fin.

Alors, on peut dire que gravier a plus de porosité, ou habilité de garder d'eau, qu'argile.

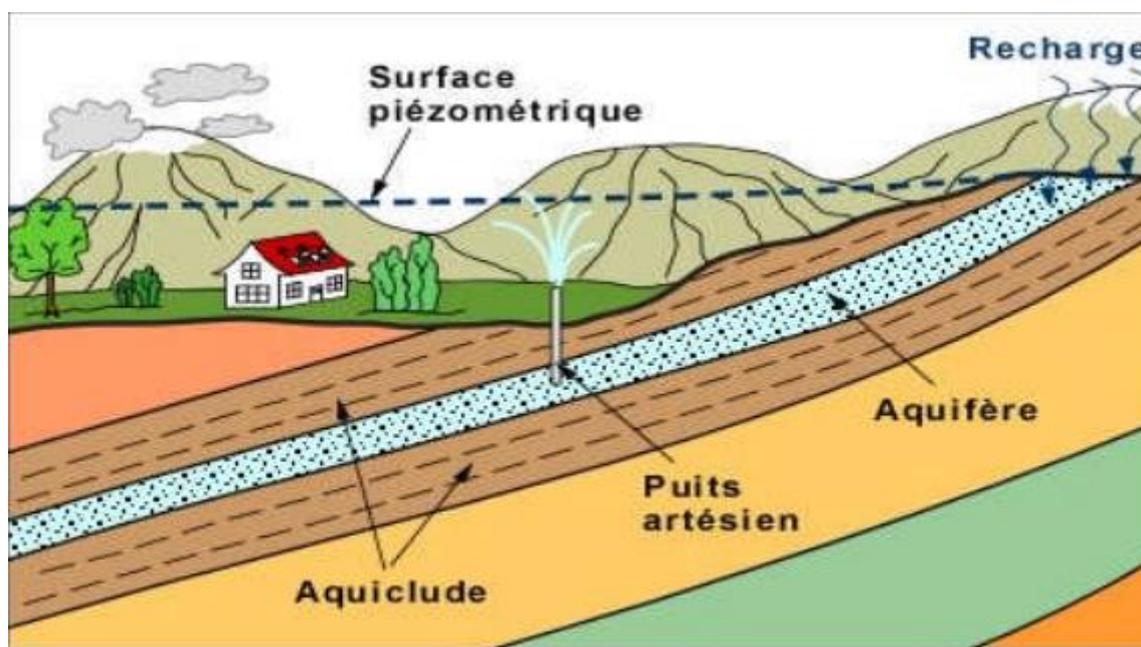


Figure I.15: Schéma d'un aquifère

I-1-2-1-les grands types d'aquifères :

On distingue trois grandes familles d'aquifères :

- Les aquifères de roches sédimentaires sont composés de calcaires, sables, grès, craie. Ils caractérisent les dépôts en couches dans les grands bassins, voire déformés dans les chaînes de montagne.

- Les aquifères alluviaux sont constitués de matériaux déposés par les cours d'eau dans leurs vallées : sables et graviers, intercalés dans des limons fins. Vulnérables, ces nappes en relation avec les eaux de surface servent souvent de relais aux grandes nappes libres qui s'écoulent naturellement vers les points bas que sont les vallées.

- Les aquifères de roches cristallines (granite, gneiss,...) et volcaniques (laves, cendres) stockent l'eau dans les fissures et les zones altérées (arènes). Ils abritent de petites nappes et sont fréquents.

I-3- Le captage des eaux souterraines :

On a plusieurs types de captage :

I-3-1- Puits (classique) :

Connue dès l'antiquité, cette technique de captage s'est améliorée au fil des siècles (puits maçonnés, puits avec buses préfabriquées ...).

Dans des nappes étendues, elle permet de choisir l'emplacement du captage, souvent au plus près du lieu d'utilisation.

La profondeur dépasse rarement quelques dizaines de mètres.

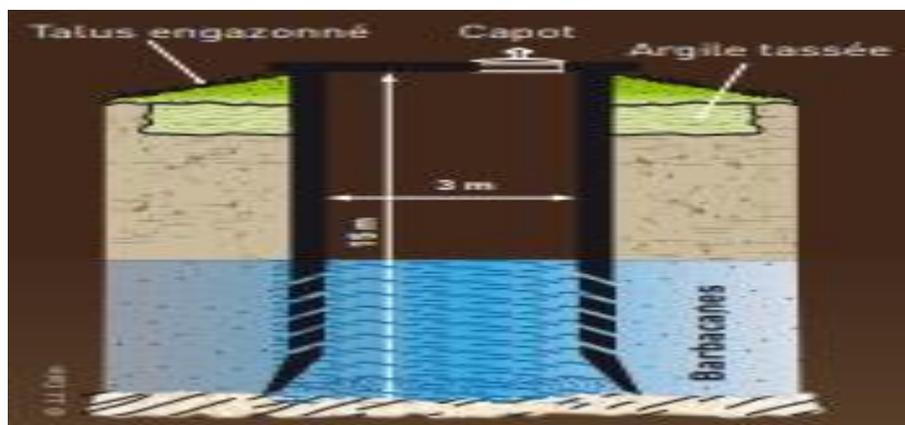


Figure I.16: Un puits classique

I-3-2- Forage :

Très vieille technique née en Chine avec des tiges de bambou assemblées, elle s'est améliorée au fil du temps. Apparues au 19^{ème} siècle, des techniques modernes continuent de se perfectionner.

Un trou est creusé dans le sol et les déblais évacués au fur et à mesure.

Si nécessaire le terrain est maintenu pour éviter les éboulements, puis les tubes définitifs et les crépines perforées sont mis en place. Parfois le tubage définitif accompagne l'avancement de la foration.

On peut capter par forage des nappes très profondes (jusqu'à plusieurs milliers de mètres) ou de faible profondeur.

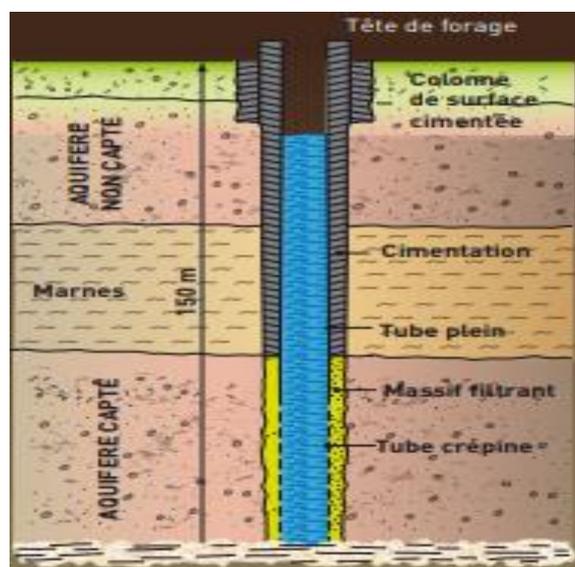


Figure I.17: Un forage

I-3-3-Puits à drains rayonnants :

Pour obtenir de très gros débits, on augmente le diamètre (virtuel) du puits en forant horizontalement des drains. Plus coûteux qu'un puits ordinaire, ce mode est réservé à des usages spécifiques.

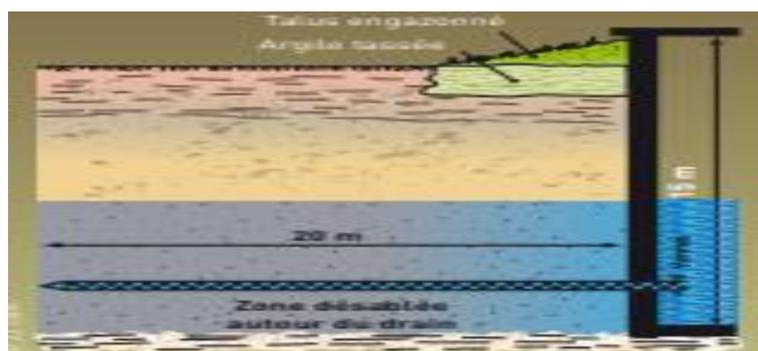


Figure I.18: Puits à drains rayonnant

I-3-4-Captage de source :

C'est l'un des modes les plus anciens. L'eau est captée où elle sort naturellement du sol et amenée jusqu'à son lieu d'utilisation par une conduite ou un aqueduc, parfois très longs.

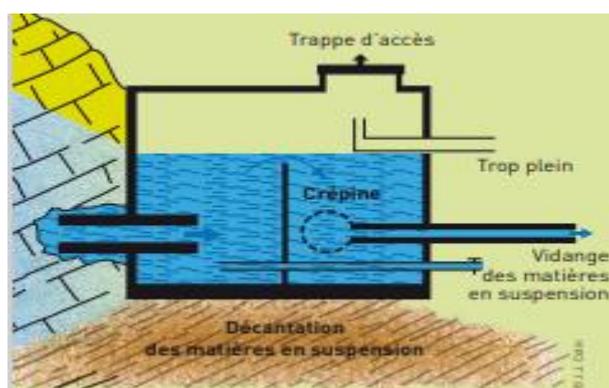


Figure I.19: Captage des sources

I-3-5- Galerie drainante :

C'est un conduit fermé (canal de drainage ou galerie) de faible pente aménagé dans un aquifère pour collecter par gravité (écoulement naturel) les eaux souterraines. Peu utilisé en France, ce mode de captage né en Iran s'est répandu dans les régions semi-arides (Afghanistan, Algérie, Maroc...) et jusqu'en Espagne, les galeries, de la taille d'un homme, peuvent y atteindre plusieurs kilomètres. Dans les zones de moyenne montagne française, on rencontre des captages similaires par drains enterrés à faible profondeur, mais de petit diamètre (10 ou 20cm), qui collectent l'eau d'une zone diffuse d'émergence.

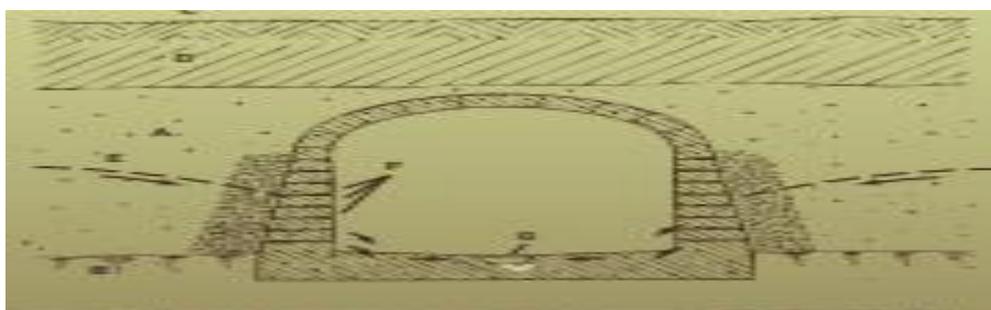


Figure I.20: Galerie drainante

I-4-La qualité des eaux souterraines :

I-4-1-Qualité physico-chimique :

L'attention est attirée sur le fait qu'une évaluation ponctuelle des eaux peut ne pas refléter la qualité globale d'une nappe souterraines ou d'une masse d'eau. Les analyses physico-chimiques d'eau souterraine font référence à toutes les actions de détermination d'une valeur sur un échantillon, qu'ils s'agissent d'analyses, de mesures, d'observations, etc... Faites en laboratoire ou sur le site de la station de mesure.

Les informations relatives aux résultats d'analyse sont fournies par l'organisme chargé de l'analyse, et communiquées sous la responsabilité de l'organisme producteur de données qui confirme ou non le résultat au regard de la connaissance et du contrôle du processus de

Production de la donnée et qui s'engage ou pas sur la vraisemblance et la représentativité de la donnée par rapport au milieu où a été réalisé le prélèvement (Sandre ,2011).

I- 4-1-1-Les paramètres physique :

I- 4-1-1-1- La température :

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usages .Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liée à la température (conductivité notamment).De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision.

En effet celle ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques. Et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (Rodier, 1984). Elle est aussi un facteur important dans la production biologique, Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques (HCEFLCD, 2006).

I-4-1-1-2- Turbidité :

La turbidité joue un rôle important dans la filtration et correspond généralement à la quantité de matières en suspension (MES) dans l'eau composée de limon, d'argile, de particules organiques et inorganiques, ainsi que du plancton et autres microorganismes.

L'appréciation du niveau quantitatif élevé de ces matières mesure le degré de turbidité. Il est également indiqué que les matières en suspension de dimensions inférieures à ces tailles sont celles qui jouent un rôle important dans le transfert des métaux (Rodier et al, 1996).

Elle permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau.la turbidité est causée par les particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques.....).Les désagréments causés par la turbidité auprès des usages est relative : certaines populations habituées à consommer une eau très colorée n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant, une turbidité forte peut permettre à des micros organismes de se fixer sur les particules en suspension : la qualité bactériologique d'une eau turbide est donc suspecte. La turbidité joue un rôle important dans la filtration et correspond généralement à la quantité de matières en suspension (MES) dans l'eau composée de limon, d'argile, de particules organiques et inorganiques, ainsi que du plancton et autres microorganismes.

I-4-1-1-3- Le PH :

Le pH appelé encore potentiel Hydrogène mesure la concentration des ions H_3O^+ dans une solution aqueuse. Le pH permet ainsi de connaître l'acidité de l'eau. Il a été rapporté que le pH (Kuhn et al, 2002) et la turbidité sont parmi les facteurs qui peuvent affecter la sensibilité de l'IMS (Di Giovanni et al, 1999), dont le facteur le plus important est la concentration en anhydride carbonique lié à la minéralisation (Rodier 1996) et dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Dussart, 1966. Bermond, 1973). Il ressort que le pH n'a qu'un effet direct sur la survie et le transport des microorganismes pathogènes (Marsily, 1995).

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14.7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimique, et dépend de facteurs multiples, Les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles (Chapman et al, 1996).

I-4-1-1-4- La conductivité :

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau, en effet des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration.

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau (X à $25^\circ C$).

I-4-1-1-5- Couleur :

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (Rodier, 1976).

I-4-1-1-6- Odeur :

Le test de l'odeur ne constitue pas une mesure mais une appréciation et celle-ci a donc un caractère personnel, cette subjectivité ne peut être compensée que par la rigueur des essais et le nombre des expérimentateurs. Le test de l'olfaction est plus sensible et plus précis que celui de la dégustation. Mais il ne permet pas d'apprécier des variations de moins de 30% des teneurs

des substances ayant une odeur. Il présente sur le test de saveur l'avantage de pouvoir être pratiqué sur l'eau brute et d'être moins fatiguant pour les opérations (Rodier, 1976).

I-4-1-2- Les paramètres chimiques :

I-4-1-2-1- Ions majeurs :

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue les cations : Calcium, Magnésium, Sodium, et Potassium ; et anions : Chlorure, Sulfate, Nitrate, et bicarbonate.

I-4-1-2-1-1- Les cations :

- **L'ion de calcium (Ca^{2+})** : Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrains traversés. Il existe surtout à l'état l'hydrogencarbonate et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures, etc (Rodier, 1976).

- **L'ion de magnésium (Mg^{2+})** : Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, même le carbonate peut être dissous jusqu'à 300 mg/l à 20°C.

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau ; sa teneur dépasse rarement 15mg/l. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogencarbonates (Rodier, 1976).

- **L'ion de sodium (Na^+)** : Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sable, argile, évaporite). La roche Halite (évaporite NaCl) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées.

Notons que les argiles peuvent être saturées en ions Na^+ , par le processus d'échange de bases (Rodier, 1976).

- **L'ion de potassium (K^+)** : Bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l (Rodier, 1976).

I-4-1-2-1-2- Les anions :

- **Les sulfates (SO_4^{2-})** : Les sulfates qui se dissolvent dans l'eau proviennent de certains minéraux en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux (Beriere, 2000). Selon l'intolérance des consommateurs, l'excès de sulfates dans l'eau peut

entraîner des troubles intestinaux. Les concentrations admissibles sont de l'ordre de 400 mg.L⁻¹ (Bouziani, 2000).

• **Les chlorures (Cl⁻)** : La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. L'invasion d'eau de mer, ainsi que les phénomènes d'évaporation dans les bassins endoréiques sont également des sources de chlorures possibles. Le rôle des roches cristallines dans la minéralisation en chlorures est faible.

• **Les nitrates (NO₃⁻) et composés azotés** : Le réservoir principal d'azote est l'atmosphère. Au niveau des eaux naturelles, l'azote provient essentiellement des pluies ($1 < c < 3\text{mg/l}$) et du drainage des sols.

La minéralisation de la matière organique présente dans le sol est réalisée par des microorganismes. L'azote minéral ainsi produit est ensuite transformé par des bactéries aérobies en nitrates (nitrification). Si conditions de milieu le permettent, les nitrates seront utilisés par des bactéries anaérobies comme source d'énergie et transformés en azote gazeux. Notons que les nitrates peuvent également s'adsorber et fixer sur les argiles et humus. L'apport de nitrates dans le sol, puis dans les eaux, est donc fortement lié à la quantité de matière organique présente et aux conditions de milieu. Les actions anthropiques sont donc importantes : utilisation d'engrais azotés et de lisier. De même, les rejets de stations d'épurations ou plus simplement de latrines et fosse septiques représentent un apport en matières organiques susceptibles de produire des nitrates. L'analyse des nitrates dans les eaux permet d'obtenir des informations sur la présence de matières organiques dans le sol. En effet, les nitrates absorbés avec l'eau sont réduits en nitrites dans l'intestin et se fixent sur l'hémoglobine, diminuant ainsi le transfert d'oxygène.

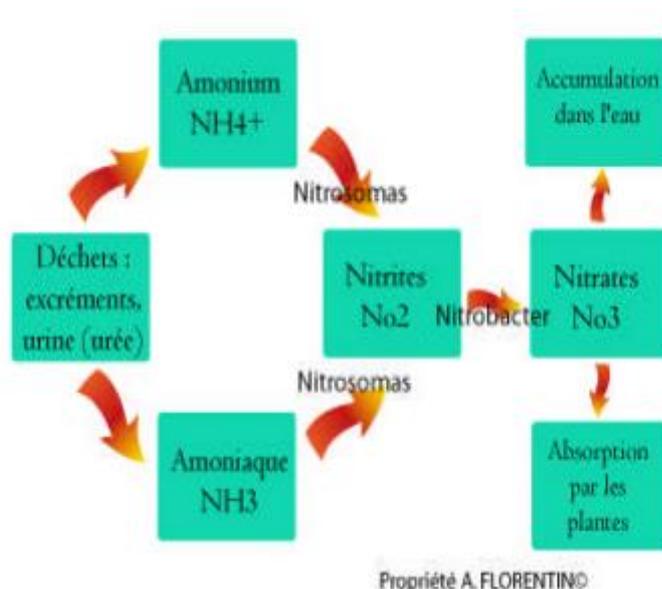


Figure I.21: cycle de l'azote

- **Alcalinité** : L'alcalinité correspond à l'ensemble des anions d'acides faibles susceptibles d'agir avec H^+ . C'est un paramètre important, car il joue un rôle prépondérant sur l'effet tampon de l'eau souterraine. Il détermine la manière dont le pH va réagir à l'ajout d'acides ou de bases faibles dans l'eau, notamment lors des procédés de traitement.

I-4-1-2-1-3- Les éléments en trace :

- **Le fer (Fe)** : Très répandu, le fer se classe au 4^{ème} rang des éléments de la croûte terrestre. Il est largement utilisé dans la métallurgie et ses utilisations secondaires dans la chimie sont très variées. Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à quelque mg/l de fer ayant pour origine la lixiviation des terrains traversés ou les pollutions industrielles. Le fer peut se rencontrer jusqu'à 10 mg/l dans les eaux de sondage. Les eaux minérales et principalement les eaux thermo-minérales peuvent en contenir plus de 10 mg/l (Rodier, 1976).

- **Les nitrites (NO_2^-)** : Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action de nitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique (Rodier, 1976)

- **Manganèse (Mn)** : Le manganèse est très répandu dans la nature. Les concentrations dans l'écorce terrestre peuvent varier de 500 à 600 mg/kg. Les minerais les plus connus sont la pyrolusite, la rhodocrosite, la brunîtes. Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre 1mg/l en particulier lorsqu'il y a support en milieu réducteur, ou sous l'action de certaines bactéries (Rodier, 1976).

• **Arsenic (As)** : L'arsénié est assez largement réparti dans la biosphère : les roches ignées en contiennent de 1 à 10 mg/kg. Les phosphates naturels 20 mg/kg les charbons 45 mg/kg et les pyrites 5 à 6 g/kg. Il se présente principalement sous forme de sulfure (Rodier, 1976).

• **Zinc (Zn)** : Le zinc se trouve dans les roches généralement sous forme de sulfure. Le minérale le plus répandu est le sulfure de zinc qui contient également du fer, du calcium, du manganèse et de l'arsenic. Les teneurs en zinc plus important dans les eaux à PH faible (Rodier, 1976).

• **Argent (Ag)** : L'argent est présent dans de nombreux minérales, le plus souvent sous forme de sulfure, c'est un sous produit de l'extraction du cuivre, du plomb et du zinc (Rodier, 1976).

• **Aluminium (Al)** : La question de l'aluminium se pose essentiellement après traitement de l'eau avec un composé d'aluminium (coagulant). Même si aucun risque sanitaire n'a pu être prouvé, on évoque le rôle aggravant de l'aluminium dans la maladie d'Alzheimer. D'après l'OMS, la présence d'aluminium à des concentrations supérieures à 0.2 mg/l provoque souvent des plaintes de la part des consommateurs, en raison de la floculation de l'hydroxyde d'aluminium dans les canalisations et d'une concentration de la coloration de l'eau par le fer.

• **Sulfure d'hydrogène (H₂S)** : L'hydrogène sulfuré est un toxique majeur par inhalation. Dans les eaux, la présence de ce gaz et de sulfures est susceptible de provenir soit d'eau usée, soit de pollutions industrielles (Rodier, 1976).

• **Le cuivre (Cu)** : Le cuivre se présente dans la nature sous forme de minérale de cuivre natif. De minerais oxydés ou sulfurés, à l'air, il se recouvre d'une mince couche de carbonate basique (Rodier, 1976).

• **Le fluor (F)** : Le fluor dans les eaux souterraines est l'apatite présente dans les bassins phosphatés, et la fluorine présente dans les roches magmatiques alcalines et dans des filons. Les zones de thermalisme sont également fréquemment concernées. C'est essentiellement le temps de contact entre roche et eau souterraine, ainsi que contrôles chimiques qui sont la cause principale des concentrations élevées en iode. Le fluor est reconnu comme essentiel dans la prévention des caries dentaires. Cependant, une ingestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieure à 2mg/l.

I-4-1-2-1-3- La dureté :

Dureté de l'eau semble venir de ce qu'il était dur de laver avec une telle eau. Sauf exception très particulière, la dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (Rodier, 1976).

I-4-1-2-1-4- Oxygène dissous :

L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que la pression partielle d'oxygène dans liquide et l'air soit en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique, de la température et de la minéralisation de l'eau, la saturation en O₂ diminue lorsque la température et l'altitude augmente. Alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous saturée. En effet, la forte présence de matières organiques dans l'eau souterraine permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène.

- **Oxygène** : L'oxygène dissous est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique du milieu eau. L'ensemble de ces paramètres permet d'estimer la quantité de matière organique présente dans l'eau souterraine.

- **La DBO** : La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques par voie biologique. Elle permet d'évaluer la fraction biodégradable de la charge polluante carbonée des eaux usées. Elle est en général calculée au bout de 5 jours à 20 °C et dans le noir.

- **La DCO** : La demande chimique en oxygène est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. C'est l'une des méthodes les plus utilisées pour évaluer la charge globale en polluants organiques d'une eau.

I-5-Les normes de la qualité des eaux souterraines :

Les normes de qualité présentées dans les tableaux suivants font référence aux notons de substances dont la présence l'eau revêt une importance sanitaire et substance et paramètres pouvant donner lieu à des plaintes des utilisateurs issues de l'OMS. Néanmoins, dans les différents commentaires des directives de l'OMS, un nombre important de précautions et de dispositions sont prises pour monter que :

- les valeurs indiquées doivent être utilisées en tenant compte du contexte local : structures des terrains, niveau de service local.
- les circonstances exceptionnelles n'autorisent pas à respecter ces valeurs : guerre, catastrophe naturelle....

