

UNIVERSITE BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Chimie Industrielle

THESE DE DOCTORAT

En Chimie Industrielle

IMPACT DE L'EXPLOITATION DES CARRIERES DE SABLE SUR LA QUALITE DES EAUX - Cas de la Mitidja.

Présentée Par

Kheira KHOULI née REMAL

Devant le jury composé de :

A. AOUABED	Prof. Univ. Saad Dahlab - Blida 1	Président
O. BOURAS	Prof. Univ. Saad Dahlab - Blida 1	Examineur
T. BOUZIANE	Prof. Univ. Mohamed Khider - Biskra	Examineur
A. SAAD HAMOUDI	Prof. Univ. Hassiba Benbouali - Chlef	Examineur
M. HABI	Prof. Univ. Abou Bekr Belkaid - Tlemcen	Examineur
B. REMINI	Prof. Univ. Saad Dahlab - Blida 1	Directeur de Thèse

Blida, Mai 2017

Dédicace

Je dédie ce travail

A tous ceux qui me sont chers

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il Faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,

L'amour

Le respect, la reconnaissance...

REMERCIEMENTS

Je remercie chaleureusement mon rapporteur, **Monsieur REMINI BOUALEM**, Professeur à la faculté de technologie, Université de Blida 1, qui a accepté de diriger ce travail, de le suivre dans tous ses détails avec une rigueur scientifique exceptionnelle. Je le remercie pour la confiance qu'il m'a témoignée en me confiant ce travail, qui m'a permis de découvrir le monde passionnant des zones humides de manière générale, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Mes sincères remerciements s'adressent aux membres du jury :

Monsieur AOUABED ALI, Professeur à la faculté de technologie, Université de Blida 1, pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury. Il m'est agréable de lui présenter mes remerciements les plus distingués ;

Monsieur HABI Mohamed, Professeur, Université de Tlemcen ;

Monsieur SAAD HAMOUDI. A, Professeur, Université de Chlef ;

Monsieur BOUZIANE Toufik, Professeur, Université de Biskra ; et

Monsieur BOURAS OMAR, Professeur, Université de Blida1 ; qui ont accepté de juger, d'évaluer, de contribuer à l'amélioration de ce travail, et d'enrichir le débat aux côtés du professeur REMINI BOUALEM, mon directeur de thèse. Je tiens à exprimer ma reconnaissance à :

Monsieur HADJ KADDOUR BOUMEDIENE, Professeur, Université de Blida1 ; malgré ses obligations, il a accepté de me faire la traduction de mon article, merci encore.

Monsieur MESSAOUD NACER, Professeur, Université de Blida1 ; qu'il trouve ici ma reconnaissance pour ses conseils, et ses remarques importantes.

Monsieur CHEBBAH MOULOUD, Directeur de l'ANRH à BLIDA, pour m'avoir accompagné sur le terrain, et pour toutes les facilités qu'il m'a donné pour accéder aux données nécessaires à la réalisation de ce travail.

Mes sincères et chaleureux remerciements vont à **Madame BOUCHENAF NAIMA**, Professeur à la faculté de technologie, université de Blida 1, pour ses conseils précieux.

Je tiens à remercier mon fils **Walid Amir** pour son aide sans limite dans la partie statistique, tu as été un super coach et c'est grâce à toi que j'y suis arrivé, un grand MERCI.

Un énorme merci à mon mari, et à ma chère fille adorée **Asma**. Ils m'ont soutenu, encouragé à aller de l'avant. Tout le mérite leur revient, un grand merci à eux. Que ce travail soit le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A tous ceux qui ont contribué à ce rêve pour qu'il soit réalité et dont les noms n'ont pas été cités, je leur exprime ma sincère gratitude. Que tous veuillent bien trouver ici le témoignage de mes plus vifs remerciements.

MERCI

ملخص

المياه السطحية المتواجدة على مستوى المقطع لزرق قرب حمام ملوان معروفة بنوعيتها الجيدة. ولكن فقط على المصب ، وعلى طول واد الحراش فإن المياه تكون مُصَفَّرَة نتيجة لتشغيل محجر مخصص لاستخراج الحصى والرمل.

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم تأثير استخراج الحصى على الجودة الفيزيائية والكيميائية لموارد المياه السطحية من موقع المحجر « SAMBA » .

تمّ تحديد عشرُ عوامل فيزيوكيميائية من ستّ نقاط لأخذ العينات وكذلك قياس التعكّر. تمت معالجة النتائج باستخدام الرسم البياني بيبر و بعكوف الذي سمحت بتحديد اربع مجموعات من المياه. التحاليل فيزيوكيميائية لعينات الماء المأخوذة من المنبع و المصب للمحجر أثبتت في غالبيتها أن تراكيز العناصر الكيميائية لم تتغيّر في مصبّ المحجر. لكن العوامل الفيزيائية (تعكر الماء في المصب, بقايا جافة)و تراكيز عناصر الصود و الكلور قد زادت بشكل ملحوظ.

الناقلية الكهربائية لمياه منطقة الدراسة مرتفعة وتتراوح ما بين 510 و 2570 $\mu\text{s.cm}^{-1}$, و درجة حموضة المياه تتغير من 7.8 إلى 8.3 ، هذا يعني أنّ المياه تعتبر قاعدية.

تحليل المكونات الأساسية و التصنيف الهرمي التصاعدي (CAH) تشير إلى أن تمعدن مياه المنطقة يتحكم فيه عن طريق ثلاث عوامل. يتعلق الأمر بمدة بقاء التمعدن ؛ **pluviolessivage** الأتربة بالمياه السطحية و تأثير الأنشطة البشرية في تلوث المياه السطحية.

كلمات البحث : المياه السطحية –المحجر -الجودة الفيزيائية والكيميائية - تأثير- ACP – HCA

ABSTRACT

The surface water of Megtaa Lazreg zone, close to Hammam Melouane (a touristic area in Algeria), is well known for its good quality. However, in the downstream part, along El Harrach wadi, the water presents yellowish appearance which is potentially related to the gravel and sand extracted from the quarry located in the vicinity.

The main objective of this study was the assessment of aggregates extraction impact on the surface water resource quality in quarry site.

Ten physicochemical parameters are determined for each of the six sampling points, as well as turbidity. The results are processed using diagrams of Piper and Berkaloﬀ which has identified four groups of water.

The physical and chemical analysis of water samples collected in upstream and downstream parts of the quarry showed that in downstream, the majority concentrations of chemical substances did not change. On the other hand the turbidity, the dry residues, sodium and chloride concentration have considerably increased. Thus, electrical conductivity varied between 510 and 2570 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, and the pH varied between 7.8 and 8.3 which indicated of the water is basic. More, the hierarchical cluster analysis (HCA) indicated that three factors controlled the mineralization of the region water; they are residence time, through fall soil by surface water and the influence of human activities on water pollution.

Keywords: Surface water- impact - physico chemical quality- quarry - ACP - CAH.

RESUME

Les eaux superficielles au niveau de Megtaa Lazreg à proximité de Hammam Melouane sont connues pour leur bonne qualité. Cependant juste à l'aval, le long de l'oued El Harrach l'eau est d'aspect jaunâtre sous l'effet de l'exploitation d'une carrière destinée à l'extraction de graviers et de sables. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de l'extraction des granulats sur la qualité physico-chimique des ressources en eau de surface du site de la carrière « SAMBA ». Dix paramètres physicochimiques sont déterminés pour chacun des six points de prélèvement, ainsi que la turbidité. Les résultats sont traités à l'aide des diagrammes de Piper et de Berkloff, lesquels ont permis d'identifier quatre groupes d'eau. Les analyses physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés à l'amont et à l'aval de la carrière ont montré, dans leur majorité, que les concentrations des éléments chimiques n'ont pas variée à l'aval de la carrière. Par contre, la turbidité, les résidus secs, et les teneurs en sodium, et chlorures ont considérablement augmentés. La conductivité électrique des eaux de la zone d'étude est élevée et varie entre 510 et 2570 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, et le pH des eaux varie entre 7.8 et 8.3, ce qui indique que les eaux sont basiques.

L'Analyse en Composantes Principales et la Classification Hiérarchique Ascendante (CAH) montrent que la minéralisation des eaux de la région résulte de la combinaison de trois phénomènes. En effet, le temps de séjour, le lessivage des sols par les eaux de précipitations, et les activités anthropiques participent au chimisme de ces eaux.

Mots-clés : Eau de surface - qualité physico chimique - impact - Carrière - ACP ACH.

SOMMAIRE

Liste des tableaux.....	12
Liste des Figures.....	14
Liste des abréviations.....	18
Introduction générale.....	19

CHAPITRE 1 L'EXPLOITATION DES CARRIERES

1.1. Introduction.....	21
1.2. Les sources de granulats naturels.....	22
1.2.1. Les carrières alluvionnaires.....	22
1.2.2. Les carrières en roches massive.....	22
1.3. La production de granulats en Algérie.....	23
1.4. Répartition géographique des ressources en Algérie.....	24
1.5. Condition d'ouverture d'une carrière.....	25
1.6. Principaux impacts d'exploitation des carrières sur l'environnement.....	25
1.6.1. Impact hydrologique.....	25
1.6.1.1. Impact sur les eaux souterraines.....	25
1.6.1.2. Impact sur les eaux superficielles.....	25
1.6.2. Impact sur la physico chimie des eaux.....	25
1.6.3. Impact hydrogéologique.....	25
1.6.4. Impact sur l'atmosphère.....	25
1.7. Conclusion.....	28

CHAPITRE 2

TRAVAUX ANTERIEURS RELATIFS AUX ETUDES D'IMPACT DE L'EXPLOITATION DES CARRIERES SUR LA POLLUTION DES NAPPES

2.1. Introduction.....	29
2.2. L'exploitation des carrières et la pollution des nappes.....	29

2.2.1. Sur le plan hydrodynamique.....	30
2.2.2. Sur le plan hydro thermique.....	32
2.2.3. Sur le plan hydrobiologique	32
2.2.4. Sur le plan hydromécanique.....	32
2.2.5. Sur le plan physico-chimique	33
2.3. Conclusion.....	44

CHAPITRE 3

REGION D'ETUDE, MATERIELS ET METHODES

3.1. Introduction.....	45
3.2. Situation géographique.....	45
3.3. Activité socio-économique.....	46
3.4. Caractéristiques générales.....	46
3.4.1. Hydrographie et biodiversité.....	46
3.4.2. Climatologie.....	47
3.4.2.1. Les précipitations.....	47
3.4.2.2. L'humidité relative.....	49
3.4.2.3. L'insolation.....	49
3.4.2.4. La température.....	50
3.5. Le cadre géologique général.....	51
3.5.1. Le cadre général.....	51
3.5.2. Le cadre local.....	51
3.5.3. Morphologie de la Mitidja.....	52
3.5.4. Stratigraphie de la Mitidja.....	52
3.5.4.1. Miocène et roches plus anciennes.....	53
3.5.4.2. Plaisancien.....	53
3.5.4.3. Astien.....	54
3.5.4.4. Villafranchien (Calabrien) : Formation d 'El-Harrach.....	54

3.5.4.5. Soltanien-Tensiftien (Tyrrhénien) : Formation de la Mitidja.....	55
3.5.4.6. Rharbien (Flandrien) : Dépôts récents.....	55
3.5.5. Cadre paléogéographique et tectonique.....	55
3.6. Hydrogéologie.....	56
3.6.1. La lithologie.....	56
3.6.2. La source thermale de Hammam Melouane.....	58
3.6.3. Les ressources hydriques de la région d'étude.....	59
3.6.3.1. Les ressource en eaux souterraines.....	59
3.6.3.2. Les ressource en eaux superficielles.....	59
3.7. Hydrologie.....	59
3.7.1. Le bassin versant du Mazafran.....	60
3.7.2. Le bassin versant d'EL Harrach.....	60
3.8. Pédologie.....	60
3.9. Matériel et méthodes.....	61
3.9.1. Méthodes d'analyse.....	62
3.9.1.1. Les méthodes analytiques.....	62
3.9.1.2. Traitement statistique.....	63
3.9.1.2.1. Analyse en composante principale (ACP).....	63
3.9.1.2.2. Classification Hiérarchique Ascendante (CAH).....	63
3.9.1.3. Recherche des principaux faciès hydrochimiques.....	63
3.9.1.3.1. Diagramme de Piper.....	63
3.9.1.3.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	64
3.10. Conclusion.....	65

CHAPITRE 4

DISCUSSIONS DES RESULTATS

4.1. Introduction.....	66
------------------------	----

4.2. Paramètres physiques.....	66
4.2.1. La température.....	66
4.2.2. La Turbidité.....	66
4.2.3. Le pH.....	68
4.2.4. Le résidu sec.....	70
4.2.5. La Conductivité.....	71
4.3. Paramètres chimiques.....	72
4.3.1. Les cations majeurs.....	72
4.3.1.1. Calcium.....	72
4.3.1.2. Magnésium.....	72
4.3.1.3. Sodium.....	73
4.3.1.4. Potassium.....	74
4.3.2. Les anions majeurs.....	75
4.3.2.1. Chlorures.....	75
4.3.2.2. Les Sulfates.....	75
4.3.2.3. Bicarbonates.....	76
4.4. Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH).....	77
4.5. Titre alcalimétrique TA et TAC.....	78
4.6. Détermination des principaux Faciès hydrochimiques.....	79
4.6.1. Diagramme de Piper.....	79
4.6.1.1. Campagne de Décembre 2010.....	79
4.6.1.2. Campagne de Février 2011.....	81
4.6.1.3. Campagne d'Avril 2011.....	83
4.6.1.4. Campagne d'Octobre 2012.....	85
4.6.1.5. Campagne de Novembre 2012.....	86
4.6.2. Diagramme de Schoeller Berkaloff.....	88
4.6.2.1. Campagne de Décembre 2010.....	88
4.6.2.2. Campagne de Février 2011.....	89
4.6.2.3. Campagne d'Avril 2011.....	90

4.6.2.4. Campagne d'Octobre 2012.....	91
4.6.2.5. Campagne de Novembre 2012.....	92
4.7. Méthodes statistiques multivariées.....	93
4.7.1. Analyse de corrélation.....	94
4.7.2. Analyse en Composantes Principales Normées (ACPN).....	96
4.7.3. Analyse en Classification Hiérarchique Ascendante (CHA).....	98
4.8. Etude des rapports caractéristiques et origine des éléments.....	100
4.8.1. Rapports caractéristiques.....	100
4.8.1.1. Rapport $r \text{ Mg}^{2+} / r \text{ Ca}^{2+}$	100
4.8.1.2. Rapport $r \text{ SO}_4^{2-} / r \text{ Cl}^-$	100
4.8.1.3. Rapport $r \text{ HCO}_3^- / r \text{ SO}_4^{2-}$	101
4.8.1.4. Rapport $r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) / r (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$	101
4.8.2. Origine des éléments dominants.....	101
4.8.2.1. Les éléments Na^+ et Cl^-	101
4.8.2.2. Les éléments Ca^{2+} et SO_4^{2-}	103
4.8.2.3. Origine du calcium.....	104
CONCLUSION GENERALE.....	108
RECOMMANDATIONS.....	110
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	111
ANNEXES.....	124

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Répartition saisonnière des précipitations.....	48
Tableau 3.2 : Valeurs mensuelles de l'humidité relative au niveau de Hammam Melouane.....	49
Tableau 3.3 : Données climatiques au niveau de Hammam Melouane.....	50
Tableau 3.4: Lithostratigraphie synthétique de la Mitidja.....	53
Tableau 3.5 : Les campagnes d'échantillonnage effectuées durant l'étude.....	62
Tableau 4.1: Les différents types de Faciès chimiques pour la campagne de Décembre 2010.....	80
Tableau 4.2: Les différents types de Faciès chimiques pour la campagne de Février 2011.....	83
Tableau 4.3: Les différents types de Faciès chimiques pour la campagne d'Avril 2011.....	84
Tableau 4.4: Les différents types de Faciès chimiques pour la campagne d'Octobre 2012.....	86
Tableau 4.5 : Les différents types de Faciès chimiques pour la campagne de Novembre 2012.....	87
Tableau 4.6 : Classification des eaux selon Schoeller- Berkloff (Campagne Décembre 2010).....	89
Tableau 4.7 : Classification des eaux selon Schoeller- Berkloff (Campagne Février 2011).....	90
Tableau 4.8 : Classification des eaux selon Schoeller- Berkloff (Campagne Avril 2011).....	91
Tableau 4.9 : Classification des eaux selon Schoeller- Berkloff (Campagne Octobre 2012).....	92
Tableau 4.10 : Classification des eaux selon Schoeller- Berkloff (campagne Novembre 2012).....	93
Tableau 4.11 : Matrice de corrélation entre les variables.....	95
Tableau 4.12 : Valeurs propres et pourcentage de variance exprimée.....	96

Tableau 4.13: Corrélations entre les variables et les axes principaux de l'ACP.....	97
Tableau 4.14 : Composition des classes.....	99

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Carrière SAMBA (Production de granulats).....	21
Figure 1. 2: Schéma typologique des roches composant les matériaux de construction.....	22
Figure 1.3: Exploitations en activité par produits miniers (année 2009).....	23
Figure 1.4: Production de granulat par statut juridique (année 2009).....	23
Figure 1.5 : Répartition des carrières en Algérie.....	24
Figure 1.6 : Exploitations minières en activité par wilaya (année 2009).....	25
Figure 1.7: Impact piézométrique de la gravière sur la nappe en fonction du colmatage.....	26
Figure 1.8 : Évolution du taux de malades au sein de la population (Cameroun) de 1987 à 2012.....	28
Figure 2.1: Effets engendrés par l'exploitation des ressources alluvionnaires.....	30
Figure 2.2: Impact des carrières sur le système d'écoulement des eaux souterraines karstiques: a) avant le dynamitage, et b) après le dynamitage.....	31
Figure 2.3 : cycle de l'azote à l'interface sédiments-eau dans un lac de gravière.....	34
Figure 2.4 : Drainage acide de mine.....	35
Figure 2.5 : Synthèse des impacts directs de l'extraction de granulats marins.....	38
Figure 2.6 : Carrière de Chaaba El Hamra (Maroc).....	42
Figure 2.7: Séquence d'un tir au niveau de Djebel Gustar Ain- El Hadjer (Setif- Algérie).....	43
Figure 2.8 : Elargissement de l'oued Mallah dû à l'extension de la sablière.....	43
Figure 3.1 : Situation géographique de la région d'étude et localisation de la commune de Hammam Melouane.....	45
Figure 3.2: Point de confluence.....	46
Figure 3.3 : Variation mensuelle des précipitations au niveau de Hammam Melouane (Période comprise entre 1950 et 1988).....	47

