

N° d'ordre

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université d'Oran2  
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers  
Département de Géologie

## Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade  
de Master en Hydrogéologie

Option : **Eau Souterraine & Environnement**

## Thème :

***Caractérisation hydrochimique par traitement statistique des eaux  
souterraines de la zone de Hassi Ameer (Région d'Oran)***

présenté et soutenu publiquement par :

Melle MECIEB SOUMIA

Devant le jury composé de :

HASSANI M. Idriss	Professeur	Univ. Oran 2	Président
MEBROUK-ZAIDI Naima	Professeur	Univ. Oran 2	Rapporteur
ABLAOUI Halima	Maître-Assistante A	Univ. Oran 2	Examinatrice

Année : 2016-2017

# REMERCIEMENTS

Avant tout propos, nous remercions Dieu ALLAH le tout puissant qui m'a donné la sagesse et la santé afin de réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude à mon encadreur Mme **MEBROUK-ZAIDI-N**, d'avoir accepté de diriger ce travail en consacrant de son temps précieux pour donner des conseils très utiles.

Mes pensées vont aussi aux membres du jury. Je suis très honorée que :  
Monsieur **HASSANI M. I.** Professeur à l'université d'Oran 2, ait accepté de présider ce jury.  
Mme **ABLAOUI HALIMA.** Maitre-Assistante à l'université d'Oran 2 ait accepté d'examiner mon manuscrit.

A tous mes enseignants et toutes mes enseignantes, à qui revient le mérite de m'avoir prodigué un enseignement profitable et une formation complète : Veuillez accepter mes remerciements les plus sincères.

A vous tous, mes amis (es) de promotion (master 2 ESE), je vous remercie pour les moments inoubliables que nous avons partagés ensemble. Succès et joie sont mes sincères vœux pour tous.

Enfin, je n'oublierai jamais l'aide, les conseils et surtout les encouragements et le soutien moral de ma famille et de mes précieuses amies.

# Dédicace

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance. Aussi, c'est tout simplement que je dédie ce projet de fin d'étude.*

*A mes chers parents*

*Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soient-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Vous avez su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Votre compréhension et votre encouragement sont pour moi le soutien indispensable que vous avez toujours su m'apporter. Que Dieu, le tout puissant, vous préserve, vous accorde santé, bonheur et vous protège de tout mal.*

*A mes adorables sœurs :*

*Zohra, Dounia, Salima, Sakina et Fatiha.*

*Merci d'être toujours à mes côtés, par votre présence, par votre amour dévoué et votre tendresse.*

*A mon frère : Amine et les enfants : Rahil, Sirine, Mehdi et Meriem.*

*A toute ma grande famille : Mecieb et Benani.*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail:*

*A mes meilleures amies : Chérif Asmae, Salima, Karima, Sarah, Mecheri Ismahane, Yelles Asmae, Asmae, Malika, Kheira, Nana et à tous mes amis de l'université Oran 2 surtout : Abbes Marzouk, Amine et Amar Mouzti.*

*A mon cher ami : Ahmed Saim pour son soutien et son encouragement.*

*A la promotion 2<sup>ème</sup> Année Master ESE 2016/2017.*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*A la fin je dédie très chaleureusement à tous les enseignants de l'Université Mohamed Ben Ahmed Oran 2, département de science de la terre et l'univers qui ont su m'orienter et me disperser leur savoir avec la pédagogie.*

**SOUMIA**

## **Résumé**

La zone de Hassi Ameer fait partie de la plaine de Sidi Ali qui s'étend dans la partie du "plateau des Hassis", à l'Est de la ville d'Oran. Elle se caractérise par un climat semi-aride.

Un ensemble "Astien-Calabrien" constitue le principal réservoir aquifère contenant une nappe libre à écoulement de direction Nord-Ouest / Sud-Est, légèrement convergente vers le secteur de l'agglomération de Hassi Ameer.

La caractérisation hydrochimique des différents échantillons d'eau de la nappe a montré que les eaux du secteur d'étude ont une minéralisation relativement élevée. Cette dernière est fortement contrôlée par le sodium, le magnésium, les sulfates et les chlorures.

L'étude statistique des différents paramètres analysés, de leur répartition spatiale et des principaux faciès et sous-faciès chimiques déterminés a renseigné sur l'origine et l'évolution des minéralisations.

**Mots clés :** aquifère, Hassi Ameer, minéralisation, statistique.

## **Abstract**

The area of Hassi Ameer is part of the plain of Sidi Ali which extends in the part of the "plateau of the Hassis", to the east of the city of Oran. It is characterized by a semi-arid climate.

A "Astien-Calabrien" set constitutes the main aquifer reservoir containing a free flowing water table running north-west / south-east, slightly converging towards the area of the agglomeration of Hassi Ameer.

The hydrochemical characterization of the various ground water samples showed that the waters of the study area have a relatively high mineralization. The latter is strongly controlled by sodium, magnesium, sulphates and chlorides.

The statistical study of the different parameters analyzed, their spatial distribution and the main chemical facies and sub-facies determined the origin and evolution of the mineralization.

**Kay words:** aquifer, Hassi Ameer, mineralization, statistical.



## TABLE DES MATIERES

<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Résumé</b>	
<b>Table des matières</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Liste des abréviations</b>	
<b>Introduction générale</b>	<b>01</b>
 <b>Chapitre 01 : Cadre physique</b> 	
1.1. Cadre géographique.....	<b>02</b>
1.2. Cadre géomorphologique .....	<b>03</b>
1.3. Réseau hydrographique.....	<b>04</b>
1.4. Climatologie.....	<b>04</b>
1.4.1. Régime des précipitations.....	<b>05</b>
a. Précipitations moyennes mensuelles.....	<b>05</b>
b. Précipitations saisonnières.....	<b>05</b>
c. Précipitations annuelles.....	<b>06</b>
1.4.2. Régime des températures.....	<b>07</b>
1.4.2.1. Températures moyennes mensuelles.....	<b>07</b>
a) Température maximale.....	<b>07</b>
b) Température minimale.....	<b>07</b>
c) Température moyenne.....	<b>07</b>
1.4.3. Evaporation.....	<b>08</b>
1.4.4. Vent.....	<b>09</b>
1.4.5. Climat de la région.....	<b>09</b>
Conclusion.....	<b>10</b>
 <b>Chapitre 02 : Cadre géologique et hydrogéologique</b> 	
2.1. Cadre géologique.....	<b>11</b>
2.1.1. Aperçu géologique général.....	<b>11</b>
a- Le substratum anté à synchro nappe.....	<b>12</b>
b- Le remplissage (couverture) post-nappe.....	<b>12</b>

2.1.2. Description lithostratigraphique.....	13
2.1.2.1. Formations anté-nappes.....	15
a) Permo –Trias.....	15
b) Jurassique.....	15
c) Crétacé.....	15
2.1.2.2. Formations post–nappes.....	15
a. Miocène.....	15
b. Pliocène.....	16
c. Plio-Pléistocène "Calabrien" .....	17
d. Quaternaire récent (Pleisto-Holocène).....	18
2.2. Aperçu structural.....	18
2.3. Hydrogéologie.....	20
2.3.1. Description des principaux aquifères de la région.....	20
• Aquifère de l’Astien.....	21
• Aquifère de grès lumachelliques du Calabrien.....	22
2.3.2. Piézométrie du secteur d’étude.....	22
2.3.2.3. Paramètres hydrodynamiques.....	23
2.4. Contexte urbain de la zone d’étude.....	24
2.4.1. Présentation de la zone industrielle de Hassi Aneur.....	24
2.4.2. Evolution des activités au niveau de la zone industrielle de Hassi Aneur.....	25
Conclusion.....	26

### **Chapitre 03 : Hydrochimie**

Introduction.....	27
3.1. Classification hydrochimique.....	30
3.1.1. Faciès chimiques.....	30
3.1.2. Etude des rapports caractéristiques.....	31
3.1.2.1. Rapport SO <sub>4</sub> /Cl.....	32
3.1.2.2. Rapport Mg/Ca.....	32
3.1.2.3. Rapport Na/Cl.....	32
3.2. Représentation graphique des résultats.....	33

3.2.1. Diagramme de Piper.....	33
3.2.2. Diagramme de Scholler Berkloff.....	34
3.2.3. Diagramme de Stiff.....	35
3.3. Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C).....	36
3.4. Calcul des indices de saturation.....	37
3.5. Potabilité chimique des eaux.....	39
3.5.1. Les normes de potabilité.....	39
3.5.2. Qualité des eaux d'irrigation.....	39
Conclusion.....	41

## **Chapitre 04 : Analyses statistique des données**

4.1. Traitement statistique des données hydro-chimiques.....	42
4.1.1. Analyse en Composantes Principales.....	42
4.1.1.1. Présentation générale de la méthode.....	42
4.1.1.2. Application de la méthode aux eaux de la zone d'étude.....	42
4.1.1.3. Paramètres statistiques élémentaires.....	42
4.1.1.4. Matrice de corrélation.....	43
4.1.1.5. Diagonalisation.....	44
a. Etude des valeurs propres.....	44
b. Etude des variables.....	44
c. Etude des individus.....	45
4.2. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).....	46
4.2.1. Principe de la méthode.....	46
4.2.2. Résultats pour la Classification Ascendante Hiérarchique dans le secteur d'étude.....	46
4.2.3. Comparaison des résultats.....	48
Conclusion.....	48
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>49</b>
<b>Références Bibliographiques.....</b>	
<b>Annexes.....</b>	



# LISTE DES FIGURES

Titre	Page
Figure n° 01 : Localisation géographique du Plateau des Hassis ( <i>In Boubkeri, 2013</i> ).....	02
Figure n° 02 : Situation géographique de la zone d'étude.....	03
Figure n° 03 : Localisation de la zone d'étude ( <i>Google Earth, mars 2017</i> ).....	04
Figure n° 04 : Précipitations moyennes mensuelles ( <i>période 1997-2010</i> ).....	05
Figure n° 05 : Précipitations saisonnières ( <i>période 1997-2010</i> ).....	06
Figure n°06 : Précipitations annuelles ( <i>période 1997-2010</i> ).....	07
Figure n°07 : Températures moyennes mensuelles de la station Es-Sénia ( <i>période 1997-2010</i> ).....	08
Figure n° 08 : Histogramme des évaporations moyennes annuelles.....	08
Figure n°09 : Indice d'aridité de De Martonne (station d'Es-Sénia).....	10
Figure n° 10 : Log géologique synthétique de la région d'Oran ( <i>In Hassani M.I., 1987</i> ).....	11
Figure n° 11 : Carte géologique de l'Oranie Nord-Occidentale ( <i>G.Thomas, 1985</i> ).....	14
Figure n° 12 : Coupe géologique illustrant les formations anté et post-nappes autour du Djebel Khar ( <i>B. Fenet, 1975</i> ).....	15
Figure n°13 : Log géologique du forage de l'ex. Oravio (couvoir) Coordonnées Lambert ( <i>X : 212.100, Y : 273.225</i> ).....	16
Figure n° 14 : Coupe géologique des falaises d'Oran ( <i>G. Thomas, 1985</i> ).....	18
Figure n° 15 : Esquisse structurale de l'Oranie centrale selon <i>B. Fenet, 1975</i> .....	19
Figure n° 16 : Schéma illustrant la structure de la région d'étude ( <i>In HaddarL, 1986</i> ).....	19
Figure n° 17 : Ecorché géologique de la région de Gdyel ( <i>Y.Gourinard, 1957</i> ).....	20
Figure n° 18 : Log hydrogéologique général de la région ( <i>Haddar, 1986, modifié</i> ).....	21
Figure n°19: Carte piézométrique du secteur d'étude ( <i>In Boubkeri, février 2012</i> ).....	23
Figure n°20 : Vue aérienne de la zone industrielle de Hassi Aneur.....	24
Figure n° 21 : Plan parcellaire actuel de la zone industrielle de Hassi Aneur ( <i>SGIOran, 2009</i> ).....	25

Figure n°22 : Carte d'isovaleurs de minéralisation (mg/l) des eaux du secteur d'étude (In Boubkeri, 2013).....	<b>29</b>
Figure n°23 : Représentation graphique d'après le diagramme de Piper des eaux échantillonnées (P1 à P15).....	<b>33</b>
Figure n°24 : Représentation graphique d'après le diagramme de Piper des eaux échantillonnées (P1 à P8).....	<b>34</b>
Figure n°25 : Représentation graphique d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux échantillonnées (P9 à P15).....	<b>35</b>
Figure n°26 : Détermination du faciès chimique des eaux.....	<b>36</b>
Figure n°27 : Variations d'Is de saturation.....	<b>39</b>
Figure n°28 : Cercle des corrélations : axes 1 et 2, étude des variables.....	<b>45</b>
Figure n°29: Étude des variables et des individus de la zone Étudiée selon le plan F1-F2.....	<b>46</b>
Figure n°30 : Dendrogramme complet visualisant le regroupement Progressif des objets.....	<b>47</b>
Figure n°31 : Le dendrogramme tronqué.....	<b>47</b>

# LISTE DES TABLEAUX

<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau n°01 : Coordonnés de la station climatologique d'Es-Sénia .....	<b>05</b>
Tableau n° 02 : Représentation des précipitations moyennes mensuelles période 1997-2010 à la station d'Es-Sénia (données O. N.M).....	<b>05</b>
Tableau n° 03 : Précipitations saisonnières (période 1997-2010), (O.N.M).....	<b>06</b>
Tableau n° 04 : Précipitations annuelles (période 1997-2010). (O. N. M).....	<b>06</b>
Tableau n° 05 : Températures mensuelle (période 1997-2010), (O.N.M).....	<b>07</b>
Tableau n° 06 : Evaporation moyenne mensuelle (période 1990-2001), (O. N. M).....	<b>08</b>
Tableau n° 07 : Les vitesses moyennes mensuelles du vent (période 1990-2002), (O.N.M).....	<b>09</b>
Tableau n° 08 : Classification des climats proposée par De Martonne.....	<b>10</b>
Tableau n° 09 : Les données piézométriques des points d'eau.....	<b>22</b>
Tableau n° 10 : Résultats de mesures de perméabilité des niveaux aquifères du plateau Oran-Bir El Djir (AGEP/Sogreah, 1984).....	<b>24</b>
Tableau n° 11 : Présentation des résultats de l'analyse physico-chimique des eaux.....	<b>28</b>
Tableau n° 12 : Résultats des analyses chimiques en quantité en réaction (meq/l).....	<b>30</b>
Tableau n°13 : Faciès caractéristiques des échantillons prélevés.....	<b>31</b>
Tableau n°14 : Calcul des rapports caractéristiques.....	<b>32</b>
Tableau n° 15 : Les valeurs des indices d'échange de base des différents points d'eau.....	<b>37</b>
Tableau n°16 : Indices de saturation des eaux de la zone d'étude.....	<b>38</b>
Tableau n°17 : Résultats des valeurs de SAR.....	<b>40</b>
Tableau n°18 : Classes d'alcalinité selon l'U.S.S.L (1954).....	<b>41</b>
Tableau n°19 : Statistiques descriptives des variables en (mg/l).....	<b>43</b>
Tableau n°20 : Matrice de corrélation (Pearson (n)).....	<b>43</b>
Tableau n°21 : Valeurs propres et pourcentage de la variance Expliquée par les axes principaux.....	<b>44</b>
Tableau n°22 : Classes des objets (individus).....	<b>48</b>
Tableau n° 23 : Comparaison des résultats .....	<b>48</b>

## *Liste des abréviations*

- ✓ ACP : Analyse en Composantes Principales.
- ✓ ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- ✓ CAH : Classification Ascendante Hiérarchique.
- ✓ OMS : Organisation Mondiale de la Santé.
- ✓ ONM : Office National de la Météorologie.
- ✓ SERSID : Société d'Engineering et de Réalisations Sidérurgiques.
- ✓ SGI : Société de gestion de la zone industrielle de Hassi Ameer.

***INTRODUCTION  
GÉNÉRALE***

L'eau est une ressource précieuse et convoitée, elle est indispensable à l'existence, au développement et la vie de l'homme. De sa conception à la réalisation de ses activités comme l'industrie ou l'agriculture, l'homme a besoin de l'eau.

Les eaux souterraines sont soumises, de plus en plus intensivement, aux rejets volontaires d'effluents polluants, eaux usées ou eau de ruissellement pluvial. Les sources de contamination des eaux souterraines sont multiples et sont liées à de nombreuses activités urbaines ou industrielles.

La zone industrielle de Hassi Aneur occupe la majeure partie de la plaine de Sidi Ali qui s'étend dans la partie occidentale du "plateau des Hassis", à l'Est de la ville d'Oran. Un ensemble "Astien-Calabrien", formé de grès astiens surmontés de grès lumachelliques et grès jaunes du "Calabrien", constitue le principal aquifère de la région.

L'objectif du présent travail est la caractérisation hydrochimique de l'aquifère de la région de Hassi Aneur par les différentes méthodes statistiques.

Afin d'atteindre cet objectif, cette étude est répartie comme suit :

- ✓ Une introduction générale présentant la problématique et les objectifs du travail ;
- ✓ Chapitre 01: consacrée aux généralités : la situation géographique et les caractéristiques physiques de la région d'étude, l'étude des différents paramètres climatiques.
- ✓ Chapitre 02 : présente l'étude géologique et hydrogéologique de cette zone ainsi que la présentation de la zone industrielle de Hassi Aneur.
- ✓ Chapitre 03 : présente l'hydrochimie de la nappe étudiée. Il est basé sur l'étude de certaines caractéristiques hydrochimiques, l'utilisation de différentes méthodes de représentations et d'interprétation et dont l'objectif est la détermination des faciès chimiques des eaux, préciser l'origine de leur minéralisation et l'appréciation de leur qualité (potabilité et aptitude à l'irrigation).
- ✓ Chapitre 04: présente une simple analyse statistique des données hydrochimiques de la zone d'étude en utilisant l'analyse en composantes principale (ACP) et la classification ascendante hiérarchique (CAH).
- ✓ Et pour clôturer une conclusion générale.

***CHAPITRE 01 :***  
***CADRE PHYSIQUE***



### 1.1. Cadre géographique:

Le secteur fait partie de la plaine de Sidi Ali qui occupe la partie occidentale du Plateau des Hassis. Ce dernier couvre une superficie de 400 km<sup>2</sup>. Il est orienté WSW-ENE, selon la direction tellienne (figure n° 01). Il est limité :

- au Nord, par le Djebel Khar et les Monts d'Arzew,
- à l'Est, par la dépression de Telamine,
- au Sud, par les vallonnements du Djebel Debbi (reliefs s'étendant d'El Kerma à Boufatis),
- à l'Ouest, par les bordures du plateau, traduisant une certaine continuité de fait avec le plateau d'Oran-Bir El Djir.

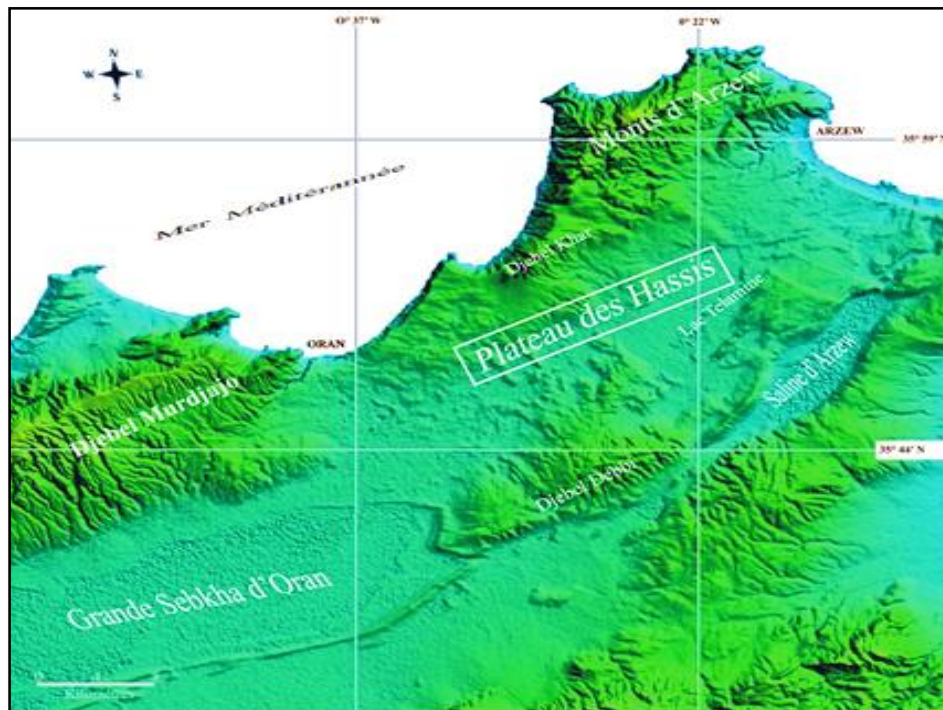


Figure n° 01 : Localisation géographique du Plateau des Hassis (In Boubkeri, 2013)

Plus précisément, le secteur d'étude concerne la zone industrielle de Hassi Ameur. Il est situé à environ 11 km à l'Est de la wilaya d'Oran. Il s'allonge sur la route nationale RN 11 Oran/Arzew (figure n° 02).