Aussi, il est indispensable de faire preuve de bon sens dans l'utilisation de ces normes.

Les tableaux suivants ont été construits à partir de la nomenclature de l'OMS. Les valeurs guides sont données d'après les Directives de qualité pour l'eau de boisson, 2ème édition 1994 OMS, et correspondent aux principaux paramètres retenus dans les normes de qualité d'eau de boisson. Les paramètres difficiles à mesurer et qui ne présentent pas de problème fréquents ne sont pas mentionnés. Il est cependant nécessaire de rester vigilant, notamment en zone urbaine ou industrialisée. Il est recommandé de contacter des personnes spécialisées en cas de problème spécialisés en cas de problème spécifique, et de se référer aux différents normes qui proposent des valeurs guides d'éléments dangereux pour la santé non mentionnés dans cet ouvrage

I-5-1-Substances chimiques dont la présence dans l'eau de boisson: (Rodier, 1976)

Source : Rodier, 1976 et normes algériennes 1992

Tableau I.6: Substance chimiques dont la présence dans l'eau de boisson revêt une importance sanitaire.

paramètres	Valeurs guides OMS (mg/l)	Les directives du conseil des communautés européennes (mg/l)	La réglementation Française (mg (mg/l)	Les normes algériennes
Calcium	Pas de norme	100	100	75
Magnésium	Pas de norme	30	50	Pas de norme
Manganèse	0.5	0.02	0.05	
Nitrites	3	0.1	0.1	Pas de norme
Chlore	250	200	200	
Arsenic	0.01	0.05	0.05	0.05

I-5-2- Substance et paramètre de l'eau de boisson :

Source : Rodier, 1976

Tableau I.7: Paramètres physiques (organoleptiques)

Paramètres	Valeurs guides l'OMS	Les directives du conseil des communautés européennes	La réglementation Française	Les normes algériennes
	15 unités 15 mg/l pt	20 unités 20 mg/l pt	15 unités 15 mg /l pt	25 unités 25 mg/l pt
leur	Acceptable	2 à 12 c° et 3 à 25 c°	2 à 12 c° et 3 à 25 c°	4 à 25 c°
	5 NTU	4 Jackson	2 Jackson	5 NTU
ire	Acceptable			

I-5-3-Substances inorganiques :

Source : Rodier, 1976

Tableau I.8: Substances inorganiques

Paramètres	L'OMS	Les directives du conseil des communautés européennes (mg/l)	La réglementation Française (mg/l)	Les normes algériennes
Dureté (Ca ⁺ Mg ⁺)	Pas de norme	60 mg/l	15 degrés français	100 mg/l
Phosphate PO ₄ ⁻	Pas de norme	0.4 mg/l	0.4 mg/l	Pas de norme
Potassium K ⁺	Pas de norme	12 mg/l	12 mg/l	Pas de norme
Sulfate SO ₄ ²⁻	250 mg/l	250 mg/l	250 mg/l	200 mg/l
Fer	0.3 mg/l	0.2 mg/l	0.2 mg/l	0.3 mg/l
Oxydabilité	Pas de norme	2 mg/l d'O ₂	5 mg/l	Pas de norme
Oxygène	Pas de norme	75 % les eaux	75% les eaux	5 mg/l

Dissous O ₂	Norme	souterraines	souterraines	
PH	< 8	6.5 ≤ PH ≤ 9	6.5 ≤ PH ≤ 9	6.5 ≤ PH ≤ 9
Aluminium	0.2 mg/l	0.2 mg/l	0.2 mg/l	Pas de norme
Sulfure (H ₂ S)	0.05 mg/l	Pas de norme	Pas de norme	
Chlorure	250 mg/l	200 mg/l	200 mg/l	200 mg/l
Sodium (Na)	200 mg/l	200 mg/l	150 mg/l	Pas de norme

I-6. Conclusion :

Avant toute consommation d'eau, il est indispensable de procéder au contrôle de sa qualité aussi bien physico-chimique que microbiologique. La négligence de ce contrôle provoquerait l'apparition de maladies à transmission hydrique chez la population en cas de consommation d'eau polluée. Pour limiter des dépenses faramineuses en matière de santé lors d'apparition des maladies survenues suite à la consommation des eaux polluées il est nécessaire de lancer des campagnes de sensibilisation vis-à-vis la population vivante dans des conditions d'hygiène non conforme aux normes internationales.

Donc il est de ressort de toutes les instances concernées par le suivi et le contrôle de la qualité des eaux de mettre les bouchées doubles pour sauver les vies humaines.

CHAPITRE II
LA PRÉSENTATION DE
L'HYDROLOGIE ET
L'HYDROGÉOLOGIE DE LA ZONE
D'ÉTUDE

Chapitre II :La présentation de l'hydrologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude

La première partie : présentation hydrologique du site d'étude :

II.1 Introduction :

Avant de traiter notre sujet il faut avoir une idée générale sur l'emplacement de notre site d'étude concernant une vision géographique, démographique, climatique, administrative et morpho métriques.

II. 2. Aperçu géographique :

II. 2.1. Localisation géographique de la Wilaya de Bouira :

La wilaya de Bouira est créée par ordonnance n°74/69 du 02 juillet 1974, sa superficie est de 4454km². elle se situe dans la région centre du pays, à 130 km au Sud Est de la capitale, elle est limitée géographiquement :

- Au Nord par Boumerdés et Tizi Ouzou.
- Au Sud et Sud-Ouest par M'Sila et Médéa.
- A l'Est et SUD-EST par Blida et Bordj Bou Arréridj.
- A l'Ouest par Blida et Médéa. . (ANDI 2013).

(Voir la figure II .1 suivante) .



Figure II.1: Situation géographique et administrative de la wilaya de Bouira (ANIRF 2013).

II.2.2 Développement et économie :

II .2.2 .1-Principales activité agro-industrielles dans Bouira :

De part sa position géographique stratégique et en raison de ses multiples atouts, Bouira est un carrefour d'échanges de biens et de services avec les différentes régions du pays. C'est un pôle attractif notamment dans les secteurs de l'agriculture, des mines et du tourisme.

A- Les activités agricoles dans la wilaya de Bouira :

L'agriculture: avec

- Une zone de plaines et de piémonts au centre.
- Une zone de montagne au Nord.
- Une zone Agro-pastorale à l'extrême Sud.
- Une S.A.U estimée à 42,67% de la superficie de la wilaya et en constante progression.

Aussi elle possède des terres fertiles, des aires de stockage importantes, ainsi qu'une forte production agricole dans différents produits (céréales, fruits et légumes, viandes, lait, miel...)

B-Les activités industrielles dans la wilaya de Bouira:

la wilaya dispose de :

- Zone Industrielle à Oued El Berdi, d'une superficie de 225 H, viabilisée et apte à recevoir de grands projets industriels et où plus de 78 hectares de terrains sont disponibles et à la disposition des investisseurs sous forme de concession.

- 13 zones d'activités d'une superficie globale de 119.54 H, et plus de 114 lots de terrains sont disponibles pour des projets nécessitant des superficies moyennes.

– En cours de création:

- 11 nouvelles zones d'activités, dans les communes de Lakhdaria, El Hachimia, El Esmam, Haizer, Bir Aghbalou, M'chedallah, Sour El Ghozlane et Bordj Oukhris.

- Un parc Industriel au niveau de la Commune de Dira

II.2.2 .2- les grandes infrastructures économiques:

la wilaya dispose de:

- 03 barrages hydrauliques (Koudiat Asserdoun 640 millions M³, Tilesdit 167 millions M³, Lakehal 30 millions M³).

- Un réseau routier dense de 3 166 kms composé de :

- 101 kms d'autoroute entre Lakhdaria et la limite avec Bordj Bouarreridj.

– 461 kms de routes nationales, 719 kms de chemins de wilaya et 1885 kms de chemins communaux.

– Un poste transformateur électrique THT de 400 KV et de dimension régionale, pouvant satisfaire toute demande de consommation.

II.2.2 .3- Potentialités et activistes touristiques :

Bouira vous séduira par ses quatre zones d'expansion touristique (ZET), à savoir:

- Tikjda
- Tala Rana
- Hamam K'sana
- Forêt Errich

La Wilaya de Bouira est un carrefour routier et de civilisation offre à ne pas en douter des potentialités touristiques indéniables permettant plusieurs types de tourisme dont :

- Un tourisme de loisirs et de détente (à travers le parc national du Djurdjura, les massifs forestiers, les plans d'eau et barrages).
- Un tourisme thermal (curatif et de relaxation) (source thermale Hammam K'sana)
- Un tourisme historique et archéologique (vestiges préhistoriques, romains, turcs, français etc... à découvrir).
- Un tourisme culturel et de particularités traditionnelles (à découvrir à travers les Zaouiate, les Mosquées, les fêtes et manifestations ancestrales traditionnelles dont « Aid El Hassad » et fête de l'olivier).
- Un tourisme lié aux curiosités artisanales et culinaires.

II.2.3. Le relief :

Le relief comporte cinq 05 grands ensembles physiques :

La dépression centrale représentée par la plaine des Aribes, ain laloui, le plateau d'El Asnam et les vallées d'Oued Ed Dous et Oued Sahel, le plateau de taghzout El Madjen, Le Plateau d'El Hachimia , Ath Mansour.

Chapitre II la présentation de l'hydrologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude

La terminaison orientale de l'Atlas blidéen : Constitué d'un ensemble de collines de formations à dominance marneuse très sensible à l'érosion, on y trouve :

- Un important potentiel hydro-agricole.
- D'importantes agglomérations : Lakhdaria , Kadiria et Aomar.
- De grands axes de communications (RN5, voie ferrée et projet Autoroutier Est-Ouest);
- Le barrage de Koudiet Acerdoune.

Le versant sud du Djurdjura (Nord de la wilaya) : Il se rapporte surtout aux parties centrales et occidentales du massif du Djurdjura.

La chaîne des Bibans et les hauts reliefs du sud : Cette région essentiellement forestière est interrompue à l'Ouest par la dépression de Sour-El Ghozlane. Ces reliefs sont prolongés vers le Sud par trois importants massifs et composés par :

- Le massif de Djebel Dirah, culminant à 1810 m ;
- Le Djebel Ketef à 1434 m ;
- Le Djebel Ben Abdellah à 1314 m ;
- Le Djebel Taguedite;
- Le Djebel Afroun qui culmine à 1547 m.

La dépression sud bibanique : Elle se rapporte à la terminaison septentrionale de la plaine du Hodna et aux basses collines s'étendant entre Maâmora et l'extrémité Sud- Est de Bouira. Cet espace est constitué principalement de terres de parcours. (ANDI 2013).

II.3. Répartition administrative :

Issue du découpage administratif institué par ordonnance n° 74/69 du 02 juillet 1974, relative à la refonte de l'organisation territoriale des Wilayas. Nombre de Daïras : 12. Nombre de communes : 45. (Voir le tableau II.1 suivant).

Tableau II.1: Découpage administratif de Bouira (ANIRF 2013)

Daira	Communes	Daira	Communes
Bouira	Bouira, Ain turk, Ait laaziz	Bir ghebalou	Bir ghebalou, raouraoua, khebouzia
Haizer	Haizer, Taghezout	Ain bessem	Ain bessem, Ain laloui, Ain elhadjar
Bechloul	Bechloul, El-esnam, El Adjiba, Ahl el ksar, Ouled rached	Souk el Khemis	Souk el khemis, El mokrani
M'chedallah	M'chedallah, Saharidj, chorfa, Ahnif, Aghbalou, Ath-mensour	El hachimia	El hachimia, Oued el berdi
Kadiria	Kadiria, Aomar, Djebahia	Sour el ghozlane	Sour el ghozlane, Maamora, Ridane, el hakimia, hechmia, dirah
Lakhedaria	Lakhedaria, Boukram, Guerrouma, Maala, Bouderbala	Bordj okheris	Bordj okhris, Mesdour, Ttagedite, Hadjra zerga

II.4. La démographie :

La population totale de la wilaya est estimée 695583 habitants soit une densité de 160 habitants / km² . (ANDI 2013).

II.5. Le climat :

Le climat est la distribution statistique des conditions de l'atmosphère terrestre dans une région donnée pendant une période donnée. L'étude du climat est la climatologie. Elle se distingue de la météorologie qui désigne l'étude du temps à court terme et dans des zones ponctuelles.

La caractérisation du climat est effectuée à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales : température, pression atmosphérique, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent. Sont également pris en compte leur récurrence ainsi que les phénomènes exceptionnels.

Chapitre II la présentation de l'hydrologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude

Ces analyses permettent de classer les climats des différentes régions du monde selon » leurs caractéristiques principales.

Bouira possède un climat subtropical humide chaud sans saison sèche (Cfa) selon la classification de Köppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne à Bouira est de 14.4°C et les précipitations sont en moyenne de 403.8 mm.

II.5.1 Les précipitations :

L'analyse de la variabilité moyenne mensuelle des précipitations pour la période 1970-2009 montre l'existence au niveau des différentes stations d'une saison froide et humide s'étalant de Octobre à Avril avec un maximum de précipitations en Décembre et une saison sèche entre Mai et Septembre où les plus faibles précipitations sont enregistrées au mois de Juillet. (Voir le tableau II .2 suivant) et (Voir la figure II .2 suivante).

Source : (ANRH Blida)

Tableau II.2: Précipitations moyennes mensuelles (1970-2009)

Station/mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Annuel
SEG	32.9	36.1	42.5	68.14	57.2	41.7	45.2	47	37	9.2	6.5	13.6	437.1
El hachimia	36.8	47	49.9	65.91	58	52.9	48.9	49.9	38.9	10.7	6.8	10.9	476.4
Bouira	33.5	34.4	45.7	64.85	56.2	47.7	44.6	41.5	33.2	10.4	4.7	10.4	427.2
Hamam ksenia	35.8	43.9	49.6	65.4	57.8	50.8	49.1	42.9	38.8	10.7	4.3	10.9	460
Bordj Okhris	26.8	40.4	43.8	60.13	57.9	51.9	43.6	42.7	32.3	9.91	3.4	9.41	422.2
Crête rouge	30.4	25.4	42.6	45.55	40.5	30.9	37.1	30.6	26.4	7.02	1.9	6.33	324.7
Benni Hammad	24.1	30.2	49.9	55.74	52.4	45.9	35.6	39.2	24.5	4.38	3.8	2.76	368.5
Khebouzia	27.3	34.2	55.8	58.94	58.2	57.6	50.7	48.6	32.1	6.77	1.5	3.95	435.5
Lakhdaria	33.2	57.4	94.8	112.1	93.3	93.4	82.4	71.6	50.1	10.4	3.9	6.19	708.8
Djebahia	31.1	46.2	70.8	100.7	80.1	78.6	76.6	58.3	44.3	9.45	5.6	7.91	609.7
Souagi	26.4	32.9	30.7	39.17	41.6	37.5	34.1	37.5	38.2	10.4	8.2	7.97	344.4
M'chedallah	28.3	27.2	37.2	41.8	40.1	27.3	38.1	25.9	25.1	7.85	3.7	8.1	310.6
Précipitations moy	30.5	37.9	51.1	64.87	57.8	51.3	48.8	44.6	35.1	8.93	4.5	8.21	443.8

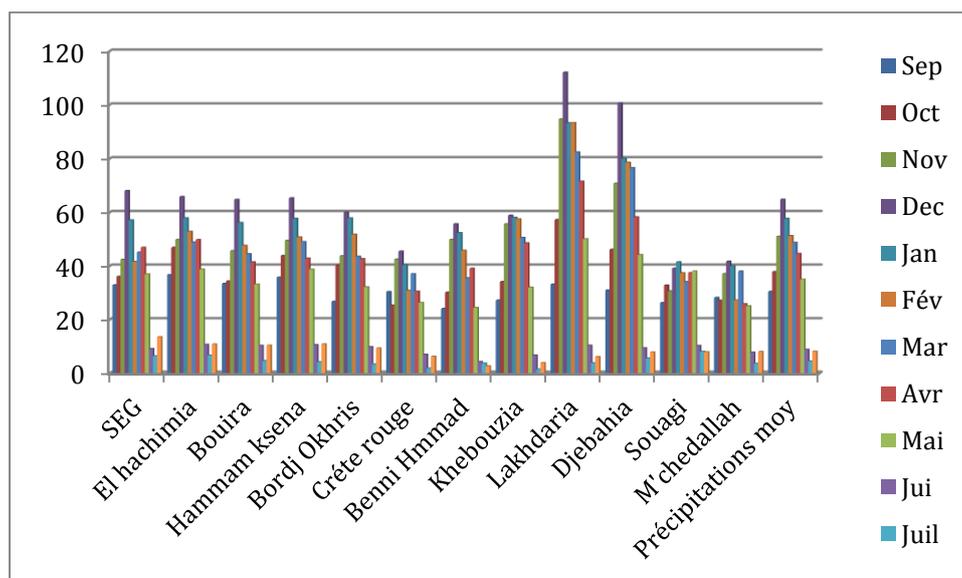


Figure II.2: Histogramme des précipitations mensuelles pour la période 1970-2009.

Les précipitations sont très irrégulièrement réparties à l'échelle annuelle, on a une croissance rapide de la pluviométrie de Septembre à Décembre, en suite une décroissance plus lente jusqu'en Mai, et très faible en Juin, Juillet et Aout. 50% des précipitations tombent au cours des mois des Décembre, Janvier et Février.

II.5.1.1 Evaluation de la lame d'eau précipitée :

L'estimation de la lame d'eau précipitée sur les stations de la wilaya a été effectuée par la méthode arithmétique.

a) Méthode arithmétique :

C'est la méthode la plus simple qui consiste à calculer la moyenne arithmétique des valeurs obtenues aux stations étudiées. Elle s'applique uniquement si les stations sont bien réparties et si le relief du bassin est homogène

.Avec :

$$P \text{ moy} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{N}$$

P moy : précipitation moyenne sur le bassin en mm

P_i : Précipitations enregistrées dans la station i en mm

N : nombre de station.

(Voir le tableau II.3 suivant).

Tableau II.3: Evaluation de lame précipitée par la méthode arithmétique

Station	Précipitations (mm)
SEG	437.06
El hachimia	476.4
Bouira	427.2
Hammam ksena	460.0
Bordj okhris	422.2
Crête rouge	324.7
Benni hammad	368.5
Khebouzia	435.51
Lakhedaria	708.76
Djebahia	609.71
Souagi	344.44
M'chedallah	310.6
N=12	$\Sigma = 5325.08$
	P moy= 443.75

II.5.2 La Température :

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui rentre dans l'estimation du bilan hydrologique. Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période de 10 ans (1997-2007), par la station de Bouira. Les températures ambiantes ont été mesurées à l'aide de thermomètre à minima et à maxima. Le

Chapitre II la présentation de l'hydrologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude

tableau suivant résume les moyennes mensuelles et annuelles correspondant à la période d'observation. (Voir le tableau II .4 suivant) et (voir la figure II .3 suivante).

Source : ONM Bouira

Tableau II.4: Température moyenne mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997-2007)

Paramètres	Sep	oct	Nov	dec	jan	fev	Mar	Avr	mai	juin	juil	aout	année
T° min	17.1	13.8	8.3	5.2	3.7	4	6.4	8.7	12.8	17.3	20.1	20.3	11.6
T° max	30	25.4	17.5	13.6	13	14.4	18.2	20.7	25.9	32.5	35.6	35.2	23.6
T° moy	23.5	19.6	12.9	9.4	8.4	9.2	12.3	14.7	19.4	24.9	27.9	27.8	17.5

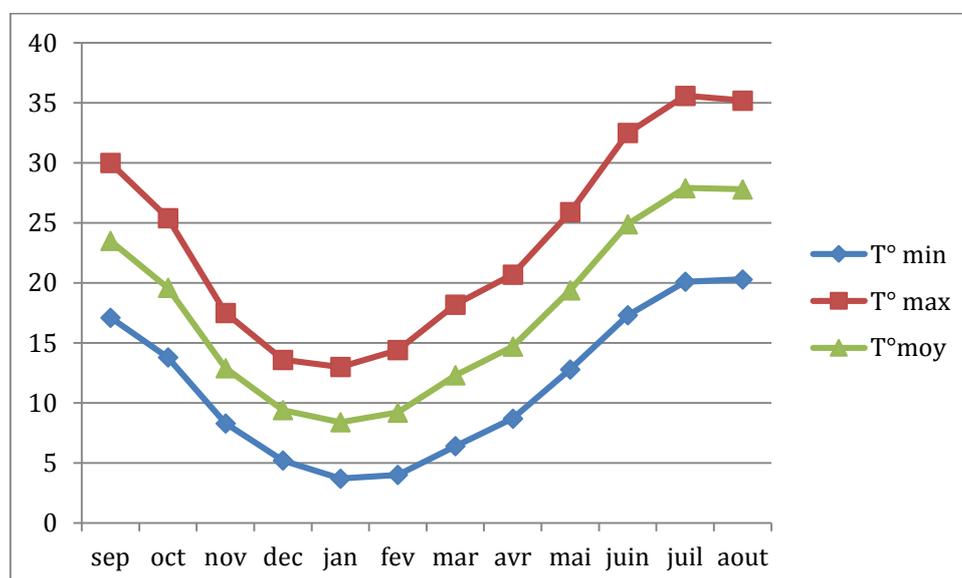


Figure 22: Répartition mensuelle des températures moyennes mensuelles, maximales et minimales (station de Bouira).

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17,5 °C. On constate que les mois les plus chauds sont juillet et août avec une température de 35,6°C en raison des courants chauds provenant du Sud. Les mois froids sont décembre, janvier et février.

II.5.3 Le vent :

C'est un agent climatique influant directement sur le climat d'une région, en raison des dégâts qu'il cause, notamment en agriculture. Dans la zone d'étude, les vents soufflent dans des directions à différentes intensités en fonction des saisons, les vents les plus dominants sont ceux du West et Est. Durant les trois mois : janvier, février, mars, la valeur maximale reste inférieure à 28 m/s. Pendant le reste de l'année, elle dépasse 28m/s en moyenne pour atteindre son

Chapitre II la présentation de l'hydrologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude

maximum en mois d'avril 38 m/s. Ces vents agissent sur la nébulosité en réduisant les écrans nuageux pour faire place aux rayons solaires qui augmentent les températures favorisant l'évaporation. Le vent du Sud ou siroco, souffle dès la fin du printemps et durant l'été accentuant ainsi le dessèchement du sol et l'évapotranspiration des végétaux. (Voir le tableau II. 5 suivant) et (voir la figure II .4 suivante).

Source : ONM Bouira

Tableau II.5: La vitesse du vent (max et moy) mensuelles et annuelles en m/s (1997-2007)

station de bouira	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy annuel
Vmoy (m/s)	3.8	2.5	4.7	5.5	3.8	5.2	4.3	3.8	4.5	4.9	3.8	5	4.3
Vmax (m/s)	25	20	26	38	28	34	30	29	34	30	29	36	30

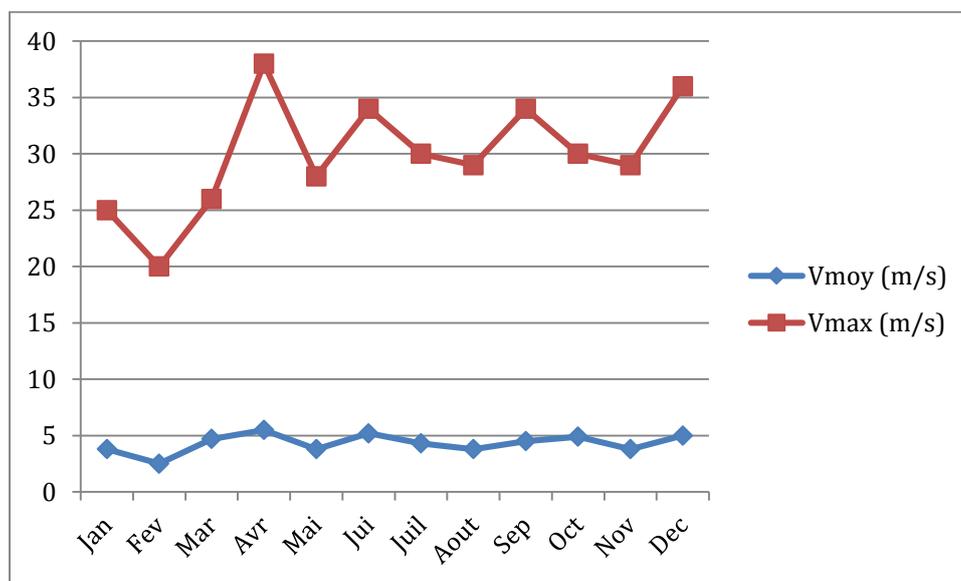


Figure II.4: Répartition mensuelle de vent, max et moy (station de Bouira)

II.5.4 Humidité relative :

C'est le quotient entre la tension de vapeur réelle et la tension de vapeur saturante. L'humidité de la région montre un écart important entre la période hivernale et estivale. Les valeurs moyennes mensuelles mesurées à la station de Bouira sont portées dans le (tableau suivant II.6) Et (la figure II .5suivante).