Figure 3.4 : Répartition saisonnières des précipitations au niveau de Hammam Melouane.....	48
Figure 3.5 : Variation mensuelle de l'humidité relative au niveau de Hammam Melouane.....	49
Figure 3.6 : Variation du nombre d'heures d'ensoleillement par jour au niveau de Hammam Melouane.....	50
Figure 3.7 : Variation des températures au niveau de Hammam Melouane.....	51
Figure 3.8. Carte géologique de la plaine de la Mitidja.....	52
Figure 3.9. Carte en écorché de la surface érodée de l'Astien en contact avec les alluvions de la Mitidja.....	54
Figure 3.10. Evolution de la Mitidja, du sahel et de l'Atlas pendant le Pliocène et le Quaternaire.....	55
Figure 3.11 : Carte géologique du centre Algérois.....	57
Figure 3.12 : Carte de perméabilité.....	57
Figure 3.13. Coupe géologique transversale de la Mitidja (Dans Carte hydrogéologique).....	58
Figure 3.14: Coupe de la Mitidja.....	58
Figure 3.15 : Répartition des ressources hydriques.....	59
Figure 3.16 : Réseau hydrographique.....	60
Figure 3.17: La végétation de Hammam Melouane.....	60
Figure 3.18. Localisation des points de prélèvements par rapport à la carrière SAMBA.....	61
Figure 3.19 : Classes d'eaux définies par le Diagramme de Piper.....	64
Figure 4.1 : Variation entre la couleur de l'eau en amont et en aval de la carrière SAMBA.....	67
Figure 4.2 : Evolution de la turbidité durant les cinq campagnes.....	68
Figure 4.3. Variation des pourcentages en activités des trois formes carbonées CO_2 , HCO_3^- , et CO_3^{2-} en fonction du pH.....	69
Figure 4.4 : Evolution du pH durant les cinq campagnes.....	70
Figure 4.5: Evolution des résidus secs durant les cinq campagnes.....	70
Figure 4.6 : Evolution de la conductivité durant les cinq campagnes.....	71

Figure 4.7 Evolution du Calcium durant les cinq campagnes.....	72
Figure 4.8 : Evolution du Magnésium durant les cinq campagnes.....	73
Figure 4.9 : Evolution du Sodium durant les cinq campagnes.....	73
Figure 4.10 : Evolution du Potassium durant les cinq campagnes.....	74
Figure 4.11. Evolution des Chlorures durant les cinq campagnes.....	75
Figure 4.12 : Evolution des sulfates durant les cinq campagnes.....	76
Figure 4.13 : Evolution des Bicarbonates durant les cinq campagnes.....	77
Figure 4.14 : Evolution de la dureté totale TH.....	78
Figure 4.15 : Evolution du titre alcalimétrique complet TAC.....	79
Figure 4.16 : Diagramme de Piper pour la campagne de décembre 2010.....	80
Figure 4.17 : Type de faciès pour la campagne de Décembre 2010.....	81
Figure 4.18 : Diagramme de Piper pour la campagne de Février 2011.....	82
Figure 4.19: Type de faciès pour la campagne de Février 2011.....	82
Figure 4.20 : Diagramme de Piper pour la campagne d'Avril 2011.....	83
Figure 4.21 : Type de faciès pour la campagne d'Avril 2011.....	84
Figure 4.22: Diagramme de Piper pour la campagne d'octobre 2012.....	85
Figure 4.23: Type de faciès pour la campagne d'Octobre 2012.....	85
Figure 4.24: Diagramme de Piper pour la campagne de Novembre 2012.....	86
Figure 4.25: Type de faciès pour la campagne de Novembre 2012.....	87
Figure 4.26: Diagramme de Schoeller-Berkaloff campagne Décembre 2010.....	88
Figure 4.27: Diagramme de Schoeller-Berkaloff Campagne Février 2011.....	89
Figure 4.28: Diagramme de Schoeller-Berkaloff campagne Avril 2011.....	90

Figure 4.29: Diagramme de Schoeller-Berkaloff campagne Octobre 2012.....	91
Figure 4.30: Diagramme de Schoeller-Berkaloff campagne Novembre 2012.....	92
Figure 4.31: Analyse en Composantes Principales des paramètres physicochimiques. Carte factorielle des variables dans le plan F1-F2.....	96
Figure 4.32: Dendrogramme de la classification des eaux de surface de la région d'étude.....	98
Figure 4.33 : Analyse en Composantes Principales des individus (Carte factorielle des individus).....	99
Figure 4.34 : Détermination de l'origine du sodium Na^+	102
Figure 4.35 : Origine des éléments Ca^{2+} et SO_4^{2-}	104
Figure 4.36 : Détermination de l'origine du calcium.....	106

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP	: Analyse en Composantes Principales.
A.N.R.H	: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
B.R.G.M	: Bureau de Recherche Géologiques et Minières
C.E	: Conductivité électrique (mmhos/cm-ds/cm)
CAH	: Classification Hiérarchique Ascendante
pH	: Potentiel Hydrogène
DCO	: Demande Chimique en Oxygène (mg/l) d'O ₂
DBO₅	: Demande Biochimique en Oxygène (mg/l) d'O ₂
MO	: Matière Organique (mg/l)
MES	: Matière En Suspension
NTU	: Néphélométric Turbidités Unit
NaCl	: Chlorure de sodium. On l'appelle plus communément sel de table.
NTK	: Azote Total Kjeldhal (mg/l)
O.M.S	: Organisation Mondiale de la Santé
O.N.M	: Office National de la Météorologie
R. Sec	: Résidu Sec (mg/l)
SOGREAH	: Société Grenobloise d'études et d'Application Hydraulique
TH	: Titre Hydrotimétrique (°f)
TAC	: Titre Alcalimétrique Complet (°f)
TA	: Titre Alcalimétrique (°f)

INTRODUCTION GENERALE

Le marché des granulats est en pleine croissance depuis plusieurs années. Les granulats constituent les produits de base de l'activité du bâtiment et des travaux publics. De grands chantiers ont été lancés en Algérie pour la réalisation de logements et d'autres infrastructures..... Il est clair que la réalisation de ces programmes n'a pu être réalisée, sans l'utilisation massive des matériaux de construction et plus précisément les granulats.

L'augmentation de la demande de sable et de gravier à des fins de construction a mis une immense pression sur les ressources de sable et de gravier. L'exploitation de sable et de gravier est une cause directe et évidente de dégradation de l'environnement. L'Algérie compte actuellement 782 unités d'extraction de granulats d'une capacité de production effective de 32 millions de tonnes/an à travers 46 wilayas [1,2]. Parmi les matériaux extraits en grande quantité des oueds, rivières ou de la mer, l'extraction du sable, produit indispensable à la construction, provoque des atteintes graves à l'environnement et notamment aux eaux superficielles [3]. Comme toute activité industrielle, l'industrie extractive est à l'origine d'un certain nombre d'impacts environnementaux. Ainsi, l'impact de l'exploitation des granulats sur la qualité des eaux superficielles, se pose avec acuité ces dernières années dans le nord de l'Algérie induisant des modifications sur la propagation de la lumière en profondeur, et le colmatage du fond des oueds. De nombreux auteurs et études ont montré la nette augmentation des taux du résidu sec et de la turbidité de l'eau à l'aval [4-9]. Le contrôle et la surveillance de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines doivent montrer un intérêt particulier. L'objectif majeur c'est la préservation de la santé de la population et le dépistage de tous les types de pollution pouvant nuire à la santé humaine [10]. De nombreux auteurs ont opté ces dernières années pour l'analyse des sédiments pour l'évaluation de la pollution par les contaminants chimiques qui ne subissent pas de modifications chimiques avec dans le temps [11-14]. Ainsi, les résultats ont permis l'évaluation de l'état de pollution par les métaux lourds, ainsi que l'origine de ces derniers.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de l'extraction des granulats sur la qualité physico-chimique des ressources en eau de surface du site de la carrière

« SAMBA ». En effet les eaux superficielles au niveau de MegtaaLazreg à proximité de Hammam Melouane, objet de notre étude, sont connues pour leur bonne qualité. Cependant juste à l'aval, le long de l'oued El Harrach l'eau est d'aspect jaunâtre sous l'effet de l'exploitation d'une carrière destinée à l'extraction de graviers et de sables. Depuis 1985, la carrière SAMBA située dans la partie amont de l'oued El Harrach, et à 1 km à l'aval du village Touristique de Hammam Melouane, exploite les calcaires de couleur beige et grise à une cadence moyenne journalière de 1500 tonnes. Pour cela, dix paramètres physicochimiques sont déterminés pour chacun des six points de prélèvement, ainsi que la turbidité. Les résultats sont traités à l'aide de l'analyse statistique multivariée, du diagramme de Piper et celui de Schoeller- Berkloff [15] pour l'étude de la typologie des eaux.

La présente thèse s'articule autour de quatre (04) chapitres présentés ci-dessous. Le premier chapitre est consacré à l'étude de l'exploitation des carrières, les différents types d'exploitation, et leurs différents impacts sur l'environnement. Quant au deuxième chapitre, il englobe une synthèse bibliographique sur l'impact de l'exploitation des carrières sur la qualité des eaux des nappes; Les caractéristiques générales de la zone d'étude en synthétisant les données disponibles, ainsi que le cadre géologique général ; et un bref aperçu sur le matériel et les méthodes utilisés sont exposés dans le troisième chapitre ; et enfin dans le quatrième chapitre, on présente l'évolution des paramètres chimiques dans le temps et dans l'espace en abordant l'origine de la minéralisation des eaux, et à l'exploitation des données. Pour finir, la conclusion générale de la thèse récapitule les principaux résultats obtenus et propose des recommandations.

CHAPITRE 1

L'EXPLOITATION DES CARRIERES

1.1. Introduction

Le terme carrière désigne une installation industrielle où on peut extraire des matériaux de construction. Elle comprend le lieu d'extraction, et celui du traitement de la roche extraite (Figure 1.1).



Figure 1.1 : Carrière SAMBA (Production de granulats) [9].

Les matériaux de carrières sont des composants de base de l'activité du bâtiment et des travaux publics, et les produits d'extraction des carrières deviennent, après un traitement mécanique plus ou moins complexe, des granulats. Deux origines pour la production de granulats, artificielle et naturelle, cette dernière concerne le sable et graviers extraits de gisements alluvionnaires, marins ou tout autre dépôt sédimentaire.

1.2. Les sources de granulats naturels

Les granulats naturels sont issus de deux sources : les gisements alluvionnaires et des carrières de roches massives (Figure 1.2). Ils comprennent trois différents types de roches qui sont :

1. Les roches éruptives ;
2. Les roches sédimentaires;
3. Les roches métamorphiques.

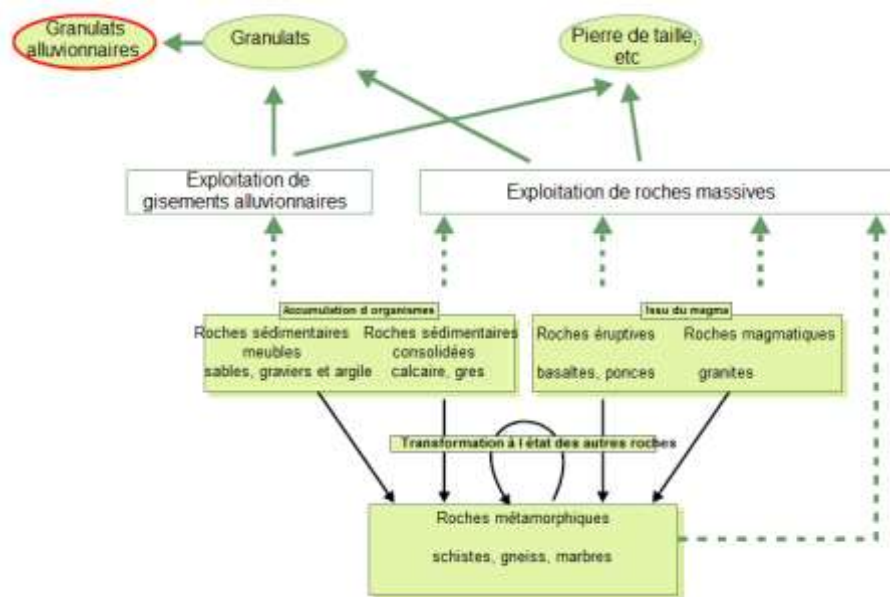


Figure 1.2: Schéma typologique des roches composant les matériaux de construction [13].

1.2.1. Les carrières alluvionnaires

Les gisements alluvionnaires sont des matériaux déposés pendant l'ère quaternaire par les glaciers, et les cours d'eaux. Selon la situation du gisement, l'exploitation peut se faire à sec ou dans l'eau. Pour obtenir les différentes classes de granulats, il faut procéder à un lavage pour éliminer les particules argileuses en surface et à un criblage [16], pour cela le coût d'exploitation est plus important.

1.2.2. Les carrières en roches massives

Les gisements de roches massives sont définis par une variété de cas géologiques (des couches plus ou moins épaisses, filons, épanchements volcaniques, massifs de granite, etc. ...), et à des endroits très différents.

On peut ainsi produire des granulats par concassage des roches éruptives, et des roches magmatiques.

1.3. La production de granulats en Algérie

La production des granulats arrive en tête avec 781 exploitations minières en activité suivies des argiles (Figure 1.3) [1].

La production pour l'année 2009 des granulats (agrégats et sable concassé), était de 68 072 188 m³, soit 55 293 928 m³ représentant la fraction des agrégats, et 13 360 241 m³ la fraction du sable concassé ce qui représente une hausse de +31.8% par rapport à l'année 2008.

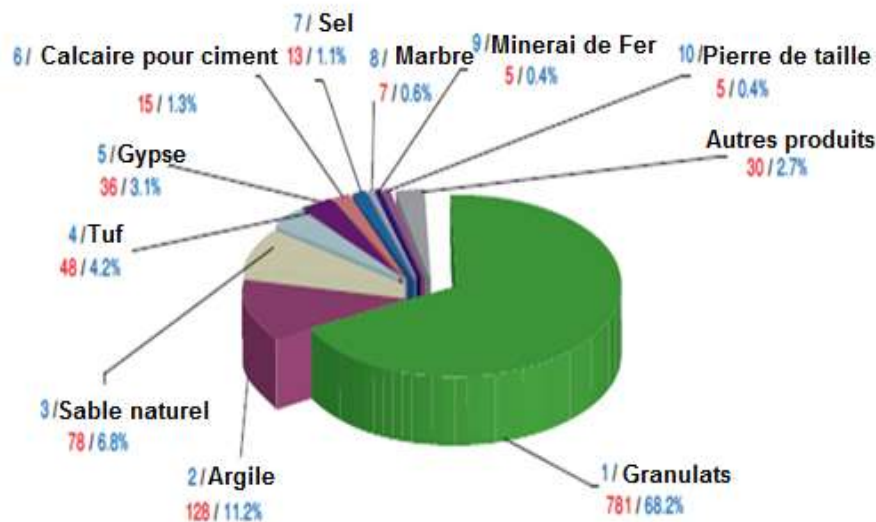


Figure 1.3: Exploitations en activité par produits miniers (année 2009) [1].

Le secteur privé avec 47796090 m³ produits, et 20858080 m³ relevant du secteur public correspondent, respectivement à 69.6% et 30.4% du volume total des granulats (Figure 1.4).

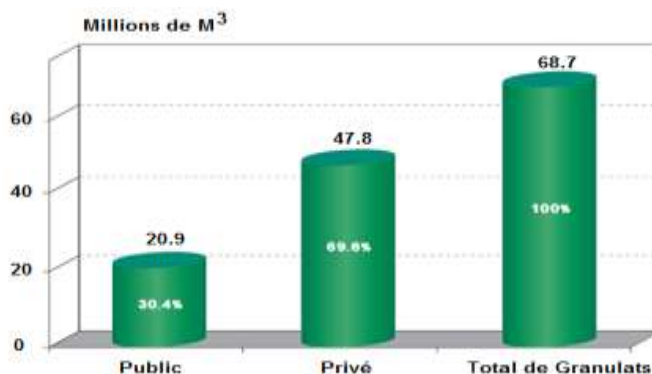


Figure 1.4: Production de granulat par statut juridique (année 2009) [1].

Elle a été assurée par 782 exploitations minières en activité réparties dans 46 wilayas, 603 exploitations minières de sable concassé et d'agrégats, 145 exploitations minières produisent des agrégats, et 34 exploitations minières ne produisent que du sable concassé (Annexe G) [1].

La wilaya de Bordj Bou Arreridj enregistre 6.5 Millions de m³ de granulats, correspondant à 9.5% de la production nationale, c'est le plus grand pourcentage de production enregistré. La plus faible production a été enregistrée dans la wilaya d'El Tarf avec 2 800 m³.

1.4. Répartition géographique des ressources en Algérie

Le marché des granulats est un marché en pleine croissance.

L'extraction du sable des oueds a été interdite totalement en 2009 en Algérie, et il a été remplacé par le sable de concassage qui est en voie de développement. La géologie, la qualité du gisement (propriétés des matériaux), le volume de découverte ce sont les facteurs qui conditionnent l'implantation des exploitations. Toutes ces données contribuent à déterminer la rentabilité de l'exploitation.

La production de granulats (y compris les sables), est estimée en moyenne à 90 millions de tonnes par an. Il existe 933 carrières de granulats dont 661 carrières relèvent du secteur privé, et 272 carrières appartiennent au secteur public (Figure 1.5). Les gisements de minéraux sont répartis sur tout le territoire national. Certains types de produits particuliers sont cependant plus abondants dans certaines régions (Annexe G).