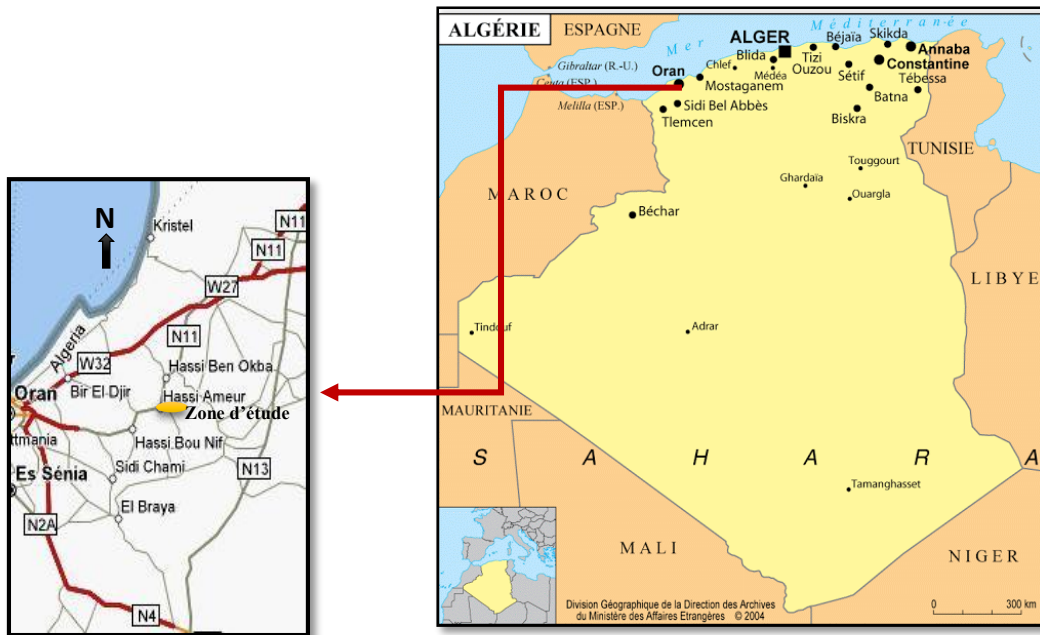


Figure n° 02 : Situation géographique de la zone d'étude

Cette zone est limitée (figure n° 03) :

- au Nord-Est, par l'agglomération de Hassi Ben Okba,
- au Nord et au Nord-Ouest, par les collines de Hassi Ben Okba,
- au Sud-Est, par l'agglomération de Hassi Ameur,
- à l'Ouest et au Sud-Ouest, par les agglomérations de Douar Kharrouba et de Hassi Bounif.

### 1.2. Cadre géomorphologique :

La morphologie de la région d'Oran détermine, du Nord vers le Sud, trois sillons différents :

- un sillon septentrional représenté par la plaine des Andalouses,
- un sillon médian (Plateau d'Oran–Grande Sebka) prolongeant vers l'Ouest le sillon du bassin du Cheliff,
- un sillon méridional situé au sud des Monts de Tessala (plaine de Sidi Bel Abbés).

Notre secteur d'étude se situe en bord septentrional du sillon médian, soit en bordure méridionale du Djebel Murdjadjo (voir figure n°01).



Figure n° 03 : Localisation de la zone d'étude (Google Earth, mars2017)

### 1.3. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique du secteur de la plaine de Sidi Ali est restreint. Les reliefs de la partie Nord/Nord-Ouest de la plaine ont permis le développement d'un chevelu hydrographique très réduit et moins organisé.

### 1.4. Climatologie :

L'étude climatologique est basée sur les données de la station d'Es-Sénia (tableau n° 01), pour la période 1997-2010. Cette station est choisie par rapport à sa proximité du secteur d'étude.

Tableau n° 01 : Coordonnées de la station climatologique d’Es-sénia.

Station d’Es-Sénia	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Indicatif ONM
Coordonnées	35°38 N	00°36W	90	490

**1.4.1. Régime des précipitations :**

**a. Précipitations moyennes mensuelles :**

Les précipitations moyennes mensuelles maximales et minimales de la station climatologique d’Es-Sénia sont présentées au tableau n°02 et figure n°04.

Tableau n°02 : Représentation des précipitations moyennes mensuelles période 1997-2010 à la station d’Es-Sénia (*données O. N. M.*)

Es-sénia	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Max (mm)	155,19	100,32	62,49	76,47	70	32	24	17	66	134,62	185,9	128,25
Min (mm)	1,27	0	1,02	0	0	0	0	0	1,27	6,9	3,4	3,05
Moy (mm)	42	38	25	29	22	4,9	2	1,5	15	35	68	44



Figure n° 04 : Précipitations moyennes mensuelles (période 1997-2010)

La distribution des précipitations moyennes mensuelles de la figure n° 04 permet de mettre en évidence une période pluvieuse allant du mois d’octobre au mois d’avril et une période sèche du mois de mai au mois de septembre. La précipitation maximale est de 68 mm en novembre et le minimum est de 2 mm en juillet.

**b. Précipitations saisonnières :**

Le graphe des précipitations saisonnières (figure n°05) montre que les précipitations les plus importantes sont en Hiver, avec un maximum de 124 mm Le régime climatique de la région est de type HAPE.

Tableau n°03 : Précipitations saisonnières (période 1997-2010), (O.N.M).

	Hiver (H)	Printemps (P)	Eté (E)	Automne (A)	Régime climatique
Précipitations saisonnières (mm)	124	76	07	109	H.A.P.E

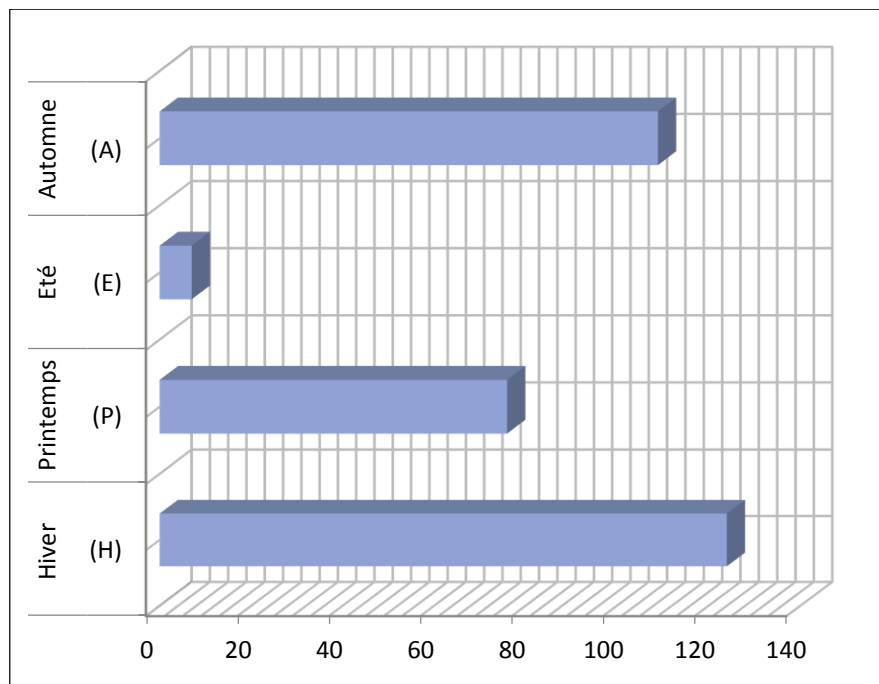


Figure n° 05 : Précipitations saisonnières (période 1997-2010)

**c. Précipitations annuelles :**

Le module pluviométrique moyen annuel est égal à 326 mm avec un maximum enregistré en 2007 de 478 mm et un minimum de 174mm en 1997. Les précipitations sont caractérisées par leur irrégularité et par leur forte intensité.

Tableau n° 04 : Précipitations annuelles (période 1997-2010). (O. N. M).

Années	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	moy
P (mm)	174	233	279	254	472	286	383	356	236	311	478	410	247	422	326



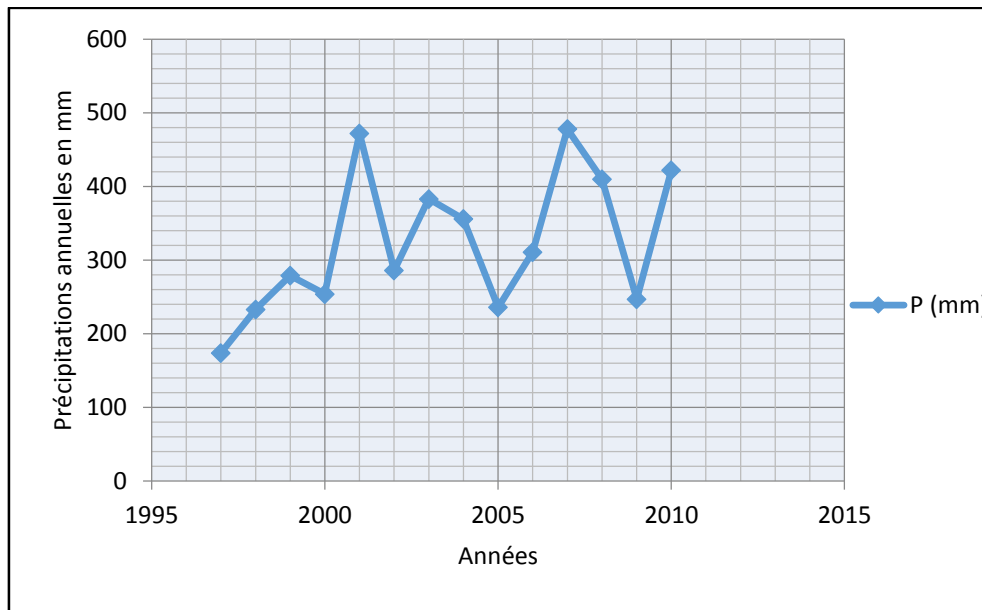


Figure n°06 : Précipitations annuelles (période 1997-2010)

**1.4.2. Régime des températures :**

La température est le paramètre climatique qui influe directement sur l'évaporation, la pression, le vent et l'humidité.

**1.4.2.1. Températures moyennes mensuelles :**

Les températures moyennes mensuelles, maximales et minimales sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°05 : Températures mensuelle (période 1997-2010), (O.N.M).

Es-sénia	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Max (°C)	12,5	13,5	16,3	17,5	20,5	24,8	27,1	27,7	24,6	21,5	17	13,6
Min (°C)	8,2	8,9	13	15,2	17,3	21,5	23,9	25,1	22,6	18	12,9	9,5
Moy (°C)	10,85	11,75	14,17	16,27	19,23	23,1	25,77	26,25	23	20	14,91	11,83

**a) Température maximale :**

Le minimum est enregistré au mois de janvier (12.5 °C) et le maximum au mois d'août (27.7 °C).

**b) Température minimale :**

La température minimale varie de 8.2°C au mois de janvier à 25.1°C au mois d'août.

**c) Température moyenne :**

Le mois de janvier reste le plus froid (10.85 °C en moyenne annuelle), le mois d'août le plus chaud (26.25 °C).

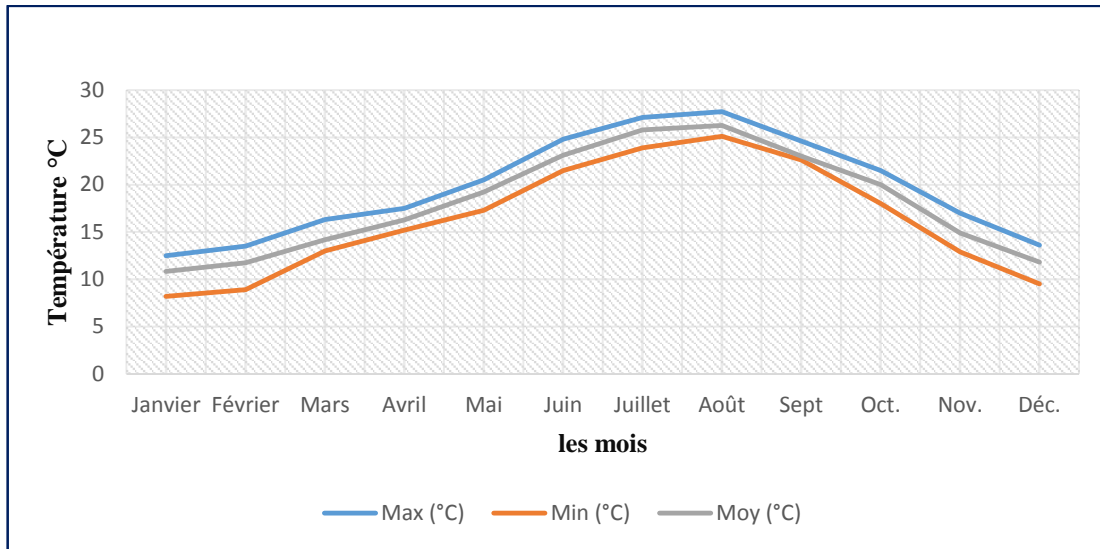


Figure n°07 : Températures moyennes mensuelles de la station Es-Sénia (période 1997-2010)

Le graphe de la figure n°07 indique que la saison froide ( $T < 15\text{ °C}$ ) débute en novembre et se termine en avril, alors que la saison la plus chaude commence en mai et finit en octobre.

**1.4.3. Evaporation :**

Les valeurs des moyennes mensuelles et de l'évaporation pour la station d'Es-Sénia durant 1990-2001 sont présentées dans le tableau n°06 et la figure n°08 :

Tableau n°06 : Evaporation moyenne mensuelle (période 1990-2001), (O. N. M).

Es-Sénia	Jan	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Moyenne (mm)	66	70	96	122	151	167	174	181	148	110	79	65

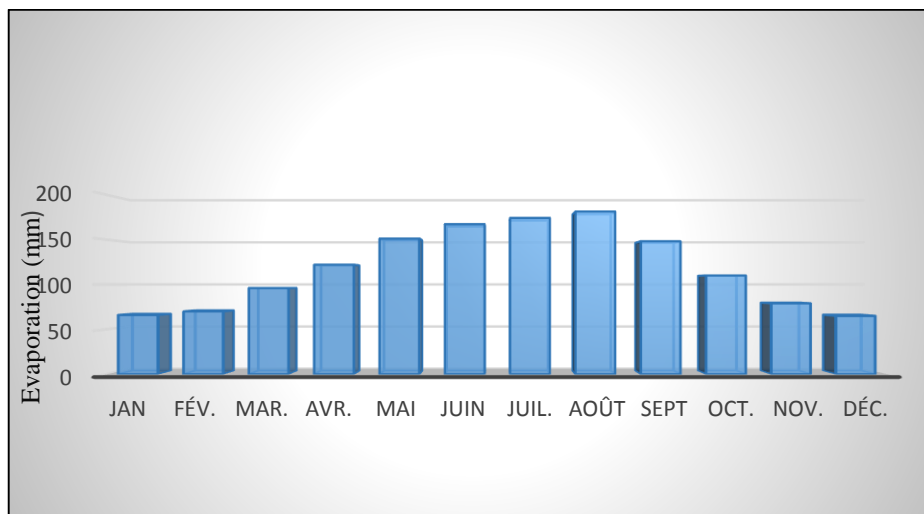


Figure n° 08 : Histogramme des évaporations moyennes mensuelles



L'évaporation atteint son maximum au mois d'août (181 mm). En décembre, on enregistre 65 mm La moyenne mensuelle est de 120 mm Au cours de l'année, nous pouvons distinguer deux périodes, la plus affectée par l'évaporation se prolonge d'avril à octobre, l'autre occupe le reste de l'année.

**1.4.4. Vent :**

Les moyennes mensuelles de la vitesse du vent à la station d'Es-Sénia concernant la période 1990 - 2002 sont présentées dans le tableau n°07.

Tableau n° 07 : Les vitesses moyennes mensuelles du vent (période 1990-2002), (O.N.M).

Es-sénia	Jan	Fév.	Mar.	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Vitesse moy (m/s)	26.38	30.46	35.07	42.69	41.1	43.31	39.38	37.1	36.38	34.53	30.76	27.15
Direction	W	W	W	W	W	W	WSW	W	W	WSW	WSW	WSW

Ce tableau montre que les vents dominants soufflent de l'Ouest et de l'Ouest Sud-Ouest et qu'il existe un vent chaud et sec, de direction WSW, connu sous le nom de Sirocco. Il souffle de 5 à 7 jours entre les mois de juin et novembre.

**1.4.5. Climat de la région :**

De nombreuses classifications de types de climats proposées se basent sur le calcul d'un indice climatique tenant compte de la pluviométrie et de la température.

Plusieurs formules empiriques permettent d'obtenir les indices climatiques, parmi elles :

- l'indice d'aridité de De Martonne.

L'indice d'aridité de De Martonne est donné par la relation suivante :

$$I = P/T+10$$

Avec : P = précipitation annuelle moyenne (mm).

T = température annuelle moyenne.

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes annuelles en (mm) et de la température annuelle (en °C).

La classification proposée par De Martonne est la suivante (tableau n° 08) :

Tableau n° 08 : Classification des climats proposée par De Martonne.

Valeur de I	< 05	05 < I < 7.5	7.5 < I < 10	10 < I < 20	20 < I < 30
Type de climat	hyperaride	désertique	steppique	semi-aride	tempéré

L'utilisation du diagramme de De Martonne détermine pour notre région d'étude un climat semi-aride à la limite d'un régime désertique (figure n°09).

Appliqué à la station d'Es-Sénia, l'indice "I" =  $326/10 + 18.09$       I = 11.61

La projection des valeurs des précipitations moyennes annuelles et température moyenne annuelle sur l'abaque de l'indice d'aridité de la station d'Es-Sénia donne I=11.61.

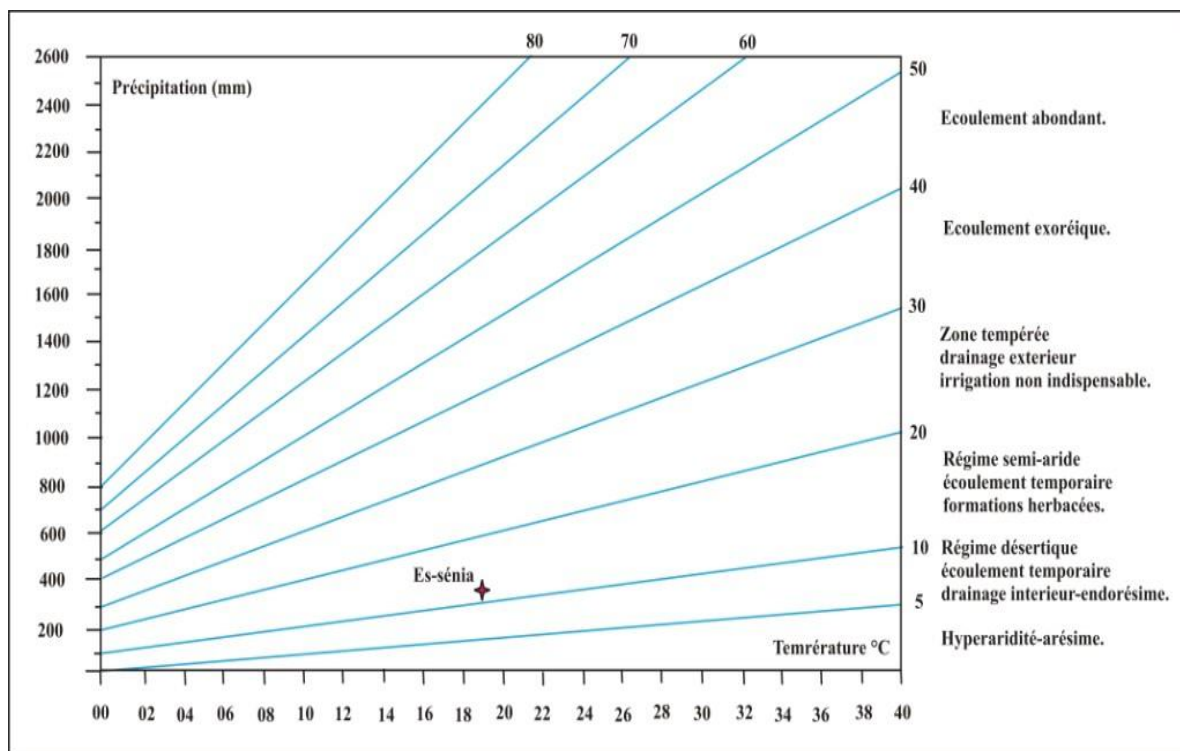


Figure n°09 : Indice d'aridité de De Martonne (station d'Es-Sénia)

**Conclusion :**

Le secteur d'étude fait partie de la plaine de Sidi Ali qui occupe la partie occidentale du Plateau des Hassis. Il concerne la zone industrielle de Hassi Ameur qui se situe en bord septentrional du sillon médian, soit en bordure méridionale du Djebel Murdjadjo, à environ 11 km à l'Est de la wilaya d'Oran. La zone d'étude se caractérise par un réseau hydrographique restreint et un climat semi-aride à la limite d'un régime désertique.