Source : ONM Bouira

Tableau II.6: Moyennes mensuelles du taux d'humidité relative. Période 1997-2007

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Moyenne mensuelles (%)	84	83	74	71	66	53	48	54	65	70	74	85

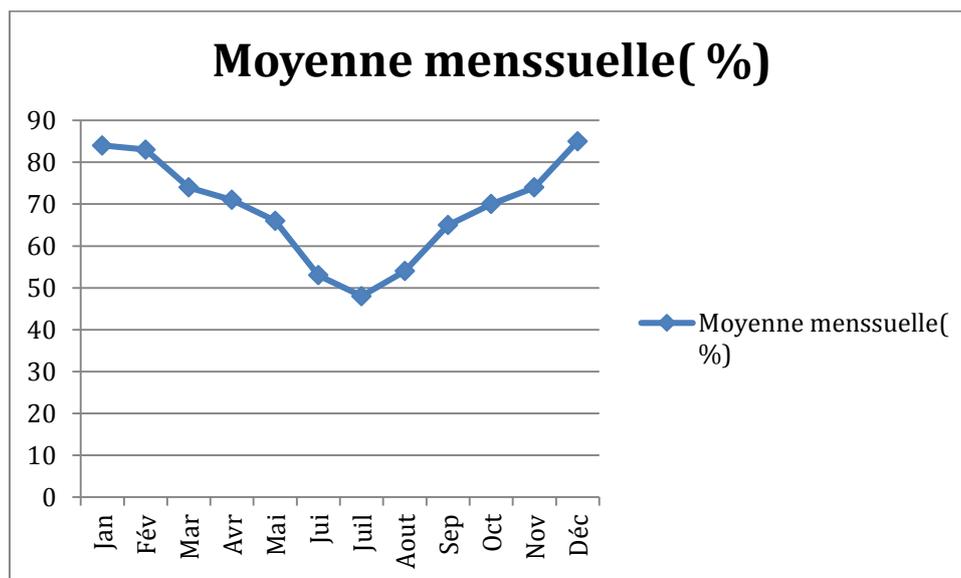


Figure II.5: Humidité relative pour la région Bouira (Période 1997-2007 station de Bouira).

L'humidité est supérieure à 70% sur les 6 mois de l'année et ceci à partir du mois d'Octobre. Le maximum est enregistré en saison hivernale 85% alors que le minimum 48% est observé en été.

II.5.5 Evaporation :

L'évaporation se définit comme étant le passage de la phase liquide à la phase vapeur, il s'agit de l'évaporation physique. Les plans d'eau et la couverture végétale sont les principales sources de vapeur d'eau. On parle de sublimation lors du passage direct de l'eau sous forme solide (glace) en vapeur. Le principal facteur régissant l'évaporation est la radiation solaire. Les mesures de l'évaporation ont été effectuées sous abri à l'aide de l'évaporé mètre "Piche" à la station de Bouira, le tableau résume les moyennes mensuelles de l'évaporation en mm sur une période de 10 années (1997-2007). (Voir le tableau II.7 suivant) et (voir la figure II.6 suivante).

Source : ONM Bouira

Tableau 9: Evaporation moyenne mensuelle et annuelle à la station de Bouira (1997 – 2007)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Année
Evaporation(mm)	193.6	156.3	79.3	63.4	65.3	71.1	115.4	137.5	179.3	284.4	336.1	307.3	1989

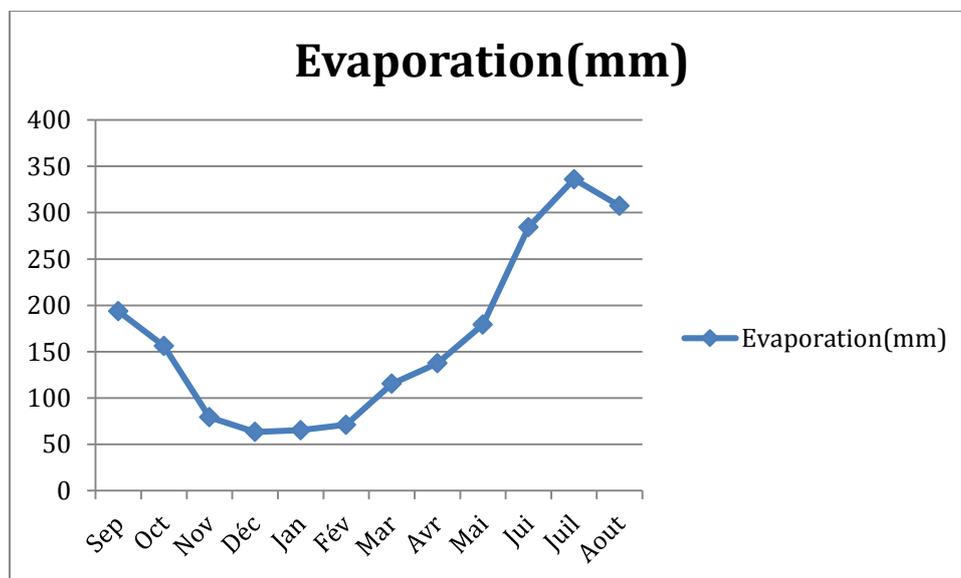


Figure II.6: Evaporation pour la région Bouira (Période 1997-2007 station de Bouira)

D'après ce tableau, l'évaporation est relativement faible dans la période allant de Novembre à Février et importante en période estivale. L'évaporation annuelle est égale à 1989 mm (presque 2m).

II.5.6. Régime climatique et identification du climat :

Pour classer le climat de la région de Bouira, nous avons utilisé le diagramme Ombrothermique et on a calculé l'indice d'aridité de De Martonne et FAO.

II.5.6.1. Indice d'aridité de la FAO :

Il est défini par la formule suivante :

$$I = P / ETP$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

ETP : Evapotranspiration potentielle en (mm),

Les expériences de la FAO distinguent quatre zones bioclimatiques :

$I < 0$: Zone désertique ;

$0.06 < I < 0.2$: Zone aride ou désertique atténuée

$0.2 < I < 0.5$: Zone semi-aride ;

$I > 0.7$: Zone subhumide.

➤ L'application donne $I = 0.48$

D'après l'indice d'aridité de la FAO, la région de Bouira est une zone à climat semi-aride.

II.5.6.2 Indice annuel d'aridité de De Martonne :

Il est défini comme le rapport entre les précipitations et les températures et permet de trouver le type de climat qui règne dans la région, la formule utilisée est la suivante :

$$I = \frac{P}{T+10}$$

Avec :

I : l'indice d'aridité annuelle

P : Précipitations moyennes annuelles en mm ;

T : Températures moyennes annuelles en °C

Le climat est défini selon la valeur de I :

- $I < 5$: Climat Hyperaride
- $5 < I < 7.5$: Climat Désertique
- $7.5 < I < 10$: Climat Steppique
- $10 < I < 20$: Climat Semi- aride
- $20 < I < 30$: Climat Tempéré

(Voir le tableau II.8 suivant).

Nous obtenons un indice d'aridité I qui est égale à $I = 16.14$.

Tableau II.8: Indice d'aridité de De Martonne

P (mm)	T (C°)	I	Cadre climatique
443.75	17.5	16.14	Semi-aride

D'après l'abaque de E. De Martonne, la région du Bouira est une zone à climat semi-aride à écoulement temporaire.

(Voir la figure II.7 suivante).

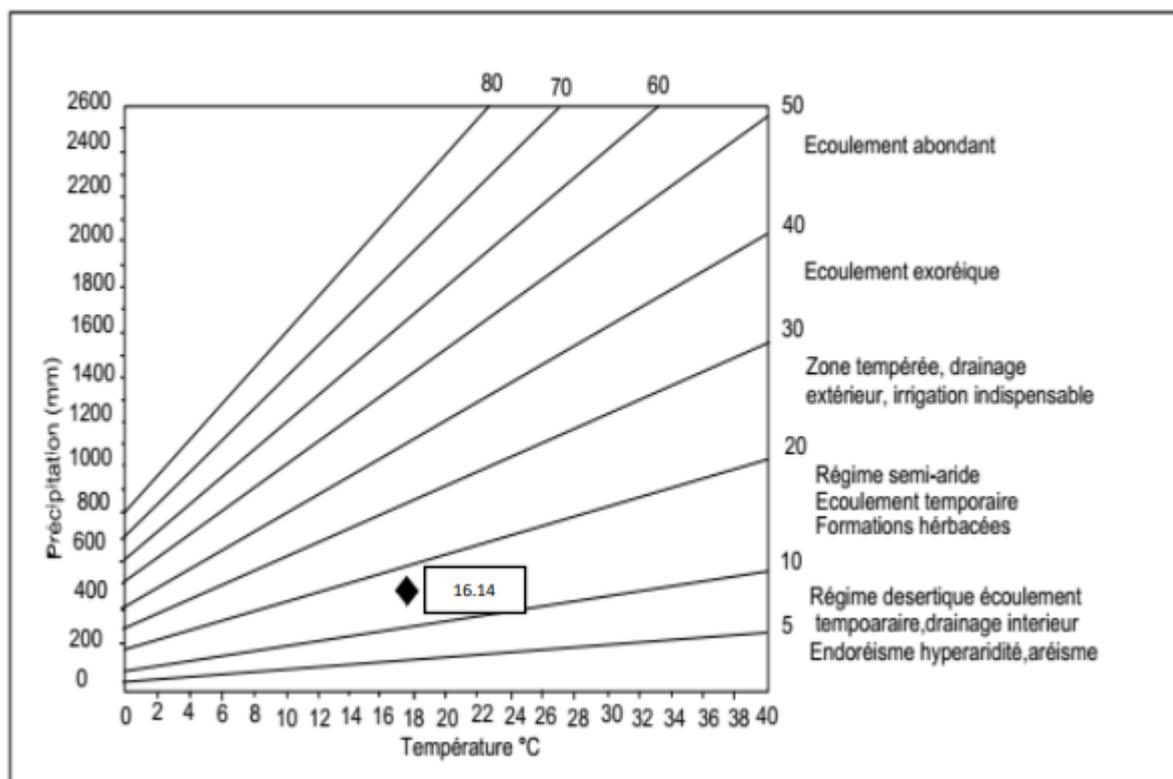


Figure II.7: Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.

II.6 Hydrographie :

La wilaya de Bouira renferme d'importantes ressources en eau. Elle est traversée par des bassins versants importants dont l'apport moyen annuel est de l'ordre de 561 millions de m³ constitué par (ANDI 2013) :

- Bassin versant d'Isser : 135 millions de m³/an .
- Bassin versant Sahel Soummam : 380 millions m³/an ;

- Bassin versant du Hodna : 35 millions m³/an .
- Bassin versant Humus : 11 millions m³/.

Du Nord au Sud, on distingue trois zones différentes :

- Au Nord : les zones de montagne représentent 31% des terres de la Wilaya. Elles présentent de fortes pentes et sont occupées par la pratique de l'arboriculture rustique, la céréaliculture combinée avec un élevage de type familial.
- Au centre : les plaines constituent 40% des terres et sont représentées par les plateaux de Bouira, El Asnam et El Hachimia. Ces espaces sont utilisés pour la céréaliculture, l'arboriculture fruitière et les cultures fourragères.
- Au Sud : les zones agropastorales où prédomine l'élevage bovin, s'étendent sur 29% des terres. (voir la figure II .8 suivante).

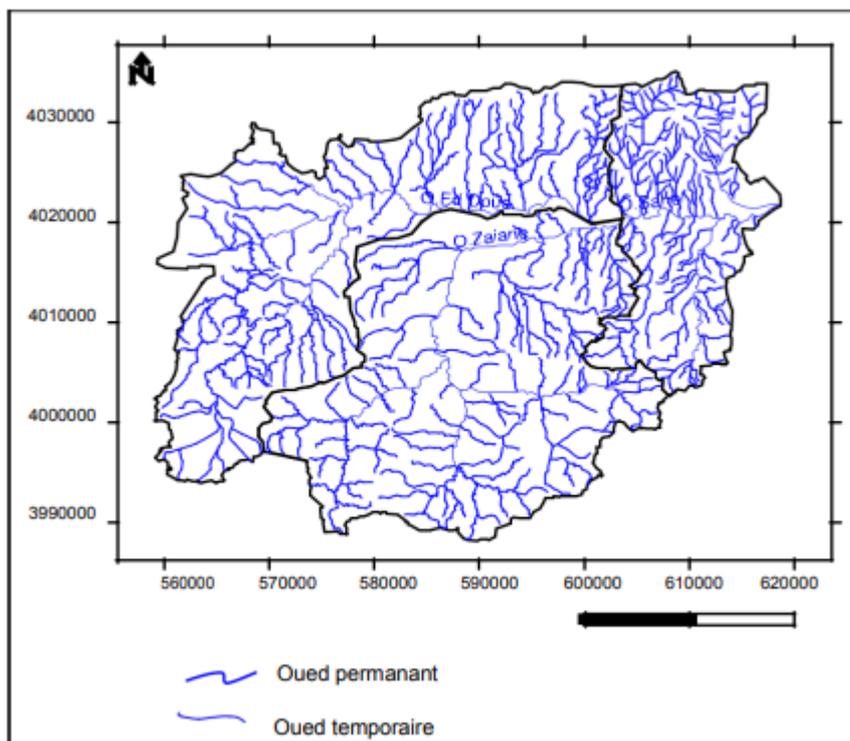


Figure II.8: Réseau hydrographique des trois sous bassins versants (Source : ANRH de Blida).

La région d'étude se situe dans la zone dénommée Sahel ; partie extrême ouest du bassin de la Soummam ; cette zone comprend trois sous bassins versants : oued Dhous , oued zaiane et Sahel amont .

Le principal système de drainage de la région est dirigé vers l'est.

Le oued D'hous draine la partie ouest : plateau des Arib et ses pourtours. issu des deux oueds Sbissed et Lakhel , il reçoit de nombreux affluents qui dévalent le flanc sud du Djurdjura . la longueur du talweg principal est de 82 km. Son coefficient de torrentialité varie de 43.3 à 43.6 et la densité de drainage est de 2.9 à 4.4 km/ km².

Le bassin de oued Zaiane est situé au sud-est de l'oued D'hous , il reçoit les affluents qui drainent le flanc nord de la chaîne des Bibans. La longueur du talweg principal est de 52 km .le sahel amont est situé a l'est des deux sous bassins précédents ; il présente le lieu de jointure a l'oued Bou Sellam près de la région d'Akbou forme L'oued Sommam qui se jette dans la méditerranée. Ce sous bassin présente une densité de drainage de l'ordre de 1.10 km/ km².

Deuxième Partie : Présentation hydrogéologique de la zone d'étude :

II.7. Introduction :

L'étude géologique nous permettons d'identifier les formations perméables détritiques et les informations résistantes fissurées ou karstique susceptibles d'être aquifères, ainsi que les formations imperméable qui constituent soit le toit, soit le substratum de ces informations ; leurs épaisseurs, et leurs étendues. L'étude tectonique nous renseigne sur la géométrie des différents aquifères de la région. Les familles de failles entraînant la formation de fossés d'effondrement ou de soulèvement modifient ainsi la géométrie des couches qui va caractériser chaque type de nappe et permettent la communication probable entre les aquifères. (A. Benrabia)

II.8. Aperçu sur la géologie de la zone d'étude :

II.8.1. Contexte géologique régional :

L'Algérie présente quatre grands ensembles structuraux qui sont du Nord au Sud :

- Le domaine tellien
- Les hauts plateaux et les hautes plaines
- Atlas saharien
- La plateforme saharienne

II.8.1.1. Domaine tellien :

La région d'étude se situe dans les limites de la chaîne orogénique périméditerranéenne d'âge alpin qui est formée de trois domaines paléogéographiques, on distingue :

- Domaine interne
- Domaine des flyschs
- Domaine externe.

(Voir la figure II .9 suivante).

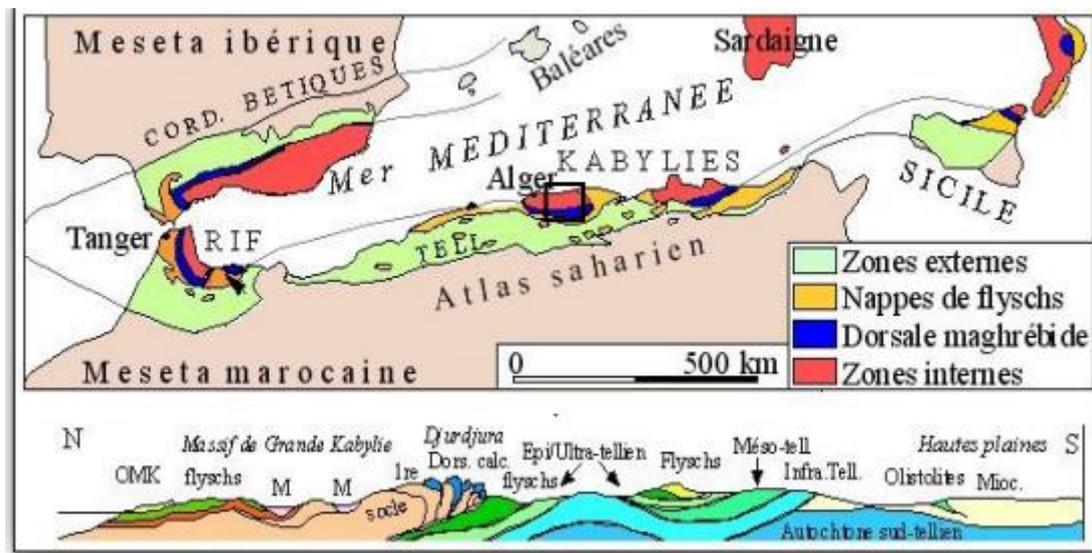


Figure II.9: Carte structurale schématique de la chaîne des maghrébines montrant la disposition de la zone externe et la zone interne dans la grande Kabylie. (Durand Delga et al)

A. Domaine interne :

Se localise en Algérie dans les massifs de Chenoua, d'Alger, de grande et petite Kabylie. Il est de structure très complexe, et il regroupe de bas en haut les ensembles suivants

- a) le socle Kabyle
- b) la couverture paléozoïque
- c) la dorsale Kabyle

B. Domaine des Flyschs :

Ces flyschs se situent au sud du domaine interne auquel nous y rattachons trois types de nappes :

- Nappe du flysch mauritanien
- Nappe du flysch massylien.
- Nappe du flysch numidien

(Voir la figure II. 10 suivante)

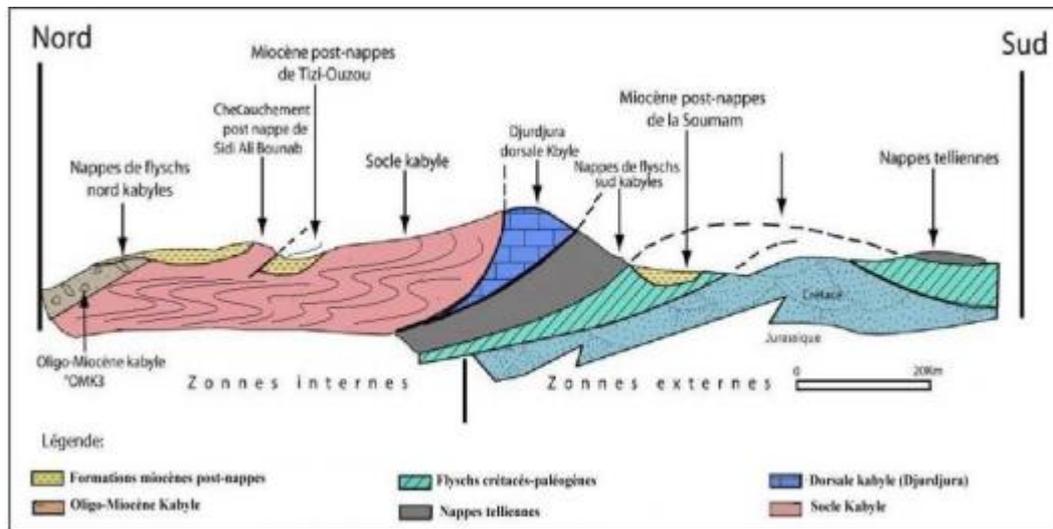


Figure II.10: coupe synthétique et interprétative N-S de la partie centrale du domaine Tellien (Durand Delga et al, 1969 ; modifiée par Ait, 1994)

C. Domaine externe :

Il est situé au sud du domaine des flyschs, ce sont des dépôts telliens miogéosynclinaux, observés sur presque toute la région de la Soumama.

II.8.1.2 Les hauts plateaux et les hautes plaines :

Ce sont des terrains autochtones et tabulaires formés d'un matériel sédimentaire mésozoïque transgressif sur un socle primaire qui affleure parfois à la faveur des grandes failles.

II.8.1.3 L'Atlas Saharien :

Il est séparé du domaine tellien par un grand accident appelé communément « l'accident nord atlasique ». Du point de vue stratigraphique, l'Atlas Saharien est composé essentiellement de sédiments mésozoïques, qui ont été plissés au cours des différentes phases orogénique d'âge tertiaire, formant de grands plis d'orientation WSW-ENE. Le jurassique est présenté par une série très épaisse de sédiments calcaro-dolomitiques

II .8.1.4 La plateforme Saharienne :

Elle apparaît au-delà de la flexure sud atlasique, non perturbée par les déformations, la plateforme saharienne est formée de vastes bassins sédimentaires, où les couvertures d'âge paléozoïque ou mésozoïque laissent apparaître à la faveur de l'érosion le gigantesque bombement du Hoggar et le massif de l'Eglab.

II.8.2 Cadre géologiques local :

Le secteur d'étude se localise dans la partie occidentale de la dépression de la Soummam. Cette dernière forme la jonction entre le Tell septentrional au Nord et le Tell méridional au Sud. Le secteur d'étude est bordé au Nord par les flyschs du flanc Sud du Djurdjura et au Sud par des affleurements du Miocène. Les séries stratigraphiques s'étendant sur la région sont :

II.8.2.1 Les flyschs du flanc du Sud du Djurdjura :

Sur le flanc méridional de la chaîne du Djurdjura, s'étendent de façon continue d'Ouest en Est des formations à faciès flyschs. Cet ensemble puissant de plus de 500m (J.Flandrin) attribué au Crétacé est représenté par des schistes verdâtres, des quartzites, des bancs de microbrèches, des conglomérats et des lentilles de calcaires.

A- Les flyschs inférieurs :

Ils peuvent être réparties en trois types de faciès :

- Flysch tertiaire représenté par une série pélitique bleue sombre avec des degrés.
- . Flysch sénonien à micro brèches. Cette série est essentiellement constituée de marne se débitant en fine pallètes
- Flysch céno-mano-turonien. Il est formé de phtanite associés à de petits bancs de calcaires.