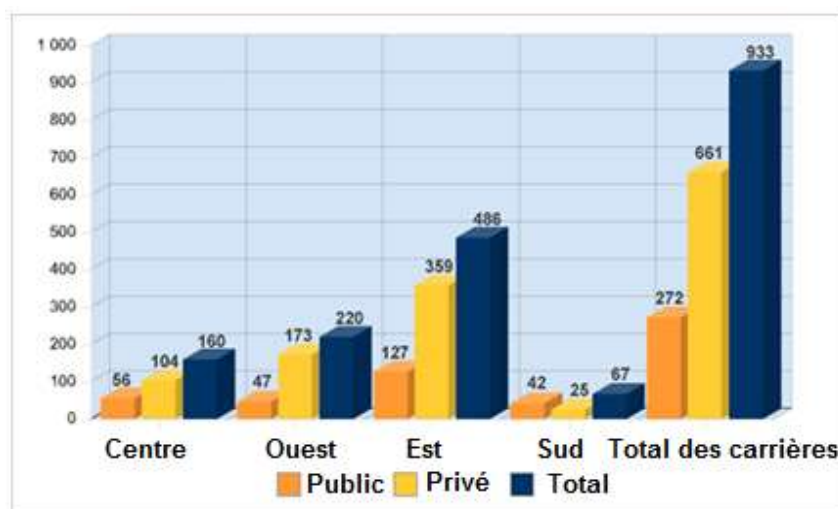


Figure 1.5 : Répartition des carrières en Algérie [17].

Dix wilayas disposent de 517 exploitations minières en activité correspondant à 45,1% de l'ensemble des exploitations (Figure 1.6) [1].

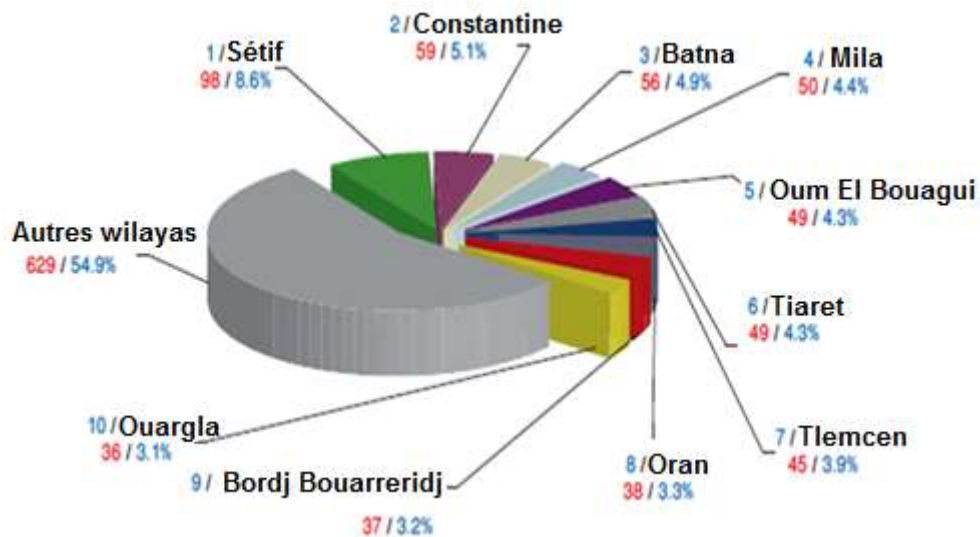


Figure 1.6 : Exploitations minières en activité par wilaya (année 2009) [1].

1.5. Condition d'ouverture d'une carrière

L'autorisation d'exploitation de carrières et sablières délivrée par l'Agence Nationale du Patrimoine Minier, étant une pièce essentielle. Cette autorisation est délivrée seulement à une personne physique ou morale. La demande d'autorisation est accompagnée de l'impact des travaux d'exploitation projetée sur l'environnement. L'étude d'impact doit donc permettre à l'administration de formuler un jugement sur le projet et les conséquences qu'il pourrait entraîner.

1.6. Principaux impacts d'exploitation des carrières sur l'environnement

L'extraction de granulats est à l'origine d'un certain nombre d'impacts sur l'environnement. L'impact va dépendre du type de matériau, du type d'exploitation et de l'environnement du site.

1.6.1. Impact hydrologique

1.6.1.1. Impact sur les eaux souterraines

La mise à l'air ambiant de l'eau de la nappe, selon certaines conditions peut entraîner une importante perte d'eau par évaporation d'un côté. D'un autre côté, la nappe pourra bénéficier d'apports directs par les précipitations et le ruissellement [18,19]. De plus, ce phénomène entraîne une modification de l'écoulement souterrain, entraînant une modification de la surface piézométrique à l'amont et à

l'aval de la gravière (Figure 1.7). Les conséquences sont multiples selon les relations éventuelles avec le cours d'eau, le degré de colmatage de la gravière, la profondeur de son orientation par rapport au sens d'écoulement de la nappe [20,21].

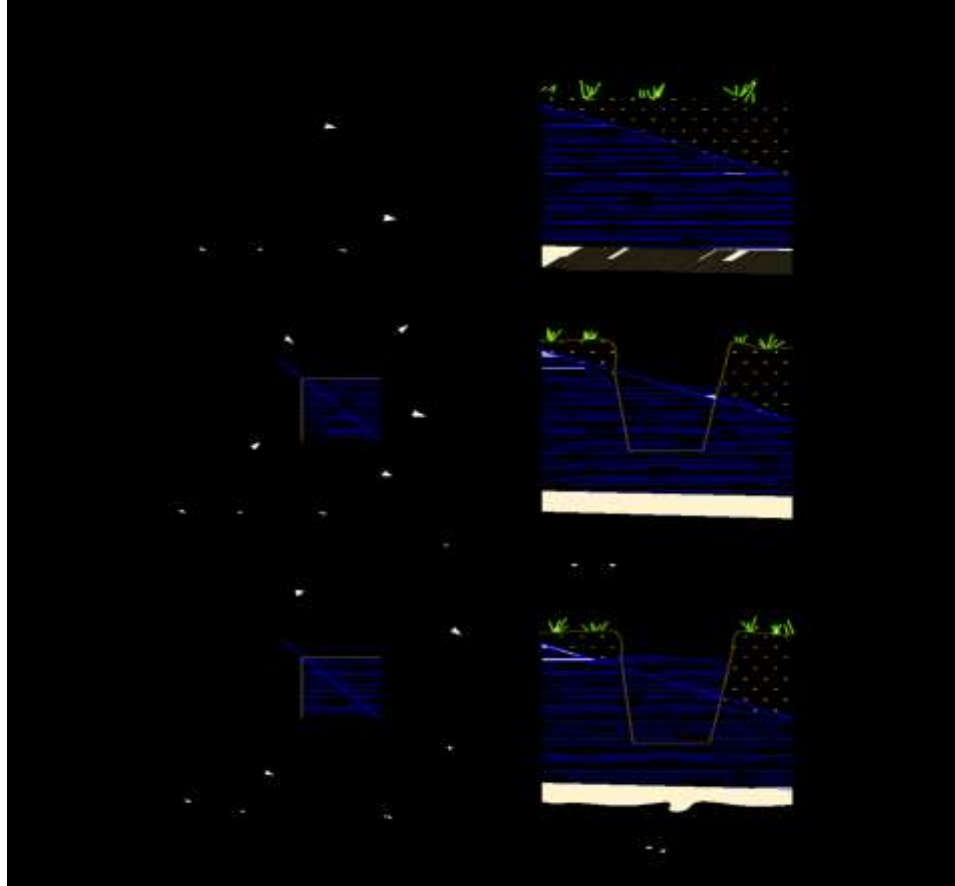


Figure 1.7: Impact piézométrique de la gravière sur la nappe en fonction du colmatage [20].

1.6.1.2. Impact sur les eaux superficielles

Les effets d'une gravière sur les crues sont très variés selon la morphologie du site et l'hydraulique du cours d'eau. En période de crue, on observe un débordement à l'aval ou à l'amont selon le degré du colmatage.

La fixation des berges, provoque une perte de la mobilité du cours d'eau qui se traduit par une modification de son équilibre dynamique, et de son dysfonctionnement [4, 22,23].

1.6.2. Impact sur la physico chimie des eaux

L'exploitation de granulats alluvionnaires affecte l'équilibre physico chimique des eaux. En effet, le principe de l'activité consiste à exploiter, et donc à exporter la

couche d'alluvions laquelle joue un rôle de (filtre) dans le phénomène d'épuration naturelle des eaux. Toutefois, les végétaux participent à la compensation de l'épuration [13].

1.6.3. Impact hydrogéologique

Du fait de l'excavation engendrée, un impact direct non négligeable sur l'écoulement souterrain des eaux peut avoir lors de l'exploitation d'une carrière. Ainsi, si l'exploitation se poursuit dans une nappe phréatique ou à proximité de celle-ci, le rabattement engendré pourrait, selon les cas, provoquer l'assèchement des puits ou cours d'eaux environnants. On peut noter alors une modification de la piézométrie et un abaissement du niveau de la nappe phréatique, ainsi qu'une altération de la qualité des eaux souterraines [24,25].

1.6.4. Impact sur l'atmosphère

La poussière constitue la principale source de pollution de l'air lors de l'exploitation des carrières. Les nuisances engendrées par la poussière dépendent du type de l'extraction, et de la vitesse des particules qui peuvent être dispersées dans l'atmosphère, causant des dommages à la santé humaine et à l'environnement [26]. Les effets des poussières sur l'écosystème sont variables en fonction de leur composition, de leur taille et la présence des métaux lourds et des composés organiques qui sont adsorbés. Pour l'homme, les poussières peuvent provoquer des maladies respiratoires [27]. Dans ce contexte, deux études ont été réalisées, l'université de Constantine a réalisé la première étude concernant la cimenterie d'Ain Touta [28,10]. Quant à la seconde étude a été réalisée par l'Agence Internationale pour le Développement de la Qualité et de l'Environnement (AIDEQ) sur la cimenterie de Cheliff [29]. Cette dernière a suggéré la rénovation de tous les filtres par des filtres obéissant aux normes, car les riverains souffrent quotidiennement de la pollution atmosphérique [30]. Des études de pollution autour des cimenteries Sagamu et Ewekoro dans l'état d'Ogun (Niger) ont montré que plusieurs personnes souffrent de douleurs oculaires et des crises d'asthmes dus à l'air poussiéreux qui règne à quelques kilomètres des usines [31]. La cimenterie et la marbrerie de Figuil (Cameroun) émettent dans l'atmosphère du silicate issu de l'exploitation des calcaires et du marbre. Ces émissions ont été évaluées respectivement à plus de $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ par jour pendant les saisons sèches de mars 2012 et 2013 et à plus de $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant la saison pluvieuse du mois

d'août 2013 aux alentours des usines et des routes menant aux carrières [32]. En effet, quatre malades sur dix souffrent de maladies pulmonaires (l'asthme, la pneumonie, la rhinobronchite, la bronchite, et la tuberculose). Ces infections sont dues à l'absorption des plus fines particules des poussières ($< 2\mu\text{m}$) qui pénètrent dans les alvéoles pulmonaires. La Figure 1.8 montre l'évolution du pourcentage de malades de 1987 à 2011 et la corrélation entre l'extraction de calcaire et le taux de malades.

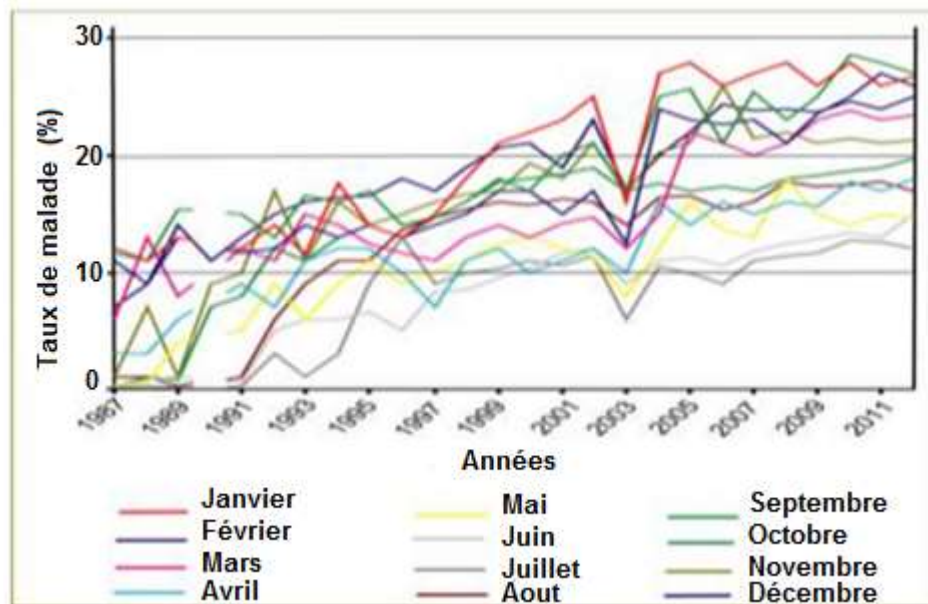


Figure 1.8 : Évolution du taux de malades au sein de la population (Cameroun) de 1987 à 2012 [32].

1.7. Conclusion

Les carrières ce sont des installations industrielles où on peut extraire des matériaux de construction. En Algérie la production des granulats est en tête dans l'exploitation minière. Les gisements miniers sont répartis sur tout le territoire national. Par conséquent, les sites non loin des villes sont favorisés afin de minimiser les coûts de transport. L'extraction des granulats est à l'origine d'un certain nombre d'impacts sur l'environnement.

CHAPITRE 2

TRAVAUX ANTERIEURS RELATIFS AUX ETUDES D'IMPACT DE L'EXPLOITATION DES CARRIERES SUR LA POLLUTION DES NAPPES

2.1. Introduction

L'exploitation des carrières provoque des problèmes environnementaux importants, en raison de l'élimination des sols, des changements dans le réseau de drainage, et de la topographie [33]. Parmi les impacts de l'extraction du gravier on note le changement dans la qualité des eaux, ainsi que dans l'élévation de la nappe phréatique et sa variation. L'augmentation de la turbidité résultant des opérations de carrières peut temporairement réduire la pénétration de la lumière dans la rivière. Trois paramètres sont utilisés pour évaluer la pollution ou la qualité de l'eau potable, paramètres physiques, chimiques et biologiques [34].

Un polluant est défini comme étant toute substance d'origine naturelle ou anthropique capable de modifier la composition chimique initiale de l'eau. Plusieurs études ont été consacrées à la pollution hydrique en Algérie. Ces études ont montré la variation dans les paramètres physico chimiques [35-39].

La détection des polluants nécessite l'utilisation de techniques analytiques parfois spécifiques, et très performantes [14].

2.2. L'exploitation des carrières et la pollution des nappes

L'altération de la qualité des eaux (surface et souterraines) est due à l'activité humaine dans la plupart des cas. Les carrières impactent souvent l'eau via leurs interactions avec les nappes ainsi qu'avec les eaux superficielles [25]. Les carrières, notamment de roches massives, peuvent présenter des potentialités écologiques bénéfiques, au cours et/ou à la suite de leur exploitation [40], par exemple des corbeaux recensés en Bretagne nichent en carrière [40].

Des études antérieures [41-43] ont montré que l'extraction d'agrégats des cours d'eau peut atténuer la qualité de l'eau ainsi que la dégradation du lit du canal et les rives. L'exploitation alluvionnaire peut être à l'origine d'effets de différentes natures qui sont représentés dans la (Figure 2.1) :

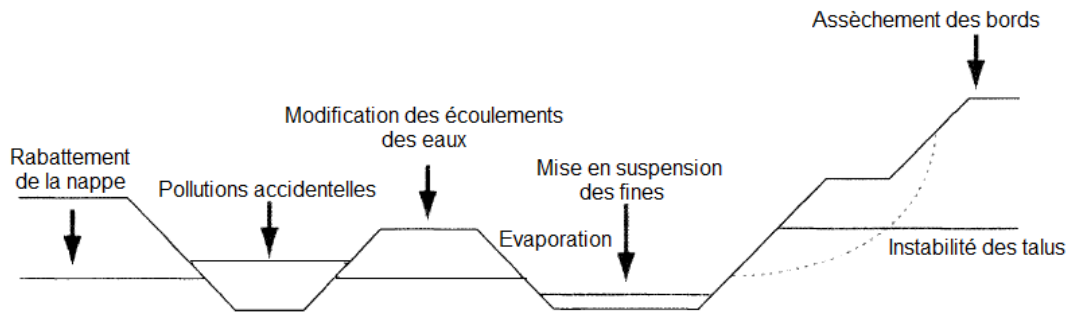


Figure 2.1: Effets engendrés par l'exploitation des ressources alluvionnaires [44].

2.2.1. Sur le plan hydrodynamique

Ce sont tous les impacts concernant la modification des écoulements de l'eau, de la piézométrie des nappes, et de la productivité des captages. L'affleurement de la nappe dans les gravières modifie la piézométrie [24]. A titre d'exemple l'extraction massive de granulats dans le lit mineur de la Loire (France) a conduit, à un dysfonctionnement géomorphologique important [45,46]. Selon Beaudelin Pierre l'effondrement du pont de Tours, sur la Loire, avait étonné l'opinion des Français en 1978, et ceci suite aux conséquences hydrauliques des extractions de matériaux dans le lit mineur des cours d'eau [47]. Mehmet E., [48] rapporte dans son étude que les roches carbonatées couvrent les aquifères productifs dans de nombreux endroits, en particulier là où la karstification est bien développée. L'élimination de cette couverture lors de l'exploitation des carrières peut entraîner des changements dramatiques non seulement dans le régime des eaux souterraines, mais aussi dans la qualité de l'eau karstique. L'élimination de l'affleurement calcaire entraîne une contamination, lorsque l'écoulement concerne les eaux souterraines d'aquifères karstiques, ou lorsque la nappe phréatique d'un aquifère fissuré est proche de la surface. L'autre impact, le dynamitage des carrières peut entraîner la destruction ou la perturbation des voies d'écoulement des eaux souterraines, des changements dans le mouvement des eaux souterraines ainsi que la quantité d'eau circulant dans le système karstique (Figure 2.2).