***CHAPITRE 02 :***  
***CADRE GÉOLOGIQUE ET***  
***HYDROGÉOLOGIQUE***

2.1. Cadre géologique :

2.1.1. Aperçu géologique général :

Le secteur d'étude fait partie des Massifs Littoraux Oranais. Il est situé dans la zone externe ou tellienne de la chaîne alpine. Ce domaine s'allonge sur environ 100 km entre le Massif de Madagh, à l'Ouest, et les Monts d'Arzew à l'Est. Il comprend dans le sens de la longueur un groupe de horsts (Djebel Murdjajo, Djebel Khar, Monts d'Arzew, etc.) constitués de terrains d'âge secondaire. Ces horsts, très tectonisés, correspondent à un substratum (para-autochtone). Ils sont bordés au sud par des zones déprimées (plateaux d'Oran, de Bir El Djir, des Hassis, etc.), comblées d'une importante sédimentation, constituée de terrains d'âges néogène et quaternaire.

De nombreux travaux effectués sur ce domaine, en particulier par F. Doumergue (1912), Tinthoin (1948), A. Perrodon (1957), A. Gourinard (1958), B. Fenet (1975), G. Thomas (1985), ont permis de distinguer deux grands ensembles structuraux (figure n°10).

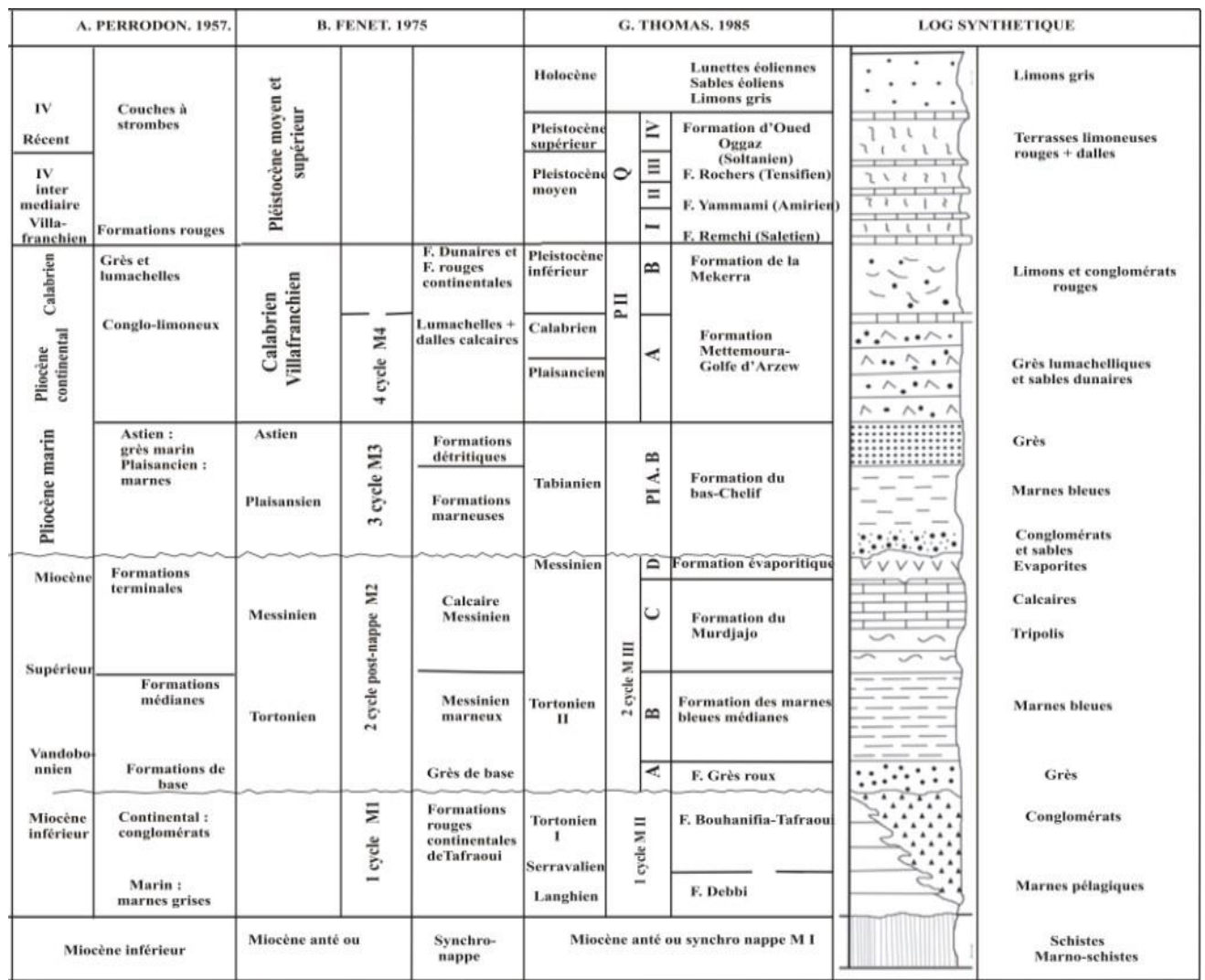


Figure n° 10 : Log géologique synthétique de la région d'Oran (In Hassani M.I., 1987)

**a- Le substratum anté à synchro nappe :**

Il affleure dans le Djebel Murdjadjo jusqu'à Madagh, dans le Djebel el Khar et dans les monts d'Arzew. Les formations du substratum forment l'autochtone relatif (B. Fenet, 1975) ou autochtone anté-nappe (G. Thomas, 1985).

Il est représenté par des massifs schisteux, autochtones, d'âge jurassique et crétacé, fortement affectés par l'orogénèse alpine.

**b- Le remplissage (couverture) post-nappe :**

Des mouvements épirogéniques découpent les régions littorales en zones ascendantes ou subsidentes: horsts et fossés du littoral (Y. Gourinard, 1957). Ces phénomènes épirogéniques se poursuivent pendant la fin du Néogène puis le Quaternaire et c'est sur une morphologie réglée par les mouvements ascendants et descendants que vont succéder quatre cycles marins, entrecoupés de périodes d'érosion. Ce sont :

- Le premier cycle miocène post-nappes (M1) :

Il est constitué de 250 m de dépôts continentaux de conglomérats et de marnes parfois gypseuses. L'âge de ces formations du M1 est compris entre la transgression messinienne (P. Guardia et J. Magné, 1971) et la mise en place des nappes, il s'agit pour partie du Tortonien.

- Le deuxième cycle miocène post-nappes (M2) :

Il débute dans le bassin du Chélif par un niveau détritique de base grés-sableuse. Il est constitué par :

- des formations médianes constituées de marnes bleues ;
- des formations terminales, constituées par une série de tripolis et la série des gypses.

- Le troisième cycle post-nappes–pliocène (P1) :

Dans le bassin du Bas Chélif, le Pliocène est représenté par la succession classique des marnes bleutées plaisanciennes et des grès marins astiens.

- Le quatrième cycle post nappes (Calabrien) :

Ce cycle, d'abord lumachellique ou conglomératique, passe progressivement à des grès dunaires et représente le dernier épisode marin de quelque importance sur le littoral Oranais.

**2.1.2. Description lithostratigraphique :**

Le secteur d'étude est caractérisée par un plateau incliné NW-SE d'où émergent deux massifs constitués de terrains d'âge secondaire (figure n°11). La description géologique de la région étudiée est basée sur :

- des informations de surface des différents faciès : cartes géologiques d'Oran et de Gdyl (ex. St. Cloud au 1/50 000ème, annexes n° 01 et 02).
- des informations fournies par des coupes géologiques, de forages, de sondages et de puits creusés à travers les différentes formations géologiques.



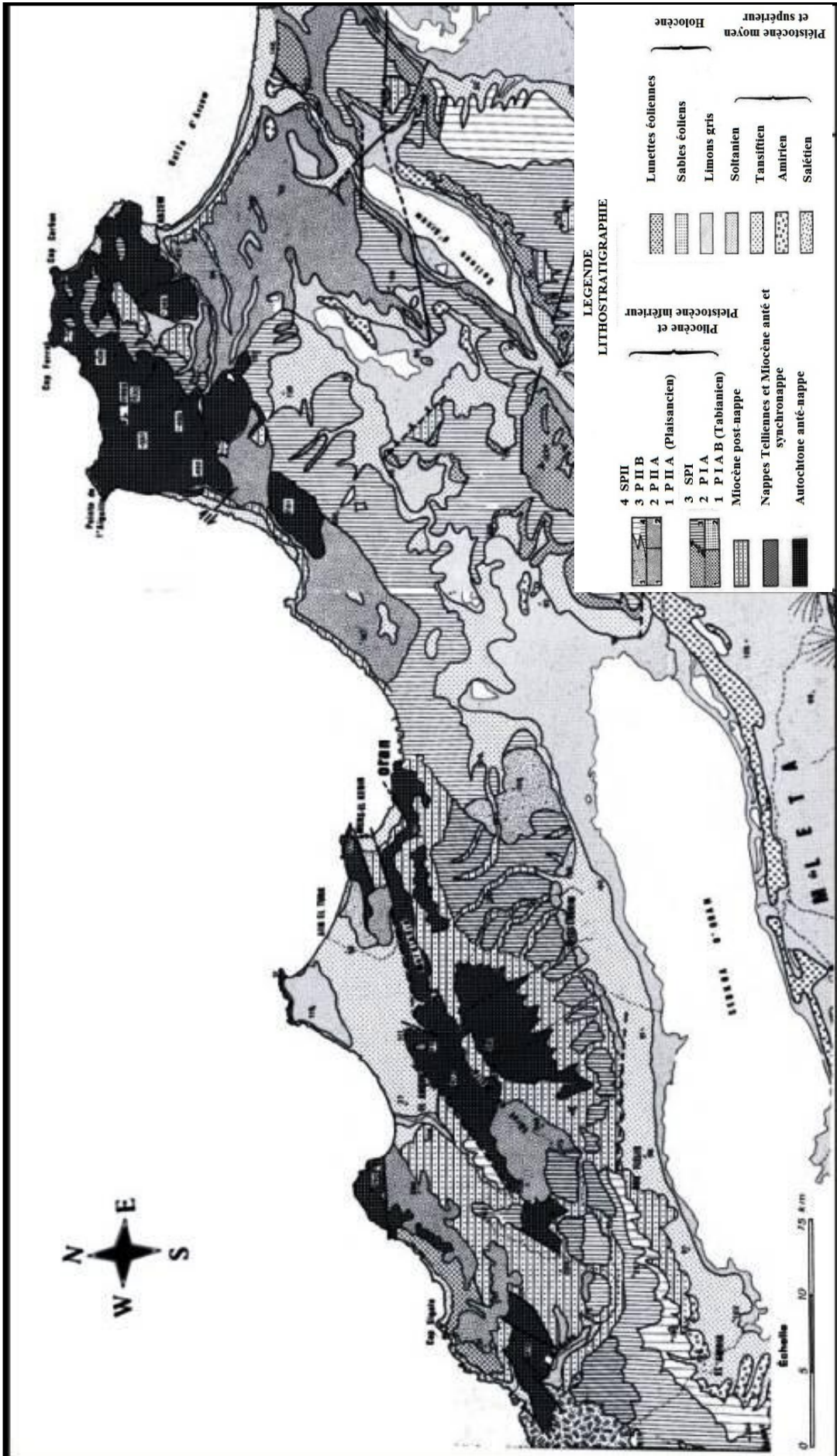


Figure n° 11 : Carte géologique de l'Oranie Nord-Occidentale (G. Thomas, 1985).



Du bas vers le haut, la succession litho-stratigraphique de la région est comme suit (figure n°12) :

**2.1.2.1. Formations anté-nappes:**

**a) Permo –Trias :**

Il est constitué sur le Djebel Khar par des grès à dragées, des schistes violacés à bancs de quartzites.

**b) Jurassique :**

Il est représenté par des calcaires dolomitiques du Lias, par des schistes et grès ardoises, bruns rouges en surface, qui apparaissent sur le flanc sud du Djebel Khar, recouvrant les schistes permo-triasiques (B. Fenet, 1975).

**c) Crétacé :**

Le Crétacé est représenté par des schistes argileux plus ou moins calcaires au Nord-Ouest du Djebel Khar. Le Jurassique et le Crétacé plissés et érodés constituent le substratum de cette région.

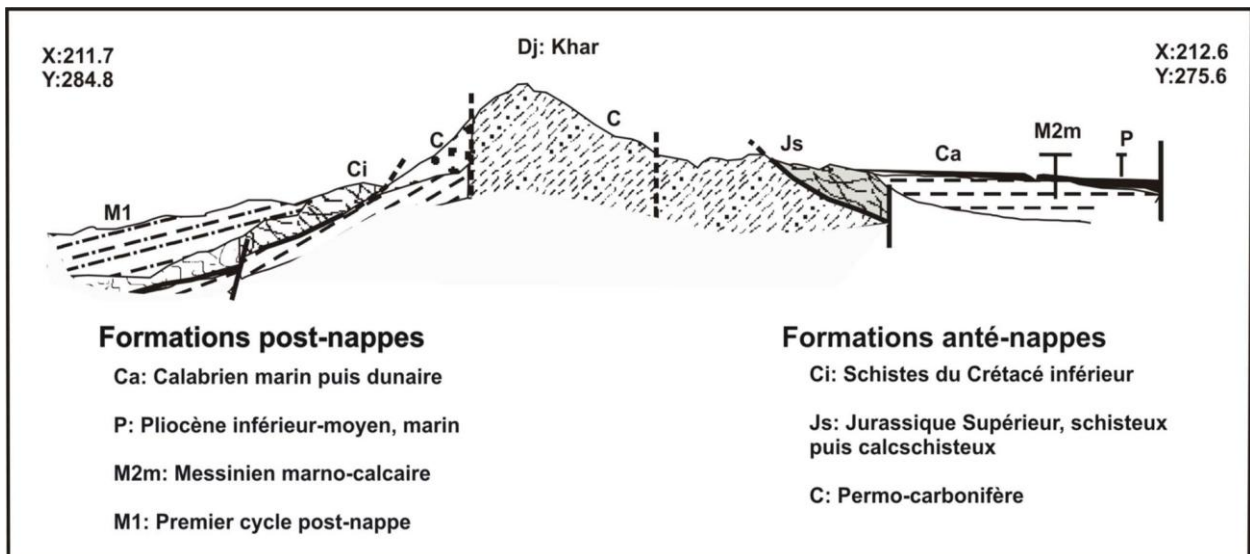


Figure n° 12 : Coupe géologique illustrant les formations anté et post-nappes autour du Djebel Khar (B. Fenet, 1975)

**2.1.2.2. Formations post-nappes :**

**a. Miocène :**

Dans la région, les formations géologiques se rapportant au Miocène sont constituées de :

- marnes bleues,
- grès à balanes et bivalves,
- tripolis et marnes à tripolis,
- intercalations de tripolis dans les marnes gypseuses,

- gypses, calcaires et marnes gypseuses.

Sur le flanc Sud-Est du Djebel Khar, le premier terme du miocène transgressif est constitué par les marnes bleues à verdâtres et grès micacées qui affleurent au sud du Djebel Khar. Les marnes bleues sont surmontées par les grès à balanes et bivalves qui affleurent aux falaises du Djebel Khar surmontées de marnes tendres, blanchâtres intercalés avec des bancs de tripolis.

Le dernier terme du Miocène supérieur est représenté au sud de Hassian Ettoual (ex. Fleurus). Là, pointent des affleurements de marnes gréseuses gypsifères et des bancs de gypse; des marno-calcaires à tripoli formant des bancs qui s'intercalent au sein de ces formations (Fenet B, 1975).

**b. Pliocène :**

Au sud du secteur, au niveau du Djebel Debbi, le Pliocène inférieur et moyen, marin, est affleurant. La carte au 1/50 000ème de Saint Cloud indique l'existence de :

- Marnes pliocènes (Plaisancien) ( $p^m$ ), constituées de formations marno-sableuses jaunes. Elles apparaissent au cœur de l'anticlinal de Debbi et le sondage de Db1 (A. Perrodon, 1957).
- Grès pliocènes ( $p^g$ ), marins à ciment calcaire (Astien), formés de bancs assez résistants.

Cette formation est traversée par le forage de l'unité de l'ex.Oravio, située en bordure Nord-Ouest de la zone industrielle (figure n°13).

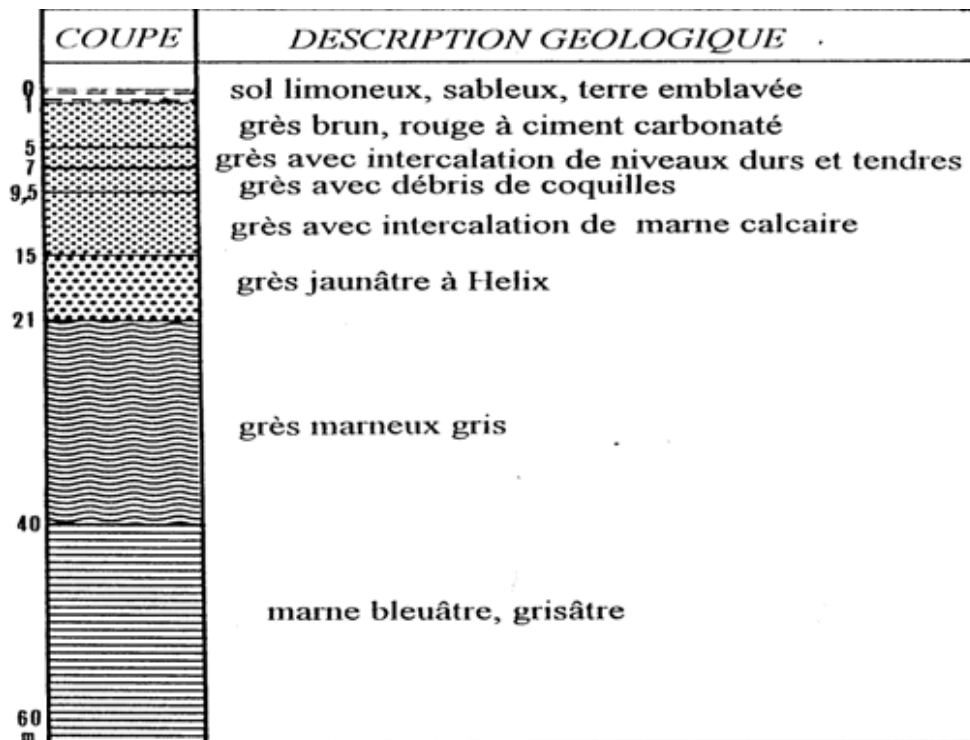


Figure n°13 : Log géologique du forage de l'ex. Oravio (couvoir)  
Coordonnées Lambert (X : 212.100, Y : 273.225)

**c. Plio-Pléistocène "Calabrien" :**

Au niveau du Plateau des Hassis, cette formation montre la présence de faciès gréseux associés à des fragments de calcaire ou marnes. Elle est constituée de grès coquilliers de couleur blanchâtre passant à une véritable lumachelle, très consolidée, attribuée au "Calabrien". Les sondages carottés SN1, SN2 et SN3 (< 10 m), situés à l'intérieur de l'unité SIMAS (ex. Sn Métal), ont présenté les logs figurant en annexe n°03.

Au Nord-Ouest de notre secteur, la formation calabrienne (formation du golfe d'Arzew, d'après G. Thomas) est discordante sur le Miocène supérieur : tel est le cas au niveau des falaises d'Oran (figure n° 14).

Dans la région du "Littoral oranais", cette formation représente le dernier épisode marin. Elle est discordante sur le Miocène supérieur. D'abord lumachellique ou conglomératique, elle passe progressivement à des grès dunaires à stratification oblique, souvent entrecoupés d'argile continentale. La dissolution des éléments carbonatés a entraîné la formation d'argile rouge brique plus ou moins sableuse qu'on rencontre dans la partie supérieure du "Calabrien". Dans la majeure partie de la région, une carapace calcaire, vient masquer le "Calabrien" et les formations antérieures.

**d. Quaternaire récent (Pleisto-Holocène):**

Dans la zone de piedmont, entre les collines de Hassi Ben Okba et la plaine de Sidi Ali s'étend sur une bande de glacis d'accumulation qui sont formés de limons sableux, argileux rubéfiés attribués au pléistocène supérieure, (G.Thomas, 1985). La majeure partie de la plaine de Sidi Ali est occupée par des alluvions récentes, limoneuses, recouvrant les formations astiennes et calabriennes.