B- Les flyschs supérieur :

Ces flyschs surmontent les précédents. Ils sont plus ordonnés, mais la série est renversée

II .8.2.2 Le Miocène :

Il s'agit de formations du Miocène inférieur post-nappe. Cette puissante formation continentale se développe largement dans la vallée de la Soummam. Ce Miocène forme la majeure partie des affleurements de bordure de la plaine. Les dépôts miocènes sont

essentiellement formés d'assises conglomératiques jaunâtres à rouge brique avec des argiles sableuses ainsi que des passées argileuses et des grés. Les formations sont caractérisées par d'importantes variations de faciès. Elles sont recouvertes sur le plateau de Bled el Madjen par des formations quaternaires.

II .8.2.3 Le Quaternaire :

Dans le secteur d'étude le Quaternaire est représenté par divers types de dépôts :

- Les alluvions actuelles, constituées par des limons sablonneux résultant des crues.
- Les alluvions occupent le fond de l'oued Ed Dous.
- Les alluvions anciennes des vallées sont représentées par des dépôts caillouteux, limoneux et argilo-sableux.
- Les terrasses anciennes, ce sont des formations caillouteuses composées de conglomérats et de grés à ciment argileux. Ces formations constituent la majeure partie de la couverture de la plaine du Hamza. A ces formations s'ajoutent les dépôts de cônes de déjections et d'éboulis de pentes.

II.8.3 Lithostratigraphie :

L'histoire géologique et structurale du Tell, du Trias au Quaternaire, peut se diviser en trois grandes périodes :

a. Une période pré-tectogénique, débutant au Trias et s'achevant à l'Eocène moyen. Cette période est marquée par la prédominance de la sédimentation. Les bassins sédimentaires sont alors sensiblement d'orientation Ouest-Est.

b. Une période tectogénique, de l'Eocène supérieur au Miocène inférieur, pendant laquelle se produisent les dislocations. Cette période voit la mise en place des flyschs et des dépôts de faciès conglomératiques.

c. Une période orogénique, débutant par le dépôt du Miocène inférieur post-nappe, jusqu'à l'époque actuelle. Cette période correspond à la formation des reliefs et la mise en place des vallées. C'est alors qu'interviennent les puissantes phases d'érosion. L'érosion post-Miocène et anti-Quaternaire serait alors à l'origine de l'absence du dépôt de tout le Pliocène dans la zone d'étude.

II.8.3.1 Le Quaternaire :

Le quaternaire couvre une large partie des plateaux et au bord des oueds. Il est représenté par les alluvions supérieures et inférieures des plateaux et par les alluvions récentes dans les lits des oueds. Il est composé par des couches sableuses et graveleuses et des croutes calcaires, ces alluvions sont d'épaisseur assez faible

II.8.3.2 Le Miocène post-nappe :

La vaste dépression Sahel-Soummam est remplie de sédiments continentaux subhorizontaux. Ils sont constitués de poudingues, de galets de sables ou d'argiles compactes.

II .8.3.2.1 Le Crétacé :

Il comprend le Crétacé para-autochtone ou autochtone et le Crétacé allochtone.

II.8.3.2.2 Le Jurassique :

Il est représenté au Nord, dans le Djurdjura. Il comprend à la base, des dolomies cavernueuses, principalement développées au Nord du djbel Taouila et représentant l'Infralias. Puis une puissante assise d'épaisseur inconnue de calcaire compacte, gris clair, parfois roses de texture fine, à stratification souvent indistincte, dont la partie supérieure renferme des bancs bien stratifiés à nodules de silex assez rares, avec des empreintes d'ammonites non identifiées, représentant le Lias inférieur et moyen. Enfin, un Lias supérieur représenté par des calcaires et marnes, renfermant des microfossiles et des macros fossiles

II .8.3.2.3 Le Trias :

Il est constitué par des argiles bariolées, du gypse, des cargneules ou des dolomies et des roches verts

II.8.4 Tectonique :

Représentés les ensembles structuraux de la région d'étude. Nous distinguons des formations autochtones et allochtones :

II .8.4.1 Formations autochtones et parautochtones :

a- Miocène poste-nappes :

Cet ensemble structural occupe toute la dépression de la vallée de l'Oued Soummam.

b- Crétacé supérieur (Paléocène à Cénomaniens) :

Cette unité structurale est représentée par des marnes grises et schistes à bancs de calcaires.

c- Crétacé inférieur (Néocomien à Albien) :

Situé au-dessous de l'ensemble structural précédent, se compose de marnes, d'argiles schisteuses et de grès.

II.8.4.2 Formations allochtones :

a- Nappe épitellienne :

Cette nappe chevauche vers le Sud de la région d'étude la nappe Sud tellienne, et vers l'Est de Bordj Bou-Arredj elle repose sur le substratum autochtone.

b- Nappe sous numide :

Cette nappe renferme des dépôts sénoniens à micro brèches, des lits de galets à éléments Jurassiques.

c- Nappe Numidienne :

Cette nappe correspond essentiellement à l'oligocène de faciès « numidien ».

d- Nappe du flysch :

Au Sud de la chaîne du Djurdjura, cette nappe forme une bande continue d'Ouest en Est. La région d'étude s'étend sur du Miocène post-nappe, coincée entre le flysch du Nord (elle est même en contact anormal avec l'Oligocène kabyle du Djurdjura) et le Crétacé inférieur, lui-même est en contact anormal avec le Crétacé supérieur. D'après M.Kieken, on distingue deux phases tectoniques :

La première phase tectonique Eocène supérieur-Oligocène supérieur

La deuxième phase tectonique débute à l'Oligocène-Miocène et se termine au Miocène inférieur.

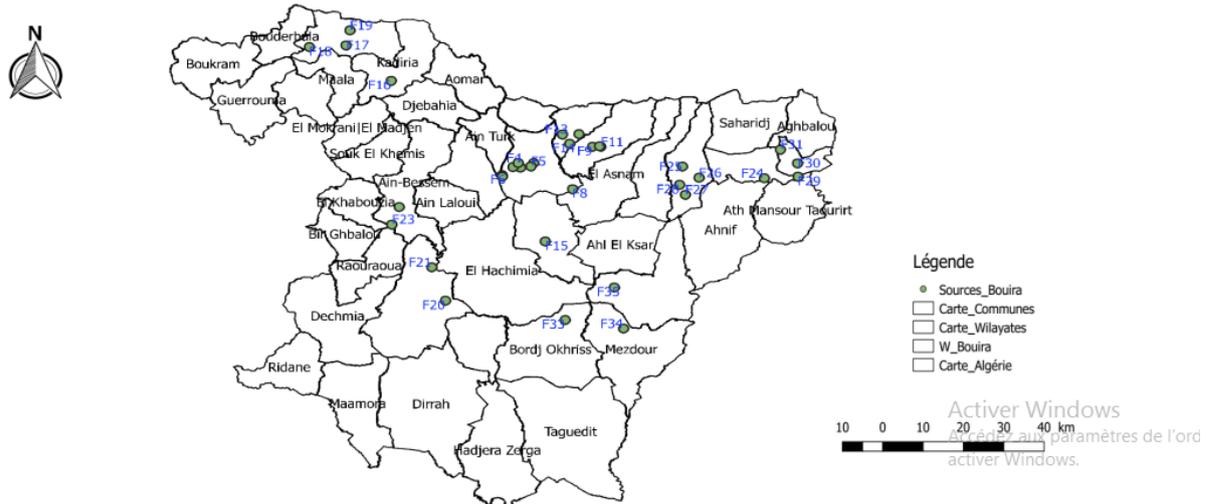


Figure II.11: Localisation des points d'eau dans la région de Bouira.

II.9 Carte piézométrique 2011 :

L'analyse de cette carte nous permet de ressortir les points suivants : - Des courbes iso pièzes bien espacées à l'Ouest, traduisant une zone de très bonne perméabilité contrairement au Nord-est où on observe un net resserrement des iso pièzes traduisant une zone à faible perméabilité. - La formation d'un cône de dépression autour du champ captant. A partir de 2009, l'écoulement se fait suivant un axe de drainage principal d'orientation W-E avec la création d'une dépression autour du champ de captage.

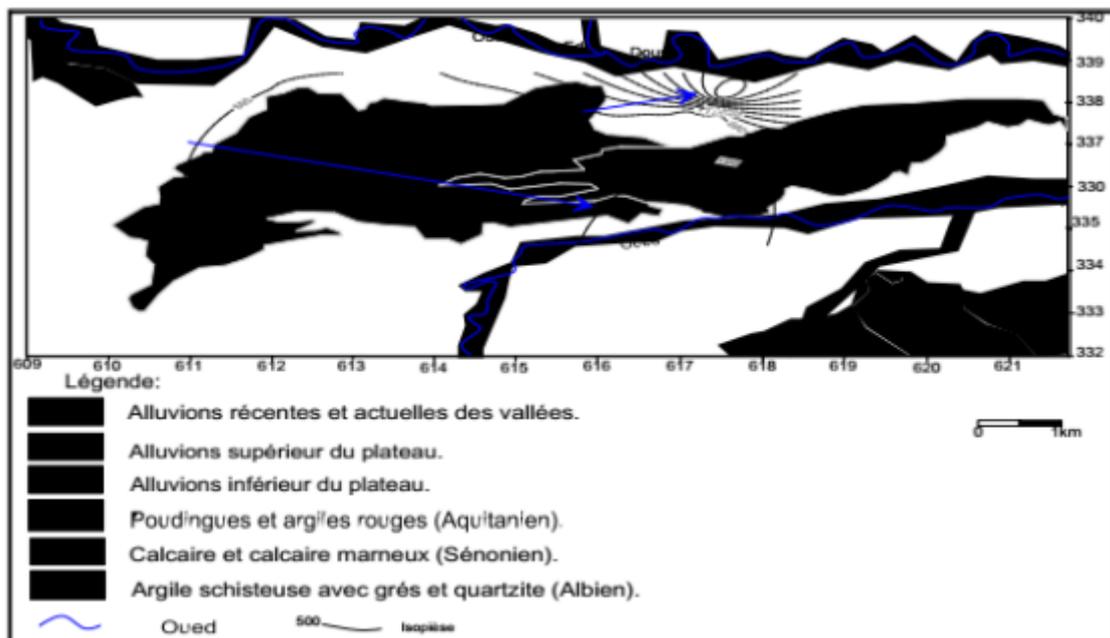


Figure II.12: Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau D'El Asnam (Mai 2011).

II.10 Conclusion :

Nous avons trouvé que Le classement de climat de la wilaya de Bouira est semi-aride par le calcul l'indice d'aridité de De Martonne et FAO.

Les données climatologiques ainsi que les résultats obtenus par différentes méthodes, permettent d'attribuer à la région étudiée un climat semi-aride, caractérisé par une saison sèche, qui s'étend du mois de mai au mois octobre. Et une saison humide, tempérée qui s'étend du mois d'octobre au mois de mai. La température moyenne est d'environ 17,5°C. Les précipitations augmentent du Sud vers le Nord avec un régime pluvial marqué par un pic, en décembre. La lame précipitée moyenne annuelle estimée par la méthode (arithmétique) est égale à 443.75mm.

La détermination des différents endroits favorable à l'implantation des forages est basée sur une bonne connaissance de la géologie locale et formations géologiques susceptibles d'être aquifères de la zone d'étude.

D'après l'étude géologique, on a déduit que la zone étudiée est une dépression remplie par des sédiments alluvionnaires d'âge Miocène qui sont discordant sur un ensemble antérieur. L'étude litho-stratigraphique nous a permis d'avoir une idée sur les formations présentent au niveau du plateau d'El Asnam. De cette étude, il ressort que le plateau est essentiellement constitué d'alluvions anciennes et récentes reposant anormalement sur des formations Miocène continentales. Les dépôt miocènes remaniés auxquels se sont ajoutés les éboulis et cônes de déjection, constituent la couverture alluviale du plateau. Nous noterons toutefois que la limite entre la couverture alluviale essentiellement quaternaire et les formations miocènes sous-jacentes n'est pas évidente, les deux types de formations étant de nature lithologique semblable.

CHAPITRE III
MOYENS, RÉSULTATS ET
DISCUSSIONS

III.1-Introduction :

L'eau est un élément essentiel qui conditionne fortement l'avenir, La rareté de l'eau douce est aujourd'hui une réalité incontestable. La recherche des ressources en eau est toujours plus importante pour les besoins humains, elle conduit de plus en plus à l'implantation de captages. Les eaux théoriquement protégées proviennent des nappes souterraines, ces ressources, lorsque elles sont potables seront « idéales » pour la consommation, mais malheureusement elles sont de plus en plus soumises aux contaminations chimiques (Nitrates, détergents, pesticides, métaux,...etc.) et parfois microbiennes provoquées par le développement industriel, agricole et urbain.

L'inspection de la qualité des eaux souterraines consiste à recueillir des échantillons d'eau, tout en respectant les techniques de prélèvement. De procéder à un certain nombre d'analyse pour avoir une idée sur l'identité physico-chimique de l'eau et son mode de répartition spatiale dans le milieu environnant. La composition chimique des eaux souterraines dépend en grande partie du type de roche encaissante, de l'évolution hydrodynamique des écoulements de la nappe, de la profondeur de cette dernière et de la zone climatique. Elle donne de précieux renseignements sur les conditions de gisement et le mouvement des eaux souterraines (KHEDIDJA 2016).

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la qualité des eaux, à cet effet nous pouvons avoir recours à des analyses multi variées. C'est un ensemble de méthodes d'analyse statistique qui traitent simultanément plus d'une variable, comme : Analyse en composante principale(ACP).

Dans ce cadre , nous avons procédé à l'étude des résultats d'analyses chimiques de campagne de prélèvement d'eau de 9 ans (2003 -2005-2006-2007 -2008-2009-2011-2012-2013) au niveau de 159 forages situé sur tout la région de Bouira.

Les paramètres physiques et chimiques étudiés sont :

- Les paramètres physiques : (Température, PH, Conductivité Electrique, la turbidité).
- Les paramètres chimiques : correspondant aux éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-).

III.2- Présentation de logiciel XLSTAT 2007 :

XLSTAT est un logiciel d'analyse de données et de statistique à la fois simple d'utilisation et très puissant. Il permet à ses utilisateurs d'analyser, de visualiser et de modéliser leurs données tout en produisant des rapports sous Microsoft Excel, exportables vers d'autres formats.

III.3- Etude statistique des données hydro- chimiques :

III.3.1 Statistique descriptive :

L'analyse statistique des données hydro chimiques est basée sur la description quantitative (le minimum, le maximum, la moyenne, l'écart -type et le coefficient de variation).

III.3.1.1 Le maximum et le minimum :

Il représente la plus grande et la plus petite valeur de l'échantillon.

III.3.1.2 La moyenne arithmétique :

La moyenne arithmétique d'une série quantitative est définie par la somme des valeurs observées, divisée par l'effectif total.

III.3.1.3 L'écart-type :

L'écart-type observé correspond à la racine carrée de la variance observée.

III.3.1.4 Le coefficient de variation (CV) :

Le coefficient de variation est le rapport entre l'écart -type et la moyenne. $CV = (\text{écart type} / \text{moyenne}) * 100$.

Tableau III.1: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2003)

	La valeur minimum	La valeur maximum	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation (CV%)
T °C	17.5	24.5	19.950	3.1901	15.990
pH	7.11	7.44	7.2525	.13937	1.921
Cond	1255.0	1654.5	1454.875	196.3943	13.499
Turb	.80	5.09	2.0775	2.04520	98.445
Ca	105.0	150.8	129.575	19.5888	15.117
Mg	21.34	38.00	31.2100	7.83984	25.119
HCO3	283.0	395.9	341.950	47.8735	14.000
Cl	188.3	525.0	356.325	193.0422	54.175
SO4	45.70	90.95	67.8275	18.72351	27.604
NO3	.81	81.80	37.2300	41.48717	111.434

Tableau III.2: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2005)

	La valeur minimum	La valeur maximum	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation (CV%)
T °C	8.70	23.80	19.6250	2.96155	15.090
pH	6.710	7.680	7.01510	.207962	2.964
Cond	560.0	2720.0	1423.406	553.1905	38.863
Turb	.11	10.90	1.0771	1.95110	181.145
Ca	27.4	252.0	139.371	47.0252	33.741
Mg	.48	98.88	47.1721	21.34767	45.254
HCO3	222.00	555.10	402.9192	80.47169	19.972
Cl	15.43	565.80	210.4438	126.35433	60.041
SO4	.58	349.40	52.4754	57.52591	109.624
NO3	1.46	106.30	32.9585	26.51460	80.448

Tableau III.3: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2006)

	La valeur minimum	La valeur maximum	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation (CV%)
T °C	9.70	23.50	17.74	3.66	20.64
pH	6.36	7.57	6.88	0.23	3.29
CE	468.00	3 330.00	1 440.81	582.65	40.44
Turb	-	14.50	0.99	2.33	234.19
Ca	2.40	249.60	122.35	50.45	41.24
Mg	10.70	104.90	44.28	26.58	60.04
Na	8.00	480.00	88.71	67.40	75.97
K	1.00	4.00	1.85	0.81	43.60
HCO3	150.66	559.98	373.99	81.87	21.89
Cl	17.75	984.70	204.37	140.17	68.58
SO4	5.90	821.00	194.40	205.79	105.86
NO3	-	106.76	31.61	28.73	90.88

Tableau III.4: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2007)

	La valeur minimum	La valeur maximum	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation (CV%)
T °C	8.60	761.10	31.07	105.36	339.14
pH	6.95	8.02	7.34	0.27	3.68
CE	559.00	2 320.00	1 253.08	454.44	36.27
Turb	0.09	1 023.00	21.69	144.52	666.38
Ca	7.80	244.20	135.00	45.58	33.77
Mg	8.75	95.25	40.47	22.97	56.77
HCO ₃	99.77	508.70	360.02	90.62	25.17
Cl	20.59	492.00	137.28	93.00	67.74
SO ₄	21.18	1 220.00	203.65	228.86	112.38
NO ₃	0.05	171.20	37.63	35.07	93.21

Tableau III.5: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2008)

	La valeur minimum	La valeur maximum	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation (CV%)
T °C	16.30	23.90	19.36	1.74	8.98
pH	7.06	8.15	7.56	0.22	2.92
CE	540.00	3 420.00	1 220.19	497.54	40.78
Turb	0.12	13.20	1.63	2.75	168.68
Ca	32.80	252.80	117.12	40.36	34.46
Mg	14.58	105.90	43.03	23.17	53.84
HCO ₃	176.90	559.98	339.65	78.54	23.12
Cl	32.00	933.65	154.59	133.38	86.28
SO ₄	13.08	1 124.43	218.76	239.05	109.27
NO ₃	0.04	163.37	27.34	29.28	107.12

Tableau III.6: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2009)

	La valeur minimum	La valeur maximum	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation (CV%)
T °C	14,10	27,30	20,7595	2,82539	13.608
pH	6,775	7,760	7,1503	,20585	2.867
CE	526,5	2240,0	1342,060	476,618	35.513
Turb	,135	25,135	2,421	4,7193	2.354
Ca	34,4	224,00	130,333	41,1779	31.593
Mg	17,485	112,00	54,1070	23,4502	27.307
HCO3	190,32	650,26	354,8428	96,898	43.584
Cl	47,920	313,820	157,20810	68,5187	81.205
SO4	18,255	740,250	193,42224	157,0694	101.188
NO3	,132	214,855	36,34639	36,7781	

Tableau III.7: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2011)

	La valeur Minimum	La valeur Maximum	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation (CV%)
T °C	13.12	24.00	18.90	2.02	10.66
pH	6.71	7.71	7.10	0.23	3.25
Cond	305.00	2 100.00	1 101.33	334.92	30.41
Turb	0.09	7.26	0.88	1.47	167.84
Ca	27.20	198.40	103.39	47.71	46.14
Mg	9.12	74.88	32.47	16.84	51.87
HCO3	107.40	526.35	358.33	99.28	27.71
Cl	14.91	292.52	108.82	61.97	56.95
SO4	8.43	384.80	102.96	96.69	93.91
NO3	-	110.75	30.97	29.20	94.31

Tableau III.8: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2012)

	La valeur Minimum	La valeur Maximum	Moyenne	Ecart type	Le coefficient de variation (CV%)
T °C	15.10	20.30	17.67	1.52	8.62
pH	6.67	7.54	7.10	0.21	2.89
Cond	565.00	2 270.00	1 312.67	399.72	30.45
Turb	0.17	3.72	0.67	0.63	93.08
Ca	32.80	225.60	130.36	38.25	29.35
Mg	12.64	109.84	52.19	20.34	38.97
HCO3	201.30	516.06	346.44	77.57	22.39
Cl	27.69	359.97	132.27	75.86	57.35
SO4	26.94	528.30	163.18	117.96	72.29
NO3	0.13	120.96	34.95	33.19	94.96

Tableau III.9: Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira (2013)

	La valeur Minimum	La valeur Maximum	Moyenne	Ecart type	Le coefficient de variation (CV%)
T °C	10.40	22.60	17.35	3.22	18.54
pH	6.47	8.20	7.02	0.33	4.74
CE	657.00	2 140.00	1 232.68	388.17	31.49
Turb	0.12	3.75	0.75	0.78	105.02
Ca	48.80	278.40	117.33	51.19	43.63
Mg	13.22	108.86	53.21	25.07	47.12
HCO3	202.00	564.90	345.73	89.22	25.81
Cl	32.00	263.00	127.01	56.71	44.65
SO4	11.20	934.00	150.64	169.26	112.37
NO3	0.30	40.76	14.69	12.50	85.12

Interprétation :

L'analyse des résultats des données dans les tableaux n° III. (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9) montrent que les paramètres suivants (T , CE , Turb ,Ca , Mg , HCO₃ , Cl ,SO₄ , NO₃) présentent un $Cv > 10\%$ donc des échantillons hétérogènes soumis à des conditions différentes . Et pour le (PH) l'échantillon homogène

Et pour le tableau n° III (8) montre que les paramètres suivants (CE, Turb, Ca, Mg, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃) présentent un $CV > 10\%$ donc des échantillons hétérogènes. Pour le reste (PH, T°C) échantillons homogènes ($CV < 10\%$)

III.3.2 Analyse de la matrice de corrélation :

La corrélation des éléments est distinguée par une matrice carrée caractérisée selon un coefficient de corrélation entre les variables, deux à deux (Degré d'association entre deux variables). Les différentes corrélations entre les variables deux à deux peuvent être déterminées sur la base du coefficient de corrélation significatif (critique) tiré de la table de Bravais-Pearson en fonction du nombre d'observations et de variables mis en jeux. La corrélation entre les paramètres physico-chimiques dans les eaux souterraines aide à comprendre certains phénomènes dégagés par l'interaction eau-roche et permet de donner une approche sur l'origine commune de certains paramètres.

La matrice de corrélation a été réalisée pour l'ensemble des prélèvements d'eau analysés à l'aide du logiciel SPSS Statistics.

Tableau III.10: Matrice de corrélation entre les variables (2003)

	T °C	pH	CE	Turb	Ca	Mg	HCO3	Cl	SO4	NO3
T °C	1.000									
pH	-.226	1.000								
CE	.615	-.292	1.000							
Turb	.991	-.099	.620	1.000						
Ca	.005	-.024	-.765	-.036	1.000					
Mg	.370	.197	.865	.437	-.888	1.000				
HCO3	-.644	-.204	-.862	-.710	.680	-.938	1.000			
Cl	.475	-.182	.981	.495	-.872	.928	-.871	1.000		
SO4	.788	.322	.142	.834	.331	.139	-.463	.038	1.000	
NO3	-.427	.003	-.942	-.470	.899	-.980	.917	-.984	-.081	1.000

Le Tableau III. 10 (matrice de corrélation) montre que :

- La T°C possède une forte corrélation avec la turbidité (R= 0.991) nous pouvons dire que les deux paramètres tendent à augmenter ensemble
- Nous observons l'existence de corrélations positives significatives entre la conductivité électrique et les ions Mg, HCO₃, NO₃, Cl et nous pouvons dire que ces ions participent à l'augmentation de la conductivité électrique.
- Le calcium Ca possède une bonne corrélation avec Mg (R=0.888). La présence des ions Ca dans l'eau est liée principalement à une origine naturelle.