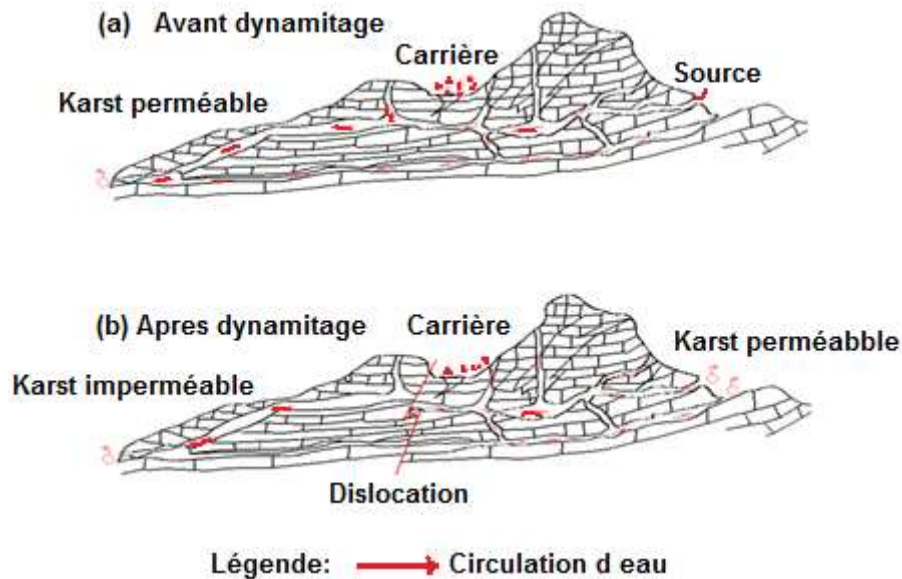


Figure 2.2: Impact des carrières sur le système d'écoulement des eaux souterraines karstiques: a) avant le dynamitage, et b) après le dynamitage [48].

Ekmekçi M., a signalé aussi que le dynamitage associé à l'exploitation des carrières peut fermer des passages karstiques d'eau souterraine existants ou ouvrir un nouveau passage, ce qui entraînerait un changement de direction du flot d'eau souterraine [48]. De même, le dynamitage peut modifier le débit d'eau souterraine, ce qui peut finalement modifier le débit d'eau de surface. De nombreuses activités humaines peuvent avoir un impact négatif sur les zones karstiques, y compris la déforestation, les pratiques agricoles, l'urbanisation, le tourisme, l'exploitation de l'eau, les mines et les carrières. L'impact majeur de l'exploitation des carrières dans la zone saturée karstique concerne l'assèchement des carrières. Les systèmes Karst ont des capacités d'auto-purification très faibles, ce qui rend l'eau karstique très sensible à la pollution [49]. L'érosion, en particulier aux zones limites entre les zones karstiques et non karstiques, et le lavage des résidus provenant des fissures peuvent causer une turbidité accrue aux sources karstiques. La carrière peut provoquer l'effondrement des puits, entraînant la capture d'eau de surface.

Dans la région de Tournaisis, dans le sud de la Belgique, une trentaine de bassins se sont ouverts le long de l'Escaut en aval de la ville de Tournai. En conséquence, les eaux souterraines ont été polluées par une importante perte d'eau de rivière contaminée dans l'aquifère karstique [50].

2.2.2. Sur le plan hydro thermique

Les variations de la température, dans les nappes souterraines ou des rivières, engendrées par l'exploitation des gravières peuvent s'expliquer par l'existence d'une fonction directe avec les échanges hydriques, tout en étant liées à la profondeur de la gravière [51]. Si l'on désire limiter cet impact, il conviendra de freiner les échanges par colmatage volontaire de la carrière [52].

2.2.3. Sur le plan hydrobiologique

L'exploitation du sable exerce une pression sur les communautés biologiques qui prospèrent dans les milieux fluviaux. Le développement de la faune et de la flore dans les nouveaux plans d'eau contribuera à la production de matières organiques, d'oxygène et parfois d'ammoniaque d'où la modification des équilibres biologiques [53]. La zone riveraine sert de lieu de repos et de nidification pour de nombreux oiseaux migrateurs et la destruction de cette précieuse zone serait préjudiciable [54]. Les changements de canaux locaux se propagent en amont ou en aval et peuvent déclencher des changements latéraux du ruisseau ainsi que de la zone riveraine. L'altération de la zone riveraine affecte le fonctionnement physique et biologique du ruisseau [55].

2.2.4. Sur le plan hydromécanique

La modification des berges et des fonds par érosion et sédimentation, ou la réduction des échanges par colmatage et le transport des matières en suspension caractérisent ce phénomène. Ainsi, par exemple dans le département de la Guyanne, la grande majorité de la population est alimentée en eau potable par les eaux de surface des différents fleuves. On signale cependant une forte turbidité du fait de l'activité minière essentiellement alluvionnaire qui induit le transfert d'importantes quantités de boues [7]. Globalement, les gravières peuvent piéger jusqu'à 50% du phosphore de la nappe surtout si elles ne sont pas colmatées et l'interface eau sédiment est oxygénée [56].

Dans la plaine du Perthois, Il a pu être observé par le passé notamment un relargage important de sulfates provenant des matériaux de démolition susceptibles de polluer la nappe, et un colmatage accru de l'excavation par des particules de granulométrie plus fine que la matrice de l'aquifère. D'où un impact piézométrique par phénomène de barrage sur la nappe [21].

2.2.5. Sur le plan physico-chimique

L'essentiel réside dans la modification de la qualité chimique ou bactériologique des eaux. Ainsi la matière organique, les éléments nutritifs en excès, le manque d'oxygène, et la pollution contribuent à cette modification, ce qui entraîne la présence d'algues, les mauvaises odeurs, la mortalité des poissons et l'envasement. La création de plan d'eau suite à l'exploitation des carrières entraînent la mise à l'air libre de l'eau de la nappe ce qui va favoriser et entraîner des modifications dans la qualité de l'eau. Effectivement, certains travaux ont rapporté que la mise à l'air libre de la nappe associée à un colmatage important entraîne une perte d'oxygène à l'aval de la carrière [19,56].

Le contact de l'eau souterraine avec l'air provoquera des modifications des caractéristiques physico-chimiques, révélant la dénitrification, et la diminution de la teneur en azote à l'aval de la carrière [19]. Ce phénomène est dû aux bactéries dites bactéries réductrices d'azote, il est essentiel car il purifie les eaux de la nappe. On peut avoir aussi la réduction des nitrates en ammoniac dans les zones désoxygénées du fond des plans d'eau à des profondeurs importantes [13]. Le phénomène de rétention d'azote et de dénitrification dans les gravières a fait objet de plusieurs études. Sur le secteur de la "Bassée" notamment, il a été mis en évidence, une réduction des teneurs en nitrates de la nappe de l'ordre de 50 à 85% à l'aval immédiat de la gravière. Ainsi Schanen sur le secteur de la Bassée a mesuré une concentration en nitrates de 10,6 mg/l sur la nappe amont, diminuant à 1,6 mg/l à l'aval de la gravière [19].

Berge Ph., a pu mettre en évidence la diminution de la concentration des nitrates dans la nappe alluviale de la Garonne à l'aval des lacs de gravières situés à Saint Jory (nord de Toulouse) [57]. L'étude de la composition isotopique de l'azote des nitrates résiduels montrait que le processus de dénitrification intervenait dans cette épuration [57]. Dans le cas des lacs de gravières (ballastières), le comportement de l'azote à l'interface sédiment-eau peut être représenté selon le processus suivant (Figure 2.3) :

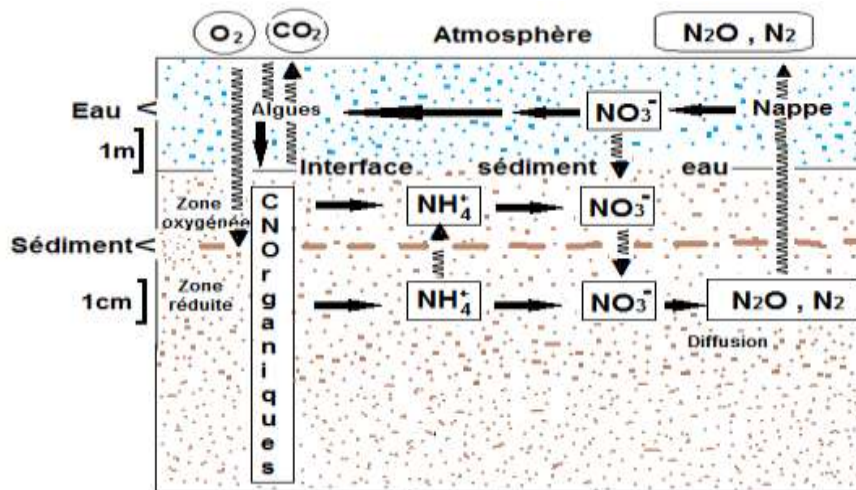


Figure 2.3 : cycle de l'azote à l'interface sédiments-eau dans un lac de gravière [57].

Le phénomène d'eutrophisation est lié aux apports extérieurs, aux carrières, apports anthropiques, l'eau des cours d'eau est plus vulnérable à l'eutrophisation que l'eau des nappes [13]. L'eutrophisation peut affecter les carrières si les apports anthropiques sont importants en phosphore et si elles sont surtout colmatées, 50% du phosphore de la nappe oxygénée est retenue lorsque la carrière n'est pas colmatée [56]. Chaque activité industrielle peut engendrer des rejets polluants directement dans l'eau [58]. L'excès d'utilisation de ces produits, parfois toxiques vont contaminer les eaux par infiltration en période de pluie, et en présence de métaux dans les formations géologiques environnantes, l'eau souterraine est particulièrement vulnérable [59]. Les matières en suspension MES sont la cause principal du colmatage des carrières, provenant des algues, de la précipitation des particules de calcite, l'érosion etc. Les teneurs en MES sont importantes lors du lavage des alluvions extraits, les eaux de lavage sont trop chargées, elles doivent subir un traitement [13]. La mise à nu de la nappe augmente le risque de pollution chimique de nature accidentelle ou volontaire durant l'exploitation des gravières. Le risque de pollution accidentelle principalement par les rejets d'hydrocarbures et d'huile des engins d'extraction existe malgré les précautions des exploitants et la mise en place de bassins de rétention [8]. D'autres paramètres physico-chimiques de l'eau de la nappe sont modifiés dans les gravières, généralement on observe une diminution de la dureté de l'eau et de la minéralisation globale (concentrations en calcium et bicarbonates

notamment) et, en revanche une augmentation des sulfates, du Fer, du Manganèse, du Magnésium et du Potassium [13,18, 60]. Le phénomène de la photosynthèse entraîne une augmentation du pH qui est fonction de la chaleur, selon les saisons on peut noter des variations de 2 à 1- 1,5 [18]. La qualité des eaux rejetées peut être altérée par une concentration élevée en matières en suspension (MES), en métaux lourds et en hydrocarbures, et une acidité anormale due à la présence de sulfures dans les matériaux exploités [61]. Les eaux acides peuvent porter atteinte à la qualité de l'eau. Ce phénomène a été découvert en 1989 en Bretagne. L'interaction de l'eau avec certaines roches pyriteuses entraîne la diminution du pH au-delà de 5.5, favorisant la solubilité de certains métaux (Fer et Aluminium). En Bretagne 80 carrières sont soumises à l'auto-surveillance de leurs rejets d'eau [62]. Le drainage des acides et des contaminants de lixiviation est la plus importante source d'impact sur la qualité de l'eau liés à l'extraction des minerais métalliques (Figure 2.4).



Figure 2.4 : Drainage acide de mine [63].

Le drainage d'acide minier est l'impact le plus grave pour les ressources en eau. Il a des effets à long terme sur la vie aquatique, les cours d'eau et les ruisseaux. [63]. Cette eau acide peut dissoudre d'autres métaux nocifs dans la roche environnante. Le drainage d'acide de mine peut se déverser dans les ruisseaux ou les rivières ou encore dans les eaux souterraines. Le drainage d'acide de mine peut provenir de n'importe quelle partie de la mine où les sulfures sont exposés à

l'air et à l'eau, y compris des tas de déchets de roches, des résidus des mines à ciel ouvert.

Mihai Teopent C., [64] rapporte que le risque de contamination des eaux souterraines est nettement plus élevé dans les sites d'extraction de gravier. Les bactéries coliformes fécales ont été observées plus dans les zones d'extraction de gravier que dans les zones d'eaux souterraines naturelles. L'infiltration d'eau de surface et surtout l'eau de tourbière dans la zone d'eau souterraine ont causé des changements dans la qualité de l'eau souterraine [65].

L'étude réalisée par Peter M. et al., [66] a consisté à évaluer l'impact de la carrière de Sofokrom, exploitée depuis plus de 21 ans, située dans le bassin hydrographique de la rivière Anankwari (principale source d'eau qui alimente les ouvrages hydrauliques d'Inchaban, Ghana), sur la quantité et la qualité du fleuve. Des analyses ont été effectuées sur des échantillons d'eau prélevés en aval et en amont de la rivière Anankwari. Les paramètres testés sont la turbidité, la couleur, les solides en suspension, l'alcalinité, la dureté, le Manganèse, le pH, les chlorures, et enfin les solides dissous. La plupart des paramètres physico-chimiques tels que le pH, la turbidité, la couleur, la température, etc., de l'aval de la rivière Anankwari ne répondaient pas aux normes de l'OMS. La contamination de l'eau par des activités de carrières peut avoir de graves répercussions sur les êtres vivants, y compris l'homme et les animaux [67], car la concentration en ions hydrogène est affectée [68]. La variation du pH dans les rivières, comme l'indiquent Morrison et al. [69] pourrait affecter la vie aquatique, et diminuer la solubilité de certains éléments essentiels tels que le sélénium et augmenter la solubilité des métaux nocifs tels que le cadmium, le mercure et l'aluminium. Le niveau élevé de turbidité observé en aval dans cette étude [66] est fortement influencé par l'érosion des sols et la désintégration de la matière organique résultant d'une mauvaise élimination des activités de carrière dans le bassin versant. Il peut détruire les habitats des cours d'eau, ainsi que nuire indirectement au fonctionnement de l'écosystème aquatique [70]. Le débit annuel moyen de la rivière est passé de 574796 m³ en 2009 à 480252 m³ en 2012. Cette réduction pourrait être due à l'extraction de pierres et de sable dans le bassin versant. Cette chute du débit de la rivière pourrait sûrement être attribuée aux activités de la carrière car les particules sous forme de fumée, de poussière et de vapeur, qui

sont transportées vers des masses d'eau à proximité augmentent la sédimentation, ou probablement à une infiltration, ou à un colmatage du lit [71]. La pluviométrie moyenne est probablement affectée puisque l'exploitation des carrières influence la transpiration annuelle dans le bassin versant en réduisant l'humidité.

Selon Ako et al., [72] les résultats des observations sur le terrain à Luku, Minna, (Niger), a montré que la destruction du paysage, la réduction des terres agricoles et de pâturages, l'effondrement des berges, la déforestation et la pollution de l'eau sont les effets environnementaux de l'exploitation minière de sable et de gravier dans la région. Les résultats de l'analyse chimique du sol a révélé que les concentrations dépassent les normes (concentration de Pb, As, Cu, Ni, Cd, Hg, et Ag sont respectivement de 47,8, 4,17, 50,9, 32,7, 2,48, 0,1, et 0,8 ppm). Ces concentrations peuvent avoir des effets très négatifs sur la faune et la flore de la région, et causer des maladies telles que des lésions cérébrales et rénales, une irritation des poumons, une anomalie cardiaque.

Les réseaux de surveillance des nappes côtières révèlent que les sédiments fins en surface contiennent des contaminants [73]. Pour cela une étude a été réalisée, à environ 20 km des côtes du Havre dont l'objectif était d'examiner pendant et après l'extraction de granulats, le comportement des métaux traces et de contaminants organiques des sédiments à la surface. Les résultats ont révélé une suspension de métaux en traces associés aux sédiments durant l'extraction. Pendant la durée de vie du panache turbide, lors de l'extraction des granulats, la qualité de l'eau est affectée. Le bouchon vaseux (turbidité élevée) dégrade 40% de l'azote en période de basses eaux, et de 12 % en période de hautes eaux. Par contre le phosphore est très faiblement réduit quelle que soit l'hydrologie (rétention inférieure à 10 %) [74]. Ainsi il apparaît que le bouchon vaseux joue le rôle de filtre, et présente une importance significative pour réguler les apports en sels nutritifs à la Baie de Seine, et y réduire les risques liés à l'eutrophisation [75]. L'impact de l'exploitation de granulats marins (Figure 2.5) au large des côtes morbihannaises est différent de celui du milieu terrestre. Il a été enregistré des atteintes concernant le milieu liquide où on enregistre une augmentation des matières en suspension, ainsi que la remobilisation de particules contaminées [61]. Le milieu solide se caractérise par un changement de la morphologie du

fond, et du régime des courants [76]. Enfin le milieu vivant où on note la destruction du peuplement benthique et des frayères.

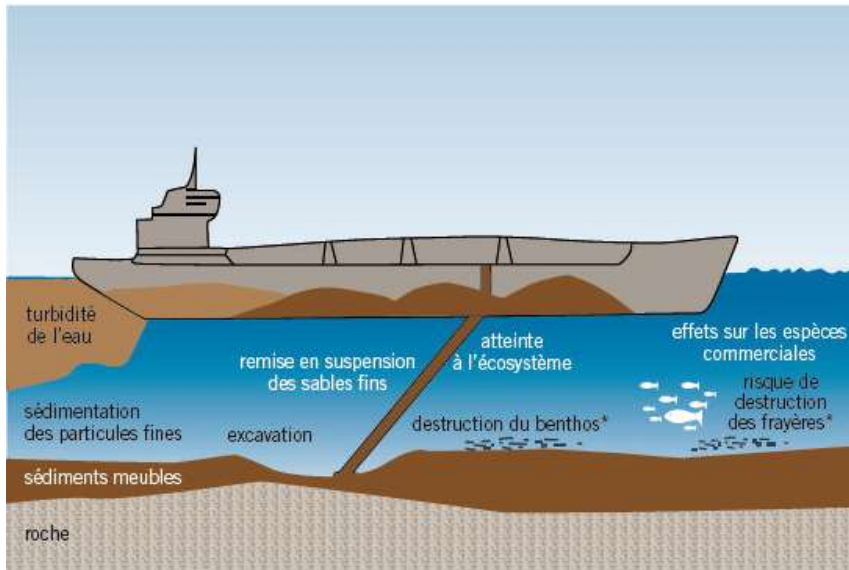


Figure 2.5 : Synthèse des impacts directs de l'extraction de granulats marins [61].