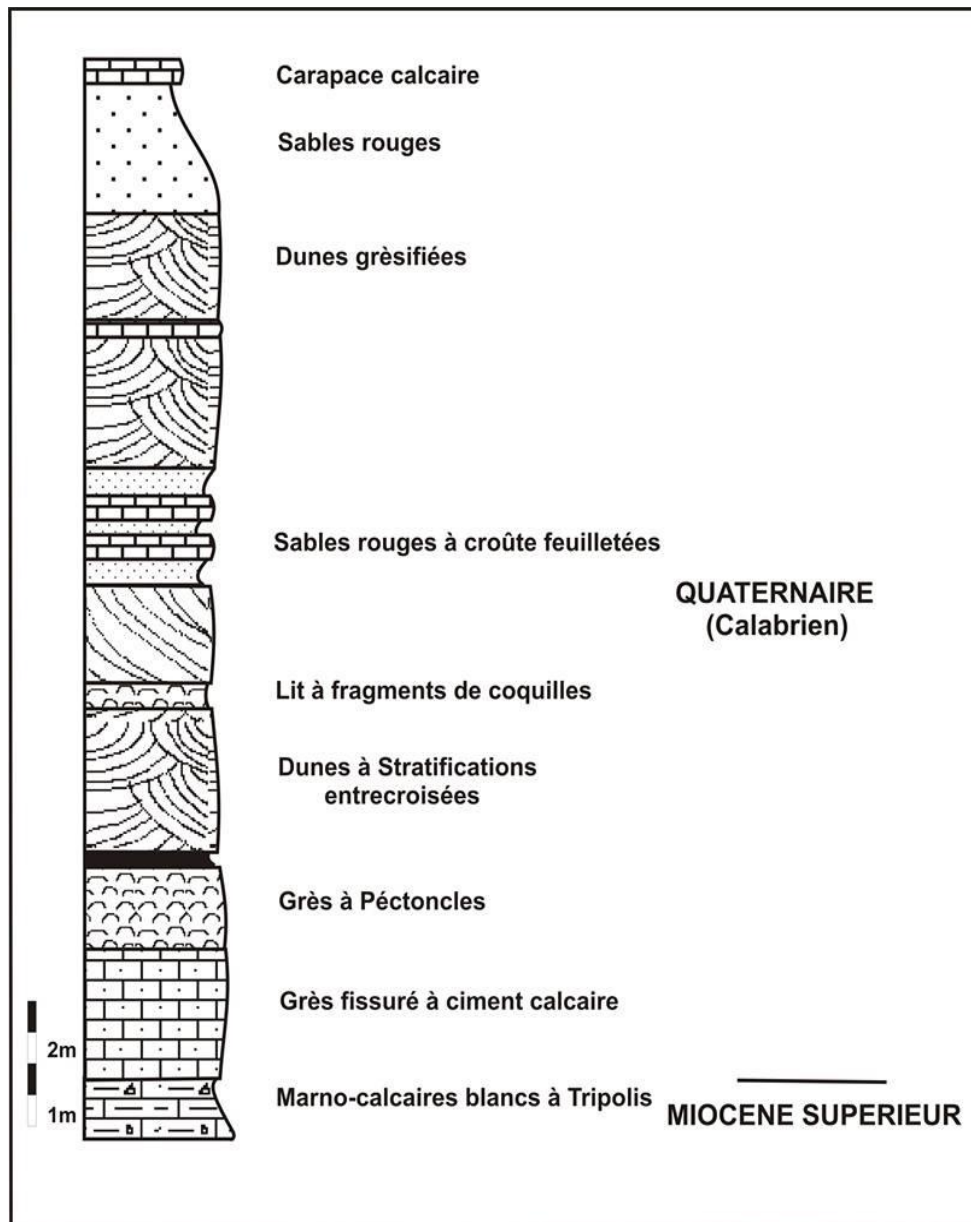


Figure n° 14 : Coupe géologique des falaises d'Oran (G. Thomas, 1985)

## 2.2. Aperçu structural :

Dans la région d'Oran, la tectonique dessine les traits essentiels de la structure actuelle et s'exprime selon les directions principales N 10-20°, N 50-70° et N 140 (figure n° 15).

La partie sud du Plateau d'Oran correspond à une zone à tectonique assez calme, avec un léger pendage des formations vers le sud en direction de la Grande Sebka et de la Dayat Morselly.

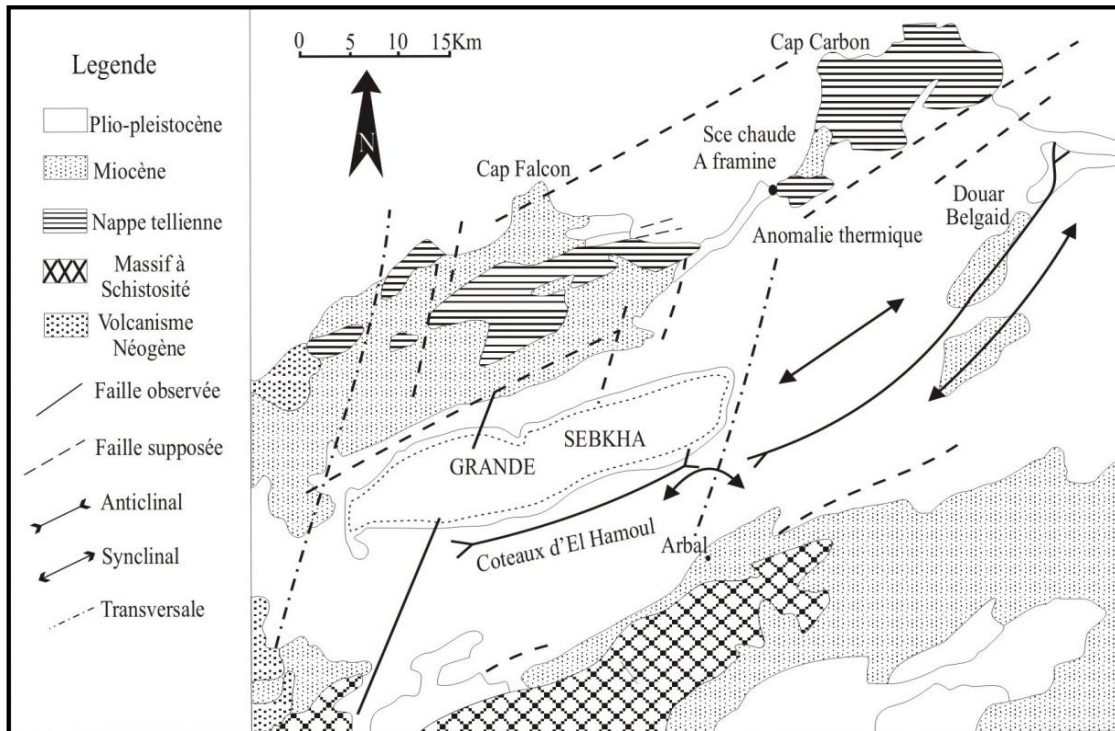


Figure n° 15 : Esquisse structurale de l'Oranie centrale selon B. Fenet, 1975

Le Djebel Khar correspond à une zone de horsts limités par des failles. L'apparition de ces horsts s'est produite à la fin du Miocène supérieur. Ce rejet a contribué au développement d'ondulations tectoniques de faible amplitude post-pléistocène de l'anticlinal du Djebel Debbi (entre Boufatis et El Braya).

Des failles normales séparent, au sud, les horsts des terrains néogènes et quaternaires du Plateau des Hassis (figure n°16). Ces terrains sont presque horizontaux au niveau des plateaux et affectés de plis simples au niveau des collines (les anticlinaux) ou de dépressions (les synclinaux).

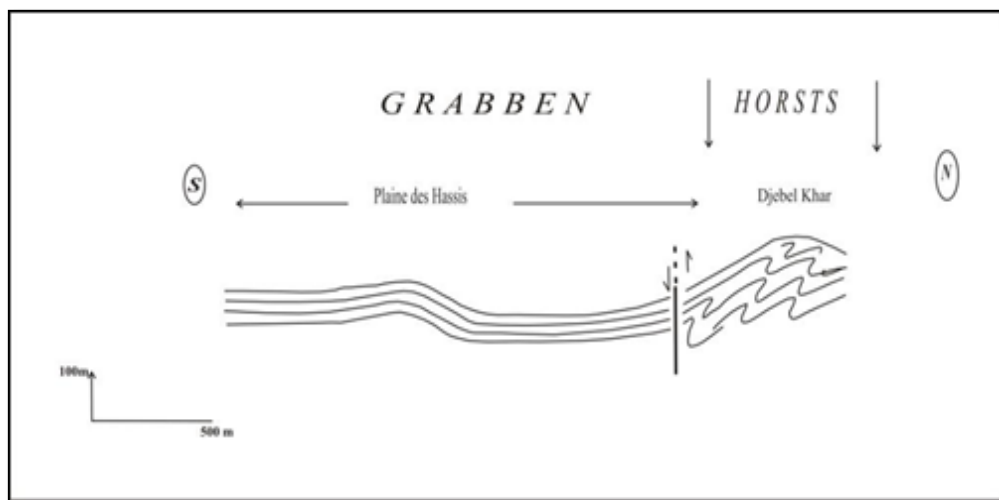


Figure n° 16 : Schéma illustrant la structure d'étude (In Haddar L, 1986)



L'écorché géologique de la figure n° 17, schématise les structures des anticlinaux et des synclinaux suscités.

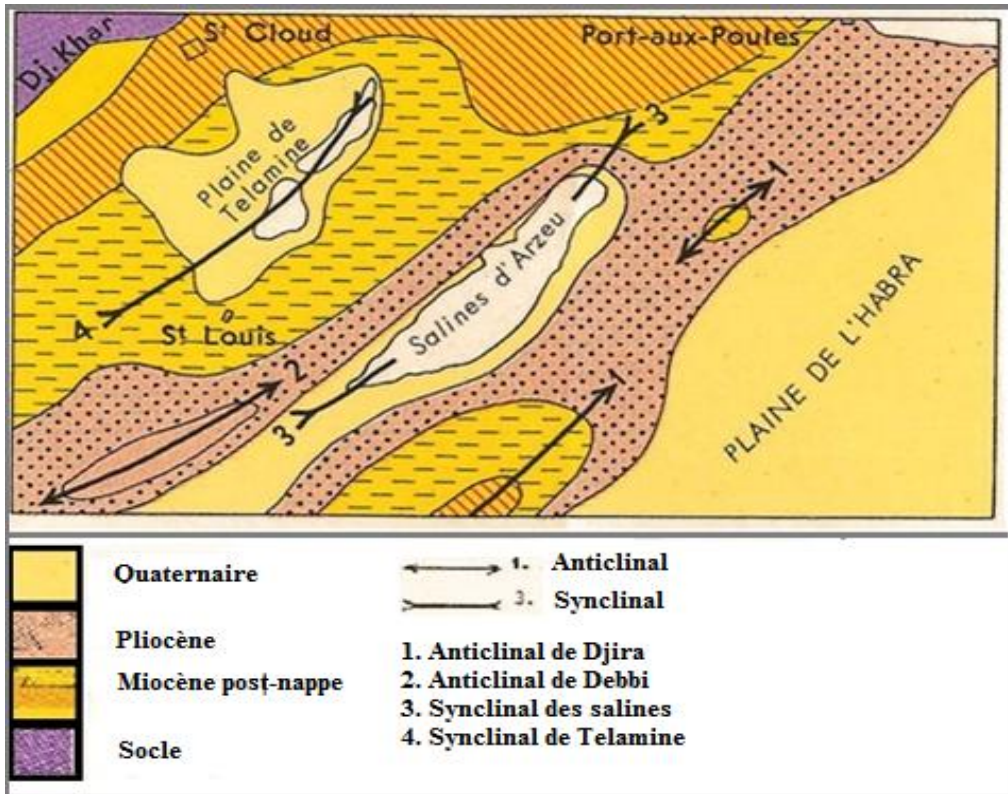


Figure n° 17 : Ecorché géologique de la région de Gdyl (Y. Gourinard, 1957)

La carte montre l'existence d'une structure anticlinale au Sud-Est de la plaine de Telamine. Les déformations du "Calabrien" s'observent sur les flancs de la plupart des autres structures (bordure de la Saline d'Arzew, par exemple). La plus grande partie des déformations du Néogène apparaît donc comme d'âge Quaternaire. Ces mouvements tectoniques très récents ont détruit le réseau hydrographique du Quaternaire ancien, individualisant de nombreux bassins fermés.

### 2.3. Hydrogéologie :

#### 2.3.1. Description des principaux aquifères de la région :

Dans le secteur étudié, on peut mettre en évidence l'existence des aquifères suivants : les grès du Pliocène "Astien" ainsi que les grès lumachelliques et les grès jaunes du Calabrien constituent les principales formations aquifères de la région (figure n° 18).

Géologie			Stratigraphie	Lithologie	Hydrogéologie
Classement des terrains					
1	2	3			
			Récent	Bas fond salé au niveau du lac constitué un milieu vaseux.	Perméabilité faible
			Quaternaire	Argile gréseux, mince couche de croûte et dépôt de pente de Dj. Khar.	Perméabilité moyenne
			Plio-quaternaire	Grès coquilliers et grès jaunes à Hélix	Bonne perméabilité
			Pliocène	Marnes grises	Imperméable
			Pliocène	Grès et calcaire gréseux	Bonne perméabilité la nappe noie la partie inférieure des calcaires (tendre de porosité d'interstice)
			Miocène	Marnes bleuâtres	Imperméable constitue le mur de la nappe du Pliocène
			Miocène	Gypse à intercalation de bancs de tripoli	Imperméable
			Miocène	Marnes à gypse	Imperméable
			Miocène	Marnes à silex	Très faible perméabilité
			Miocène	Marnes et grès micacés	Très faible perméabilité
			Crétacé	Schistes argileux brun violet	Imperméable
			Jurassique	Calcaire dolomitique du lias	Bonne perméabilité donne naissance à la source de kristel.
			Permo-trias	Schiste violaces, quartzites, lydiennes	Imperméable

Figure n° 18 : Log hydrogéologique général de la région (L. Haddar, 1986, modifié)

L'ensemble Astien - Calabrien forme un réservoir contenant une nappe libre de grande extension. Dans son ensemble, le substratum est constitué par les marnes du Miocène supérieur et du Pliocène inférieur.

• **Aquifère de l'Astien :**

Cet aquifère est constitué par des calcaires gréseuses. Ces calcaires sont constitués de deux couches :

- Une couche supérieure, dure et compacte. Son épaisseur ne dépasse pas 1 m.
- Une couche inférieure, tendre, car le calcaire gréseux devient plus marneux.

Le forage d'Oravio réalisé à la bordure nord de la zone industrielle (S.S), recoupe sur près de vingt mètres les niveaux de l'Astien, sous-jacents aux grès lumachelliques.

L'eau de la nappe n'est pas en charge. La nappe est à surface libre, elle est alimentée par infiltration directe à travers les formations superficielles perméables : encroûtement calcaire et limons sableux et en période de crue à partir du ruissellement de surface, au niveau des glacis et des cônes de déjection des principaux oueds, essentiellement ceux provenant du flanc sud du Djebel Khar et des collines de la forêt de Hassi Ben Okba.

• **Aquifère de grès lumachelliques du Calabrien :**

Les formations des grès lumachelliques et grès jaunes du Calabrien contiennent une nappe phréatique captée et exploitée par la majorité des puits de la plaine de Sidi Ali.

**2.3.2. Piézométrie du secteur d'étude :**

Afin de caractériser la piézométrie de la nappe phréatique, les niveaux piézométriques de treize (13) puits et forages, situés à l'intérieur de la zone industrielle et au niveau des terres agricoles et urbanisées environnantes, ont été mesurés en février 2012, dans le cadre d'un mémoire de magister (Boubkeri, 2013). Les mesures piézométriques du tableau n° 09 ont permis d'établir la carte en courbes hydro isohypses de la nappe d'eau souterraine de la zone d'étude (figure n° 19).

Tableau n° 09 : Les données piézométriques des points d'eau.

Indice des points d'eau	Longitude	Latitude	Z (m)	H (m)	Localisation
P1	35°42'20.10''	0°29'27.14''	97	93	Zone Industrielle (U. Haffar)
P2	35°42'39.48''	0°29'07.66''	96.5	92.7	Zone Industrielle (U. Benyelles)
P3	35°42'17.13''	0°28'37.38''	94	90	Zone Industrielle (U. Saidi)
P4	35°43'01.14''	0°28'25.22''	98.5	92.75	Zone agricole
P5	35°43'21.65''	0°28'10.94''	99	92.1	Zone Industrielle (U. ECO)
P6	35°42'45.03''	0°28'55.89''	97	92.9	Zone Industrielle (U. SIMAS)
P7	35°42'21.24''	0°29'07.13''	94.8	91.55	Zone Industrielle (U. Unilevers)
P8	35°42'17.18''	0°28'25.65''	94	89	Milieu urbain
P9	35°43'01.35''	0°28'10.22''	96	91.4	Zone agricole
P11	35°43'18.19''	0°28'55.77''	115	92.8	Zone agricole
P12	35°42'48.80''	0°29'20.86''	99.75	93	Zone agricole
P13	35°42'42.23''	0°29'50.01''	102	93.8	Zone agricole
P15	35°41'57.11''	0°29'30.23''	97	92.25	Zone agricole



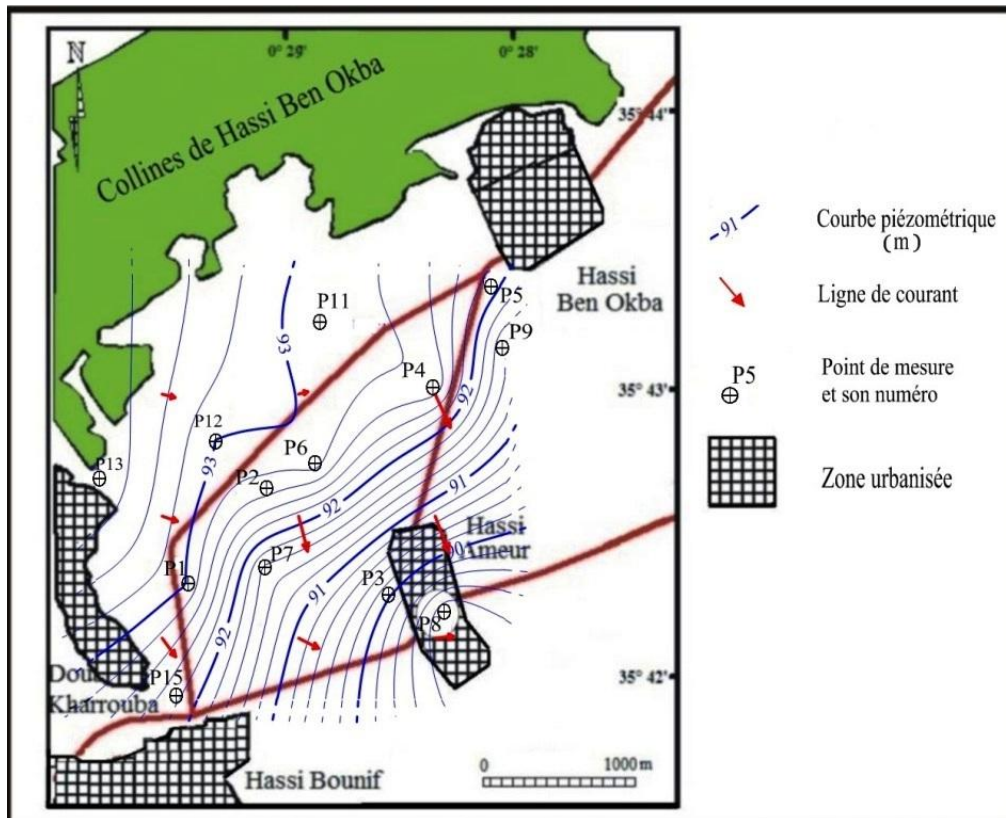


Figure n°19: Carte piézométrique du secteur d'étude (In Boubkeri, février 2012)

L'examen de la carte synthétique en courbes hydro-isohypses indique une surface piézométrique caractérisant une nappe radiale, à écoulement de direction Nord-Ouest/Sud-Est, légèrement convergent vers le secteur de l'agglomération de Hassi Ameur. La pente de cette nappe présente une morphologie assez régulière. L'examen de l'allure et de l'espacement des courbes isopièzes indique un écoulement général à profil parabolique dénotant une diminution de la perméabilité dans le sens de l'écoulement. Le gradient hydraulique moyen de la nappe au niveau de la zone industrielle (S.S) est de  $1.8 \cdot 10^{-3}$  (Boubkeri, 2013).

### 2.3.2.3. Paramètres hydrodynamiques :

#### ✓ Transmissivité et perméabilité :

Pour la transmissivité, un pompage d'essai a été effectué dans un puits, à grand rayon, situé à quelques dizaines de mètres de P1 (X= 212,40 Y= 271,73 Z= 111) a donné une transmissivité :  $T = 2,8 \text{ à } 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  (ENRENAD, 1998).

Pour la perméabilité, des mesures ont été effectuées et interprétées selon la méthode de Lefranc. Elles ont été réalisées dans les sondages captant les niveaux du plateau d'Oran-Bir El Djir (Ouest du plateau des Hassis) et ont donné les résultats récapitulés dans le tableau n°10 (AGEP/Sogreah, 1984).

Tableau n° 10 : Résultats de mesures de perméabilité des niveaux aquifères du plateau Oran-Bir El Djir (AGEP/Sogreah, 1984)

Quaternaire	Argiles à gravier ou à horizon sableux ou gypseux	$1,2.10^{-7}$ à $2,4.10^{-4}$ m/s
	Argiles rouges	$1,3$ à $7.10^{-7}$ m/s
	Silts	$1,1.10^{-4}$ m/s
	Sables fins, sables argileux, calcaires tufeux	$9,4.10^{-5}$ m/s
Astien	Argiles sableuses et gréseuses	$6,6.10^{-6}$ m/s
	Sables argileux	$1,1.10^{-5}$ à $7.10^{-4}$ m/s
	Argiles et calcaires	$1,1.10^{-4}$ m/s

Une estimation des ressources en eau souterraines du plateau des Hassis, établie par l'ANRH/ENERGOPROJEKT (2009), par application de la méthode du bilan hydrologique, propose une valeur de  $3,9 \text{ Hm}^3/\text{an}$ .