- Le calcium (Ca^{2+}) possède une bonne corrélation avec (NO_3) et (Cl), .La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à une origine naturelle : la dissolution des roches évaporitiques

- Le magnésium (Mg^{2+}) possédé une forte corrélation avec les sulfates (HCO_3) ($R = 0.938$) s'explique possiblement par la dissolution des roches calcaires (calcite et dolomite), Outre une bonne corrélation avec (Cl) ($R=0.928$) et avec (NO_3) ($R=0.980$).

- Le HCO_3 est fortement corrélé avec le(Cl) ($R = 0,871$), le (NO_3) ($R = 0,917$).

- Le Cl possède une forte corrélation avec (NO_3) ($R=0.984$).

Tableau III.11: Matrice de corrélation entre les variables (2005)

	T °C	pH	CE	Turb	Ca	Mg	HCO_3	Cl	SO_4	NO_3
T °C	1.000									
pH	-.133	1.000								
CE	-.020	-.100	1.000							
Turb	.037	-.036	-.075	1.000						
Ca	-.065	-.036	.876	-.077	1.000					
Mg	-.126	-.016	.710	.339	.453	1.000				
HCO_3	-.224	-.138	.513	-.197	.426	.500	1.000			
Cl	.091	-.136	.885	-.251	.696	.566	.393	1.000		
SO_4	-.080	.104	.673	.354	.762	.518	.174	.388	1.000	
NO_3	.012	.023	-.129	-.103	.010	-.317	-.285	-.129	-.231	1.000

Les tableaux III. (11.13) montrent que :

- La conductivité électrique des différents échantillons, possède une bonne corrélation avec les éléments (Ca , Cl), avec ($R>0.85$) cette dernière indiquent la minéralisation des eaux souterraines.

Tableau III.12: Matrice de corrélation entre les variables (2006)

	T °C	pH	CE	Ca	Turb	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	NO3
T °C	1.000											
pH	-.466	1.000										
CE	-.061	-.193	1.000									
Ca	.127	-.097	.676	1.000								
Turb	.152	.063	-.041	-.017	1.000							
Mg	-.286	.004	.751	.528	-.062	1.000						
Na	-.074	-.231	.819	.317	.022	.495	1.000					
K	-.182	.000	.583	.382	-.111	.632	.445	1.000				
HCO3	-.173	-.306	.555	.394	.005	.569	.489	.411	1.000			
Cl	-.002	-.316	.809	.353	-.001	.401	.899	.341	.500	1.000		
SO4	-.007	-.004	.727	.674	-.166	.629	.378	.539	.213	.297	1.000	
NO3	.045	-.080	-.004	-.013	-.057	-.014	-.065	-.331	-.127	.008	-.068	1.000

Le tableau III.12 montre que :

- Le sodium (Na⁺) parfaitement corrélé avec le (Cl) (R=0.899). cela indique l'existence d'halite (NaCl) d'origine évaporitiques

Tableau 10: Matrice de corrélation entre les variables (2007)

	T °C	pH	CE	Turb	Ca	Mg	HCO3	Cl	SO4	NO3
T °C	1.000									
pH	-.168	1.000								
CE	-.001	-.428	1.000							
Turb	-.025	-.110	-.096	1.000						
Ca	.074	-.421	.873	-.030	1.000					
Mg	-.097	-.211	.712	-.061	.478	1.000				
HCO3	.073	-.298	.574	-.057	.439	.541	1.000			
Cl	.011	-.434	.839	-.078	.736	.415	.437	1.000		
SO4	-.098	-.164	.669	-.066	.569	.753	.281	.252	1.000	
NO3	.065	.237	-.290	.128	-.062	-.444	-.365	-.186	-.354	1.000

Tableau III.14: Matrice de corrélation entre les variables (2008)

	T °C	pH	CE	Turb	Ca	Mg	HCO3	Cl	SO4	NO3
T °C	1.000									
pH	-.138	1.000								
CE	.154	-.413	1.000							
Turb	.144	-.067	.005	1.000						
Ca	-.001	-.420	.657	.037	1.000					
Mg	.342	-.093	.664	.103	.292	1.000				
HCO3	.324	-.526	.499	.146	.456	.293	1.000			
Cl	.002	-.426	.845	-.035	.364	.397	.355	1.000		
SO4	.192	.010	.544	.028	.594	.633	.203	.054	1.000	
NO3	-.007	.069	-.127	-.089	-.034	-.151	-.278	-.047	-.298	1.000

Tableau III.15 : Matrice de corrélation entre les variables (2009)

	T °C	pH	CE	Turb	Ca	Mg	HCO3	Cl	SO4	NO3
T °C	1.000									
pH	-.138	1.000								
CE	.154	-.413	1.000							
Turb	.144	-.067	.005	1.000						
Ca	-.001	-.420	.657	.037	1.000					
Mg	.342	-.093	.664	.103	.292	1.000				
HCO3	.324	-.526	.499	.146	.456	.293	1.000			
Cl	.002	-.426	.845	-.035	.364	.397	.355	1.000		
SO4	.192	.010	.544	.028	.594	.633	.203	.054	1.000	
NO3	-.007	.069	-.127	-.089	-.034	-.151	-.278	-.047	-.298	1.000

Tableau III.16: Matrice de corrélation entre les variables (2011)

	T °C	pH	CE	Turb	Ca	Mg	HCO3	Cl	SO4	NO3
T °C	1.000									
pH	.446	1.000								
CE	.042	.119	1.000							
Turb	.069	.070	.147	1.000						
Ca	-.020	.222	.732	.151	1.000					
Mg	.139	-.154	-.052	-.034	-.399	1.000				
HCO3	-.074	.238	.557	.113	.347	.243	1.000			
Cl	.010	.176	.834	.309	.629	-.082	.505	1.000		
SO4	.172	.053	.720	-.002	.445	.151	.352	.495	1.000	
NO3	-.040	-.186	.074	-.114	.112	-.179	-.341	-.271	-.075	1.000

Tableau III.17: Matrice de corrélation entre les variables (2012)

	T °C	pH	CE	Turb	Ca	Mg	HCO3	Cl	SO4	NO3
T °C	1.000									
pH	.293	1.000								
CE	.031	.020	1.000							
Turb	.313	-.160	.156	1.000						
Ca	-.201	-.151	.724	-.053	1.000					
Mg	-.068	.047	.707	.261	.515	1.000				
HCO3	.163	-.048	.241	.281	.005	.342	1.000			
Cl	.053	-.051	.787	.043	.339	.382	.274	1.000		
SO4	.090	.216	.718	.095	.688	.579	-.045	.273	1.000	
NO3	.062	-.275	-.053	.196	.118	-.128	-.094	-.038	-.238	1.000

Tableau III.18: Matrice de corrélation entre les variables (2013)

	T °C	pH	CE	Turb	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃
T °C	1.000									
pH	-.289	1.000								
CE	-.021	-.057	1.000							
Turb	-.071	.056	.026	1.000						
Ca	-.146	-.206	.587	-.156	1.000					
Mg	-.093	-.169	.483	-.015	.690	1.000				
HCO ₃	.102	-.173	.326	.073	.173	.105	1.000			
Cl	.356	-.447	.604	.074	.308	.314	.207	1.000		
SO ₄	-.093	.043	.646	.011	.692	.586	-.051	.181	1.000	
NO ₃	-.303	-.384	-.024	-.028	.274	.142	.318	.023	-.197	1.000

Les tableaux III. (14.15.16.17.18) montrent que :

La relation linéaire entre les paramètres est faible par ce que le coefficient de corrélation est inférieur à 0.85 ($R < 0.85$).

III.3.3-Analyse en composantes principales (A.C.P) :

III.3.1.1-Définition

L'analyse en composante principale ACP est une méthode basée sur des statistiques descriptives multidimensionnelles permettant de traiter simultanément un nombre quelconque de variables quantitatives [5]. Le cas de plusieurs individus (n individus) mesurés par rapport à un grand nombre de variables numériques. Ces variables sont la plupart du temps corrélées entre elles. Elle consiste à rechercher des facteurs en nombre restreint en résumant le mieux possible les données considérées. Elle aboutit à des représentations graphiques des données (des individus comme des variables) par rapport à ces facteurs représentés comme des axes. Ces représentations graphiques sont du type nuage de points. L'ACP consiste à transformer des variables liées entre elles (dites "corrélées" en statistique) en nouvelles variables indépendantes les unes des autres (donc "non corrélées"). Ces nouvelles variables, appelées composantes principales ou axes, sont ordonnées par fraction de l'information totale que chacune contient.

III.3.1.2. Principe de l'ACP :

L'ACP consiste à déterminer la corrélation des variables et de regrouper ces variables en ensembles dans des familles de même origine. Ces ensembles des variables nouvelles, appelées composantes principales, définissent des plans factoriels qui servent de base à une représentation graphique plane des variables initiales. Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque. Elle permet de mettre en évidence les ressemblances entre deux ou plusieurs variables au cours de leur évolution.

III.3.1.3. Bref historique de l'ACP :

Conçue par Karl Pearson en 1901, intégrée à la statistique mathématique par Harold Hotelling en 1933, l'analyse en composantes principales (ACP) n'est vraiment utilisée que depuis la large diffusion des moyens de calcul informatique. La technique d'analyse en composantes principales peut être présentée de divers points de vue. Pour le statisticien classique, il s'agit de la recherche des axes principaux de l'ellipsoïde d'une distribution normale multidimensionnelle, ces axes étant estimés à partir d'un échantillon. C'est la présentation initiale de Hotelling (1933), puis celle des manuels classiques d'analyse multi variée. Pour le factorialiste classique, il s'agit d'un cas particulier de la méthode d'analyse factorielle des psychométriciens (cas de variances spécifiques nulles ou égales). Enfin, du point de vue plus récent des analystes de données, il s'agit d'une technique de représentation des données, ayant un caractère optimal selon certains critères algébriques et géométriques, et que l'on utilise en général sans référence à des hypothèses de nature statistique ni à un modèle particulier. Ce point de vue, fort répandu actuellement est peut-être le plus ancien. C'est celui qui avait été adopté par Pearson (1901). Bien entendu, il ne s'agissait pas de l'analyse en composantes principales telle que nous la présentons, mais les idées essentielles de la méthode étaient déjà présentées par cet auteur. L'analyse en composantes principales présente de nombreuses variantes selon les transformations apportées au tableau de données : le nuage des points-individus peut être centré ou non, réduit ou non. Parmi ces variantes, l'analyse en composantes principales normée (nuage centré-réduit) est certainement la plus utilisée et c'est celle-ci que nous choisissons pour présenter les principes de l'analyse. L'ACP a l'avantage d'être une méthode pour laquelle il n'y a aucun paramètre à préciser au départ. Elle permet également d'analyser les associations entre un très grand nombre de profils d'expression (plusieurs milliers) sans aucun problème et est

implémentée dans de nombreux outils. Pour ces raisons, c'est sans doute la première méthode à appliquer à un jeu de données que l'on souhaite mieux comprendre. Le résultat de l'ACP donne une première idée de la structure des données et peut orienter les analyses ultérieures, comme par exemple choisir un nombre de groupes pertinent pour la classification [6].

III.3.1.4 Objectifs :

Les objectifs poursuivis par une ACP sont :

- La représentation graphique optimale des individus (lignes), minimisant les déformations du nuage des points, dans un sous-espace E_q de dimension q ($q < p$).
- la représentation graphique des variables dans un sous-espace F_q en explicitant au mieux les liaisons initiales entre ces variables.
- la réduction de la dimension (compression), ou approximation de X par un tableau de rang q ($q < p$).
- explorer les liaisons entre variables et ressemblance entre individus.

Les derniers objectifs permettent d'utiliser l'ACP comme préalable à une autre technique préférant des variables orthogonales (régression linéaire) ou un nombre réduit d'entrées (réseaux neuronaux).

III.3.1.4 Avantages et Inconvénients de l'ACP :

III.3.1.4.1. Avantages :

- Simplicité mathématique : Sur le plan mathématique, l'ACP est donc une méthode simple à mettre en œuvre. Les seuls véritables outils mathématiques utilisés dans l'ACP sont le calcul des valeurs/vecteurs propres d'une matrice, et les changements de base.
- Simplicité des résultats : Grâce aux graphiques qu'elle fournit, l'ACP permet d'appréhender une grande partie de ses résultats d'un simple coup d'œil.
- Puissance : L'ACP a beau être simple. Elle offre, en quelques opérations seulement, un résumé et une vue complète des relations existant entre les variables quantitatives d'une population d'étude.
- Flexibilité : L'ACP est une méthode très souple, puisqu'elle s'applique sur un ensemble de données de contenu et de taille quelconques.

III.3.1.4.2. Inconvénients :

- Sensibilité aux points extrêmes. Ce manque de robustesse est notamment lié au rôle central qu'y joue le coefficient de corrélation : les points extrêmes, en perturbant les moyennes et corrélations, polluent fortement l'analyse -on peut cependant envisager de les déplacer en point supplémentaire.

- L'ACP est inadapté aux phénomènes non linéaires qui plus est en grande dimension. Pour ce genre de problème, d'autres méthodes ont été développées, comme l'ACPN (Analyse en Composantes Principales par Noyau).

III.3.1.5- Application de L'ACP sur des données chimiques de la zone d'étude

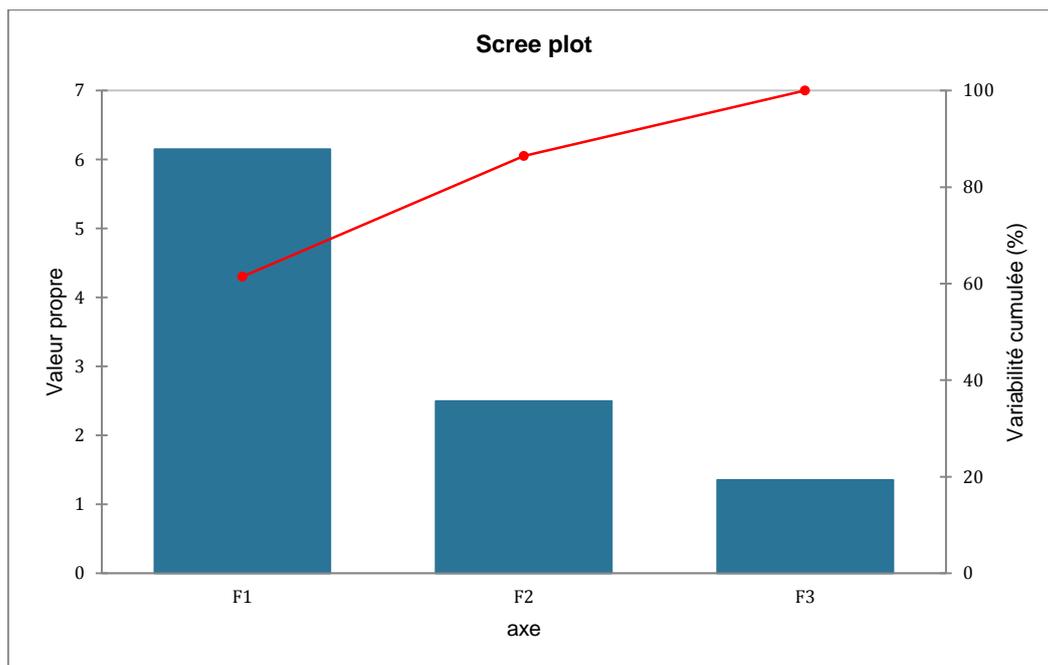
Une analyse statistique en composantes principale a été appliquée sur les données chimiques des eaux prélevées de la zone d'étude durant 9 ans (2003-2005-2006-2007-2008-2009-2011-2012-2013), en utilisant 159 échantillons (individus) et 12 variables (CE, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et NO_3^- ; la turbidité; Température; pH) consignés dans un tableau et à l'aide du logiciel **XLSTAT 2007**.

III.3.1.4 Etude des valeurs propres :

Une valeur propre représente la variation des individus sur l'axe correspondant. Dans le but de faciliter leur interprétation, met en évidence les valeurs propres de chaque axe factoriel, ces valeurs sont exprimées en pourcentage de variance totale ainsi que leur cumul. Voir les tableaux suivants.

Tableau III.19: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2003)

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
1	6.148	61.478	61.478
2	2.498	24.980	86.458
3	1.354	13.542	100.000
4	5.952E-16	5.952E-15	100.000
5	2.388E-16	2.388E-15	100.000
6	1.278E-16	1.278E-15	100.000
7	-7.111E-17	-7.111E-16	100.000
8	-9.731E-17	-9.731E-16	100.000
9	-2.807E-16	-2.807E-15	100.000
10	-6.606E-16	-6.606E-15	100.000

**Figure III.1: représentation graphique de valeurs propres (2003)**

Le tableau III.19 et la figure III.1 montrent que :

Le premier axe principal à une valeur propre égale à 6.148 il explique 61.478 % de la variance totale, la seconde composante égale à 2.498 correspond à un pourcentage de 24.980

%. Ces deux premiers axes englobent l'ensemble de l'information avec 86.458 % de la variance totale. Si on fait les deux facteurs (axes), traduisent l'essentiel des informations recherchées et permettent de représenter de manière significative le nuage de points car la somme de la variance exprimée par ces facteurs est de l'ordre de 86.458 %. Ces derniers sont jugés suffisants pour une approche d'analyse des variables et des individus.

Tableau III.20: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2005)

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
1	3.993	39.932	39.932
2	1.497	14.974	54.906
3	1.217	12.174	67.081
4	1.170	11.699	78.780
5	.884	8.838	87.618
6	.590	5.905	93.523
7	.447	4.475	97.997
8	.129	1.292	99.289
9	.051	.505	99.794
10	.021	.206	100.000

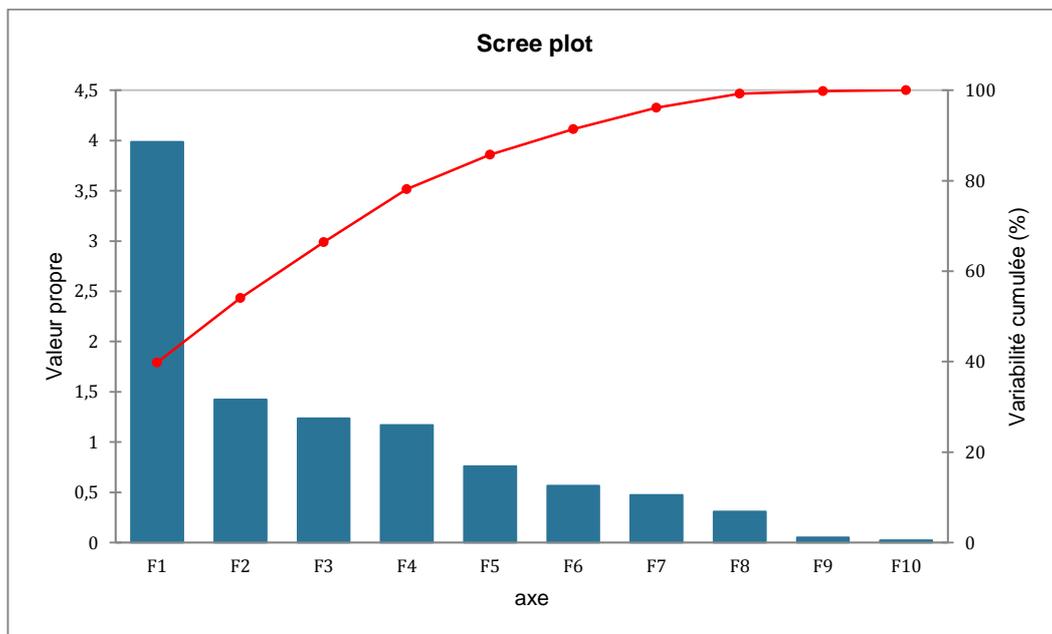


Figure III.2: représentation graphique de valeurs propres (2005)

Le tableau III.20 et la figure III.2 montrent que :

On constate deux plans factoriels ont été retenus (F1 et F2) avec une valeur propre égale à 3.993, il explique 39.932% de la variance totale et la seconde composante égale à 1,497 correspond à un pourcentage de 14,974%. Ces deux premiers facteurs englobent l'ensemble de l'information avec 67,081% de la variance cumulée pour les données des analyses hydro chimiques

Tableau III.21: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2006)

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
1	4.832	40.269	40.269
2	1.713	14.275	54.544
3	1.238	10.317	64.861
4	1.128	9.403	74.265
5	1.004	8.367	82.632
6	.763	6.358	88.990
7	.486	4.053	93.043
8	.312	2.602	95.644
9	.249	2.076	97.721
10	.171	1.427	99.148
11	.082	.682	99.829
12	.020	.171	100.000

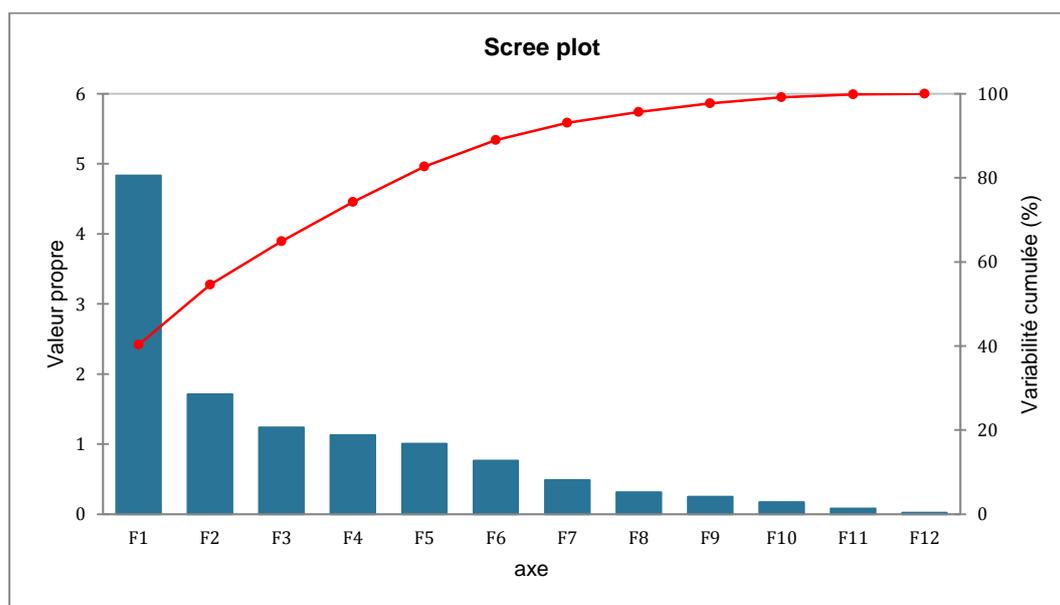


Figure III.3: représentation graphique de valeurs propres (2006)

Le tableau III.21 et la figure III.3 montrent que :

La première valeur propre égale à 4.832, il explique 40.269% de la variance totale et la seconde composante égale à 1.713 correspond à un pourcentage de 14.275%. Ces deux premiers facteurs englobent l'ensemble de l'information avec 54,544% de la variance cumulée pour les données des analyses hydro chimiques.