Le but de l'étude de Mehmet Ozcelik est d'analyser l'impact de la pollution sur les ressources en eau qui pourraient être générées dans les carrières de marbre en Turquie (les régions les plus importantes de la production de marbre en Turquie sont situées dans les régions de Bursa et Isparta) [77]. Les résultats ont révélés que les déchets de pierres naturelles peuvent être une source de contamination en raison d'une élimination inadéquate des déchets solides et liquides. D'après les données sur la qualité de l'eau, l'activité de la carrière de marbre est une préoccupation environnementale pour les polluants suivants : les polluants organiques, les polluants inorganiques, les solides en suspension et les nutriments.

La détermination des impacts des carrières de marbre sur les eaux de surface à Kwakuti (Niger) a été déterminée en évaluant les propriétés physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés à Kwakuti et de ses environs [78]. La plupart des concentrations de métaux lourds sont inférieures aux concentrations maximales autorisées, sauf pour le plomb Pb^{2+} qui a une concentration moyenne de 0,42 mg /l supérieure à la concentration maximale autorisée qui est de 0,01 mg /l [78]. Ainsi que la concentration de magnésium Mg^{2+} est très supérieure à la concentration maximale autorisée par l'OMS. Il a été conclu que les principaux contaminants

dans les eaux de surface de Kwakuti et de ses environs sont Mg^{2+} et Pb^{2+} . Les effets de l'accumulation de plomb sur la santé humaine sont bien connus et cela a rendu les eaux de surface de Kwakuti inutilisables pour la consommation humaine, animale, et même à d'autres fins agricoles telle que l'irrigation. Des mesures urgentes devaient être prises pour fournir de l'eau potable à la population dans la région de Kwakuti [78].

Les industries jouent un rôle important dans l'amélioration du niveau de vie, mais causent en même temps plusieurs problèmes environnementaux. Il est donc nécessaire d'évaluer l'impact des industries sur la qualité de l'environnement. Pour cela Mulk S., et al. [79] ont évalué l'impact des effluents de l'industrie du marbre sur l'eau et la qualité des sédiments de la rivière Barandu dans le district de Buner (Pakistan). Les résultats des paramètres physicochimiques des échantillons prélevés en amont, au niveau de la carrière et en aval de l'eau de la rivière ont montré qu'ils sont significativement altérés par les rejets d'effluents des industries du marbre. De même, les concentrations de métaux lourds dans l'eau et les sédiments de la rivière ont été considérablement accrues par les eaux usées de l'industrie du marbre, et ceci est dû à l'élimination directe des effluents de l'industrie du marbre qui dégrade la qualité de l'eau de la rivière Barandu (Pakistan). Par conséquent, il est recommandé que l'élimination directe des eaux usées de l'industrie du marbre soit interdite et que tous les effluents doivent être traités correctement avant de se déverser dans l'eau de la rivière.

Les impacts de la fabrication du marbre peuvent être estimés et évalués selon le processus de production. Chaque processus comprend une action qui affecte l'environnement par une ou plusieurs normes environnementales. Par exemple, la phase de sciage ou de coupe implique l'effet de bruit et l'émission de poussière, tandis que les phases de coupe et de polissage impliquent des utilisations chimiques et une contamination de l'eau [80]. Les résultats de l'étude réalisée par Fakher J., et al. [80] montrent des concentrations mineures de Ca, Mg, K et SO_4 dérivées du marbre lui-même, cependant, certains échantillons ont montré des charges élevées de Na. Les concentrations de sodium élevées proviennent du traitement des eaux usées. Les prévisions des changements dans la qualité de l'eau sont évaluées en fonction des rejets prévus des effluents, y compris l'énorme volume de rejet, la concentration élevée de matières en suspension, et une

certaine concentration de substances nocives. D'autre part, les usines existantes doivent mettre en place des mesures d'atténuation afin de minimiser graduellement les impacts environnementaux [80].

L'étude a été menée pour évaluer l'état de la qualité des eaux de surface et souterraines dues aux activités minières d'Ikpeshi (Nigeria). Vingt échantillons d'eau ont été prélevés au hasard et analysés [81]. Les résultats des analyses suggèrent que l'eau doit être traitée avant la consommation en raison de sa concentration élevée en détergent, particules en suspension, de matières fécales et de calcium provenant des échantillons d'eau. La turbidité, la dureté, les solides dissous totaux, le magnésium et le calcium sont très concentrés dans certains échantillons, ainsi que les matières fécales. Le calcium avait la concentration la plus élevée aussi bien pour l'eau douce que pour l'eau potable [81]. Il y a environ 4000 mines de marbre dans le Rajasthan (Inde). Elle représente 90% de la production mondiale, et environ 85% de la production de l'Inde extraite du Rajasthan [82]. Comme toute autre industrie, l'industrie du marbre a besoin d'eau dans ses différentes opérations de coupe, de refroidissement et de rinçage. Dans ces opérations, l'eau est contaminée par le lisier de marbre. Durant la saison des pluies, le lisier de marbre circule avec de l'eau et atteint les rivières et les plans d'eau polluant d'autres sources d'eau douce [82].

L'extraction de pierres est l'une des pratiques majeures menées dans le monde par l'industrie de la construction. Au Kenya et plus précisément dans la région du comté de Mandera, l'industrie des carrières a connu une croissance rapide au cours des dernières années [83]. Cette étude vise donc à examiner l'impact de l'extraction de pierres sur l'environnement, et les moyens de subsistance des communautés du comté de Mandera au Kenya. L'étude a révélé que l'extraction de pierres contribue à des effets négatifs tels que la dégradation des terres, de la couverture végétale, pollution des eaux, et affecte la santé de la population (douleur musculaire chez de nombreux travailleurs de carrière, et asthme). L'étude recommande que, compte tenu des impacts négatifs dans le comté de Mandera, qu'il soit nécessaire d'utiliser des technologies qui soient respectueuses de l'environnement et de la réhabilitation des carrières après utilisation.

Les activités du secteur minier dans l'arrondissement de Figuil (Cameroun), portent sur l'extraction des ressources de construction. Il s'agit des carrières de

(calcaire/marbre, sable, argile et granulats) et des usines de transformation de ces matériaux [32]. Les résultats des analyses des caractéristiques chimiques des eaux souterraines prélevées au niveau des sites d'extraction des marbres et des calcaires, grâce à l'étude menée par Oumarou Toumba et al., [32] révèlent que les nappes phréatiques sont chargées d'acide carbonique à plus de 250 mg/l. En saison pluvieuse, ces nappes situées à 1 m sous la carrière de Bergui subissent la « nitrification » qui est due à l'utilisation des explosifs qui servent à l'abattage des roches. Du fait de l'augmentation de l'extraction minière, les doses de nitrate ont dépassées la norme exigée par l'OMS (50 mg/l). L'excès du nitrate, selon Veyret Y., et al. [84], entraîne des troubles (maladie bleue). L'exploitation minière présente des risques écologiques majeurs au Cameroun. L'idée du nouveau code minier camerounais de 2001 est d'atténuer les effets néfastes de l'extraction minière et d'offrir des compensations aux populations riveraines n'est pas véritablement mise en pratique. Une gestion efficiente de l'environnement n'est toujours pas à l'ordre du jour. C'est pourtant la voie nécessaire pour que le secteur minier puisse contribuer à la protection des écosystèmes et à l'amélioration du cadre de vie des populations actuelles et futures, dans une vision partagée de la protection de la nature et du développement durable [85].

De nombreux aspects environnementaux ont été identifiés le long de la vallée de Nzhelele, dans la province du Limpopo, en Afrique du Sud [86]. Ces aspects comprennent l'effondrement des berges, la destruction de l'habitat, les changements d'affectation des terres et l'étanchéité des plaines inondables. Ces aspects ont un impact significatif sur la fonctionnalité environnementale de la vallée. L'équilibre de la nature est perturbé et ayant un effet sur l'écosystème. Les contaminants dans les fosses peuvent affecter l'eau souterraine qui alimente la rivière. L'eau contaminée peut parfois contenir des éléments nutritifs qui augmenteront le niveau de nutriments de l'eau déjà dans la rivière, ce qui entraînera l'eutrophisation et la prolifération d'algues qui augmente la demande en oxygène dans l'eau [87]. Le matériau érodé augmente la sédimentation, la turbidité et le dépôt de polluants dans la rivière. Edmore K., et Humphrey M., [86] à travers cette recherche ont montré qu'il y a une dégradation environnementale importante dans la vallée de Nzhelele en raison de l'exploitation non réglementée de sable et de gravier.

La ville de Mohammedia au Maroc connaît une richesse en argiles très importante. Certaines exploitations, notamment les carrières d'argiles engendrent cependant des impacts négatifs sur l'environnement. Le lac (Figure 2.6) apparu suite à l'activité extractive de l'argile dans la carrière de Chaaba El Hamra (Maroc) est en contact direct avec plusieurs sources de pollutions dont les huiles des engins. La pollution de ce lac menace la nappe phréatique de toute la région de Mohammedia, d'où l'intérêt de le protéger [88].



Figure 2.6 : Carrière de Chaaba El Hamra (Maroc) [88].

En Algérie, à titre d'exemple la wilaya de Sétif enregistre plusieurs carrières d'agréats (Annexe H) utilisées dans le domaine du bâtiment et travaux publics, l'une de ces carrières exploitant des roches carbonatées, est celle du Djebel Gustar Ain- El Hadjer (Sétif- Algérie). Une étude d'impact de l'exploitation a été réalisée, pour mieux déceler les effets nuisibles de cette exploitation sur l'environnement et de cerner les solutions et recommandations nécessaires pour réduire et compenser ces effets [89]. La méthode d'exploitation au niveau de la carrière, s'effectue à ciel ouvert, les réserves du gisement sont des roches carbonatées dures. L'extraction de granulats repose sur l'utilisation d'explosifs (Figure 2.7). La carrière se trouve sur le versant sud du Djebel Gustar, on n'enregistre aucun obstacle de déversement des eaux du ruissellement pendant les saisons pluviales. D'autre part; on a l'absence des rejets d'eau polluée dans le milieu naturel (méthode à sec). En ce qui concerne les hydrocarbures, ils sont récupérés dans des bacs et stockés dans des fûts métalliques.



Figure 2.7: Séquence d'un tir au niveau de Djebel Gustar Ain- El Hadjer (Setif- Algérie) [89].

Le développement accéléré des villes de la région ouest, et la demande croissante sur le sable, ont poussé les autorités régionales et locales à installer une carrière au niveau de la dune de Terga (littoral ouest algérien). L'impact de l'exploitation de cette carrière enregistré est la dégradation du paysage côtier, la régression de la couverture végétale, l'ensablement des terres agricoles limitrophes, le déséquilibre de la dynamique fluviale de l'oued Malleh (Figure 2.8).



Figure 2.8 : Elargissement de l'oued Mallah dû à l'extension de la sablière [90]

2.3 Conclusion

Les travaux antérieurs à travers leur description succincte mettent en relief différents types d'impacts induits par l'exploitation des carrières sur l'environnement en général et sur les eaux de surface et souterraines en particulier. La plupart des exemples cités témoignent de la prépondérance de l'activité humaine, liée aux moyens d'extraction mis en œuvre, source de multiples modifications du comportement physicochimique des nappes et des eaux superficielles à travers l'augmentation des taux de résidu sec et de turbidité, pour ne citer que cela.

CHAPITRE 3

REGION D'ETUDE ET METHODES DE TRAVAIL

3.1. Introduction

Nous aborderons dans ce chapitre, la présentation de la situation géographique et socio-économique de la région d'étude. Nous décrivons le climat de la région ainsi qu'une présentation sommaire de la géologie, pédologie ainsi que la présentation d'un bilan des ressources hydriques.

3.2. Situation géographique

La région de Hammam Melouane, se situe au pied de l'Atlas Blidéen, à 43 km au Sud d'Alger (Figure 3.1), et au sud de la wilaya de Blida, à environ 30 km à l'est de celle-ci. Elle est limitée :

- ❖ A l'est par Bougara ;
- ❖ Au nord par Bouinan et Chebli ;
- ❖ A l'ouest par Chréa et Hamdania ;
- ❖ Au sud par Baata et EL-Omaria (wilaya de Médéa).

Elle se caractérise par un territoire montagneux, occupant 85% de sa superficie. C'est une région à vocation touristique et agricole.

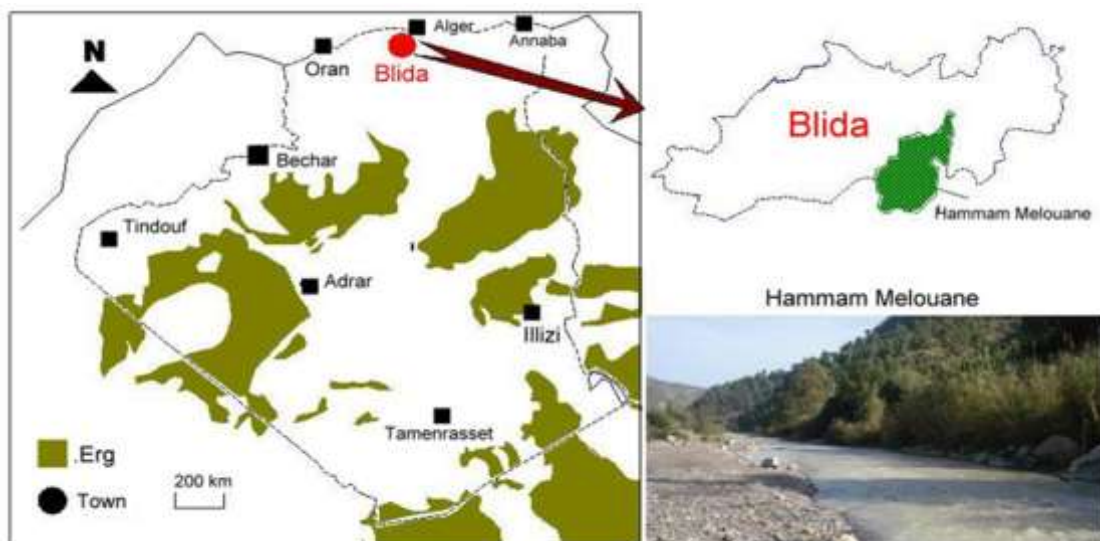


Figure 3.1 : Situation géographique de la région d'étude et localisation de la commune de Hammam Melouane [91].

3.3. Activité socio-économique

Le tourisme représente l'une des activités principales dans la commune grâce à la station thermale de Hammam Melouane située en pleine montagne, qui porte le nom de la commune. A lui seul il fournit près de 30% de l'emploi de la population active.

3.4. Caractéristiques générales

3.4.1. Hydrographie et biodiversité

L'oued El-Harrach de 67 kilomètres de long prend naissance dans l'atlas Blidéen près de Hammam Melouane, et il se jette dans la Baie d'Alger. En amont de celui-ci, l'oued Magtâa Lazreg est le résultat de la confluence (Figure 3.2) des trois oueds, l'oued Chréa, l'oued Lakhra et l'oued Boumaane. La zone de Magtâa Lazreg est régulièrement alimentée par l'infiltration des eaux de surface et souterraines grâce à la quantité de neige appréciable qui tombe en hiver sur les hauteurs lointaines et avoisinantes.



Figure 3.2 : Point de confluence [9].

Le sol des berges au niveau de la confluence présente une structure limono-sableuse, et il est très riche en matière organique. La faune se caractérise par une présence permanente de poissons, d'amphibiens, de batraciens, et de reptiles.

3.4.2. Climatologie

L'Algérie est caractérisée par trois bandes climatiques qui s'étendent du Nord (Mer Méditerranée) au Sud (Sahara) sur plus de 2.000 kilomètres. Les montagnes de l'Atlas Tellien et de l'Atlas Saharien divisent ce territoire en bandes orientées Est-Ouest :

- celle de la côte et de l'Atlas Tellien ;
- celle des Hautes Plaines et de l'Atlas Saharien ;
- celle du Sahara.

Chaque bande est caractérisée par un climat particulier. Les vents humides en provenance de la mer apportent des pluies, de l'automne au printemps. Ces pluies sont plus abondantes à l'Ouest qu'à l'Est. L'influence du désert se fait sentir jusqu'à la côte par un vent sec et chaud, soufflant du Sud au Nord le «sirocco ». Ce vent chargé de sable élève la température et dessèche la végétation. La pérennité des ressources en eaux est liée aux facteurs climatiques et anthropiques. En fait, l'accroissement démographique, l'extension des superficies irriguées, et les changements climatiques contribuent à la demande en ressources en eau [92, 93].

3.4.2.1. Les précipitations

L'étude des précipitations est essentielle. Les pluviomètres donnent des indications ponctuelles sur la quantité d'eau tombée, et ne peuvent pas forcément représenter les conditions pluviométriques exactes d'une grande surface. Dans le secteur d'étude (Figure 3.3), c'est au mois de Juillet qu'on enregistre le moins de

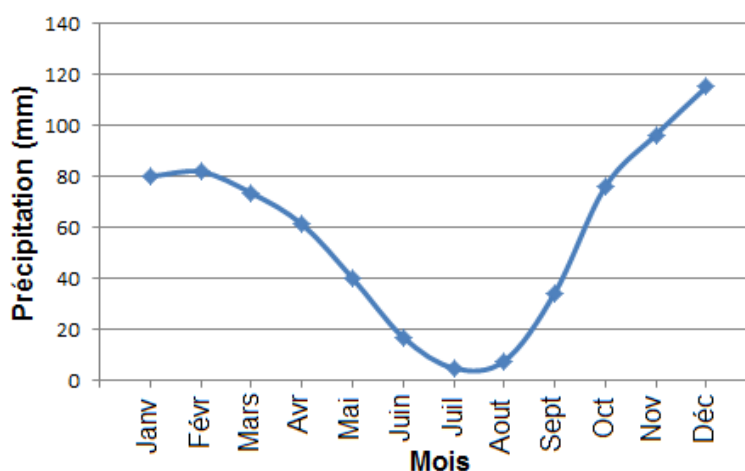


Figure 3.3 : Variation mensuelle des précipitations au niveau de Hammam Melouane (Période comprise entre 1950 et 1988) [94].

précipitations 4,6 mm ; par contre le mois de décembre est marqué par une nette augmentation des précipitations qui atteignent un maximum de 115,2 mm. La région connaît des périodes d'enneigement, durant les mois de décembre, janvier et février, la hauteur des neiges peut atteindre 100 cm.

L'étude de la répartition saisonnière de la pluviosité montre une grande variabilité des précipitations (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 : Répartition saisonnière des précipitations [94].