#### 2.4. Contexte urbain de la zone d'étude :

##### 2.4.1. Présentation de la zone industrielle de Hassi Ameer :

La zone industrielle de Hassi Ameer se situe à environ 11 km à l'Est de la ville d'Oran (figure n° 20).



Figure n°20 : Vue aérienne de la zone industrielle de Hassi Ameer

### 2.4.2. Evolution des activités au niveau de la zone industrielle de Hassi Aneur :

La zone industrielle de Hassi Aneur a été créée en 1970, sur une superficie de 313 hectares. Elle a été construite pour accueillir l'industrie lourde (construction métallique, chaudronnerie, construction de véhicules automobiles, etc.). Le choix de création de cette zone industrielle s'était basé sur :

- Une décision politique en faveur de l'orientation de l'économie nationale vers l'industrialisation.
- Des potentialités en eau considérables dans la plaine des Hassis.
- La situation géographique stratégique dans la région Nord-Ouest de l'Algérie.

Les industries productives existantes en 1983 comportaient deux types d'unités industrielles, les premières étaient métallurgiques et les secondes correspondaient à la production des matériaux de construction. Les industries de service étaient celles de SONELGAZ et SERSID- SNS.

A la fin des années 1990, la zone industrielle comprenait plus de 60 unités industrielles, dans plusieurs types d'industries (chimie, hydrocarbures, etc.). Aujourd'hui, avec l'adjonction d'un nouveau lotissement dans la partie ouest, la zone industrielle se compose de 183 lots (figure n° 21).

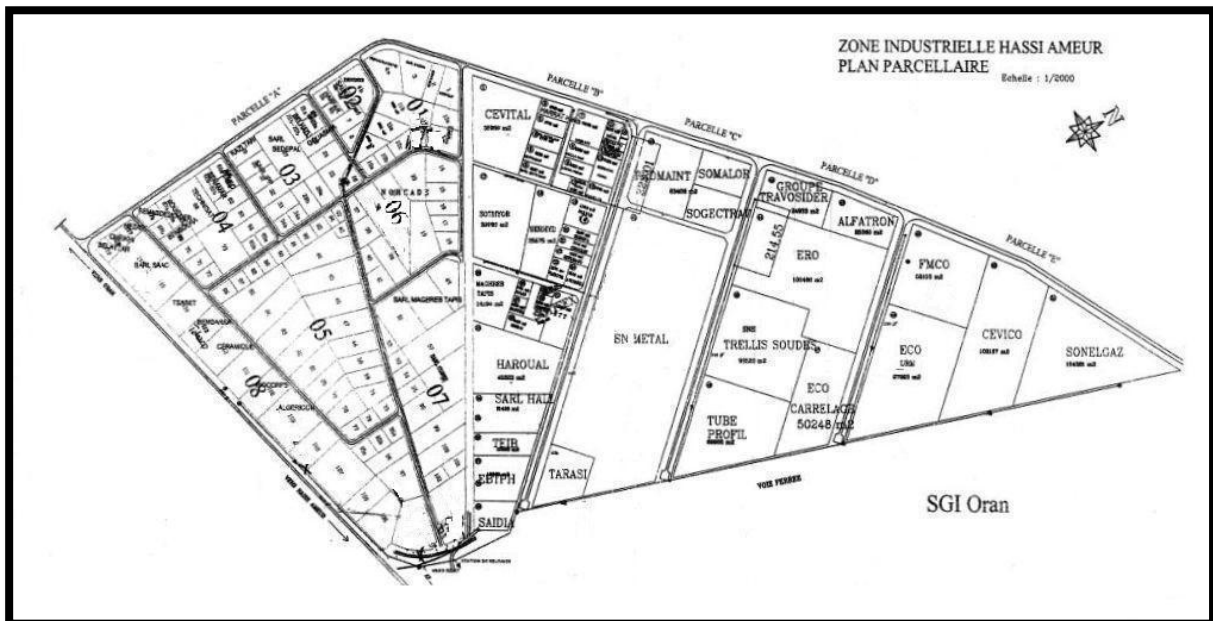


Figure n° 21 : Plan parcellaire actuel de la zone industrielle de Hassi Aneur (SGI Oran, 2009)

Actuellement, la zone industrielle est gérée par l'organisme S.G.I. : Société de gestion de la zone industrielle de Hassi Aneur.

**Conclusion :**

La zone faisant l'objet de cette étude est située à l'Est de la ville d'Oran, elle est caractérisée par un climat méditerranéen de type semi-aride.

L'étude géologique de la région, montre que les principales formations sont constituées d'un substratum anté à synchro nappe, affleurant dans le Djebel Murdjadjo, le Djebel Khar et dans les Monts d'Arzew et du remplissage (couverture) post-nappe, avec une forte extension dans les zones basses du domaine.

Du point de vue lithostratigraphique, elle est constituée par des schistes du crétacé inférieur, du jurassique supérieur, schisteux puis calcshisteux et du Permo-carbonifère dans les formations anté-nappes. Concernant les formations post-nappes, elles se composent du Calabrien marin puis dunaire, du pliocène inférieur-moyen et marin et du Messinien marno-calcaire.

La structure générale de la région d'étude précise que les séries néogènes qui forment le substratum sont quasi-horizontales et affectées de plis simples dans les régions des collines ou de dépressions.

Parmi les formations qui affleurent dans la région, les plus importantes du point de vue hydrogéologique, sont celles des grès lumachelliques et grès jaunes du Calabrien, mais aussi les grès du Pliocène "Astien" qui constituent sous et autour de la zone industrielle de Hassi Ameer un ensemble aquifère «Astien-Calabrien". Cet ensemble forme un réservoir contenant une nappe libre de grande extension.

La piézométrie est caractérisée par une nappe radiale, à écoulement de direction Nord-Ouest / Sud-Est, légèrement convergente vers le secteur de l'agglomération de Hassi Ameer.

L'activité industrielle est devenue plus complexe du fait de l'adjonction des nouvelles activités (chimie, hydrocarbures, etc.). Elle constitue des sources réelles et potentielles de pollution de la nappe de la région.

***CHAPITRE 03 :***  
***HYDROCHIMIE***

**Introduction :**

L'hydrochimie est l'étude des caractéristiques physiques et chimique de l'eau.

L'interprétation des résultats des analyses des eaux de l'aquifère nous permet de déterminer la qualité de ces eaux, connaître la répartition dans l'espace et l'évolution dans le temps des différents éléments chimiques, le type d'alimentation et de détecter une éventuelle contamination.

Dans notre étude, nous n'avons pu disposer que d'une quinzaine d'échantillons, analysés en février 2012 au niveau du laboratoire de chimie de la Direction Régionale Ouest (DRO) de l'A.N.R.H dans le cadre du mémoire de magister de Boubkeri (2013). Certains paramètres physiques tels que la conductivité, le pH et la température ont été mesurés in situ.

L'analyse des eaux échantillonnées a concerné aussi bien, les éléments chimiques majeurs. Les principaux résultats sont portés au tableau n°11.

Tableau n° 11 : Présentation des résultats de l'analyse physico-chimique des eaux.

Point d'eau	T (°C)	pH	Cond (µs/cm)	Min (mg/l)	Rs (mg/l)	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
P1	18.6	7.55	4140	3142	3520	234	104	658	22	974	271	728	92
P2	16.8	7.8	3470	2633	2800	76	145	589	4	821	542	418	55
P3	20	7.3	4110	3120	3100	128	175	695	31	1054	535	447	97
P4*	15.7	7.51	1370	1040	1060	93	54	157	2	334	243	146	21
P5	19	7.06	3500	2657	3000	276	46	460	4	934	250	257	100
P6	18.6	7.32	2740	2080	2040	111	58	479	5	601	474	337	50
P7	20.5	7.33	6110	4638	4800	170	179	1093	12	1729	542	612	58
P8	18.8	7.18	4150	3150	3300	166	123	759	47	888	453	890	112
P9	17.1	7.27	4960	3765	4200	234	153	777	7	1515	339	414	84
P10	20.9	7.03	4880	3704	4200	395	94	695	6	1582	271	322	94
P11	20	7.39	2019	2660	2100	191	66	375	67	687	345	271	55
P12	20.3	7.16	4560	3461	3920	353	71	621	7	1381	284	308	101
P13	18.7	7.2	3180	2414	2600	263	37	458	5	814	284	303	128
P14	20.7	7.39	5270	4000	3880	102	172	1001	16	1428	704	467	46
P15	19.6	7.32	2480	1822	1880	102	78	433	8	514	426	414	71

La conductivité électrique varie entre 1.37 mS/cm et 6.11mS/cm permettant d'estimer la minéralisation. Les teneurs en résidu-sec ont été mesurées au laboratoire.

La figure n°22 représente la répartition spatiale des valeurs de la minéralisation sur l'ensemble de la zone d'étude.



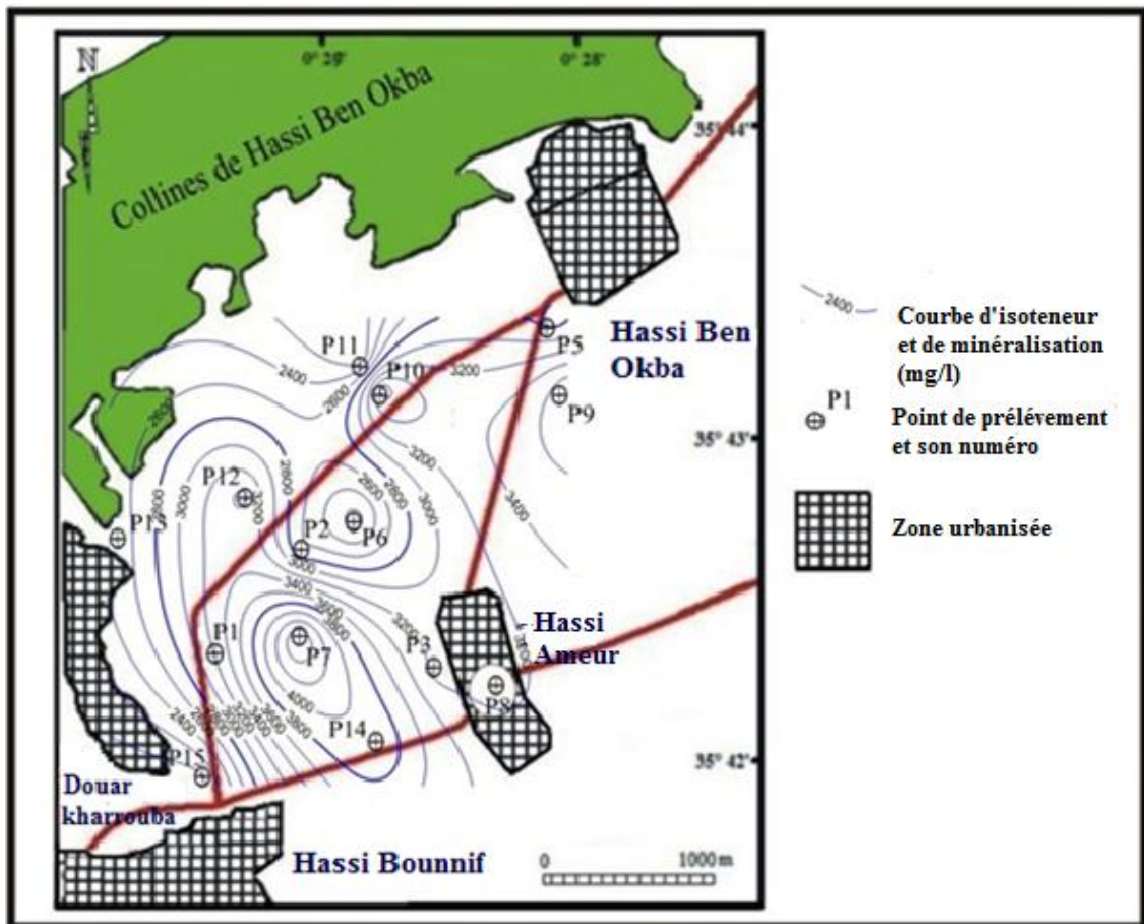


Figure n°22 : Carte d'isovaleurs de minéralisation (mg/l) des eaux du secteur d'étude  
(In Boubkeri, 2013)

La minéralisation la plus élevée est en P7 (Min = 4638 mg/l) ; la minéralisation la plus faible est en P15 (Min = 1822 mg/l). Les plus fortes minéralisations (>3000 mg/l) se concentrent dans le secteur Ouest de la zone à forte concentration de grandes unités industrielles en activité. En dehors de la zone industrielle, les minéralisations les plus faibles sont releables dans les zones les plus en amont de la plaine (piémont des collines de Hassi Ben Okba), (Boubkeri, 2013).



### 3.1. Classification hydrochimique

#### 3.1.1. Faciès chimiques :

Les principaux faciès chimiques des eaux échantillonnées ont été déterminés à partir de leurs teneurs en milliéquivalent/l et de leurs formules caractéristiques (tableau n° 12 et 13).

Tableau n° 12 : Résultats des analyses chimiques en quantité en réaction (meq/l).

N°	rCa <sup>++</sup>	rMg <sup>++</sup>	rNa <sup>+</sup>	r K <sup>+</sup>	rCl <sup>-</sup>	rSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	rHCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	rNO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	11.66	8.54	28.6	0.55	27.44	15.16	4.44	1.49
2	3.81	11.94	25.6	0.1	23.12	8.7	8.88	0.88
3	6.36	14.4	30.2	0.8	29.7	9.32	8.77	1.56
5	13.78	3.79	20	0.11	26.32	5.35	4.1	1.61
6	5.51	4.79	20.8	0.13	16.92	7.02	7.77	0.8
7	8.48	14.75	47.5	0.3	48.69	12.75	8.88	0.94
8	8.26	10.12	33	1.2	25	18.54	7.43	1.8
9	11.66	12.58	33.8	0.17	42.67	8.62	5.55	1.35
10	19.71	7.76	30.2	0.15	44.55	6.7	4.44	1.51
11	9.54	5.4	16.3	0.14	19.36	5.64	5.66	0.88
12	17.63	5.87	27	0.17	38.91	6.41	4.66	1.62
13	13.14	3.02	19.9	0.13	22.93	6.31	4.66	2.06
14	5.08	14.11	43.5	0.42	40.23	9.72	11.54	0.74
15	5.08	6.43	18.8	0.2	14.47	8.62	6.99	1.15

Tableau n° 13 : Faciès caractéristiques des échantillons prélevés.

N°	Contexte	Cations	Anions	Faciès chimique des eaux
P1	Zone Industrielle	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique
P2	Zone Industrielle	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{--} > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique
P3	Zone Industrielle	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique
P5	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique
P6	Zone Industrielle	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{--} > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique
P7	Zone Industrielle	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique
P8	Milieu urbain	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique
P9	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique
P10	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique
P11	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{--} > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique
P12	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique
P13	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique
P14	Zone Industrielle	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{--} > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique
P15	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$	Chloruré sodique

Cette classification fait ressortir aussi quatre sous-faciès :

- Un sous-faciès sulfaté calcique aux points : P1, P3, P5, P10, P12 et P13.
- Un sous-faciès sulfaté magnésien aux points : P7, P8, P9 et P15.
- Un sous-faciès bicarbonaté calcique aux points : P2, P6 et P11.
- Un sous-faciès bicarbonaté magnésien au point P14.

### 3.1.2. Etude des rapports caractéristiques :

L'étude des rapports caractéristiques permet de préciser le milieu de provenance des eaux souterraines. L'étude a concerné les rapports suivants :  $\text{SO}_4/\text{Cl}$ ,  $\text{Na}/\text{Cl}$  et  $\text{Mg}/\text{Ca}$ . Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau n°14.

Tableau n°14 : Calcul des rapports caractéristiques.

Nom	r (SO <sub>4</sub> /Cl)	r (Mg/Ca)	r (Na/Cl)
P1	0,55	0,73	1,04
P2	0,37	3,13	1,10
P3	0,31	2,26	1,01
P5	0,20	0,27	0,75
P6	0,41	0,86	1,22
P7	0,26	1,73	0,97
P8	0,74	1,22	1,32
P9	0,20	1,07	0,79
P10	0,15	0,39	0,67
P11	0,29	0,56	0,84
P12	0,16	0,33	0,69
P13	0,27	0,22	0,86
P14	0,24	2,77	1,08
P15	0,59	1,26	1,29

### 3.1.2.1. Rapport SO<sub>4</sub>/Cl :

Ce rapport est inférieur à l'unité aux différents puits analysés. Il montre une concentration élevée des Chlorures. Probablement dû à la dissolution des sels par le lessivage des terrains salifères.

### 3.1.2.2. Rapport Mg/Ca :

Ce rapport est inférieur à 1 aux puits P1, P5, P6, P10, P11, P12, P13. Cela traduit la prédominance du calcium, dû à la dissolution du massif carbonaté à forte teneur en calcium. Les autres points d'eau présentent un rapport supérieur à l'unité, ce qui implique la prédominance du Mg.

### 3.1.2.3. Rapport Na/Cl :

Ce rapport est inférieur à l'unité aux puits P5, P7, P9, P10, P11, P12, P13. Cela traduit une provenance des chlorures liés aux terrains salifères. Par contre aux niveaux des points d'eau P1, P2, P3, P6, P8, P14, P15 le rapport s'inverse. Il détermine la prédominance du sodium sur le chlorure (présence d'évaporite)

### 3.2. Représentation graphique des résultats :

#### 3.2.1. Diagramme de Piper :

Ce diagramme permet de catégoriser le faciès chimique d'une eau et d'étudier l'évolution spatiotemporelle du chimisme d'une eau ou d'un aquifère (Zenguila, 2016). La figure n° 25 montre que le regroupement des points est en majeure partie sur les losanges des familles :

- Chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique.
- Chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

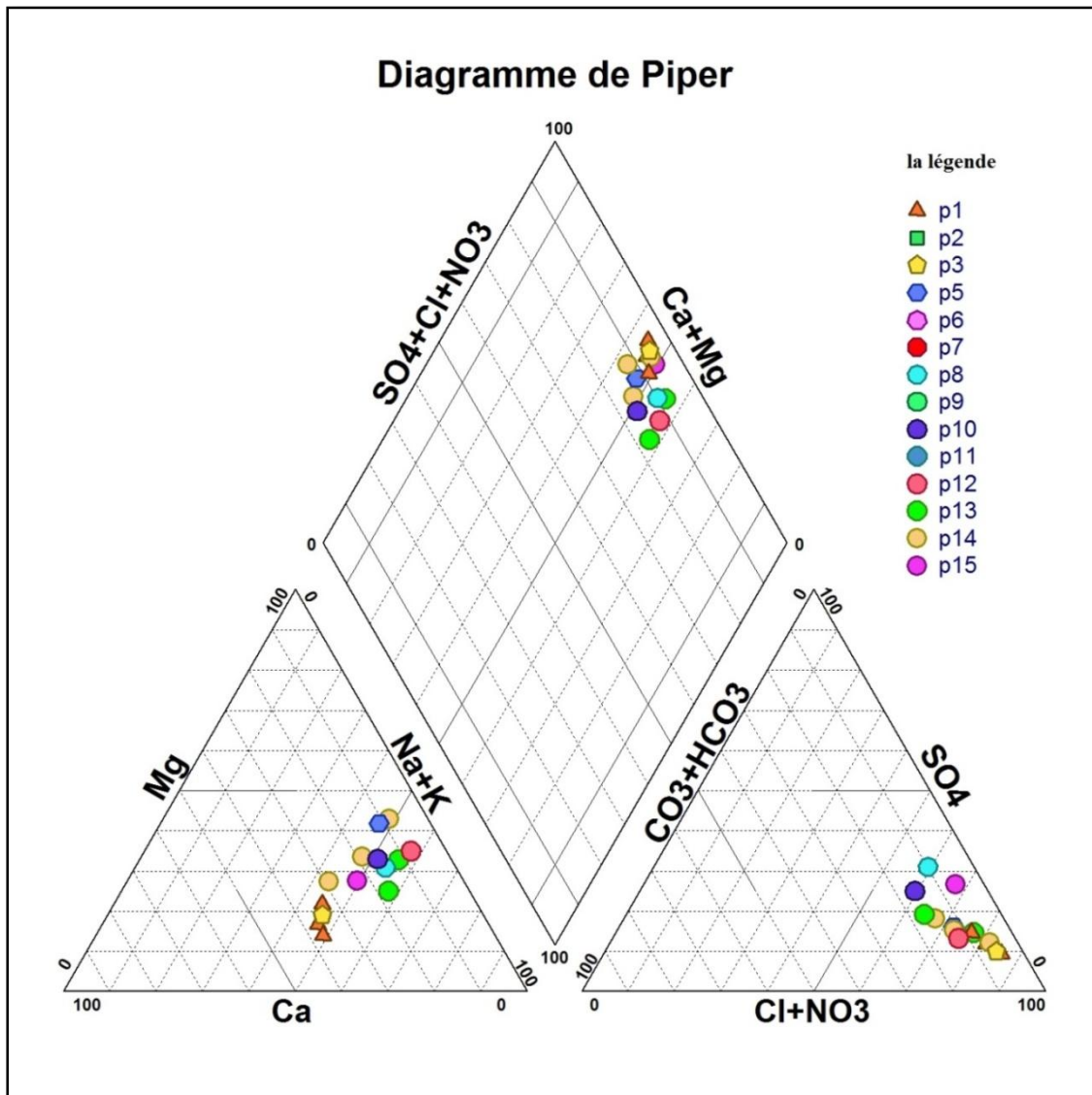


Figure n°23 : Représentation graphique d'après le diagramme de Piper des eaux échantillonnées (P1 à P15)

**3.2.2. Diagramme de Scholler Berkaloff :**

Le diagramme de Schöeller Berkaloff permet de représenter les faciès chimiques de plusieurs échantillons d’eaux dans un seul graphe. L’examen des diagrammes (figure n°24 et 25) permet de voir :

- La domination pour les cations du sodium et pour les anions des chlorures sur les autres éléments dans toute la zone d’étude.
- La domination de faciès Chloruré sodique dans toute la zone d’étude.