Tableau III.22: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2007)

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
1	4.285	42.855	42.855
2	1.367	13.669	56.524
3	1.056	10.565	67.089
4	1.008	10.078	77.167
5	.820	8.203	85.370
6	.654	6.541	91.911
7	.431	4.315	96.226
8	.264	2.635	98.861
9	.089	.891	99.752
10	.025	.248	100.000

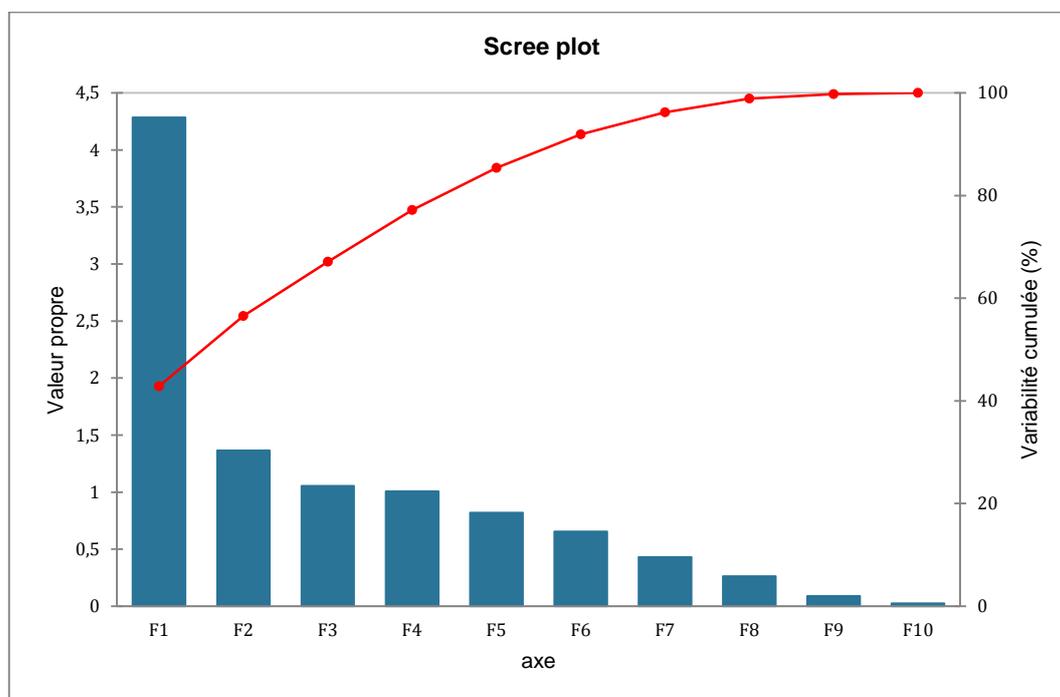


Figure III.4: représentation graphique de valeurs propres (2007)

Le tableau III.22 et la figure III.4 montrent que :

La première valeur propre égale à 4.285, il explique 42.855% de la variance totale et la seconde composante égale à 1.367 correspond à un pourcentage de 13,669%. Ces deux premiers facteurs englobent l'ensemble de l'information avec 56.524% de la variance cumulée pour les données des analyses hydro chimiques

Tableau III.23: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes(2008)

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
1	3.706	37.055	37.055
2	1.446	14.463	51.518
3	1.267	12.668	64.186
4	1.037	10.366	74.552
5	.870	8.701	83.253
6	.839	8.392	91.646
7	.400	3.998	95.643
8	.324	3.243	98.886
9	.104	1.044	99.930
10	.007	.070	100.000

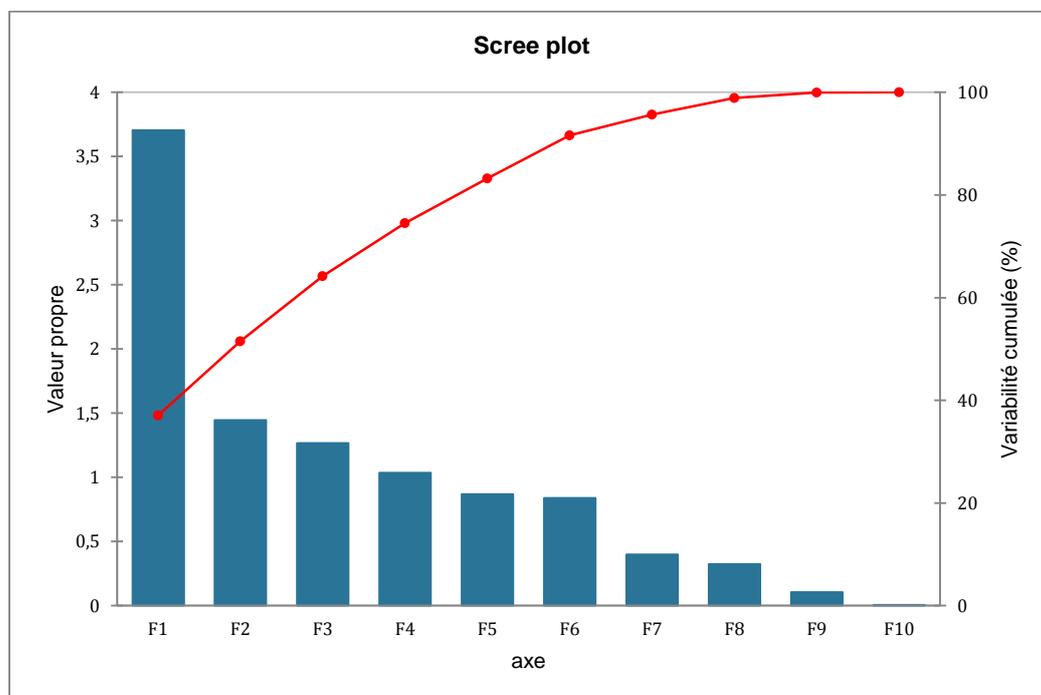


Figure III.5: représentation graphique de valeurs propres (2008)

Le tableau III.23 et la figure III.5 montrent que :

Le premier axe principal à une valeur propre égale à 3.706 il explique 37.055 % de la variance totale, la seconde composante égale à 1.446 correspond à un pourcentage de 14.463%. Ces deux premiers axes englobent l'ensemble de l'information avec 51.518 % de la variance totale

Tableau III.25: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2009)

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
1	4.094	40.938	40.938
2	1.294	12.936	53.874
3	1.108	11.081	64.955
4	.928	9.282	74.238
5	.770	7.702	81.939
6	.699	6.994	88.933
7	.531	5.315	94.248
8	.309	3.090	97.338
9	.203	2.035	99.372
10	.063	.628	100.000

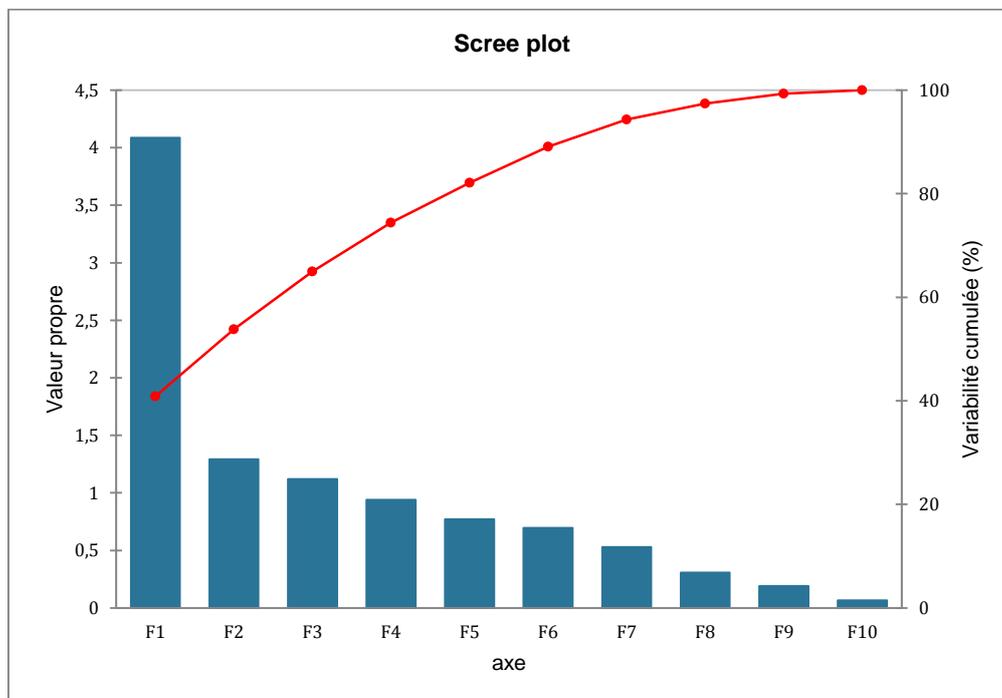


Figure III.6: représentation graphique de valeurs propres (2009)

Le tableau III.24 et la figure III.6 montrent que :

Le premier axe principal à une valeur propre égale à 4.094 il explique 40.938 % de la variance totale, la seconde composante égale à 1.294 correspond à un pourcentage de 12.936%. Ces deux premiers axes englobent l'ensemble de l'information avec 53.874 % de la variance totale.

Tableau III.25: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2011)

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
1	3.432	34.317	34.317
2	1.592	15.922	50.239
3	1.395	13.946	64.185
4	1.154	11.542	75.727
5	.923	9.226	84.953
6	.620	6.204	91.157
7	.343	3.428	94.585
8	.281	2.808	97.393
9	.229	2.295	99.688
10	.031	.312	100.000

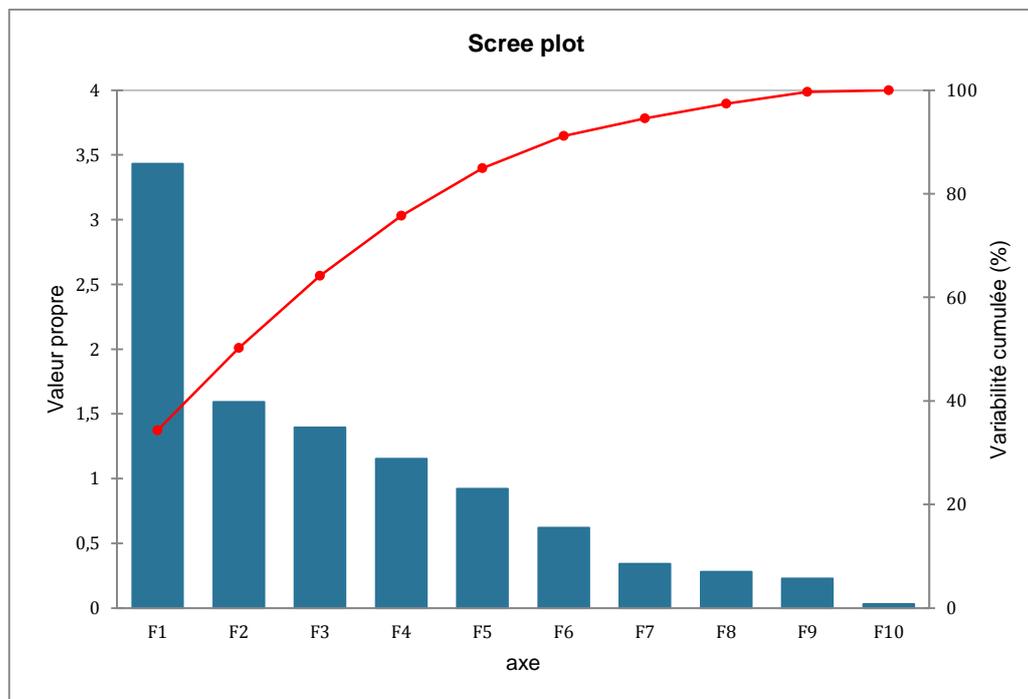


Figure III.7: représentation graphique de valeurs propres(2011)

Le tableau III.25 et la figure III.7 :

La première valeur propre égale à 3.432, il explique 34.317% de la variance totale et la seconde composante égale à 1.592 correspond à un pourcentage de 15,922%. Ces deux premiers facteurs englobent l'ensemble de l'information avec 50.239% de la variance cumulée pour les données des analyses hydro chimiques.

Tableau III.26: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2012)

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
1	3.424	34.237	34.237
2	1.597	15.973	50.210
3	1.516	15.158	65.368
4	1.089	10.887	76.255
5	.865	8.646	84.901
6	.593	5.931	90.832
7	.488	4.876	95.708
8	.278	2.779	98.486
9	.125	1.253	99.739
10	.026	.261	100.000

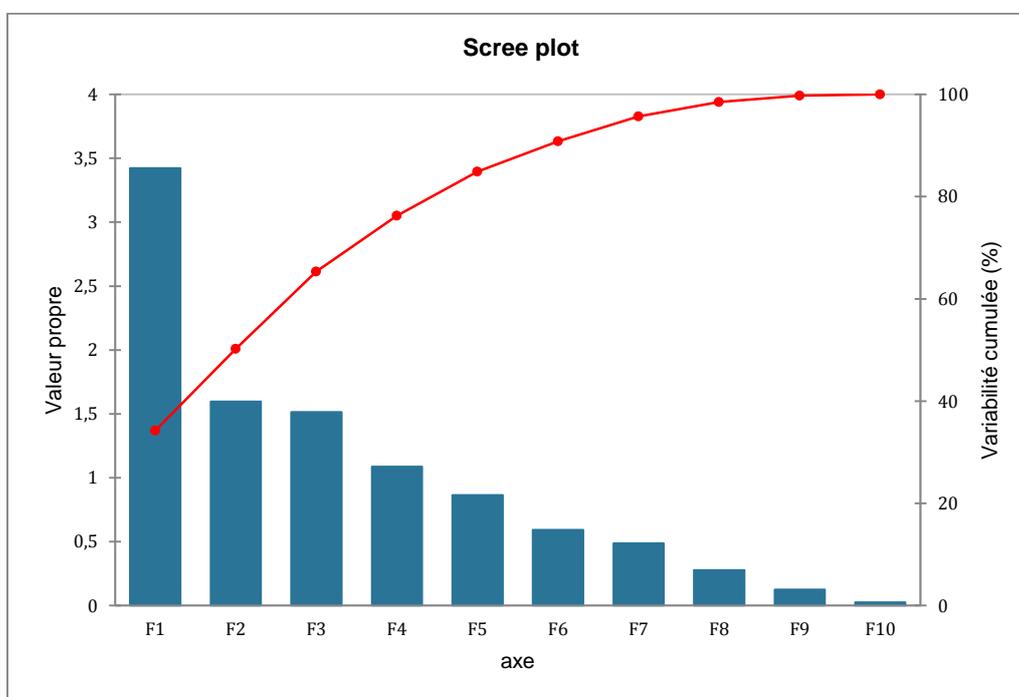


Figure III.8: représentation graphique de valeurs propres (2012)

Le tableau III.26 et la figure III.8 montrent que :

La première valeur propre égale à 3.424 il explique 34.237% de la variance totale et la seconde composante égale à 1.597 correspond à un pourcentage de 15,973%. Ces deux premiers facteurs englobent l'ensemble de l'information avec 50.210% de la variance cumulée pour les données des analyses hydro chimiques.

Tableau III.27: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes (2013)

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
1	3.219	32.186	32.186
2	1.753	17.533	49.719
3	1.513	15.128	64.846
4	1.116	11.165	76.011
5	.861	8.613	84.624
6	.573	5.730	90.355
7	.395	3.952	94.306
8	.298	2.980	97.286
9	.178	1.777	99.063
10	.094	.937	100.000

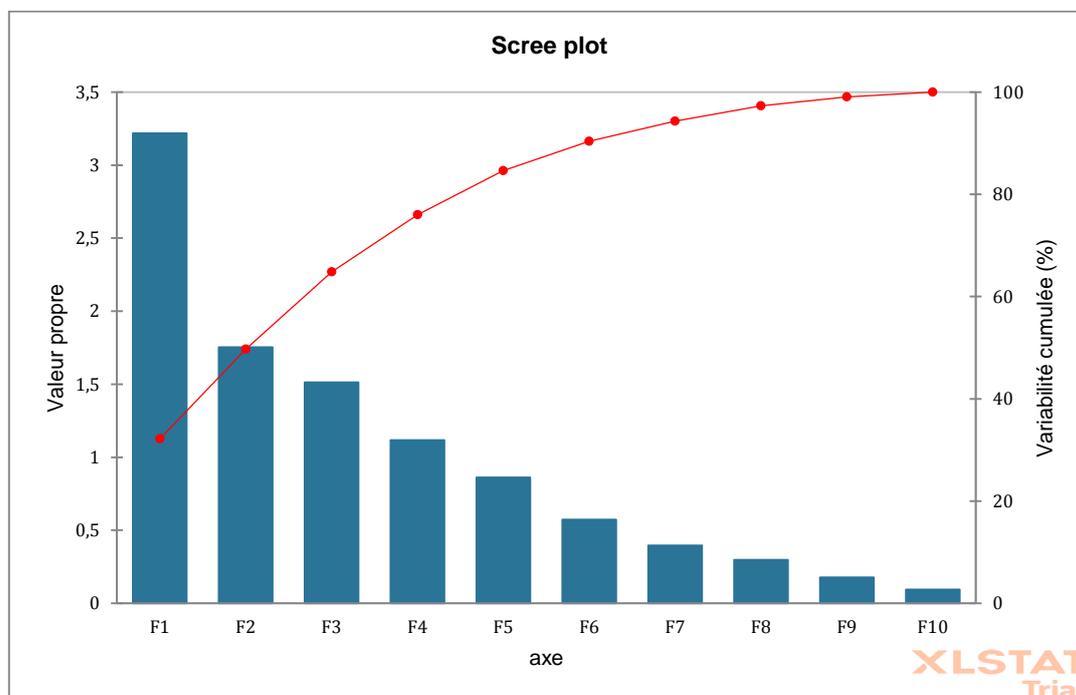


Figure III.9: représentation graphique de valeurs propres (2013)

Le tableau III.27 et la figure III.9 montrent que :

La première valeur propre égale à 3.219, il explique 32.186% de la variance totale et la seconde composante égale à 1.753 correspond à un pourcentage de 17,533%. Ces deux premiers facteurs englobent l'ensemble de l'information avec 49.719% de la variance cumulée pour les données des analyses hydro chimiques.

III.3.1.5 : Etude des variables :

La contribution de chaque variable dans la formation d'une composante principale est donnée par le coefficient de corrélation entre la variable et l'axe considéré. Plus le coefficient est important, plus la variable contribue à la formation de l'axe. Les résultats sont résumés dans les tableaux suivants

Tableau III.28: Corrélations entre les variables et les facteurs (2003)

	F1	F2	F3
T °C	-0.655	0.714	-0.249
pH	0.033	0.062	0.998
CE	-0.961	-0.108	-0.254
Turb	-0.693	0.711	-0.121
Ca	0.746	0.660	-0.090
Mg	-0.935	-0.255	0.244
HCO3	0.968	-0.094	-0.231
Cl	-0.956	-0.259	-0.134
SO4	-0.323	0.905	0.278
NO3	0.962	0.269	-0.045

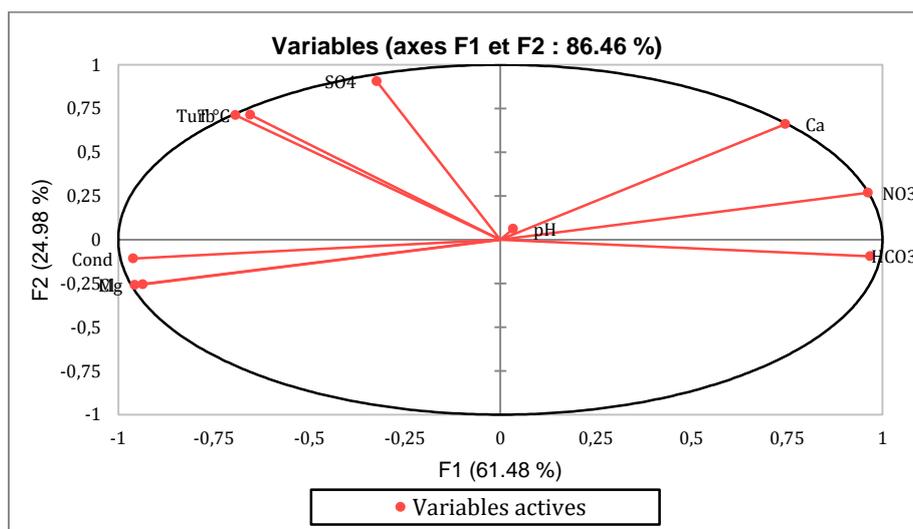


Figure III.10 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1 et F2) (2003)

La projection des variables sur le plan factoriel (1x2) montre que 86.46% de la variance totale sont exprimés (figure III.10)

L'axe de facteur 1 représente 61.48 % de la variance totale et il regroupe Ca, NO₃, HCO₃ dans le pôle positif et CE, Mg, Cl dans le pôle négatif (Tableau III. 28, Figure III.10). Donc l'axe de facteur 1 peut être considéré comme un axe caractérisant la minéralisation des eaux souterraines dans la zone d'étude.

L'axe de facteur 2 représente 24.98% de la variance totale et il regroupe T, Turb, SO₄ dans le pôle positif (Tableau III.28, Figure III.10). On remarque qu'il est dominé par les sulfates.

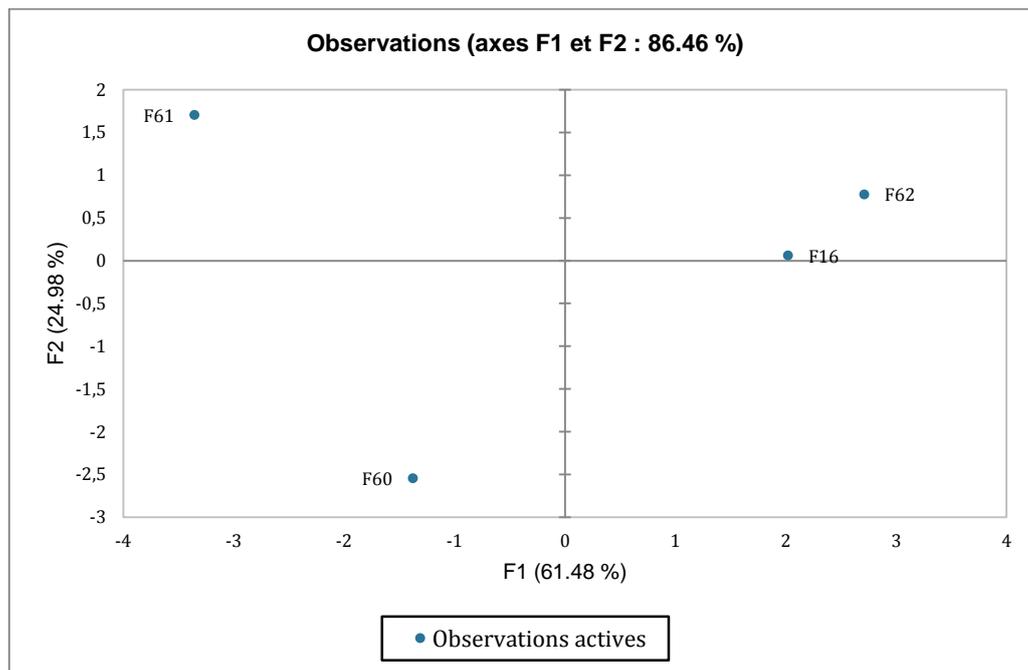


Figure III.11 : représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1 et F2) (2003)

En ce qui concerne la projection des individus (puits et sources) sur le plan factoriel F1 et F2, elle montre que 61.48% des individus sont bien représentés par l'axe F1 et 24.98% des individus sont bien représentés par l'axe F2 (figure III.11), donc les individus les mieux expliqués par l'axe F1 sont : F16.F62 Les individus les mieux expliqués par l'axe F2 sont : F60.F61.

L'analyse de la projection des individus dans le plan factoriel F1 et F2 montre qu'on peut subdiviser les points de mesures en deux groupes

Groupe 1 : ce sont les points les plus minéralisés avec une conductivité électrique élevée liée aux teneurs en Ca et Mg et Hco₃. Les eaux ayant de fortes conductivités électriques se placent sur la partie positive de l'axe 1.

Groupe 2 : il regroupe les individus les moins minéralisés, avec une conductivité électrique faible. Ils sont caractérisés par des teneurs faibles en Ca, Mg et HCO₃. Ces points se placent sur la partie négative de l'axe1.