Saison	Automne Sep. Oct. Nov.	Hiver Déc. Jan. Fév.	Printemps Mars. Avr. Mai	Eté Juin. Juil. Aout
Précipitation mm	206,6	277	174,4	28,7
%	30,08	40,34	25,4	4,18

Les précipitations sont abondantes durant l'hiver. Elles apportent de grandes quantités d'eau qui engorgent le sol et provoquent le ruissellement, entraînant souvent des éboulis dans les zones dépourvues de végétation.

On remarque que la saison la plus pluvieuse est l'hiver avec une précipitation de 277 mm soit 40.34% de la précipitation totale, et la saison la plus sèche est l'été avec une précipitation de 28,7 mm soit 4,18% de la précipitation totale (Figure3.4).

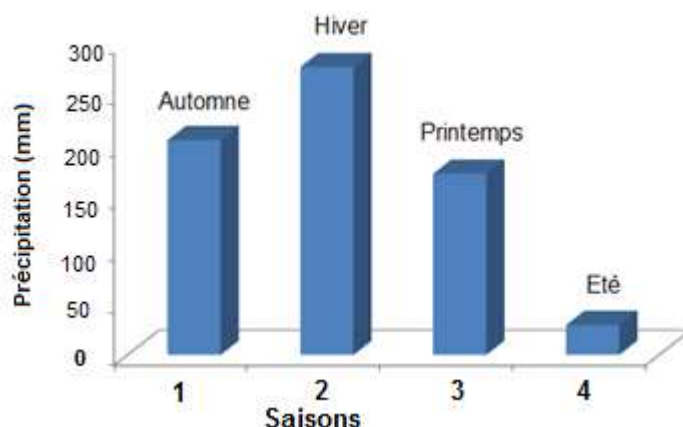


Figure 3.4 : Répartition saisonnières des précipitations au niveau de Hammam Melouane [94].

3.4.2.2. L'humidité relative

L'humidité relative de l'air est assez importante (Tableau 3.2).

Tableau 3.2 : Valeurs mensuelles de l'humidité relative au niveau de Hammam Melouane [94].

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité %	76%	80%	74%	73%	77%	70%	69%	69%	72%	73%	78%	79%

Les pourcentages les plus élevés sont enregistrés aux mois de février et décembre respectivement 80% et 79%, et les plus faibles 69% au mois de juillet et au mois d'août (Figure 3.5).

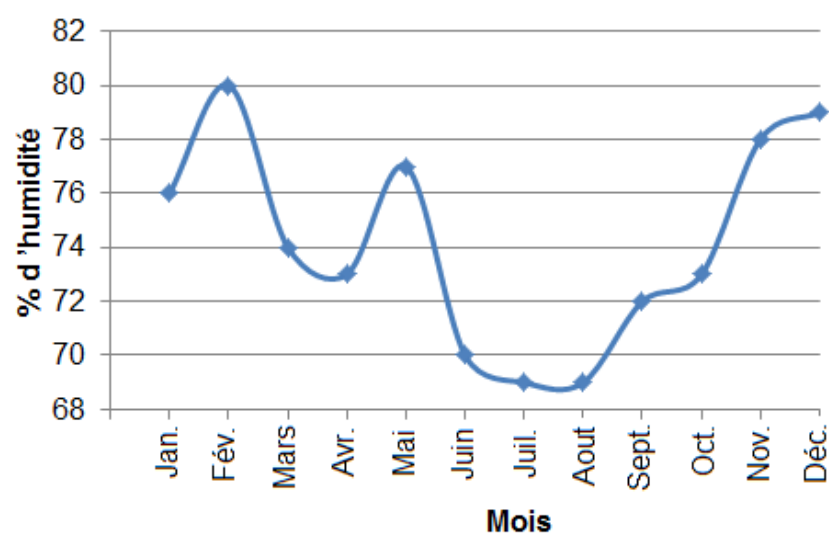


Figure 3.5 : Variation mensuelle de l'humidité relative au niveau de Hammam Melouane [94].

3.4.2.3. L'insolation

L'ensoleillement est caractérisé par un maximum de 11heures en juillet et un minimum de 5 heures aux mois de janvier, novembre et décembre (Figure 3.6).

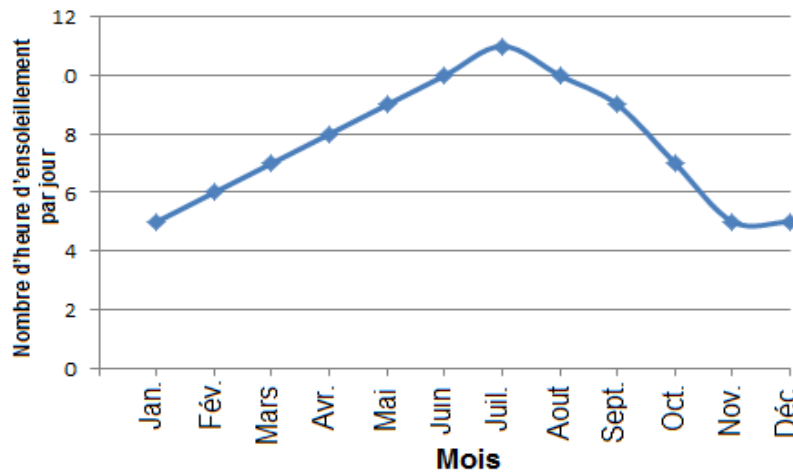


Figure 3.6 : Variation du nombre d'heures d'ensoleillement par jour au niveau de Hammam Melouane (Période comprise entre 1950 et 1988) [94].

3.4.2.4. La température

La région de Hammam Melouane est caractérisée par un climat tempéré. Les mois les plus froids sont :

- ❖ Janvier avec une température maximale de 18°C et une température minimale de 6°C ;
- ❖ Novembre avec une température maximale de 20°C et une température minimale de 10°C ;
- ❖ Décembre avec une température maximale de 18°C et une température minimale de 7°C.

La variation de ce paramètre est consignée dans le tableau 3.3, et la Figure 3.7.

Tableau 3.3 : Données climatiques au niveau de Hammam Melouane (Période comprise entre 1950 et 1988) [94].

Mois	Jan	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Température moyenne maximale (°C)	18	18	21	22	25	29	31	33	30	27	20	18
Température moyenne minimale (°C)	6	5	7	9	14	16	19	20	18	15	10	7
Température moyenne $T = (T_{Max} + T_{Min}) / 2$	12	11.5	14	15.5	19.5	22.5	25	26.5	24	21	15	12.5
Précipitations (mm)	80	81,8	73,4	61,1	39,9	16,7	4,6	7,4	34,2	76	96,4	115,2

Les mois les plus chauds correspondent en moyenne aux mois de juin, juillet et août avec respectivement des températures maximales de 29°C ; 31°C et 33°C (Figure 3.7).

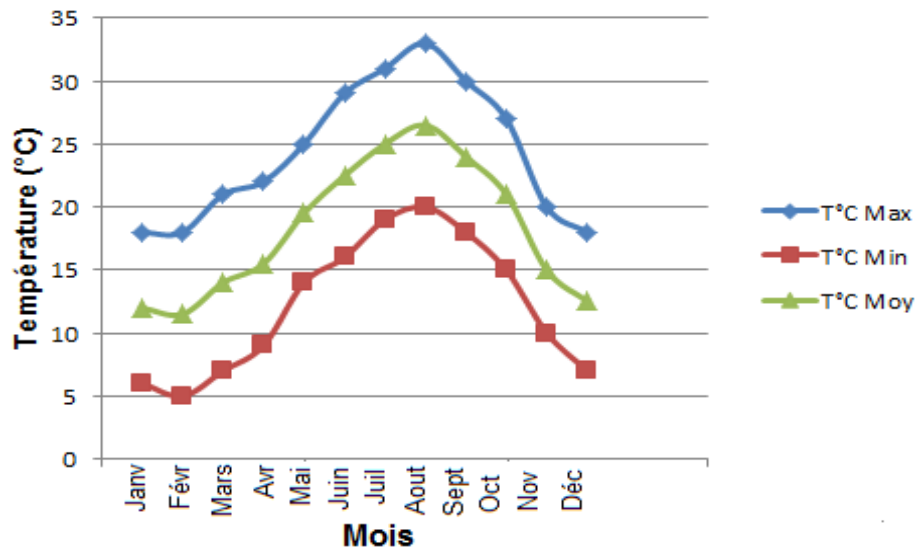


Figure 3.7 : Variation des températures au niveau de Hammam Melouane [94].

3.5. Le cadre géologique général

3.5.1. Le cadre général

Le contexte géologique est très complexe dans le secteur étudié. Effectivement ce dernier se situe à l'endroit de la zone de transition entre le piémont de l'atlas Blidéen et la plaine de la Mitidja ; sa limite peut être confondue avec celle du bassin de la Mitidja qui appartient à la partie septentrionale du domaine tellien. Le bassin de la Mitidja est limité au nord par la mer méditerranée, au sud par l'Atlas Blidéen, à l'Ouest par l'oued Nador et à l'Est par la ville de Boudouaou. La plaine de la Mitidja, a fait l'objet de plusieurs études géologiques basées essentiellement sur les travaux de Glangeaud & Aymé (1935) [95] et Glangeaud (1932) [96].

3.5.2. Le cadre local

La plaine de la Mitidja correspond à un bassin sédimentaire post-nappe constitué de terrains plio-quadernaires, par endroits d'âge miocène ou quelquefois crétacé. Les différents terrains affleurant dans la Mitidja sont présentés sur la carte géologique (Figure 3.8).

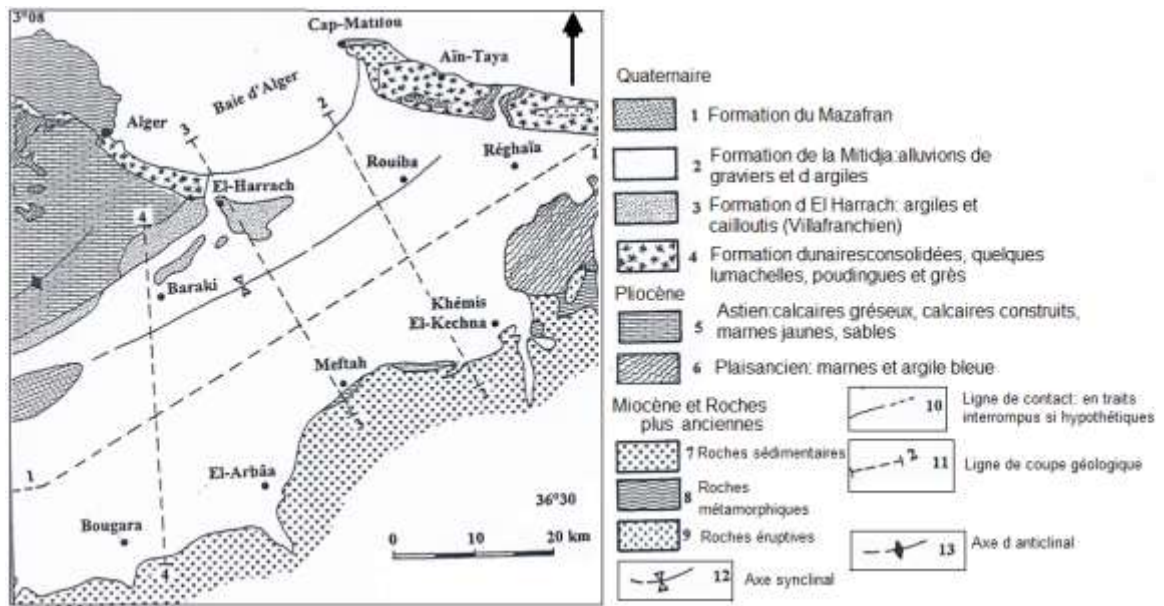


Figure 3.8. Carte géologique de la plaine de la Mitidja [97].

3.5.3. Morphologie de la Mitidja

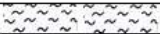
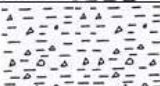
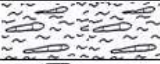
On distingue quatre unités géomorphologiques, du Sud au Nord:

- L'Atlas, dont les sommets atteignent 1200m, culminant à 1600m au Mont de Chréa avec son relief rajeuni ;
- le piémont (100 à 150 m d'altitude moyenne), défini par une zone d'alluvionnement qui masque le contact structural entre les montagnes et le bassin;
- la plaine (20 à 30m d'altitude) en affaissement constant et dont le niveau inférieur s'abaisse plus rapidement;
- le sahel qui borde la plaine au Nord, l'isolant de la mer, avec une altitude comprise entre 200 et 250 m.

3.5.4. Stratigraphie de la Mitidja

Nous pouvons résumer la stratigraphie et la lithologie de la plaine de la Mitidja dans le Tableau n° 3.4. L'étude géologique d'ensemble de la Mitidja et à travers la littérature disponible reste assez complète. Cependant dans certains secteurs elle montre que certains problèmes de détail ne sont pas encore totalement cernés. Mis à part le problème de terminologie du Plio-Pléistocène, le Calabrien reste tout de même absent dans le Sahel d'Alger. Saoudi N., [98] admet que le Calabrien est difficilement observable sur le terrain en tant qu'entité sédimentologique dissociable du Pliocène (même Faciès que celui de l'Astien).

Tableau 3.4: Lithostratigraphie synthétique de la Mitidja [97].

SYSTEMES		ETAGES	LITHOLOGIE	Figurés lithologiques	Epaisseur en (m)
Quaternaire	Halocène	Actuel/ Récent			20
	Pleistocène	Flandrien/Rharbien	Limons, Argiles limoneuses		30
			Sables consolidés à lumachelles		30
		Soltanien/ Tensiftien	Alternance d argiles et de graviers (Formation de la Mitidja)		150
		Calabrien/ Villafranchien	Argiles et cailloutis (Formation d El Harrach) 2ème Substratum		100
Tertiaire	Pliocène	Astien	Calcaires gréseux, calcaires construits, marnes jaunes, sables		120
		Plaisancien	Marnes et argiles bleues 1er Substratum		200
	Miocène	Vindobonien	Marnes à lentilles de calcaire		50
		Burdigalien	Marnes à lentilles de grès		?

3.5.4.1. Miocène et roches plus anciennes

Le miocène est constitué par des marnes contenant des lentilles de calcaires de 40 à 50 cm d'épaisseur appartenant au Vindobonien.

3.5.4.2. Plaisancien

Il est constitué principalement de marnes bleues et localement de bancs de grès faiblement glauconieux faisant apparaître des marnes en surface visibles uniquement dans les collines du Sahel (Figure 3.9) [99].

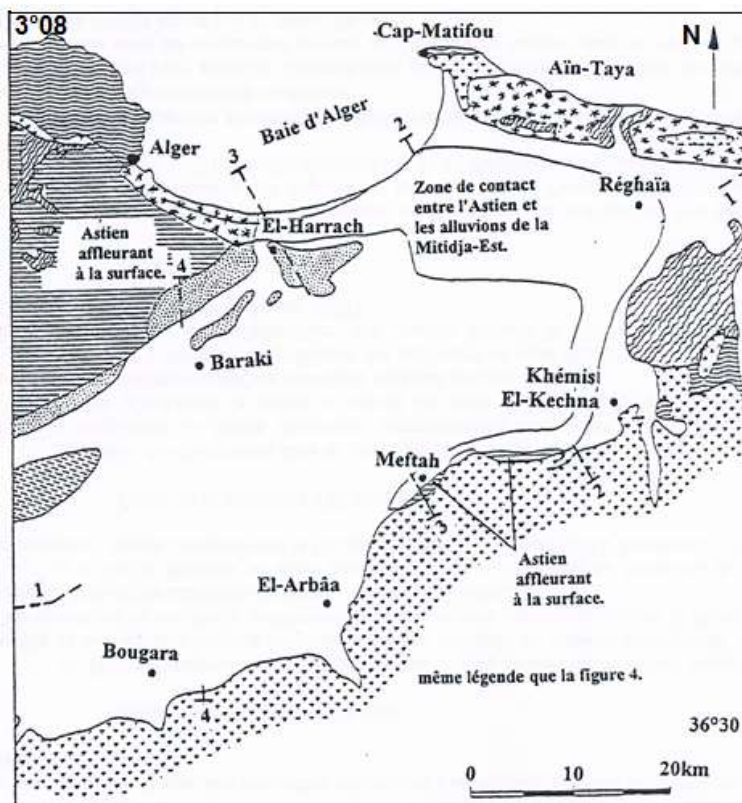


Figure 3.9 : Carte en écorché de la surface érodée de l'Astien en contact avec les alluvions de la Mitidja (même légende que la Figure 3.10) [97].

3.5.4.3. Astien

L'Astien est matérialisé par différents types de Faciès :

- Le Faciès marno-sableux : reste dominant du point de vue puissance et étendue;
- Le Faciès gréso-calcaire : le plus souvent, il est constitué de calcaires gréseux et granuleux parfois glauconieux ;
- Le Faciès molassique : Faciès récifal ou sub-récifal, il est composé par un calcaire spongieux, grumuleux, tendre, ou encore par des dalles de calcaires durs pouvant atteindre un mètre d'épaisseur ;
- Le Faciès gréseux et sableux : le sommet de l'Astien est constitué d'un dépôt (grès grossier tendre avec galets de l'Atlas à grosses huitres) de 30m d'épaisseur.

3.5.4.4. Villafranchien (Calabrien) : Formation d'El-Harrach

La formation d'El-Harrach est assimilée à une séquence uniforme d'argiles plastiques jaunes ou grises, par endroit légèrement caillouteuses.

3.5.4.5. Soltanien-Tensiftien (Tyrrhénien) : Formation de la Mitidja

La formation de la Mitidja est composée principalement d'alluvions grossières (graviers, galets, limons et argiles en quantités variables) avec une épaisseur maximale au centre.

3.5.4.6. Rharbien (Flandrien) : Dépôts récents

Ils sont constitués de sables dunaires, des dépôts du piémont de l'Atlas ainsi que les graviers. Le piémont de l'Atlas est couvert de débris se composant de gros éléments anguleux dans une matrice de limons argileux provenant d'un cône de déjection et d'une solifluxion de matériaux du massif Blidéen [100].

3.5.5. Cadre paléogéographique et tectonique

- La séquence des événements géologiques

Le bassin de la Mitidja s'est formé par affaissement d'un socle rigide, entre les failles d'orientation E-W et NE – SW. Après la sédimentation de dépôts marins du Plaisancien et de l'Astien, le Sahel s'individualise en une ride anticlinale [96,101]. La Figure 3.10 établie par Binnie-Atkins (1983) [97] montre la chronologie des principaux événements géologiques depuis le Pliocène du bassin de la Mitidja.