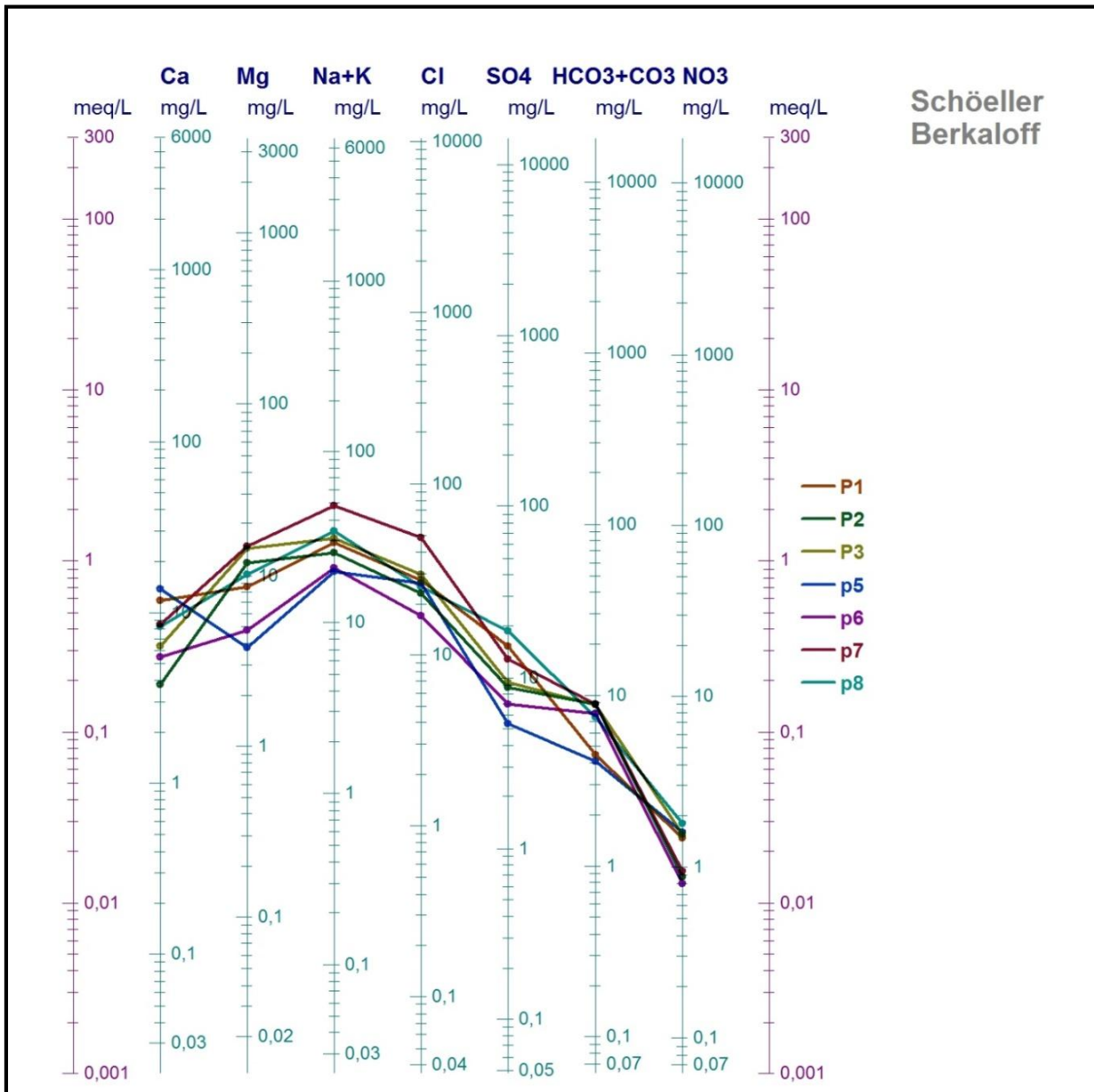


Figure n°24 : Représentation graphique d’après le diagramme de Piper des eaux échantillonnées (P1 à P8)

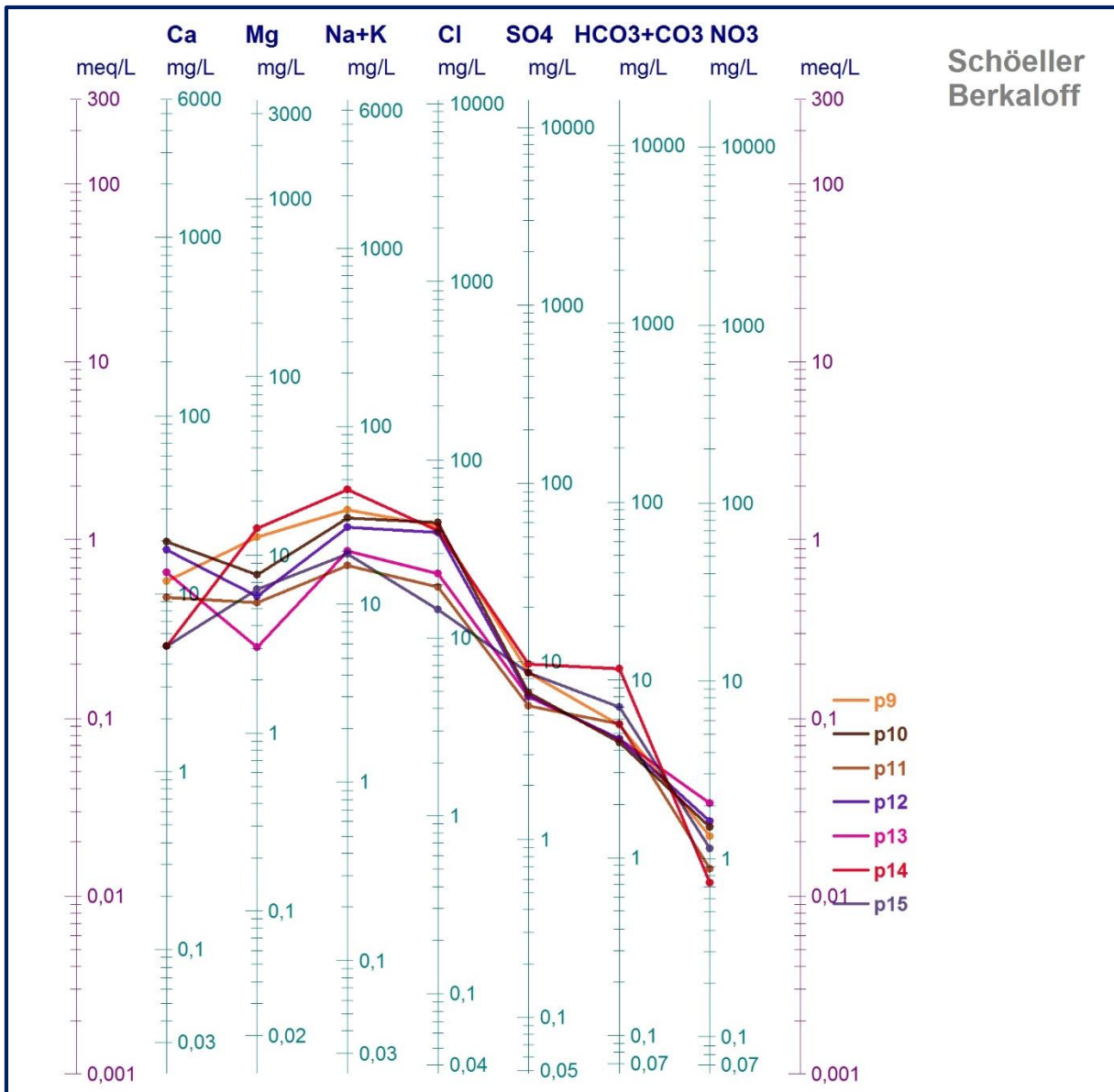


Figure n°25 : Représentation graphique d’après le diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux échantillonnées (P9 à P15)

### 3.2.3. Diagramme de Stiff :

Ce diagramme permet de mieux représenter individuellement chaque analyse. Il présente trois axes horizontaux gradués exprimant les concentrations en meq/l et un axe vertical à l’origine, où les cations sont représentés à sa gauche : Calcium, Magnésium et sodium+potassium. Les anions représentés à droite de l’axe sont : Chlorure, Bicarbonate et Sulfate.

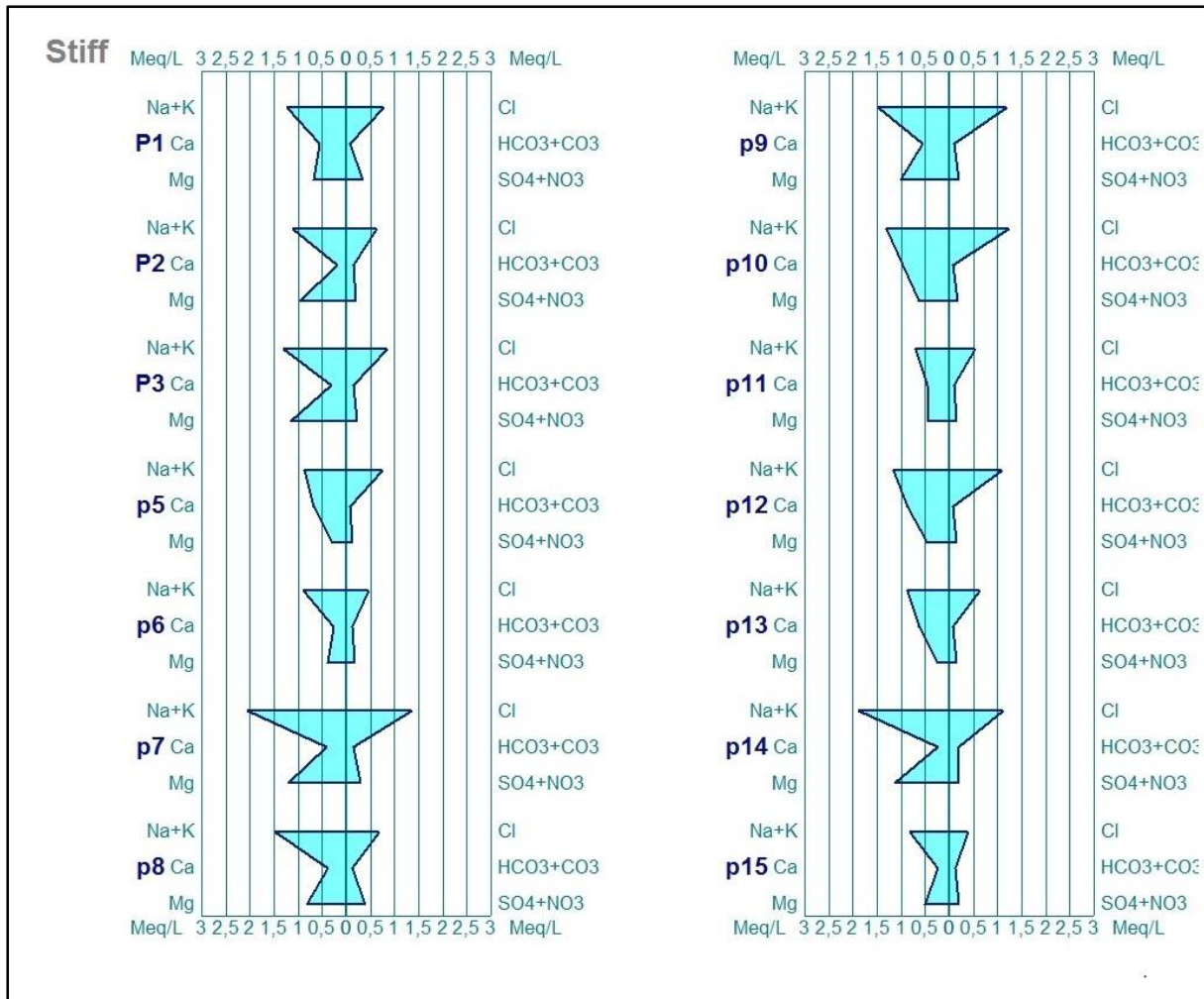


Figure n°26 : Détermination du faciès chimique des eaux

Le report des 15 points d'eau sur le diagramme de stiff (figure n° 26) montre que la majorité des points appartient aux familles des eaux :

- chlorurées sodique.
- chlorurées et sulfatées calcique et magnésien.

**3.3. Indice de Déséquilibre Chloro-alkalin (I.D.C) :**

L'indice de déséquilibre chloro alcalin est défini par la formule suivante :

$$I. D. C = [r Cl^- - r (Na^+ + K^+) / r Cl^-]$$

- ✓ Si I.D.C > 0 : les eaux sont plus riches en chlorures qu'en sodium. Les ions de Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> de l'eau sont remplacés par les ions Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> des formations encaissantes.
- ✓ Si I.D.C < 0 : les eaux sont riches en sodium et potassium liée à des terrains riche en fraction d'argile traversé par les eaux souterraines. Les ions Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> de l'eau sont échangés contre les ions Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> des formations encaissantes.
- ✓ si I.D.C = 0 : pas d'échange ionique.



L'examen des données du tableau n°15, montre que les eaux des puits P1, P2, P3, P6, P8 et P15 présentent un I.D.C négatif. Ceci pourrait indiquer qu'il y a un échange de base entre le calcium et le magnésium de l'eau de la nappe contre le sodium et le potassium des minéraux argileux des terrains traversés ; par contre les points d'eau P5, P7, P9, P10, P11, P12, P13 et P14, présentent un I.D.C positif : des ions de Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> de l'eau pourraient être remplacés par les ions Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> des formations encaissantes.

Tableau n° 15 : Les valeurs des indices de déséquilibre chloro-alkalin des différents points d'eau.

Point d'eau	I.D.C	Point d'eau	I.D.C
P1	-0.06	P9	0.2
P2	-0.11	P10	0.31
P3	-0.04	P11	0.15
P5	0.23	P12	0.30
P6	-0.23	P13	0.12
P7	0.01	P14	0.98
P8	-0.36	P15	-0.31

### 3.4. Calcul des indices de saturation :

Les indices de saturation permettent de déterminer l'état thermodynamique du milieu aquifère par rapport à certains minéraux.

$$IS = \log (PAI / K)$$

- ✓ PAI : représente le produit de solubilité exprimé à l'aide des activités.
- ✓ K : la constante d'équilibre relative à la dissolution du minéral.

Pour le cas de la calcite :



Donc le produit d'activité ionique :

$$PAI = aCa^{2+} \cdot aCO_3^{2-} \text{ avec } (aCa^{2+} = \text{activité de l'ion } Ca^{2+}).$$

A l'état d'équilibre thermodynamique, le produit de solubilité de la calcite (KCaCO<sub>3</sub>) est :

$$KCaCO_3 = (a Ca^{2+} \cdot aCO_3^{2-}) / a CaCO_3.$$

Alors, l'indice de saturation exprimé est :

$$IS = \log (PAI / KCaCO_3)$$

Si :

IS = 0 : l'eau est saturée vis-à-vis de la calcite

IS > 0 : l'eau est sursaturée par rapport à la calcite

IS < 0 : il montre que l'eau est sous-saturée vis-à-vis de la calcite

Le calcul des indices de saturation a été obtenu en utilisant le logiciel Diagramme 54", (R. Simler, version 5.3, 2010), (Boubkeri, 2013). Les résultats sont représentés dans le tableau n° 16.

Tableau n° 16 : Indices de saturation des eaux de la zone d'étude.

points d'eau	Cl <sup>-</sup>	Is Calcite	Is Dolomite	Is Aragonite	Is Gypse	Is Anhydrite
P1	974	0.57	0.49	0.43	-0.35	-0.60
P2	821	0.64	1.22	0.49	-1.05	-1.30
P3	1054	0.38	0.63	0.24	-0.82	-1.06
P5	934	0.17	-0.73	0.02	-0.68	-0.92
P6	601	0.33	0.08	0.19	-0.93	-1.17
P7	1729	0.50	0.77	0.36	-0.61	-0.85
P8	888	0.26	0.09	0.12	-0.43	-0.67
P9	1515	0.35	0.18	0.20	-0.62	-0.87
P10	1582	0.30	-0.27	0.16	-0.50	-0.73
P11	687	0.52	0.30	0.37	-0.79	-1.03
P12	1381	0.41	-0.14	0.27	-0.54	-0.78
P13	814	0.35	-0.46	0.20	-0.63	-0.87
P14	1428	0.48	0.93	0.33	-0.93	-1.16
P15	514	0.27	0.13	0.12	-0.88	-1.12

Les résultats figurés dans le tableau n° 16 montrent que les eaux étudiées présentent des degrés de saturation variables :

- Par rapport à la calcite et à l'aragonite, qui varient respectivement de 0.17 à 0.64 et de 0.12 à 0.49, suivi de la dolomite qui varie de -0.73 à 0.96. Tous les points sont légèrement sursaturés, à proche de l'équilibre, sauf aux points d'eaux P5, P10, P12 et P13 qui sont légèrement sous-saturés par rapport à la dolomite.

- Par rapport au gypse et l'anhydrite, qui varient respectivement de -1.05 à -0.35 et de -1.17 jusqu'à -0.60. Tous les points sont faiblement sous-saturés à proche de l'équilibre.

La figure n°27 montre que les eaux de la nappe évoluent de l'état sous-saturé pour les éléments sulfatés (gypse et anhydrite) vers l'état sursaturé pour les éléments carbonatés (calcite, aragonite, dolomite) en passant par l'état d'équilibre pour la dolomite.

Les chlorures étant les principaux éléments conditionnant la minéralisation des eaux.

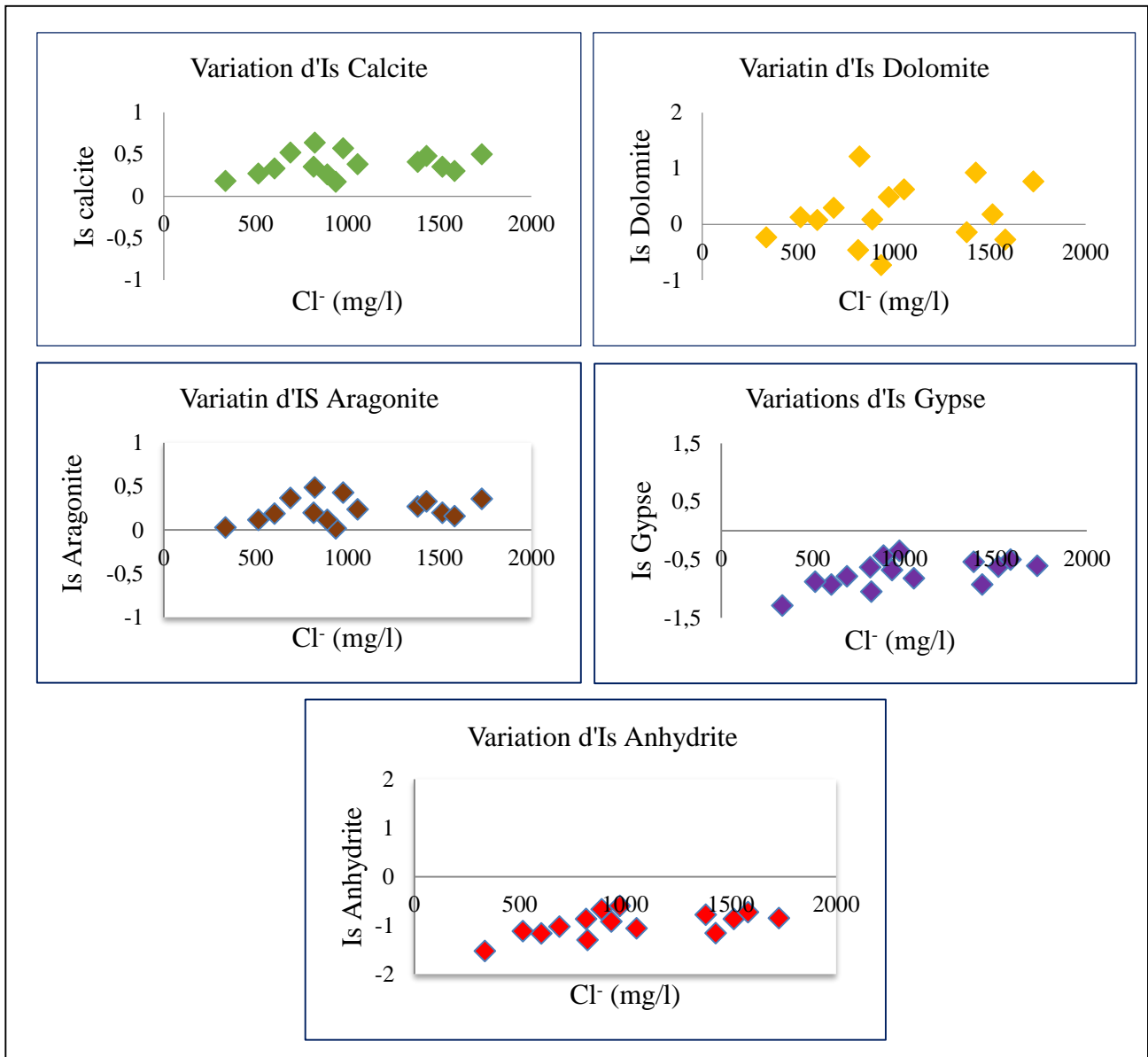


Figure n°27 : Variations d'Is de saturation.