Tableau III.29: Corrélations entre les variables et les facteurs (2005)

	F1	F2	F3	F4	F5
T °C	-0.128	0.163	-0.595	0.639	0.353
pH	-0.084	0.376	0.688	-0.056	0.584
CE	0.972	-0.073	0.005	0.156	0.023
Turb	-0.073	0.846	-0.116	0.084	-0.354
Ca	0.874	-0.040	0.184	0.271	-0.077
Mg	0.776	0.186	-0.046	-0.231	-0.052
HCO ₃	0.606	-0.231	-0.203	-0.523	0.037
Cl	0.831	-0.230	-0.130	0.210	0.202
SO ₄	0.733	0.416	0.247	0.173	-0.143
NO ₃	-0.219	-0.465	0.489	0.503	-0.311

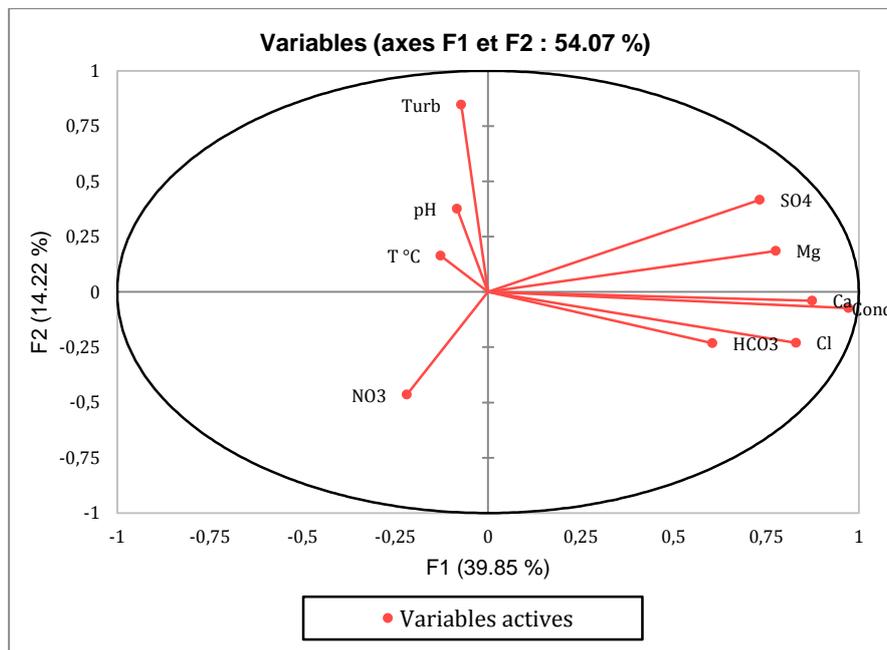


Figure III.12 : cercle de corrélation des variables dans sur plan (F1 et F2) (2005)

L'analyse des variables montre que (figure III.12) :

• Facteur1 ou pole 1 (axe X) : il est bien corrélé (tableau29), avec les variables : Conductivité, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Donc c'est le pole de minéralisation (figure12 avec 39,85%) de l'inertie totale.

• Facteur 2 ou pole 2 (axe Y) : il représente 14.22% de l'inertie totale de nuage, il est bien corrélé avec La turbidité et moyennement corrélé avec NO_3^- .

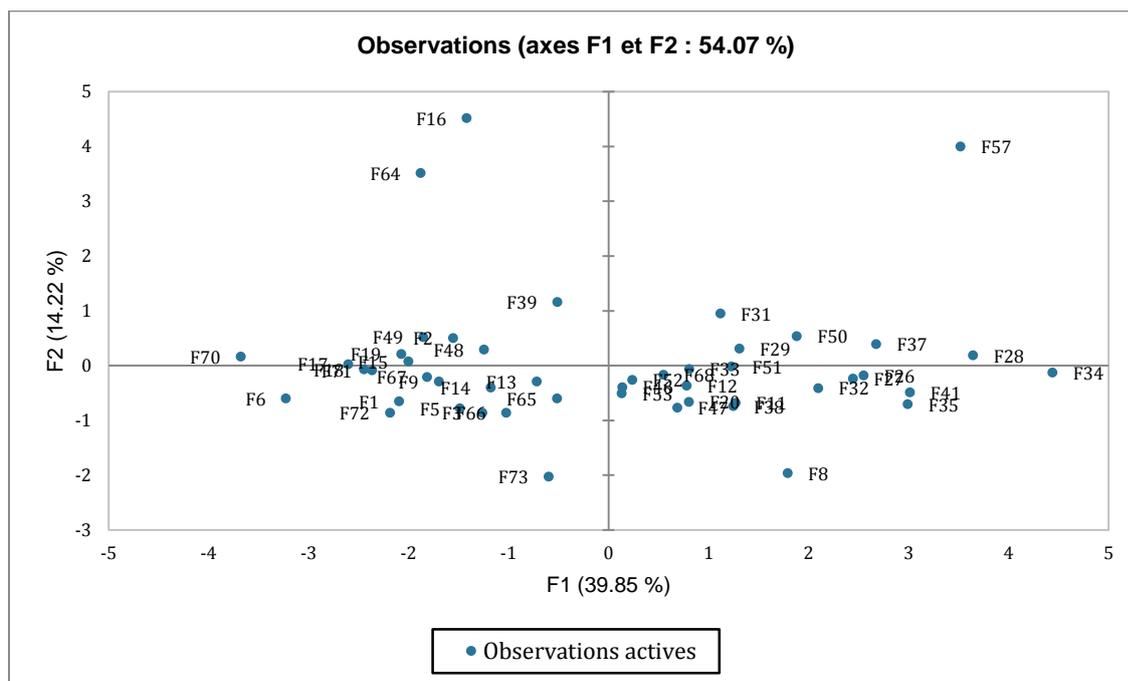


Figure III.13: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1 et F2) (2005)

L'analyse de la projection pour les stations des eaux de surface dans le plan factoriel F1-F2 (figure III.13) montre qu'on peut subdiviser les points de mesure en trois groupes

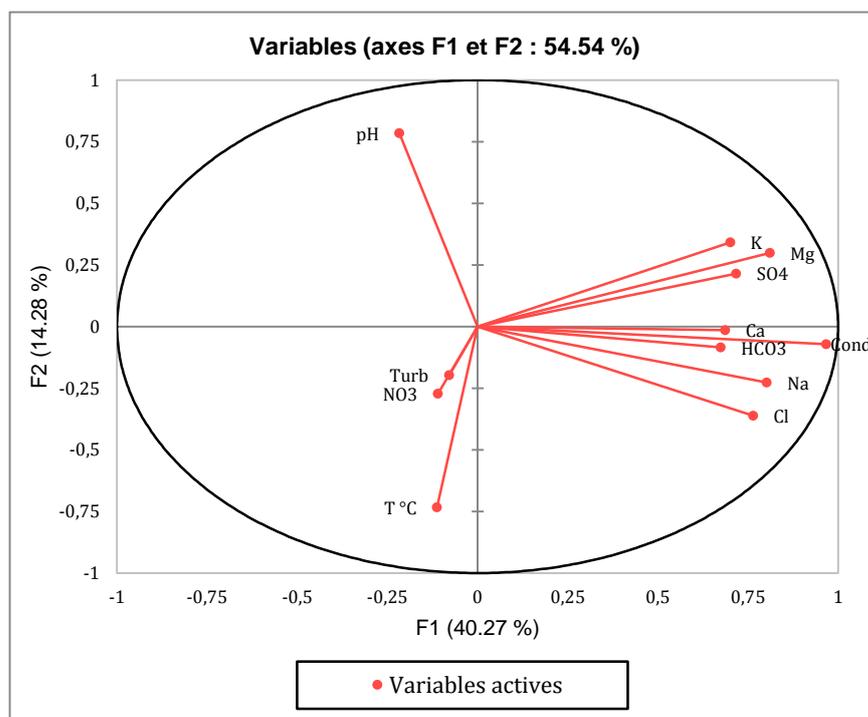
Groupe 1 : Caractérisé par une forte minéralisation des forages F32, F28, F29, F37, F41, F35, F26 et moyennement forte des forages F48, F49, F19, F39.

Groupe 2 : C'est les régions les plus polluées qui représentent des teneurs moyennement élevées de nitrates correspondant aux forages : F13, F73, F14, F13, F63, F60.

Groupe 3 : Ce sont les eaux les moins minéralisés par rapport aux autres groupes.

Tableau III.30: Corrélations entre les variables et les facteurs (2006)

	F1	F2	F3	F4	F5
T °C	-0.112	-0.733	0.455	-0.342	-0.019
pH	-0.217	0.785	-0.032	0.023	0.385
CE	0.967	-0.072	0.039	0.080	0.116
Turb	-0.079	-0.197	-0.252	-0.497	0.769
Ca	0.687	-0.014	0.507	-0.105	0.181
Mg	0.811	0.299	0.066	0.082	0.093
Na	0.802	-0.227	-0.370	0.088	0.053
K	0.701	0.342	0.012	-0.268	-0.213
HCO ₃	0.674	-0.085	-0.325	-0.035	-0.129
Cl	0.764	-0.361	-0.352	0.148	0.041
SO ₄	0.718	0.215	0.538	-0.040	0.046
NO ₃	-0.110	-0.272	0.218	0.797	0.375

**Figure III.14 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1 et F2) (2006)**

La projection des variables sur le plan factoriel (1x2) montre que 54.54% de la variance totale sont exprimés (figure III.14). L'axe de facteur 1 représente 40.27 % de la variance totale et il regroupe, Conductivité électrique, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ et Na⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, K⁺ dans le pôle positif (Tableau III.30, Figure III.14). Donc l'axe de facteur 1 on peut le considéré comme un axe caractérisant la minéralisation des eaux souterraines dans la zone d'étude. L'axe de facteur 2 représente 14.28% de la variance totale et il regroupe le pH dans le pôle

positif et la température dans le pôle négatif (Tableau III.30, Figure III.14). On remarque que T°C et PH sont bien corrélés entre eux.

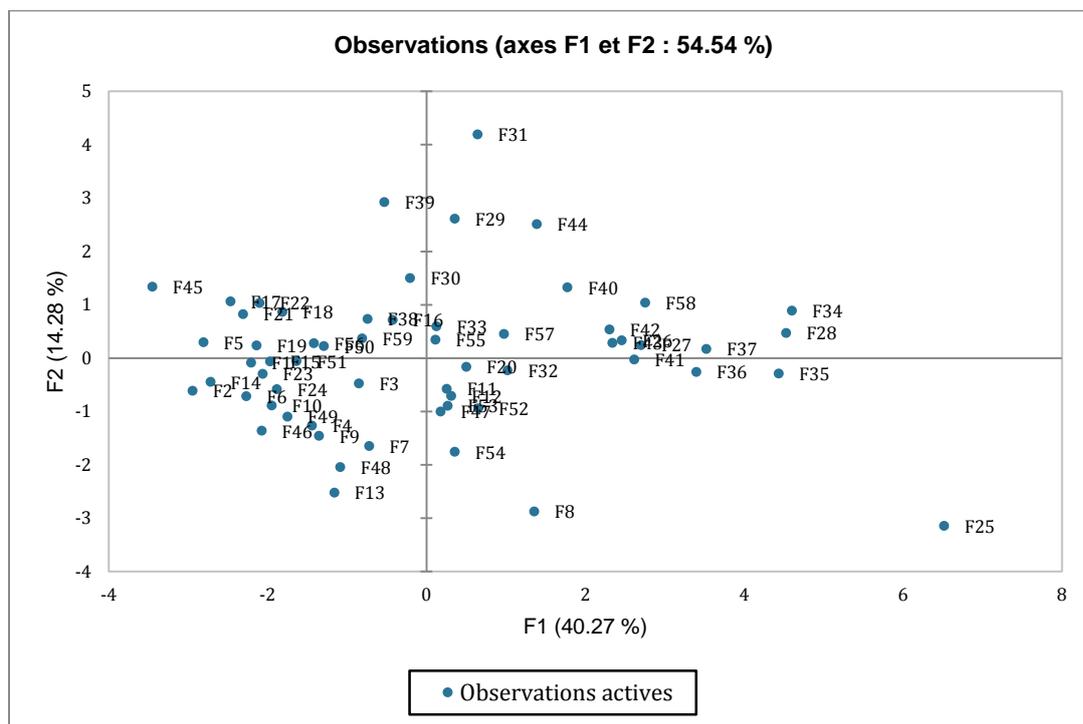


Figure III.16: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1 et F2) (2006)

L'analyse de la projection des individus dans le plan factoriel F1 et F2 montre qu'on peut subdiviser les points de mesures en trois groupes :

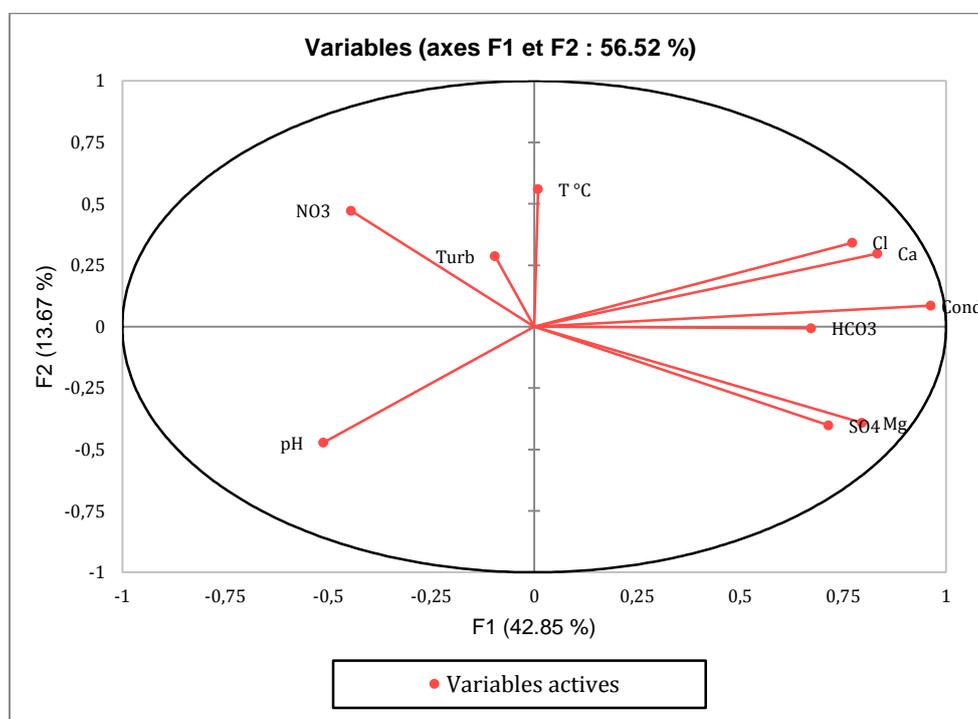
Groupe 1 : (F28.F35.F34.F36.F37.F27.F33.F40...) ce sont les points les plus minéralisés avec une conductivité électrique élevée liée aux teneurs en Cl⁻, SO₄²⁻ et Na⁺.Ca²⁺. Les eaux ayant de fortes conductivités électriques se placent sur la partie positive de l'axe 1.

Groupe 2 : Caractérisé par une moyenne minéralisation des forages (F39.F19.F3.F18.F31.....)

Groupe 3 : C'est les régions les plus provoquées par la pollution qui représentent des teneurs faible de nitrates correspondent aux forages : F3. F23. F24. F10. F14.F18.....

Tableau III.31: Corrélations entre les variables et les facteurs (2007)

	F1	F2	F3	F4	F5
T °C	0.009	0.560	-0.578	0.054	0.573
pH	-0.511	-0.472	0.135	-0.375	0.257
CE	0.963	0.085	0.110	-0.156	0.002
Turb	-0.095	0.287	0.588	0.699	0.164
Ca	0.834	0.297	0.213	-0.248	0.083
Mg	0.797	-0.391	0.040	0.105	0.223
HCO ₃	0.672	-0.006	-0.262	0.181	-0.114
Cl	0.773	0.341	0.075	-0.212	-0.319
SO ₄	0.715	-0.402	0.180	-0.014	0.430
NO ₃	-0.444	0.471	0.439	-0.450	0.206

**Figure III.17 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1 et F2) (2007)**

L'analyse des variables montre que (figure III.17) :

- Facteur 1 ou pole 1 : il est bien corrélé avec les variables : Conductivité, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻. Donc c'est le pole de minéralisation (figure III.17) avec 42.85% de l'inertie totale.

- Facteur 2 ou pole 2 : il représente 13.67% de l'inertie totale de nuage, il est moyennement corrélé avec la température

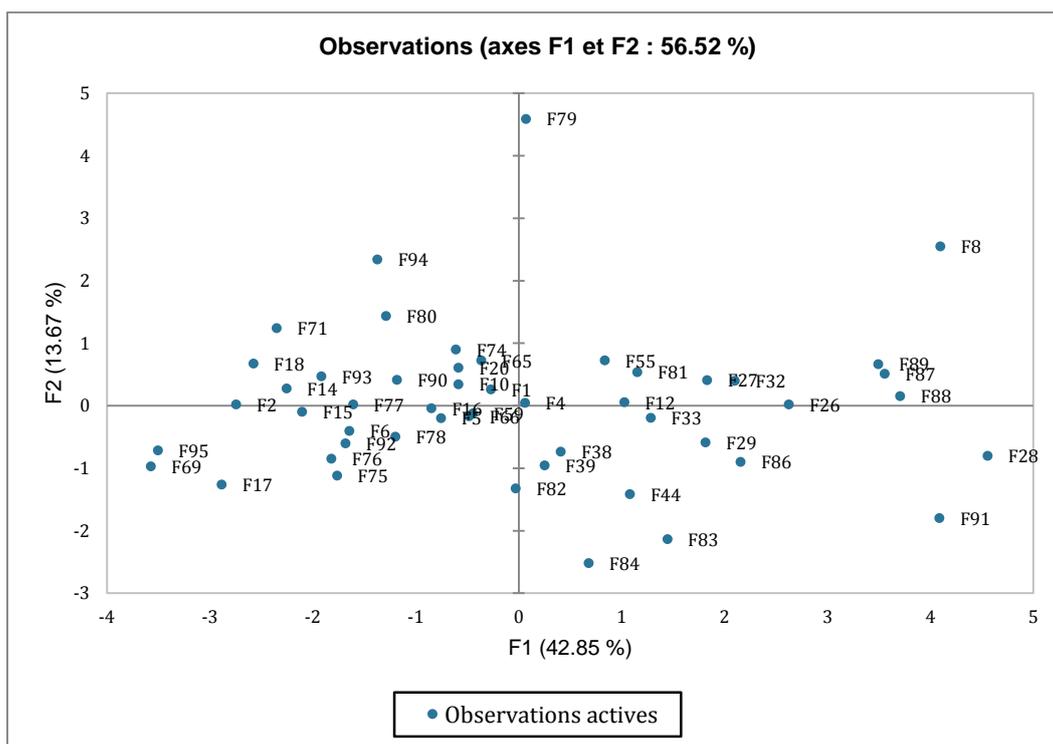


Figure III.18: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1 et F2) (2007)

L'analyse de la projection pour les stations des eaux de surface dans le plan factoriel F1-F2 (figure III.18) montre qu'on peut subdiviser les points de mesure en trois groupes

Groupe 1 : Caractérisé par une forte minéralisation des forages F12, F26, F27, F33, F81, F87, F88, F89 et moyennement forte des forages F10, F20, F65, F74.

Groupe 2 : C'est les régions les plus provoquées par la pollution qui représentent des teneurs faible de nitrates correspondent aux forages : F8. F18. F71. F80. F94.

Groupe 3 : Ce sont les eaux les moins minéralisés par rapport aux autres groupes.

Tableau III.32: Corrélations entre les variables et les facteurs (2008)

	F1	F2	F3	F4	F5
T °C	0.303	0.337	0.545	0.540	-0.284
pH	-0.544	0.569	-0.340	0.096	-0.003
CE	0.931	-0.109	-0.239	0.102	-0.014
Turb	0.111	0.203	0.606	-0.038	0.626
Ca	0.736	-0.089	-0.213	-0.174	0.409
Mg	0.705	0.438	-0.130	0.293	-0.101
HCO ₃	0.684	-0.169	0.453	-0.154	-0.129
Cl	0.685	-0.471	-0.189	0.138	-0.147
SO ₄	0.628	0.628	-0.290	-0.120	0.146
NO ₃	-0.262	-0.333	-0.205	0.743	0.401

L'analyse de la projection des individus dans le plan factoriel F1 et F2 montre qu'on peut subdiviser les points de mesures en trois groupes :

Groupe 1 : rassemble les points d'eau (F28, F26, F106, F41.F40.F34.F38.F39.F44) caractérisé par une forte minéralisation surtout en Ca, Mg, CE.

Groupe 2 : rassemble les points d'eau (F112, F2, F71, F114) sont des points d'eau qui se caractérisent par les plus fortes teneurs en pH.

Groupe3 : Ce sont les eaux les plus provoqué par la pollution para port aux autres groupes.

Tableau III.33: Corrélations entre les variables et les facteurs (2009)

	F1	F2	F3	F4	F5
T °C	0.422	0.482	-0.419	-0.310	0.254
pH	-0.368	0.662	-0.002	-0.366	-0.286
CE	0.931	0.141	0.110	0.031	0.158
Turb	0.029	0.579	0.096	0.775	-0.117
Ca	0.780	-0.028	0.474	-0.111	-0.140
Mg	0.783	0.057	0.007	-0.221	-0.332
HCO3	0.658	-0.468	-0.139	0.109	-0.182
Cl	0.660	0.128	0.125	0.035	0.587
SO4	0.829	0.146	-0.003	0.055	-0.270
NO3	-0.359	0.079	0.815	-0.176	0.085

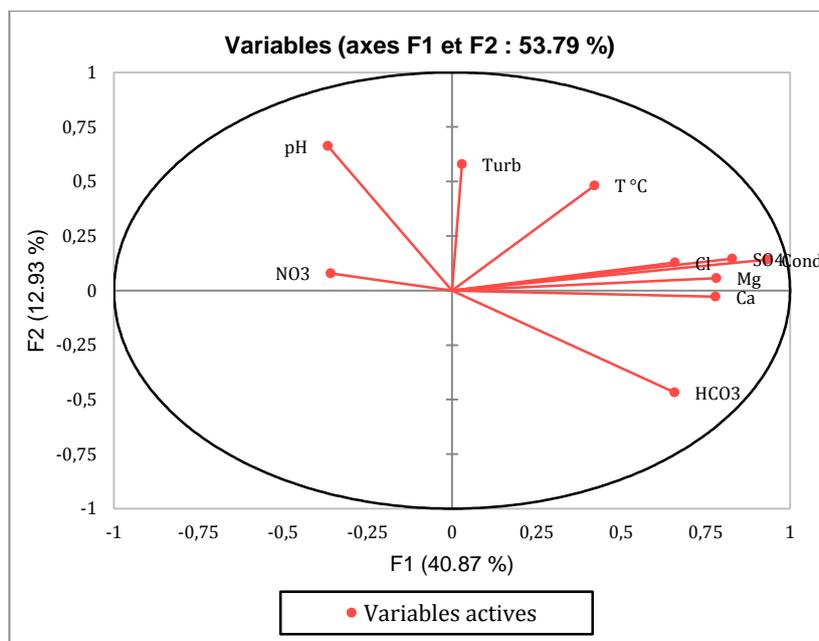


Figure III.21 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1 et F2) (2009)

- Le premier axe factoriel exprimé par 40.87% est corrélé positivement aux: Ca^{2+} , Mg^{2+} , CE, HCO_3^- , Cl, SO_4^{2-} . C'est le pôle des minéralisations.

- Le second axe factoriel F2 exprimé par 12.93% est corrélé positivement aux Turb, pH.