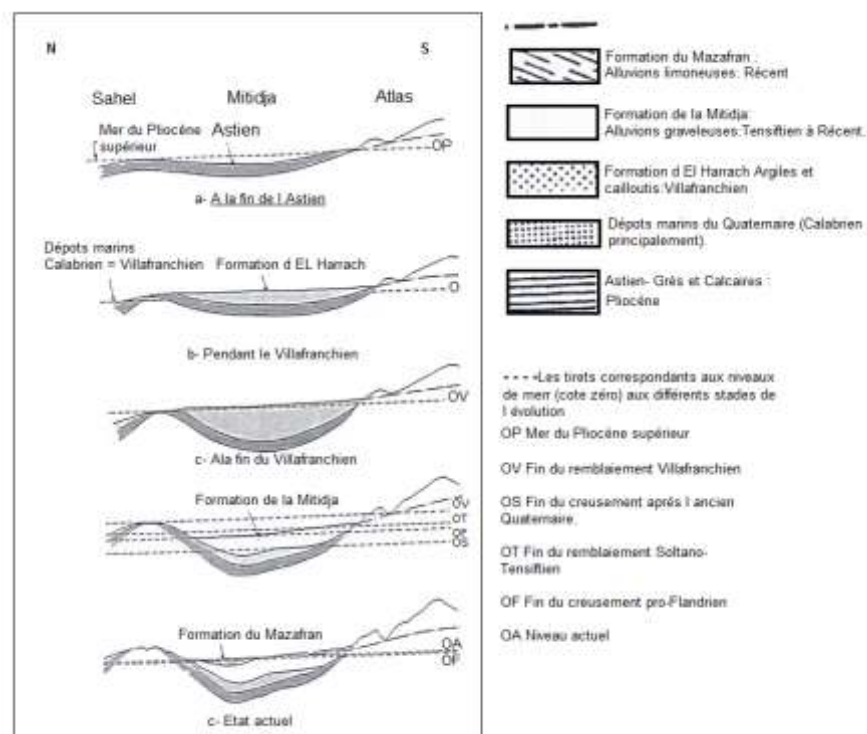


Figure 3.10. Evolution de la Mitidja, du sahel et de l'Atlas pendant le Pliocène et le Quaternaire [97].

- Isolement du bassin

Le phénomène d'affaissement synclinal du bassin est enregistré durant le Miocène, laissant apparaître des roches volcaniques à sa périphérie et plus particulièrement le long de sa bordure.

- Sédimentation durant le Pliocène

Des conditions de bas-fonds, prédominant à la fin de cette période, entraînant le dépôt d'une série caractéristique constituée de marnes, grès et de calcaires [92].

L'isolation complète de la Mitidja par rapport à la mer à travers le soulèvement de l'anticlinal du Sahel apparaît à la fin du Pliocène [96,99].

- Dépôt de la formation d'El –Harrach

Au début du Quaternaire dans le sillon subside s'accumulent des formations fluvio-lacustres originaires de l'Atlas constituées essentiellement de marnes jaunes [100,102].

- Dépôts de la formation de la Mitidja

Les dépôts caillouteux remplissent progressivement le bassin de la Mitidja comblant les chenaux de matériaux grossiers durant le Quaternaire Moyen,

Dans ce qui précède nous nous sommes surtout attachés à dégager certains traits marquants grâce auxquels ont été définis les formations aquifères et leurs substratums imperméables dans la région du bassin de la Mitidja, et notamment dans leur secteur d'étude.

3.6. Hydrogéologie

3.6.1. La lithologie

La lithologie permet d'apprécier les caractéristiques hydrogéologiques des principales formations géologiques. Deux ensembles physiques sont mis en évidence : la plaine de la Mitidja et l'Atlas Blidéen qui fait partie de l'Atlas Tellien.

On y distingue :

- des terrains à perméabilité très faible (marnes, argiles) ;
- des terrains à perméabilité moyenne (schistes, sables, graviers..); où les ressources en eau sont variables ;
- des terrains à perméabilité élevée (calcaires, alluvions): où les ressources en eau sont généralement importantes (Figures 3.11, et 3.12).

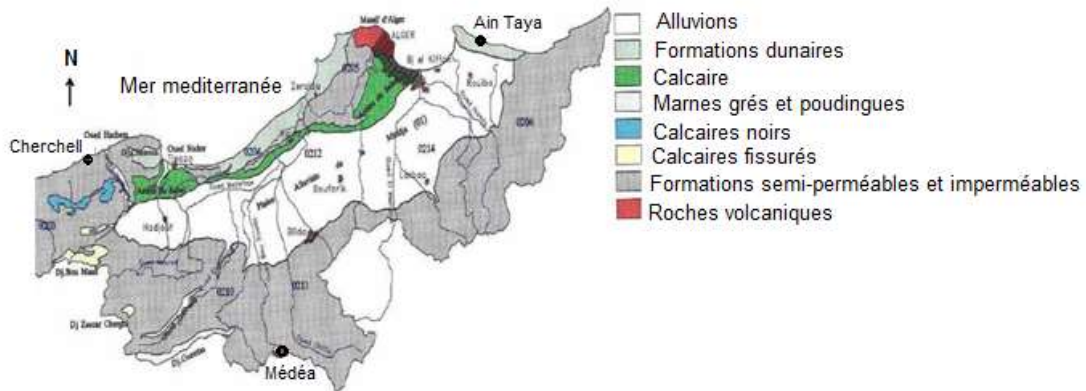


Figure 3.11 : Carte géologique du centre Algérois (Bennie et Partners, 1983).

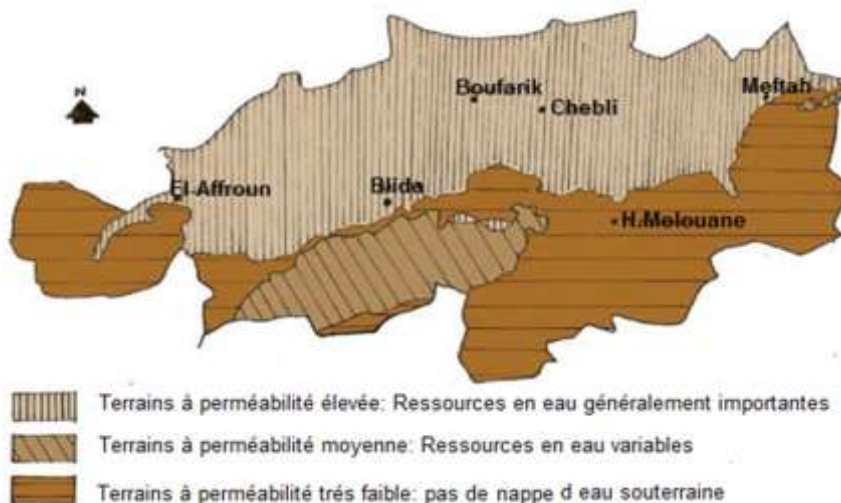


Figure 3.12 : Carte de perméabilité [103].

Les terrains à perméabilité élevée, se localisent au Nord. Ils représentent globalement 50% de la superficie totale, favorisant l'écoulement de surface. Les terrains à perméabilité moyenne se situent au sud et à l'extrême Est. Au sud, les terrains à très faible perméabilité accentuent le ruissellement. La lithologie et les paramètres hydrodynamiques des terrains permettent la mise en évidence de deux unités aquifères principales (Figure 3.13) :

- L'Astien gréseux ou grésocalcaire ;
- Les alluvions du Quaternaire. La coupe géologique suivante montre la superposition des deux aquifères (Figure 3.13).

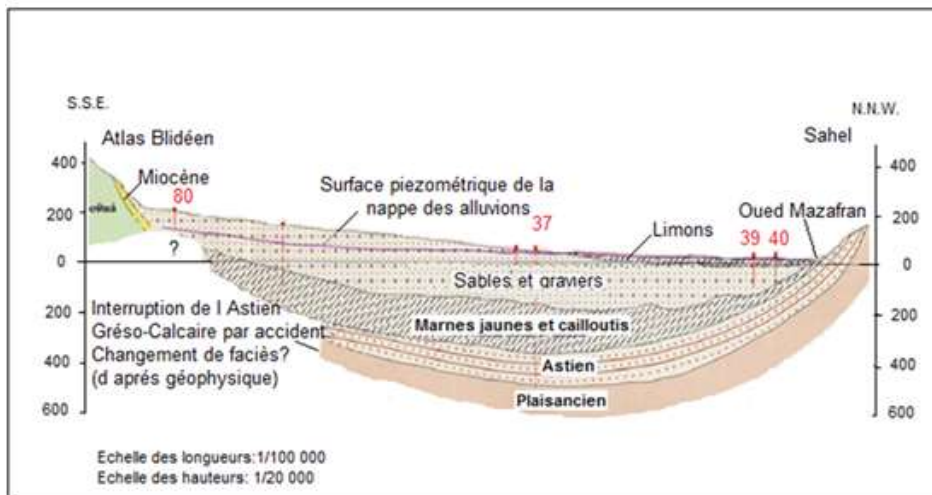


Figure 3.13. Coupe géologique transversale de la Mitidja (Dans Carte hydrogéologique) [102].

3.6.2. La source thermique de Hammam Melouane

Un important accident tectonique orienté E-W, met en contact des formations crétacées au sud et du miocène inférieur au nord et sur lequel sont alignés des griffons permet la mise à jour de la source thermique. Il est jalonné par des pointements triasiques rouges assez remarquables, et formés de gypse, cargneules, et marnes bariolées. Ce Faciès remonte le long du contact séparant les formations de la Mitidja et celles de l'Atlas Blidéen (Figure 3.14).

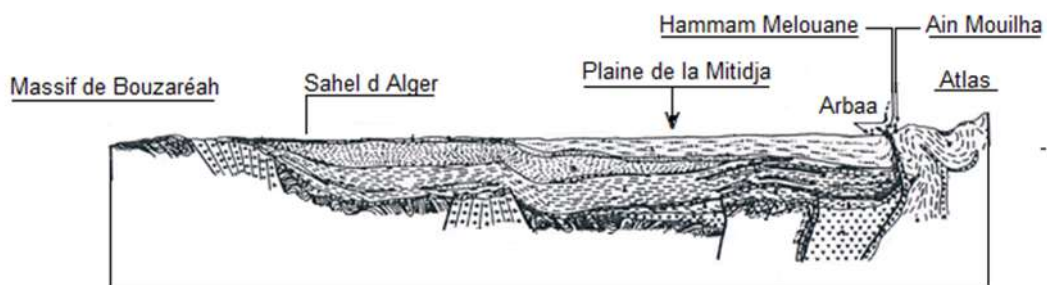


Figure 3.14 : Coupe de la Mitidja [104].

Plus au nord, ont été observés des schistes, cipolins, micaschistes et gneiss recouverts par les alluvions quaternaires.

3.6.3. Les ressources hydriques de la région d'étude

3.6.3.1. Les ressource en eaux souterraines

Elles se situent au niveau de la nappe phréatique du quaternaire, évaluée à 200 hm³. Cette nappe est très sollicitée en raison de l'indisponibilité des eaux de surface en quantités appréciables.

3.6.3.2. Les ressource en eaux superficielles

En termes de mobilisation des eaux de surface, la faiblesse des équipements constitue un handicap majeur pour la disponibilité de la ressource alors que les potentialités mobilisables sont estimées à 550 hm³ (Figure 3.15).

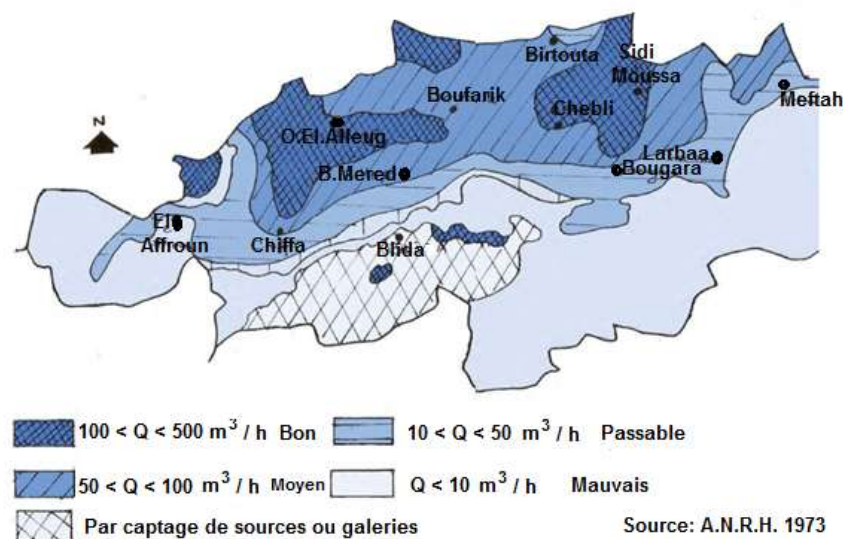


Figure 3.15 : Répartition des ressources hydriques [104].

3.7. Hydrologie

L'hydrologie de surface montre un réseau assez dense à l'amont; ceci est dû à l'humidité du climat, à la pente et à la présence de terrains de très faible perméabilité, favorisant le ruissellement aux dépens de l'infiltration. On distingue les principaux oueds suivant:

- Le Mazafran et ses principaux affluents : oued Djer, oued Bouroumi et oued Chiffa, l'écoulement est estimé à 300 hm³/an.
- El Harrach, avec un écoulement évalué à 273 hm³/an, commence son parcours à plus de 1200m d'altitude sur les hauteurs du Rocher des Pigeons. Son principal affluent est l'oued Djemaa. Le secteur appartient selon le découpage de l'A.N.R.H à 02 grands bassins (Figure 3.16):

3.7.1. Le bassin versant du Mazafran

Il s'étend d'Ameur El Ain à El - Affroun à la verticale de Bouinan, d'une superficie totale de 1912 km².

3.7.2. Le bassin versant d'EL Harrach

Il s'étend de Bouinan à Meftah, d'une superficie de 1207 km². Il est limité au Nord par le Sahel et la mer, au Sud par l'Atlas. L'ensemble de ces sous bassins versants, présente un écoulement de direction Sud-Nord avec exutoires vers la mer.

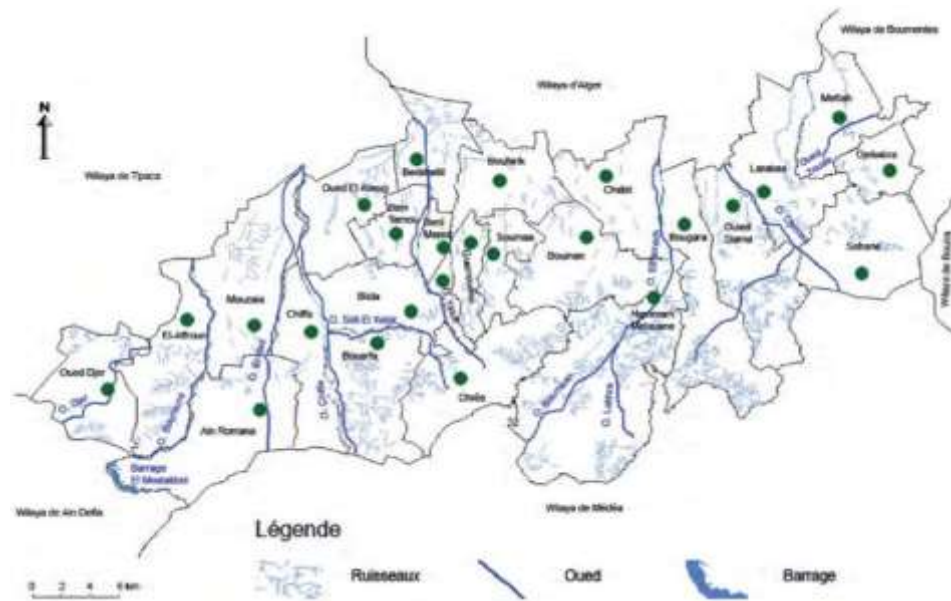


Figure 3.16 : Réseau hydrographique [104].

3.8. Pédologie

L'absence de couverture végétale et l'apport de fortes quantités d'eau en période de pluie engorgent le sol argileux et très accidenté (Figure 3.17).



Figure 3.17: La végétation de Hammam Melouane [9].

La commune de Hammam Melouane est presque dans sa totalité montagneuse, le secteur est couvert de maquis, et de broussailles avec une dominance d'arbres forestiers, constitués de chêne, liège, pin d'Alep.

3.9. Matériel et méthodes

L'utilisation de l'eau exige une grande attention du point de vue réglementation, du fait que sa qualité physico-chimique et microbiologique influe sur le bien-être des écosystèmes et de l'homme [105-107]. Plusieurs études ont été consacrées à la pollution hydrique [35-39]. Les paramètres physiques, chimiques et biologiques sont utilisés pour évaluer la qualité de l'eau potable [34], car l'eau potable doit répondre à certaines normes de santé fixées par l'Organisation mondiale de la santé. Un suivi de l'évolution de la qualité des eaux à travers un réseau d'échantillonnage constitué de six points de prélèvements a été choisi en vue d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux de surface (Figure 3.18).

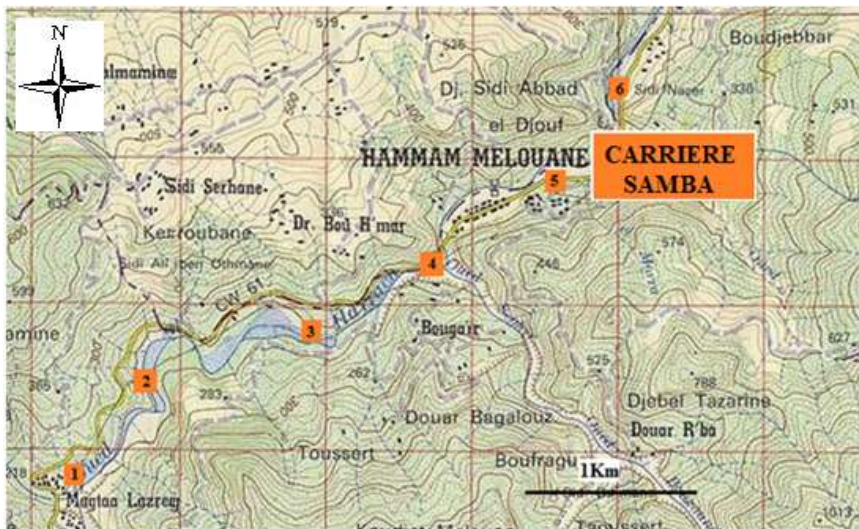


Figure 3.18. Localisation des points de prélèvements par rapport à la carrière **SAMBA** [108].