### 3.5. Potabilité chimique des eaux :

#### 3.5.1. Les normes de potabilité :

On a examiné dans cette partie la qualité chimique des eaux, en le comparant aux Normes Algériennes de potabilité l'Organisation Mondiale de la Santé O.M.S (annexes n°5). A titre indicatif, les eaux à résidu sec égal ou supérieur à 1500 mg/l, seraient non potables.

#### 3.5.2. Qualité des eaux d'irrigation :

Les eaux superficielles et souterraines peuvent être utilisées aussi bien pour l'A.E.P que pour l'irrigation ou l'industrie. L'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux influent sur les caractéristiques du sol ce qui aura des répercussions sur le rendement de

l'activité agricole. L'étude chimique des eaux pour l'irrigation est nécessaire pour mettre en évidence le danger que présente certains éléments chimiques, pour les plantes qui supportent mal les sols saturés en sodium.

Pour l'irrigation, la méthode du taux d'absorption du sodium mis au point en 1969 par le Geological Survey a été appliquée. Cette méthode fait intervenir la salinité et le risque d'alcalinisation des sols. Le S.A.R donné par la formule :

$$\text{SAR} = r\text{Na} / \sqrt{(r\text{Ca} + r\text{Mg})/2}$$

La concentration de chaque ion est exprimée en méq/L. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. Selon le taux d'absorption de sodium (S.A.R), on a la classification suivante (tableau n°17) :

- SAR < 10 : eau à faible danger d'alcalinisation des sols, (eaux excellentes).
- 10 < SAR < 18 : eau avec un danger d'alcalinisation assez appréciable (eaux bonnes).
- 18 < SAR < 26 : eau avec un danger d'alcalinisation important (eaux convenables).
- SAR > 26 : eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort (eaux médiocres).

Le sodium est un élément de base des alcalins et alcalino-terreux jouant un rôle dans le maintien de la perméabilité des sols. Le pourcentage du sodium est un coefficient important dans l'application de la qualité des eaux d'irrigation.

Tableau n° 17 : Résultats des valeurs de SAR.

Nom	SAR	Qualité de l'eau
P1	9.02	eaux excellentes
P2	9.42	eaux excellentes
P3	9.37	eaux excellentes
P5	6.74	eaux excellentes
P6	9.17	eaux excellentes
P7	13.97	eaux bonnes
P8	10.89	eaux bonnes
P9	9.17	eaux excellentes
P10	8.16	eaux excellentes
P11	5.97	eaux excellentes
P12	7.87	eaux excellentes
P13	7	eaux excellentes
P14	14.04	eaux bonnes
P15	6.61	eaux excellentes

La comparaison des valeurs du SAR calculées du tableau n° 17 avec les valeurs portées au tableau n° 18, nous a permis de ressortir les résultats suivants :

- les points d'eau P1, P2, P3, P5, P6, P8, P9, P10, P11, P12, P13 et P15 appartiennent à la classe S1 avec un pourcentage de 85.72 %.
- les points d'eau P7 et P14 appartiennent à la classe S2 représente 4.28 %.
- L'absence d'échantillons appartenant à la classe S3 (00 %).

Le calcul du risque d'alcalinité montre que les deux échantillons, prélevés au P7 et au P14, sont caractérisés par un fort risque d'alcalinité.

Tableau n° 18 : Classes d'alcalinité selon l'U.S.S.L (1954).

Classes	SAR	Les échantillons	% correspondant
S1	<13	P1, P2, P3, P5, P6, P8, P9, P10, P11, P12, P13 et P15	85.72 %
S2	13- 23	P7 et P14	14.28 %
S3	>23	/	00 %

### Conclusion :

Les eaux de la zone d'étude présentent une salinité variable, elles sont caractérisées par :

- Une minéralisation relativement élevée (4638mg/L) en P7. Cette minéralisation est fortement contrôlée par le sodium, le magnésium, les sulfates et les chlorures.
- Une conductivité électrique qui varie entre 1.37mS/cm et 6.11 mS/cm.

Selon la classification chimique, le facies prédominant est chloruré sodique, voire calcique ou magnésien.

L'étude des indices de saturation montre que les eaux sont sursaturées par rapport à la calcite, l'aragonite et la dolomite, et sous-saturées par rapport au gypse et à l'anhydrite.

L'étude du S.A.R a confirmé que les eaux de notre secteur sont mauvaises pour l'irrigation et peuvent être présenté un risque d'alcalinisation des sols. La qualité hydrochimique des eaux de la nappe est non- potable.

***CHAPITRE 04 :***  
***ANALYSE STATISTIQUE DES***  
***DONNÉES***

#### **4.1. Traitement statistique des données hydro-chimiques :**

##### **4.1.1. Analyse en Composantes Principales :**

###### **4.1.1.1. Présentation générale de la méthode :**

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique descriptive ; son objectif est de présenter, sous une forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (Diday & al. 1982 ; Philipeau, 1992). Ce tableau doit être constitué, en lignes, par des individus sur lesquels sont mesurées des variables quantitatives (Gaudin, 1982 ; Diday & al.1982 ; Philipeau, 1992).

La méthode cherche d'abord l'indice pour lequel la variation des individus est maximale. Cet indice est appelé première composante principale ou premier axe principal.

Ensuite, une seconde composante est recherchée et ceci sous deux conditions :

- avoir une corrélation nulle avec la première.
- avoir, à son tour, la plus grande variance.

Le but de l'analyse en composantes principales (ACP) est de faire ressortir les différents points d'eau qui possèdent des mêmes caractéristiques est de voir l'évolution des concentrations en éléments chimiques par rapport à l'ensemble des points d'observation (Saporta G, 2006).

###### **4.1.1.2. Application de la méthode aux eaux de la zone d'étude :**

Nous avons appliqué l'ACP sur les 15 échantillons d'eau. Nous avons pris en considération les éléments majeurs suivants :  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , ainsi que le pH, la minéralisation. L'analyse en composante principale a été réalisée grâce au logiciel XLSTAT (Addinsoft, 2017).

###### **4.1.1.3. Paramètres statistiques élémentaires :**

Le calcul des paramètres statistiques permet de donner pour chaque variable les valeurs extrêmes (Minimum et Maximum), la moyenne et le coefficient de dispersion (écart-type).



Tableau n°19 : Statistiques descriptives des variables en (mg/l).

Variable	Unités	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
pH	/	7,03	7,800	7,31	0,21
Min	mg/l	1040,00	4638,00	2958,77	885,57
Ca <sup>++</sup>	mg/l	76,00	395,00	207,62	97,02
Mg <sup>++</sup>	mg/l	37,00	179,00	109,46	51,59
Na <sup>+</sup>	mg/l	375,00	1093,00	666,15	210,27
K <sup>+</sup>	mg/l	4,00	47,00	13,23	13,01
Cl <sup>-</sup>	mg/l	514,00	1729,00	1108,31	371,43
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	250,00	704,00	407,23	143,76
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	257,00	890,00	444,15	191,38
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	46,00	128,00	82,46	26,65

D'après le tableau n°19, nous remarquons que les valeurs des écart-types des variables Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> et SO<sub>4</sub><sup>-</sup> sont importantes confirmant la grande dispersion entre ces valeurs.

Pour les cations, c'est le sodium qui prédomine avec une valeur de « 666 mg/l » devant le calcium « 208 mg/l », et le magnésium « 109 mg/l ».

Pour les anions, ce sont les chlorures qui prédominent avec une valeur moyenne de « 1108 mg/l » devant les sulfates «444mg/l ».

**4.1.1.4. Matrice de corrélation :**

Les coefficients de corrélation entre les teneurs des différents éléments majeurs sont données par le tableau n°20.

Tableau n°20 : Matrice de corrélation (Pearson (n)).

variables	pH	Min	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
pH	1									
Min	-0,048	1								
Ca <sup>++</sup>	-0,678	0,079	1							
Mg <sup>++</sup>	0,380	0,003	-0,496	1						
Na <sup>+</sup>	0,052	-0,083	-0,198	<b>0,827</b>	1					
K <sup>+</sup>	-0,032	0,501	-0,278	0,414	0,345	1				
Cl <sup>-</sup>	-0,283	-0,158	0,364	0,538	<b>0,784</b>	-0,055	1			
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,453	-0,108	-0,825	<b>0,725</b>	<b>0,588</b>	0,293	0,111	1		
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,224	0,382	-0,303	0,488	0,535	<b>0,825</b>	0,090	0,284	1	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,557	0,306	<b>0,595</b>	-0,365	-0,250	0,299	-0,040	-0,624	0,102	1

On remarque que la majorité des éléments majeurs sont corrélés positivement entre eux sauf les nitrates et les bicarbonates. L'observation du tableau de la matrice, nous permet de faire ressortir les bonnes corrélations par ordre décroissant entre :

- |  |  |
|--|--|
| 1. Mg <sup>++</sup> et Na <sup>+</sup> (r=0,827).            | 4. Mg <sup>++</sup> et HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (r= 0,725). |
| 2. K <sup>+</sup> et SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (r=0,825). | 5. Ca <sup>++</sup> et NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (r= 0,588).  |
| 3. Na <sup>+</sup> et Cl <sup>-</sup> (r= 0,784).            | 6. Na <sup>+</sup> et HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (r= 0,588).  |

**4.1.1.5. Diagonalisation**

**a. Etude des valeurs propres :**

Une valeur propre représente la variation des individus sur l'axe. Le tableau n°21 met en évidence les valeurs propres de chaque axe factoriel, ces valeurs sont exprimées en pourcentage de variance totale ainsi que leur cumul. Nous remarquons que le premier axe a une valeur propre égale à 4.3, il explique 38.68 % de la variance totale. Le second axe a une valeur propre égale à 3.11, soit 28.25 % de la variance totale. Ces deux premiers axes englobent l'ensemble de l'information avec 67 % de la variance totale.

*Tableau n°21 : Valeurs propres et pourcentage de la variance Expliquée par les axes principaux*

Variabes	F1	F2
Valeur propre	4.26	3.11
Variabilité(%)	38.68	28.25
Cumulé%	38.68	66.93

**b. Etude des variables :**

Le cercle des corrélations de la figure n° 28 ci-dessous représente l'espace des variables considérées. Il permet l'individualisation de trois groupes qui diffèrent par leur corrélation plus ou moins significative :

- Un 1er groupe présentant une forte corrélation rassemblant les éléments Cl, Na, K, SO<sub>4</sub>, Mg et la minéralisation montrant la contribution des sodiums et des chlorures dans la valeur de la minéralisation et du faciès chimique des eaux de la région étudiée.
- Un 2ème groupe rassemblant les éléments NO<sub>3</sub> et Ca, indiquant leur origine différente. Les teneurs en nitrates sont probablement dues à la pollution.
- Un 3ème groupe rassemblant les éléments pH et HCO<sub>3</sub> qui sont corrélés négativement à l'axe F2. Ces deux éléments conditionnent les équilibres calco-carboniques de l'eau.

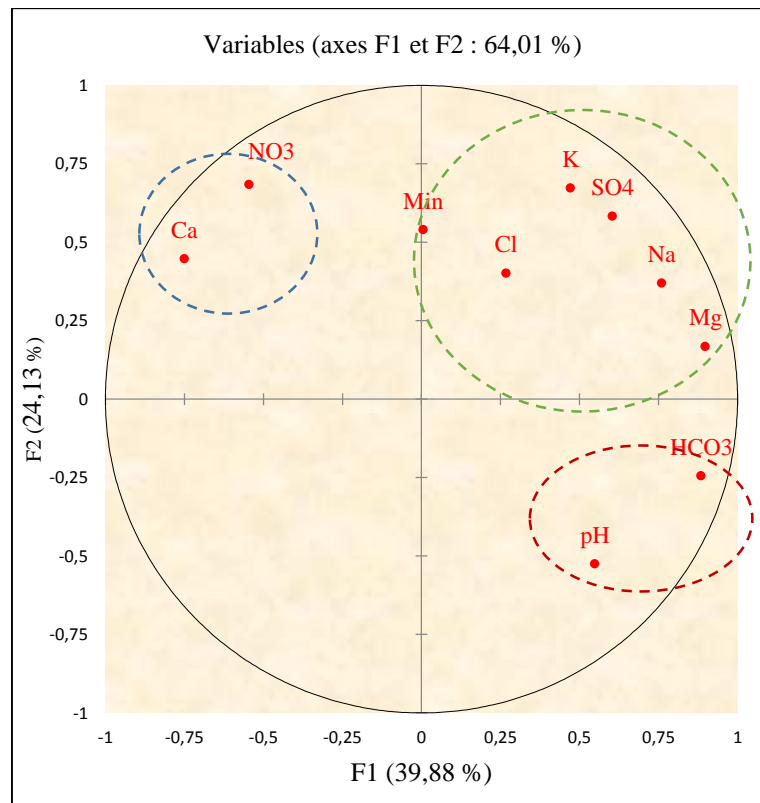


Figure n°28 : Cercle des corrélations : axes 1 et 2,  
Etude des variables

### c. Etude des individus :

La projection de l'espace des individus (figure n°29) sur le plan F1-F2 montre l'individualisation de trois groupes:

- Groupe 1 : représenté par les points d'eau P2, P5, P6, P11, P13, P15. Ce groupe est caractérisé par des minéralisations qui varient entre 1822 et 2660 mg/l (faible minéralisation).
- Groupe 2 : représenté par les points P1, P8, P3, P9, P10, P12. Ces puits sont caractérisés par une minéralisation qui varie entre 3120 et 3704 mg/l (minéralisation moyenne).
- Groupe 3: représenté par les points d'eau P7, P14. Ces points d'eaux sont caractérisés par une forte minéralisation (entre 4000 et 4638 mg/l).

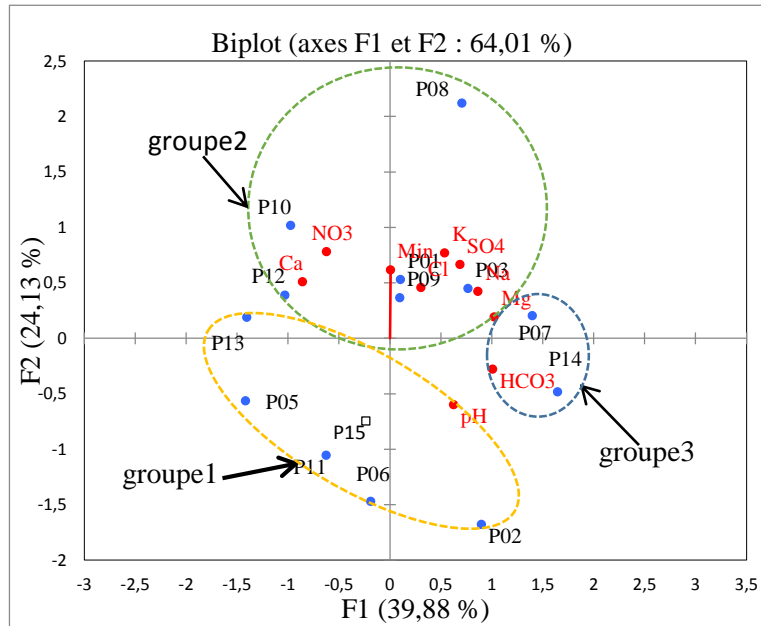


Figure n°29: Étude des variables et des individus de la zone Étudiée selon le plan F1-F2

## 4.2. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) :

### 4.2.1. Principe de la méthode :

C'est une méthode de classification automatique utilisée en analyse des données ; à partir d'un ensemble de  $n$  individus, son but est de répartir ces individus dans un certain nombre de classes (Morineau A, 2000). Son principe est simple :

1. On commence par le calcul de la dissimilarité entre les  $N$  objets.
2. On regroupe les deux objets dont le regroupement minimise un critère d'agrégation donné, créant ainsi une classe comprenant ces deux objets.
3. On calcule ensuite la dissimilarité entre cette classe et les  $N-2$  autres objets en utilisant le critère d'agrégation. Puis on regroupe les deux objets ou classes d'objets dont le regroupement minimise le critère d'agrégation.
4. On continue ainsi jusqu'à ce que tous les objets soient regroupés.

### 4.2.2. Résultats pour la Classification Ascendante Hiérarchique dans le secteur d'étude :

Les données utilisées dans cette classification correspondent aux données hydrochimiques des quatorze points de prélèvement. Pour la méthode d'agrégation utilisée est celle de Ward (inertie).

L'application de la méthode CAH au moyen du logiciel XLSTAT nous a permis de faire ressortir les deux dendrogrammes. Le dendrogramme complet de la figure n°30 permet de visualiser le regroupement progressif des objets. Il représente de manière claire la façon

dont l'algorithme procède pour regrouper les individus puis les sous-groupes. La ligne en pointillé représente la troncature. Ce dendrogramme est réparti en deux grands groupes :

-1<sup>er</sup> groupe : se divise en deux sous-groupes, incluant les deux classes C1 et C2.

- 2<sup>ème</sup> groupe : représenté par la classe C3.

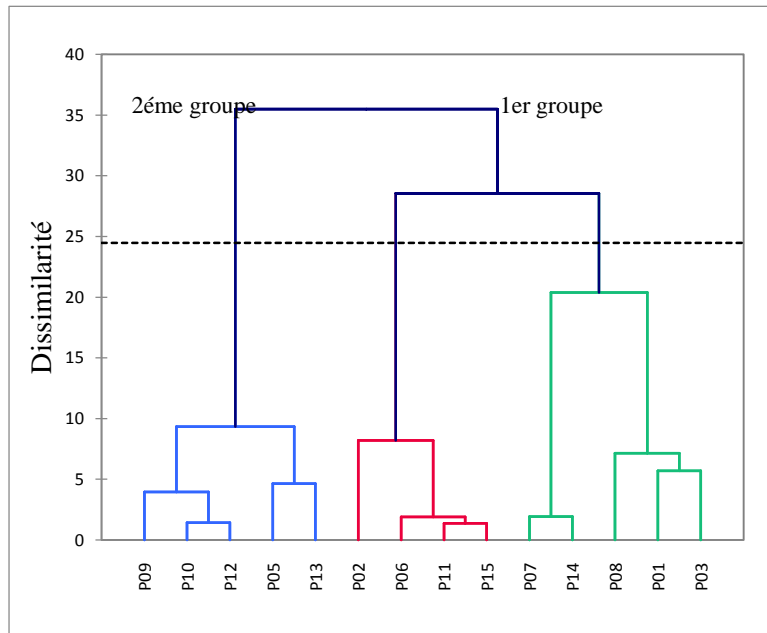


Figure n°30 : Dendrogramme complet visualisant le regroupement Progressif des objets

Après troncature, le dendrogramme permet de visualiser trois classes (figure n°31).

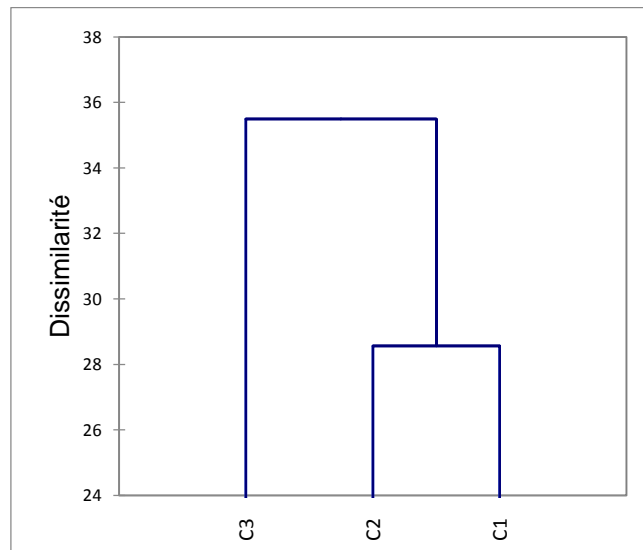


Figure n°31 : Le dendrogramme tronqué

Les résultats par classes sont présentés au tableau n° 22, où sont indiqués pour chaque classe ces objets (individus) inclus. Chacune de ces classes représente un ordre de grandeur de la minéralisation de l'eau.

Tableau n°22 : Classes des objets (individus).

Classes	1	2	3
Objets (individus)	P1	P2	P5
	P3	P6	P9
	P7	P11	P10
	P8	P15	P12
	P14		P13

### 4.2.3. Comparaison des résultats :

La comparaison des résultats de l'ACP et de la CAH sont résumés dans le tableau n° 23.

Tableau n° 23 : Comparaison des résultats obtenus par ACP et CAH.