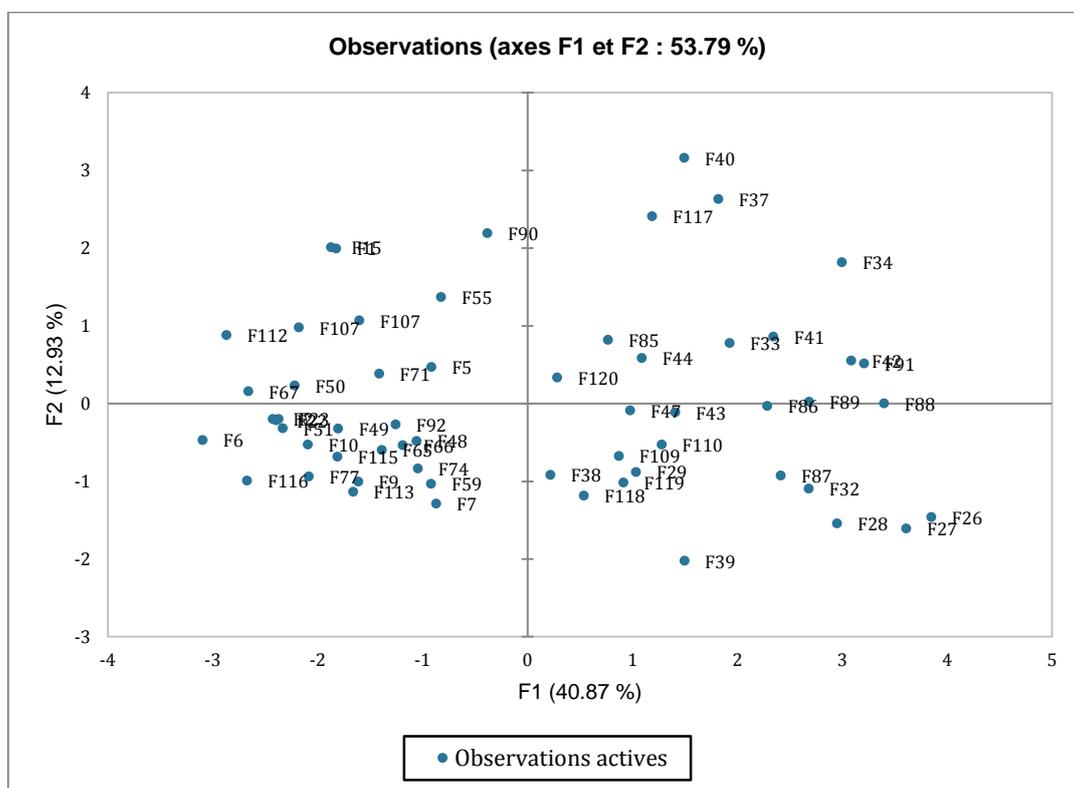


Figure III.22: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1 et F2) (2009)

L'analyse de la projection des individus dans le plan factoriel F1 et F2 montre qu'on peut subdiviser les points de mesures en trois groupes :

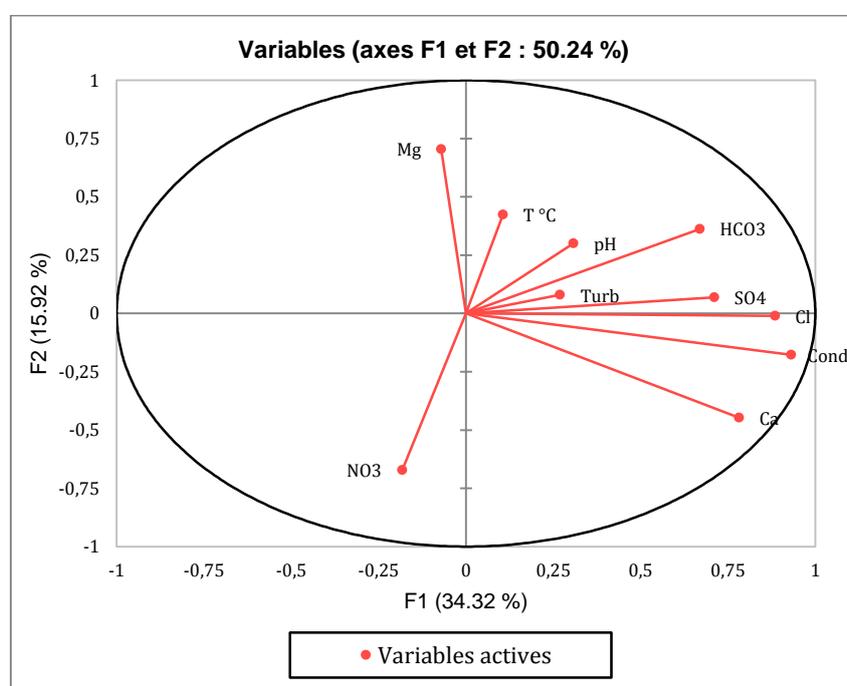
Groupe 1 : rassemble les points d'eau (F3, F67, F30, F33, F107, F112, F90) sont des points d'eau qui se caractérisent par les plus fortes teneurs en pH et faible teneurs en NO_3^- .

Groupe 2 : ce sont les points (F38, F118, F119, F29, F109, F110, F43, F47, F120, F44, F89, F83, F33, F41, F88) les plus minéralisés avec une conductivité électrique élevée liée aux teneurs en Ca, SO_4^{2-} , Mg. Les eaux ayant de fortes conductivités électriques se placent sur la partie positive de l'axe 1.

Groupe 3 : Ce sont les eaux les moins minéralisés par rapport aux autres groupes

Tableau III.34: Corrélations entre les variables et les facteurs (2011)

	F1	F2	F3	F4	F5
T °C	0.106	0.423	0.660	-0.442	0.266
pH	0.308	0.301	0.757	0.033	-0.294
CE	0.932	-0.177	-0.130	-0.189	0.067
Turb	0.269	0.080	0.154	0.568	0.734
Ca	0.782	-0.448	0.152	0.020	-0.082
Mg	-0.071	0.705	-0.460	-0.323	0.243
HCO3	0.669	0.363	-0.260	0.143	-0.254
Cl	0.885	-0.010	-0.067	0.191	0.056
SO4	0.711	0.070	-0.182	-0.463	0.079
NO3	-0.183	-0.671	0.066	-0.472	0.286

**Figure III.23 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1 et F2) (2011)**

L'analyse des variables montre que (figure III.23) :

- Facteur 1 ou pôle 1 : il est bien corrélé avec les variables : Conductivité, Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Donc c'est le pôle de minéralisation (figure 23 avec 34,32% de l'inertie totale).

- Facteur 2 ou pôle 2 : il représente 15,92% de l'inertie totale de nuage, il est bien corrélé avec Mg, NO_3^- – il est dominé par le magnésium.

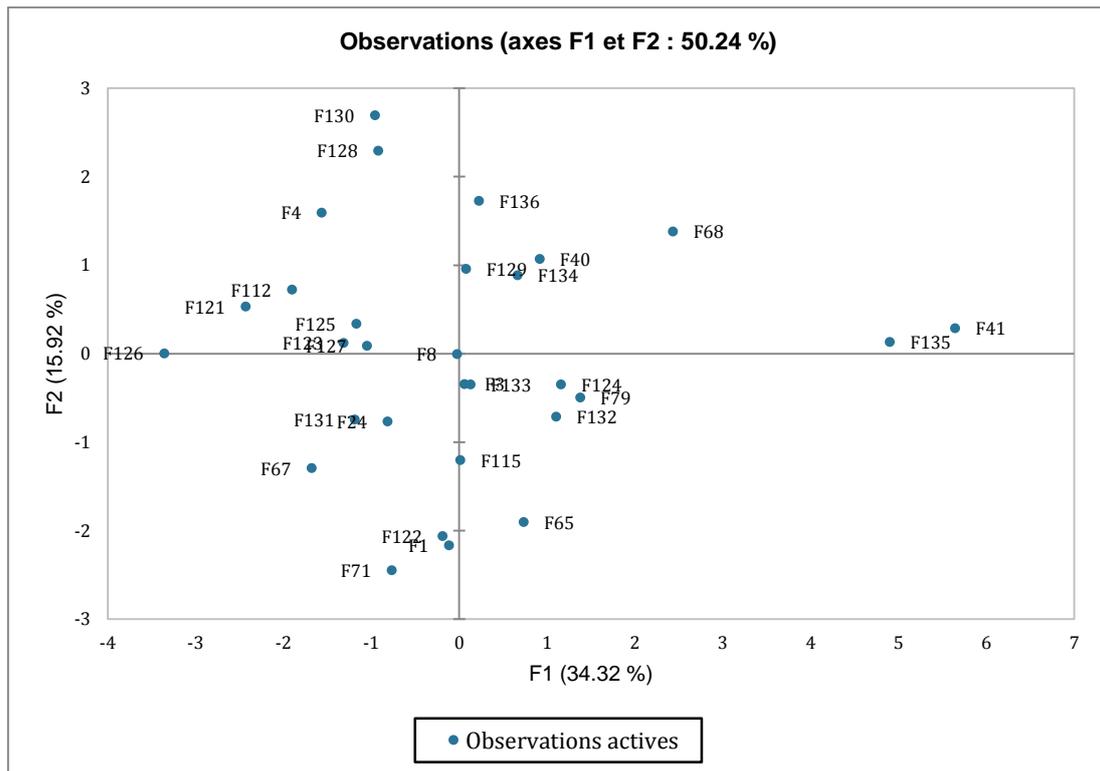


Figure III.24: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1 et F2) (2011)

L'analyse de la projection des individus dans le plan factoriel F1 et F2 montre qu'on peut subdiviser les points de mesures en trois groupes :

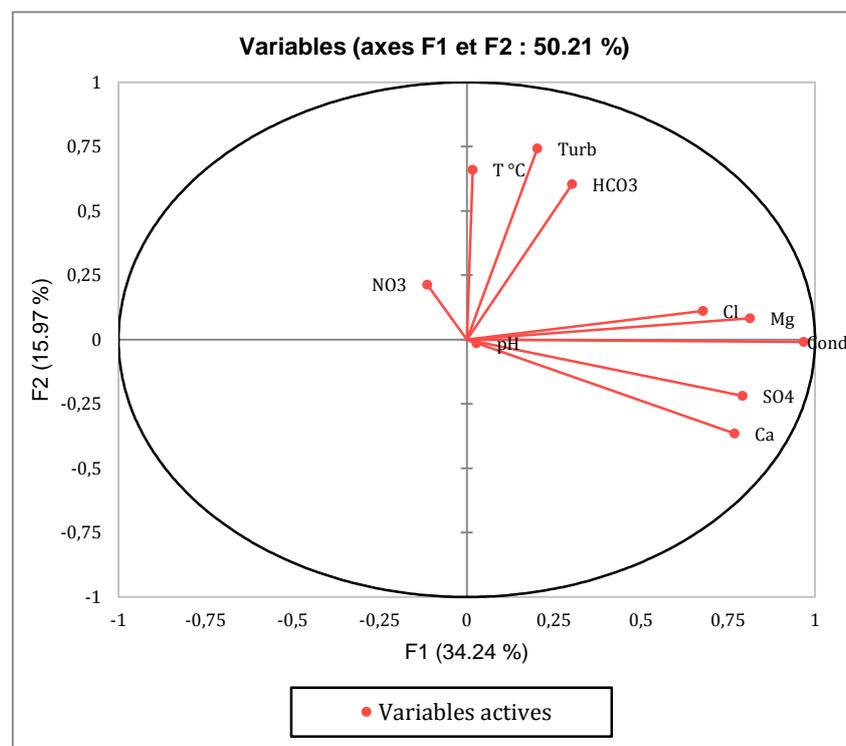
Groupe 1 : ce sont les points (F124, F129, F134, F136, F40, F79, F68) les plus minéralisés avec une conductivité électrique élevée liée aux teneurs en Cl⁻, SO₄²⁻ et Ca. Les eaux ayant de fortes conductivités électriques se placent sur la partie positive de l'axe 1.

Groupe 2 : C'est les régions les plus polluées qui représentent des teneurs élevées de nitrates correspondent aux forages : F71, F1, F67, F122, F131, F24 (figure III.24).

Groupe 3 : rassemble les points d'eau (F127, F125, F121, F112, F4, F128) sont des points d'eau qui se caractérisent par les plus fortes teneurs en Mg.

Tableau III.35: Corrélations entre les variables et les facteurs (2012)

	F1	F2	F3	F4	F5
T °C	0.017	0.659	0.418	-0.413	0.255
pH	0.028	-0.013	0.849	-0.182	0.118
Cond	0.968	-0.009	-0.033	-0.009	0.189
Turb	0.203	0.743	-0.198	-0.218	-0.406
Ca	0.769	-0.365	-0.263	-0.231	-0.044
Mg	0.813	0.083	0.015	0.113	-0.319
HCO ₃	0.303	0.604	-0.010	0.575	-0.042
Cl	0.678	0.111	-0.082	0.262	0.597
SO ₄	0.792	-0.218	0.272	-0.327	-0.223
NO ₃	-0.113	0.214	-0.656	-0.514	0.271

**Figure III.25 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1 et F2) (2012)**

- Le premier axe factoriel exprimé par 34.24% est corrélé positivement aux: Ca²⁺, Mg²⁺, CE, Cl, SO₄. C'est le pôle des minéralisations.

- Le deuxième axe factoriel représente 15.97% de l'inertie totale de nuage, il est bien corrélé avec la turbidité, la température, HCO₃⁻ et il est dominé par La turbidité.

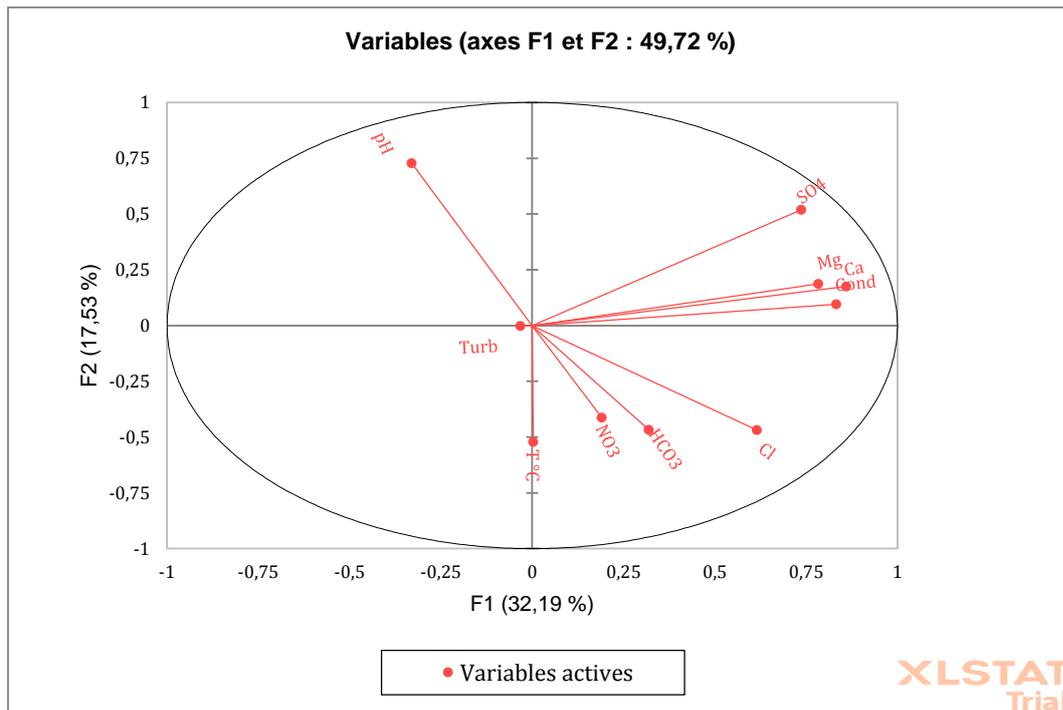


Figure III.27 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1et F2) (2013)

- Le premier axe factoriel exprimé par 32.19% est corrélé positivement aux: Ca²⁺, Mg²⁺, CE, Cl, SO₄. C'est le pôle des minéralisations.

- Le deuxième axe factoriel représente 17.53% de l'inertie totale de nuage, il est bien corrélé avec la température, PH, SO₄ -.

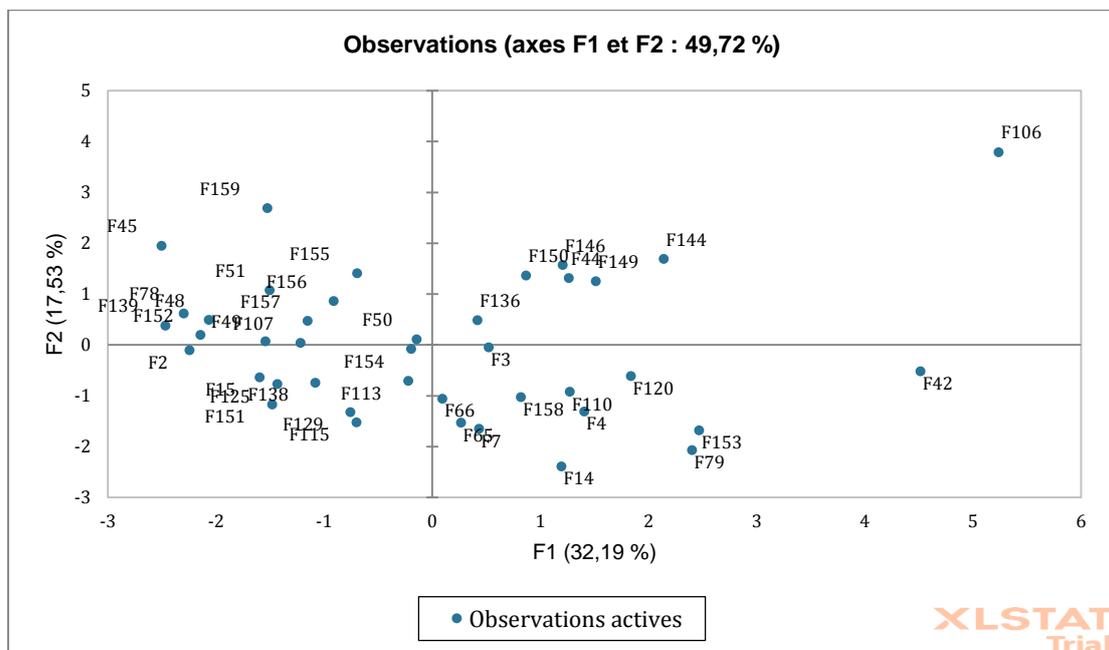


Figure III.28: représentation graphique de corrélation des individus dans le plan (F1et F2) (2013)

L'analyse de la projection des individus dans le plan factoriel F1 et F2 montre qu'on peut subdiviser les points de mesures en trois groupes :

Groupe 1 : ce sont les points (F136, F150, F144, F149, F136, F44, F106) les plus minéralisés avec une conductivité électrique élevée liée aux teneurs en Ca, Mg. Les eaux ayant de fortes conductivités électriques se placent sur la partie positive de l'axe 1.

Groupe 2 : il regroupe les individus (F14, F7, F79, F153, F120, F110, F66, F158, F3) les moins minéralisés, avec une conductivité électrique faible. Ils sont caractérisés par des teneurs faibles en, Hco₃ et Cl.

Groupe 3 : Ce sont les eaux les moins minéralisés par rapport aux autres groupes.

III.3.1.6 Conclusion :

Dans cette étude, nous avons obtenue des résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la wilaya de Bouira.

Ces résultats ont fait l'objet d'une analyse en composantes principales dont l'objectif ultime est de faire une interprétation des résultats obtenus, de ressortir la corrélation existante entre les différents paramètres et la répartition des paramètres de pollution en groupe selon les années.

Suite à cette étude, on a pu retenir que les eaux de la région de Bouira ont des caractéristiques physico-chimiques relativement variables, ils ont une conductivité électrique forte, qui implique une forte minéralité. La majorité de ces eaux sont utiles à l'alimentation en eaux potable (consommable) sauf quelques-uns à cause des teneurs qui dépassent les normes algérienne de potabilité.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale :

L'étude faite sur la région de Bouira, nous a permis d'approfondir la connaissance des différents paramètres hydro-chimiques concernant les eaux souterraines de la nappe et leur qualité.

L'analyse des données climatiques de la région étudiée, a mis en évidence un climat de type semi-aride où la température moyenne est d'environ 17,5°C, les précipitations varient avec un régime pluvial marqué par un pic en décembre. La lame précipitée moyenne annuelle estimée est égale à 443.75mm.

Le travail entrepris dans le cadre de ce projet est une contribution à l'analyse statistique des données relatives aux eaux souterraines de la wilaya de Bouira.

A la fin de cette étude ; on a abouti aux conclusions suivantes :

i)-l'analyse statistique descriptive de 09 ans a montré que les données de mesure relatives aux paramètres suivants (température, turbidité, conductivité électrique, $[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}]$, $[Cl^-]$, $[HCO_3^-]$, $[SO_4^{2-}]$, $[NO_3^-]$) sont hétérogènes , sauf celles relatives au pH qui sont homogènes.

ii)-l'analyse de corrélation à travers la détermination de la matrice de corrélation des différents paramètres montre que :

*Pour l'année (2003) :

- la conductivité électrique est bien corrélée avec les teneurs ioniques ; donc elle est bien corrélée avec la minéralisation des eaux.

-la teneur $[Ca^{2+}]$ est fortement corrélée avec les teneurs en : $[Mg^{2+}]$, $[Cl^-]$ et $[NO_3^-]$; ce qui implique que l'origine de ces éléments est la dissolution des roches évaporitiques.

-la teneur en $[Mg^{2+}]$ est bien corrélée avec la teneur en $[HCO_3^-]$; ce qui implique que l'origine de ces deux éléments est la dissolution des roches calcaires.

*Pour les années (2005 et 2007) :

-la conductivité électrique est fortement corrélée avec les teneurs des différents éléments ; donc elle est fortement corrélée avec la minéralisation des eaux.

*Pour l'année (2006) :

-cette année est caractérisée par la disponibilité des données relatives aux teneurs de (Na^+ , et K^+) contrairement aux autres années.

-la teneur en Na^+ est bien corrélée avec la teneur en Cl^- ; ce qui implique que l'origine de ces deux éléments est la dissolution de la halite.

*pour les années (2007, 2008, 2009, 2011, 2012, 2013) :

-l'ensemble des données relatives aux différents paramètres ; ne sont pas corrélées entre elles (les différents coefficients de corrélation sont < 0.85).

iii)-l'analyse en composante principale (ACP) montre que : les eaux souterraines de la région de Bouira ont des caractéristiques physico-chimiques relativement variables. Ces eaux ont une conductivité électrique forte, et des teneurs fortes en (Ca, Mg, SO₄, HCO₃ et Cl) ; ce qui implique une forte minéralité. La majorité de ces eaux sont utiles à l'alimentation en eau potable (consommables) sauf quelques unes marquées par des teneurs excessives qui dépassent les limites indiquées par les normes algériennes de potabilité.

CHAPITRE I
GÉNÉRALITÉS SUR LES
EAUX SOUTERRAINES

Références Bibliographiques :

A

A. Benrabia. Mémoire de master en hydraulique «Etude de la qualité des eaux souterraines de la région de Boussaâda Wilaya de M'Sila» université de M'sila (2012/2013).

ANIRF, 2013. Agence National d'Intermédiation et de régulation Foncière

ANDI, 2013. Agence Nationale De Développement De L'investissement.

ANRH, Agence Nationale Des Ressources Hydraulique.

ANRH, 1974. Etude hydrogéologique de la vallée de l'Oued Sahel-Soummam.

B

Bouziani.M.2000. l'eau de pénurie aux maladies. Édition Ibn khaldoun. Tiaret.

C

Castany. G (1979). Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod

L

Leghlam.S mémoire de master en hydraulique. Analyses statistiques multivariées de la qualité des eaux souterraines de la plaine de MITIDJA. 2020 /2021.

M

Myrand.D.2008. Le captage des eaux souterraines pour des résidences isolées. Québec

Mourey.V , Vernoux.J.2000. Les risques pesant sur les nappes d'eau souterraine d'Ile de France. Annales des mines.

O

ONM Bouira. Office National de la Météorologie.

R

Rodier.J.1984. l'analyse de l'eau –Eaux naturelles-Eaux résiduaires-Eau de mer. Dunod.

Rodier.J.1996. l'analyse de l'eau –Eaux naturelles-Eaux résiduaires-Eau de mer. Dunod. 8ème Edition.

S

S.Amour. Contribution de l'analyse multivariée a l'étude de la régression et la classification supervisée des données environnementales.2011/2012.

T

Taleb.M et Boudaoui.S. Etude qualitative des eaux souterraines de la région de Bouira. 2018/2019.

Z

Z.Douniazad. Etude hydrologique et hydrogéologique de la région de Bouira. 2012/2013.