Groupes d'ACP	Individus	Groupes de CAH		Individus
		Grandes groupes	Sous-groupes	
Groupe 1	P2, P5, P6, P11, P13, P15.	1 <sup>er</sup> groupe	Groupe 2	P2, P6, P11, et P15.
			Groupe 1	P1, P3, P7, P8 et P14.
Groupe 2	P1, P8, P3, P9, P10, P12.	2 <sup>ème</sup> groupe	Groupe 3	P5, P9, P10, P12 et P13.
Groupe 3	P7, P14			

D'après ce tableau, nous remarquons que le groupe1 individualisé par l'ACP est subdivisé en deux groupes par la CAH. Le groupe 3 de l'ACP est correspond au groupe 1 de la CAH. Ceci montre que l'ensemble des regroupements est établi sur la base des classes de minéralisation.

### Conclusion :

Le traitement statistique des données par l'ACP a permis de faire ressortir trois groupes :

- Groupe 1 : caractérisé par une minéralisation relativement faible.
- Groupe 2 : caractérisé par une minéralisation moyenne.
- Groupe 3: caractérisé par une forte minéralisation.

L'étude par la CAH a permis de différencier les individus en deux grands groupes, répartis en trois sous-groupes, presque identiques à ceux déduits de l'ACP. Ce classement s'est établi sur la base de la salinité ou de la minéralisation.

***CONCLUSION  
GÉNÉRALE***



L'intérêt de ce travail est la caractérisation hydrochimique de l'aquifère de la région de Hassi Aneur par l'utilisation des différentes méthodes statistiques.

Il ressort de cette étude que notre région jouit d'un climat semi-aride à la limite d'un régime désertique.

Sur le plan géologique, les travaux qui ont été réalisés sur la région indiquent l'existence d'une structure constituée par deux grands ensembles géologiques :

- Un substratum anté à synchro nappe, affleurant dans le Djebel Murdjadjo, le Djebel Khar et dans les Monts d'Arzew, représenté par des massifs schisteux autochtones d'âges permo-triasique, jurassique et créacé, fortement affectés par l'orogénèse alpine.

- Un remplissage (couverture) post-nappe, avec une forte extension dans les zones basses du domaine.

Dans le volet hydrogéologique, un ensemble Astien-Calabrien forme un réservoir contenant une nappe libre de grande extension. Cet aquifère est constitué par les grès lumachelliques, grés jaunes du Calabrien et les grés du Pliocène "Astien".

La carte piézométrique régionale a permis de fournir des informations sur les sens d'écoulement souterrain et sur le mode d'alimentation du système aquifère. Elle montre une nappe radiale, à écoulement de direction Nord-Ouest / Sud-Est, légèrement convergente vers le secteur de l'agglomération de Hassi Aneur.

La zone industrielle de Hassi Aneur, créée en 1973, est devenue plus complexe par la variété des nouvelles activités, ce qui pourrait causer différents types de pollutions.

La caractérisation physico-chimique des eaux de cette nappe montre que l'eau est dans l'ensemble fortement minéralisée. Cette minéralisation est fortement contrôlée par le sodium, le magnésium, les sulfates et les chlorures.

Les eaux du secteur d'étude présentent globalement, un faciès chloruré sodique, voire calcique ou magnésien.

L'étude des indices de saturation nous a permis de mettre en évidence l'état d'équilibre des eaux de la nappe étudiée par rapport aux principaux minéraux carbonatés et sulfatés. Les eaux sont légèrement sursaturées en calcite, l'aragonite et dolomite, et sont sous-saturées en gypse et anhydrite.

Les eaux de la nappe de la zone d'étude sont mauvaises pour l'irrigation et peuvent présenter un risque d'alcalinisation des sols. Elles se classent parmi les eaux non-potables et ont un degré de dureté généralement élevé.

L'étude statistique des échantillons analysés par l'Analyse en Composante Principal ACP fait apparaître trois groupes d'individus selon leur minéralisation.

L'étude par la CAH, a permis de faire ressortir deux grands groupes, répartis en trois sous-groupes, conformément aux résultats de l'ACP.

***RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES***

## ***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

- 📖 **Agep-Sogreah. (1997)** : Etudes d'assainissement du groupement d'Oran, Mission B : Drainage de la zone Sud du PUD, Vol III, Texte provisoire Ingénierie. Grenoble.
- 📖 **Adda M et Bouchenouk I. (2007)** : Etude hydrochimique et bactériologique des eaux souterraines de la partie occidentale de l'agglomération oranaise (secteur d'el hass ex : pont albin). Mémoire d'ingénieur d'Etat, Université d'Oran.
- 📖 **ANRH. (2009)** : Réalisation de la carte des ressources en eau souterraines du Nord de l'Algérie.
- 📖 **ANRH. (2012)** : Résultats des analyses chimiques fondamentales et complémentaires.
- 📖 **Adda M. (2013)** : Caractérisation hydrochimique et pollution des eaux souterraines en contexte urbain : Cas de l'agglomération Oranaise (Algérie). Mémoire de magister, FSTGAT, Université d'Oran.
- 📖 **Boubkeri. (2013)** : Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines en contexte industriel : cas de la zone industrielle de Hassi Ameer (région d'Oran). Mémoire de magister, FSTGAT, Université d'Oran.
- 📖 **Diday & al. (1982)** : Eléments analyses des données. Edition, Dunod, Paris.
- 📖 **Enrend. (1998)** : Évaluation de l'état environnemental de l'unité de mécanique lourde et de chaudronnerie sous pression de l'entreprise SIMAS Hassi Ameer-Wilaya d'Oran.
- 📖 **Fenet B. (1975)** : Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir d'un élément de l'Orogenèse nord-maghrébin : Les Monts du Djebel Tessala et les Massifs du littoral oranais. Thèse de doctorat Es Sciences.
- 📖 **Gourinad Y. (1952)** : Le littoral oranais (mouvements verticaux et anomalies gravimétriques). Congrès. Géol. Inter. Alger, Monographie régionales (1), 22, 63 p.
- 📖 **Gourinard Y. (1958)** : Recherches sur la géologie du littoral Oranais II. Epeirogenesis et nivellements. Publication du service de la carte géologique de l'Algérie.
- 📖 **Haddar L. (1986)** : Contribution à l'étude hydrogéologique du piémont du Djebel Khar entre le lac Telamine et Hassi Ameer. Mém. Ing. Université d'Oran.
- 📖 **Hassani M. I. (1987)** : Hydrogéologie d'un bassin endoréique semi-aride. Le bassin versant de la grande sebkha d'Oran (Algérie). Doctorat 3ème cycle. Université de Grenoble.
- 📖 **Morineau A. (2000)** : Statistique exploratoire multidimensionnelle. Dunod, 3<sup>ème</sup> édition.

- 📖 **OMS. (2006)** : Normes internationales pour l'eau de boisson.
- 📖 **ONM. (1997-2010)** : Données climatologies de station d'Es-Sénia.
- 📖 **Perrodon A. (1957)** : Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie Occidentale, Publ. Serv. Carte Géol. Algérie, 12, 328 pp.
- 📖 **Philipeau. (1992)** : Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales. Edition, Dunod, Paris.
- 📖 **Saporta G. (2006)** : Probabilités, Analyse des Données et Statistique, Technip, 3ème édition.
- 📖 **SGL. (2009)** : Zone industrielle de Hassi Ameur. Plan parcellaire.
- 📖 **Thomas G. (1985)** : Géodynamique d'un bassin intramontagneux. Le bassin de bas Chélif occidental (Algérie) durant le moi-plio-quadernaire. Thèse Doc. U de Pau. 594 p. 161 fig. B.
- 📖 **Thinthoin R. (1948)** : Les aspects physiques du Tell Oranais essai de morphologie du pays semi-aride. Thèse doc. Es lettres. Musée d'Oran. 589 p. 86 fig. 83 pl.
- 📖 **Zenguila Z. (2016)** : Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines de la région d'Aoulef wilaya d'Adrar. Mémoire de master, Université de Tlemcen.

#### **Les sites web:**

<https://fr.wikipedia.org/wiki/>  
<https://help.xlstat.com/.../2062222-analyse-en-composantes-principales-acp-avec-xlstat>.  
<https://www.statsoft.fr/concepts-statistiques/classification>.  
<https://www.xlstat.com/fr/solutions/.../classification-ascendante-hierarchique-cah>.

#### **Programmes et logiciels :**

- Corel DRAW Graphiques Suite, version 12.0.
- Mapinfo Professional, version 8.0.
- Logiciel XL STAT (version 7.2.2).
- Logiciel Diagramme (R. Simler, 2002).

# ***ANNEXES***



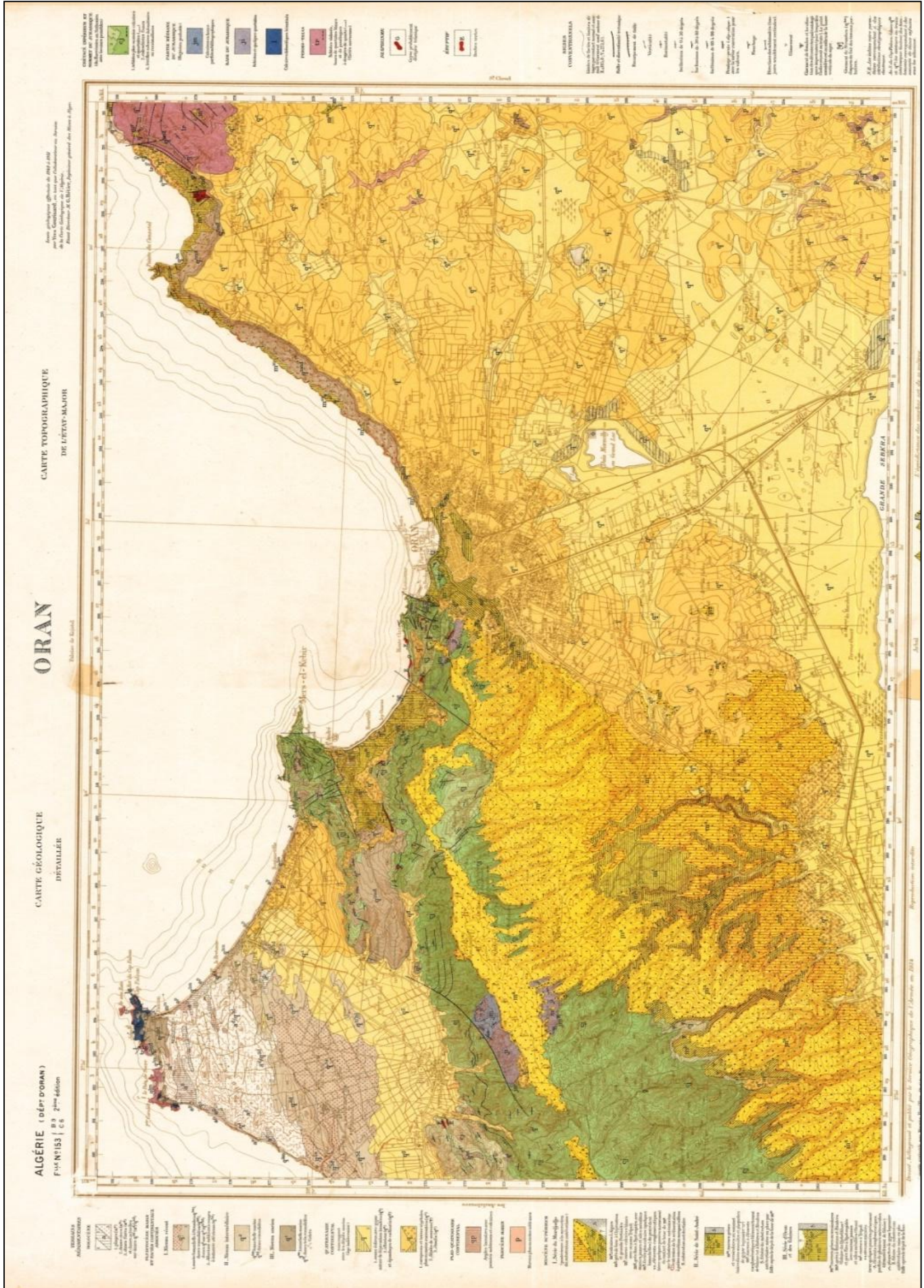


Figure n° 01 : Carte géologique de la feuille d'Oran au 1/50 000 (Y. Gourinard, 1957).



ANNEXE 2

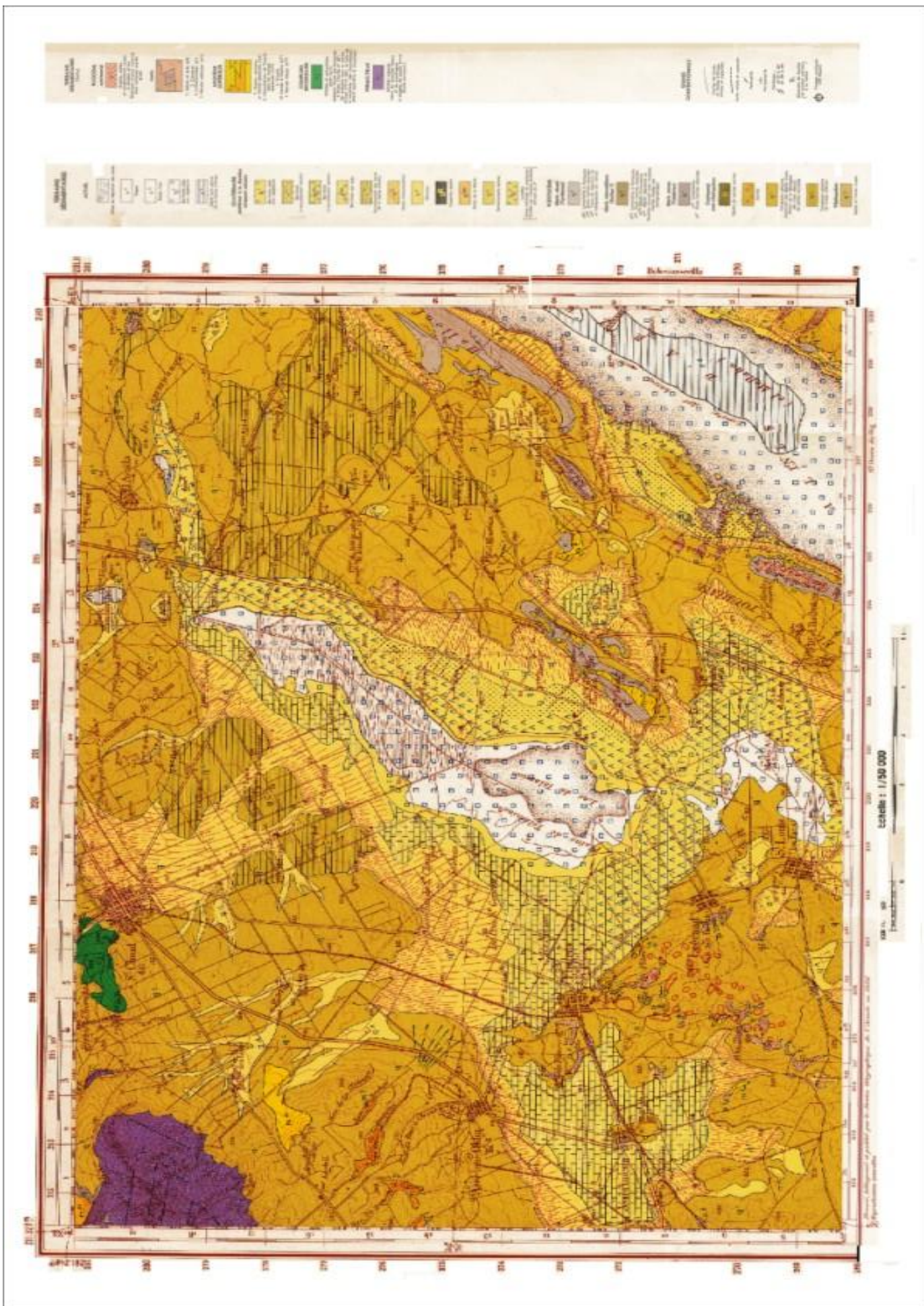


Figure n° 02 : Carte géologique de St Cloud 1/50.000, 1957 (Extrait).

### ANNEXE 3

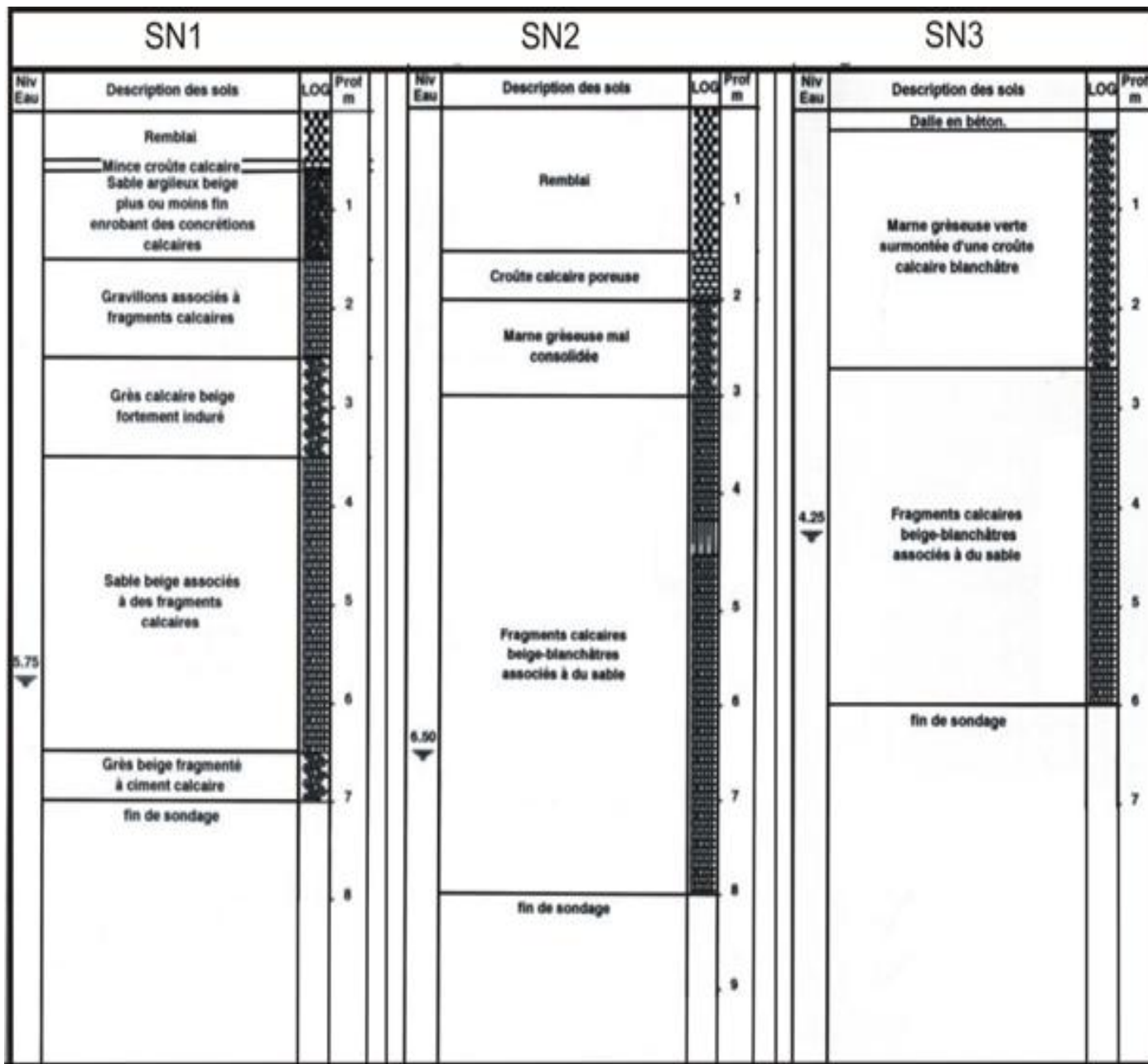


Figure n° 03 : Coupes des sondages SN1, SN2 et SN3 exécutés au sein de l'unité SIMAS (LTPO, 1998)

## ANNEXE 4

*Tableau n°03 : Normes des paramètres organoleptiques (OMS).*

Paramètres	Niveau Guide	Concentration max. admissible	Observation
Couleur unité p <sup>t</sup> /mg	5	2	-
Turbidité mg/l	5	10	Détermination gustative et olfactive
Odeur	0	2	Détermination gout
Saveur	0		gout

*Tableau n°04: Normes des paramètres physico-chimiques (OMS)*

Paramètres	Unité	Niveau guide	Concentration maximale admissible	Les échantillons dépassant la concentration maximale
PH	-	6.5	9	/
Conductivité	µs/cm	200	1000	Tous les échantillons.
Résidu sec	mg/l	-	1500	Tous les échantillons.
Dureté totale	°F	-	50	Tous les échantillons.
Calcium	mg/l	-	100	Tous les échantillons à l'exception de P2.
Magnésium	mg/l	-	50	Tous les échantillons à l'exception de P13.
Sodium	mg/l	-	150	Tous les échantillons.
Potassium	mg/l	-	12	P1, P3, P8, P14.
Sulfates	mg/l	-	250	Tous les échantillons.
Chlorures	mg/l	-	600	Tous les échantillons à l'exception de P15.
Oxygène dissous	mg/l	-	5	
Aluminium	mg/l	-	0.2	
Température	°C	-	25	/