La zone de Hammam Melouane étant à vocation touristique, un intérêt particulier a été accordé à l'étude de l'impact de l'extraction des granulats sur la qualité physico-chimique des eaux. A cet effet cinq campagnes de terrain furent effectuées entre 2010 et 2012 (Tableau 3.5). Les analyses physico-chimiques ont portées sur la mesure du pH, de la conductivité, de la turbidité, du résidu sec, et de la concentration des éléments majeurs. Le prélèvement d'un échantillon d'eau

constitue une opération délicate, et pour laquelle le plus grand soin doit être apporté. Les résultats analytiques et leur interprétation dépendent des conditions de prélèvement (les indications sur l'environnement notamment la météo, le débit de l'oued, la présence de faune et de flore sur le cours d'eau, etc.....), elles seront précieuses au moment de l'interprétation des données.

Tableau 3.5 : Les campagnes d'échantillonnage effectuées durant l'étude.

Campagnes	Périodes	Nombre d'échantillons	Eléments dosés
1	Décembre 2010	6	Eléments majeurs, et NO_3^-
2	Février 2011	6	Eléments majeurs, et NO_3^-
3	Avril 2011	6	Eléments majeurs, et NO_3^-
4	Octobre 2012	6	Eléments majeurs, et NO_3^-
5	Novembre 2012	6	Eléments majeurs, et NO_3^-

Trois paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique et turbidité) ont été mesurés *in situ*, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'une valise multiparamètre de terrain. Afin de contrôler la fiabilité des résultats d'analyse, on a procédé à l'application de la méthode de la balance ionique (Annexe E, Annexe F). La limite pour une analyse exploitable est fixée à un écart maximal de 10% et qui est une erreur acceptable dans notre cas.

3.9.1. Méthodes d'analyse

Les données ont été traitées en utilisant une combinaison de méthodes statistiques multivariées et hydrochimiques.

3.9.1.1. Les méthodes analytiques

La méthode colorimétrique a été utilisée pour le dosage des éléments (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-), tandis que pour le dosage des cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) la spectrophotométrie d'absorption atomique.

3.9.1.2. Traitement statistique

3.9.1.2.1. Analyse en composante principale (ACP)

Une première approche fait appel à l'Analyse en Composantes Principales (ACP) à l'aide du logiciel XLSTAT sur des variables centrées réduites, afin d'éliminer l'effet de grandeurs des valeurs étudiées. L'analyse statistique (ACP) met en évidence les ressemblances et la position graphique que présenteraient deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution. En effet, l'ACP est une méthode statistique multidimensionnelle descriptive utilisable comme moyen d'interprétation d'une matrice de données [109]. Chaque point d'une campagne de prélèvement constitue une unité statistique. Les différents paramètres constituent les variables qui caractérisent ces unités statistiques.

3.9.1.2.2. Classification Hiérarchique Ascendante (CAH)

La seconde approche est basée sur l'utilisation de l'analyse par la Classification Hiérarchique Ascendante (CAH) pour l'étude des phénomènes qui sont à l'origine de la minéralisation des eaux [110].

3.9.1.3. Recherche des principaux Faciès hydrochimiques

La composition des eaux naturelles est souvent appréciée grâce aux faciès hydrochimiques. La représentation graphique des résultats d'analyses s'avère nécessaire pour l'identification des faciès hydrochimiques, pour cela on a eu recours aux diagrammes de Piper et à celui de Schoeller-Berkaloff. Le logiciel Diagrammes, conçu par Roland Simler [15] a été utilisé pour la réalisation de ces derniers.

3.9.1.3.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet la représentation simultanée de plusieurs échantillons d'eau. Il est composé de deux triangles, représentant le Faciès cationique et le Faciès anionique, et d'un losange donnant le Faciès global (Figure 3.19).



Figure 3.19 : Classes d'eaux définies par le Diagramme de Piper [15].

Ce diagramme reflète l'évolution des Faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou pour comparer des groupes d'échantillons entre eux, et indiquer les types de cations et anions dominants. L'interprétation des résultats d'analyses hydrochimiques pour toutes les périodes d'observation a permis d'avoir une idée sur les Faciès chimiques des eaux de surface de la zone d'étude, et leur évolution dans le temps, ainsi que sur les conditions naturelles qui sont à l'origine de ces Faciès.

3.9.1.3.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme de Schöeller Berkaloff permet de représenter le Faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée, et la concentration de chaque élément chimique par une droite verticale en échelle logarithmique. Tous les points représentant les différents éléments chimiques, forment une ligne brisée. Un groupe d'eau de minéralisation variable, ayant les mêmes proportions pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, on observe un changement de Faciès chimique. Il est ainsi possible de déterminer le Faciès chimique, ainsi que la minéralisation de l'eau. Toutefois, la visualisation du Faciès est moins aisée qu'avec le diagramme de Piper.

3.10. Conclusion

La description des formations géologiques, nous permet d'avoir une idée sur la minéralisation des eaux. Ainsi,

- Les calcaires, formations carbonatées induisent un Faciès généralement bicarbonaté calcique ou magnésique ;
- Les marnes sont à l'origine des Faciès sulfatés ;
- La présence des formations alluvionnaires salées du Mio-Plio-Quaternaire et des marnes gypsifères d'âge Emschérien contribue à l'apparition du Faciès chloruré-calcique.

On note que la présence du Trias peut provoquer la salure des eaux.

Les différentes campagnes de prélèvements d'échantillons d'eau et à travers la restitution des résultats d'analyse (effectuées dans un seul laboratoire, au niveau de l'ANRH de Blida), en respectant l'ensemble des procédures analytiques permettent d'apprécier à la fois les Faciès chimiques (utilisation de différents diagrammes), ainsi que le traitement statistique des données par les méthodes les plus appropriées.

CHAPITRE 4

DISCUSSIONS DES RESULTATS

4.1. Introduction

L'objectif visé dans cette partie est d'évaluer l'impact de la carrière Samba sur la qualité des eaux, de représenter sa variabilité spatiale et temporelle, de déterminer l'origine de la minéralisation globale et de décider par conséquent des moyens à mettre en œuvre pour gérer et sauvegarder la qualité de ces eaux. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur les résultats obtenus lors des analyses concernant les campagnes de prélèvements que nous avons effectuées entre 2010-2012. Ces analyses ont porté sur les paramètres physiques (potentiel hydrogène pH, conductivité électrique de l'eau, turbidité et résidus secs), ainsi que les paramètres chimiques, calcium, magnésium, sodium, potassium, chlorures, sulfates, bicarbonates, et nitrate.

4.2. Paramètres physiques

4.2.1. La température

La variation des températures liées aux précipitations influe sur la chimie des eaux par dilution pendant la période pluvieuse, ou par concentration lors de l'évaporation durant la période sèche. On note par ailleurs que la solubilité des sels et des gaz ainsi que la variation de la conductivité restent subordonnées à la variation de la température [111-113], et des échanges à l'interface eau/ air. La température des eaux de la zone d'étude varie de 9,8°C en période hivernale à 29°C en période estivale avec une moyenne de 17,5°C. Cette température est influencée par celle de l'air qui dépend-elle même des variations saisonnières. La température de l'air est un facteur de grande influence sur le bilan hydrique du fait qu'elle conditionne l'évaporation.

4.2.2. La Turbidité

La turbidité est définie par la norme NF EN ISO 7027 comme étant la réduction de la transparence d'un liquide due aux matières non dissoutes [114]. Ce paramètre permet donc d'apprécier la quantité de composés colloïdaux. Elle est causée par

la présence de matières en suspension MES d'origine organique et inorganique, oxydes et hydroxydes métalliques, d'argiles, de limons, planctons et microorganismes [115,116], qui peuvent contenir des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...) [117,118]. Leur teneur varie selon les saisons, selon le régime d'écoulement des eaux, et selon la nature des rejets, etc... Elle augmente de façon très importante lors des fortes pluies. Le transport solide étant un phénomène naturel provoqué par l'érosion hydrique qui peut être accentué ou aggravé par l'action de l'homme. La Figure 4.1 montre clairement la différence de la couleur de l'eau entre l'amont et l'aval de la carrière. La couleur jaunâtre indique une forte turbidité de l'eau en aval, à 01 km de la carrière, traduisant la mise en suspension de fines particules argileuses dans l'eau [9], pouvant provoquer le colmatage du fond limitant ainsi les échanges avec la nappe.



Aval de la carrière SAMBA



Amont de la carrière SAMBA

Figure 4.1 : Variation entre la couleur de l'eau en amont et en aval de la carrière SAMBA [9].

L'intensification du colmatage, implique l'augmentation de la hauteur du niveau de l'eau dans l'oued qui peut engendrer un débordement en aval. Par ailleurs, l'éventualité d'un dépôt de vase et une dégradation de la qualité de l'eau ne peuvent être écartés. Effectivement, les indications sur l'environnement (météo, présence de faune et flore sur le cours d'eau, débit de l'oued ...) sont précieuses au moment de l'interprétation des données. On observe que pour l'ensemble des campagnes de prélèvement, les points en amont de la carrière (jusqu' au point P4) montre une distribution homogène le long de ce profil avec des turbidités

différentes. A l'endroit même de la carrière et à partir du point P4 on note un décrochement net dans l'évolution de la turbidité qui se traduit par une augmentation significative jusqu' au point P6. La turbidité varie de 3.5 à 145 NTU, où l'impact de l'exploitation de la carrière se fait sentir. Concernant la campagne d'Avril 2011 (Figure 4.2) on note une constance dans la distribution des turbidités qui pourrait être mise en relation avec l'inactivité de la carrière durant cette campagne. En effet la turbidité se caractérise par un effet visuel caractérisé par des eaux troubles, ce qui empêche la pénétration de la lumière, traduisant la réduction de la transparence de l'eau due à la présence de matière non dissoute [114].

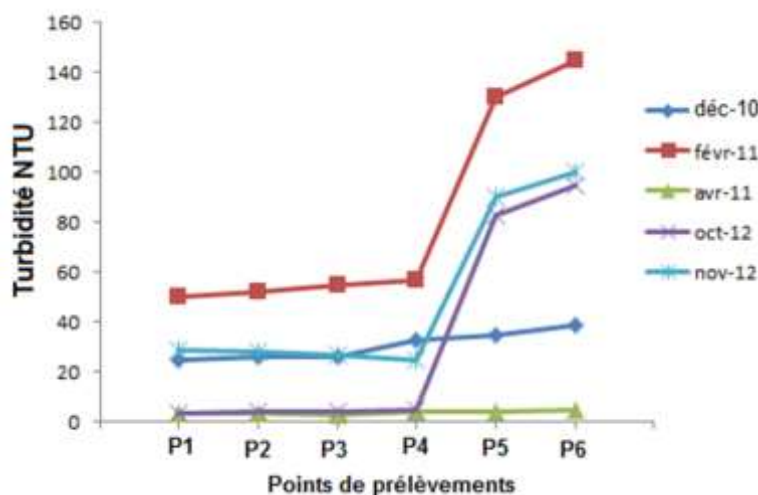


Figure 4.2 : Evolution de la turbidité durant les cinq campagnes.

Cette variation de la turbidité serait du essentiellement à l'exploitation de la carrière et son impact sur la qualité des eaux indépendamment de la pluviométrie ayant caractérisée les différentes périodes de prélèvement.

4.2.3. Le pH

D'après les travaux d'Alayat, le pH d'une eau de surface est fonction de la concentration du CO_2 . Les variations du pH peuvent être importantes pour les eaux faiblement tamponnées (faibles concentrations en CaCO_3), notamment dans les zones riches en végétaux aquatiques [119]. Dans la zone d'étude la faible variation du pH durant toutes les campagnes illustre bien l'effet tampon des eaux. Ce phénomène peut être dû à la conjugaison d'une activité photosynthétique importante (le développement des algues dans le lit du cours d'eau en témoigne), de la lithologie des terrains traversés par les eaux ainsi que par les réactions

ioniques se déroulant dans les apports des rejets au niveau des zones d'habitations. Le calcium en présence du gaz carbonique présent dans l'atmosphère, engendre un pH oscillant autour de 8,2-8,3 de l'eau, suite à l'équilibre entre les concentrations des ions hydrogénocarbonates (ou bicarbonates), et carbonates résultant de la dissociation du dioxyde de carbone dans l'eau (Figure 4.3) [120,121].

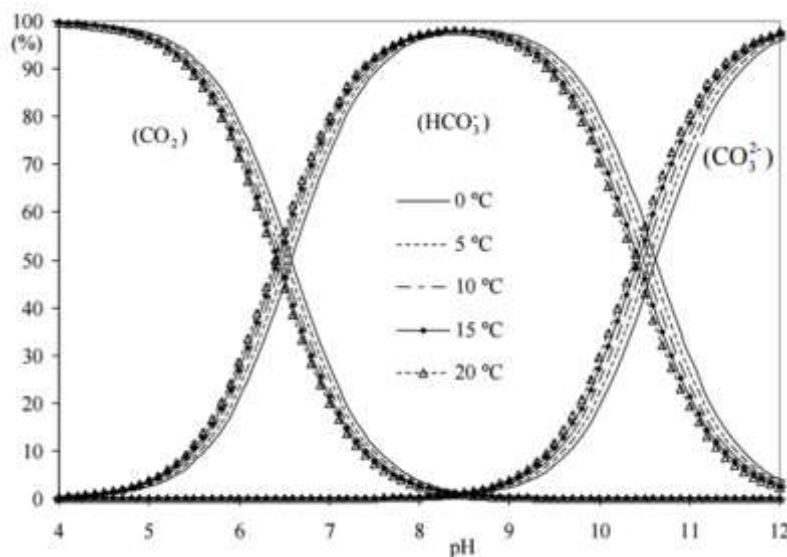


Figure 4.3. Variation des pourcentages en activités des trois formes 5carbonées CO_2 , HCO_3^- , et CO_3^{2-} en fonction du pH [120].

Les résultats de mesures du pH dans notre zone d'étude et durant les cinq campagnes montrent que tous les points se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité. Cela est dû au contact direct de l'eau de surface avec l'air. Durant les périodes de basses eaux et de hautes eaux, à l'amont du système, la Figure 4.4 montre une augmentation maximale de presque 0.3 unité à proximité du point de prélèvement P5 (situé à 2000 mètres environ du point d'origine). Dans la zone aval, par contre, on note une élévation de l'ordre de 0.6 unité. Au droit du lieu d'extraction et lavage (carrière), la fluctuation du pH paraît insignifiante.

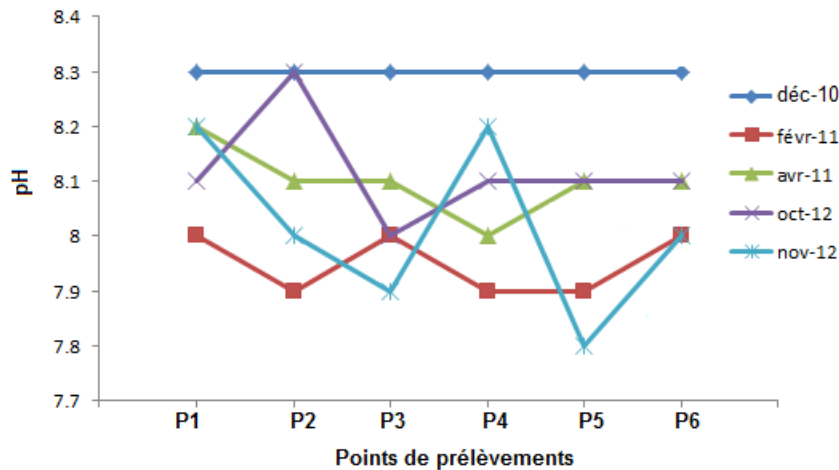


Figure 4.4 : Evolution du pH durant les cinq campagnes.

Ce léger caractère basique du pH traduit une faible modification chimique dans la composition des eaux de surface, peut être attribuée en partie à l'exposition temporaire de la carrière à l'air libre. La faible variation du pH durant toute la période d'étude illustre bien l'effet tampon des eaux.

4.2.4. Le résidu sec

Il donne une indication du degré de minéralisation de l'eau, et sur la teneur en substances dissoutes non volatiles [117]. L'évolution des résidus secs (Figure 4.5), durant les 5 campagnes, laisse apparaître une relative constance pour les points P1, P2, P3, P4 pour toutes les campagnes avec une valeur moyenne de 550 – 600mg/l montrant une faible à moyenne minéralisation.

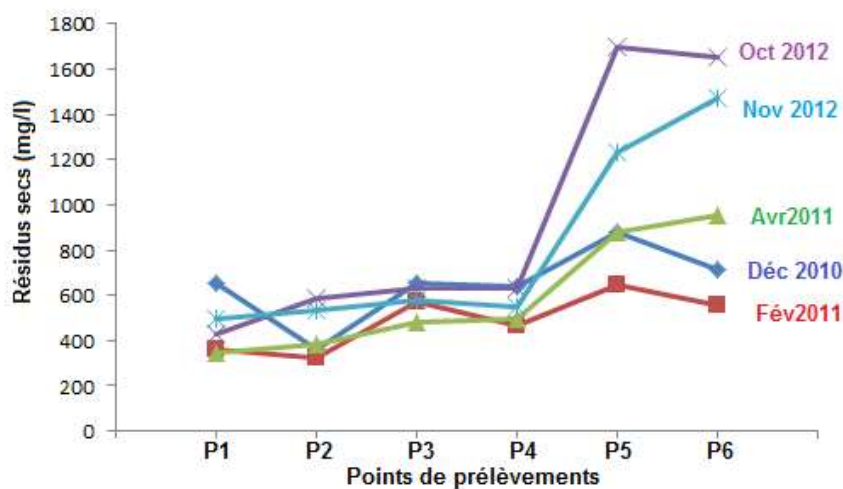


Figure 4.5: Evolution des résidus secs durant les cinq campagnes.

Le maximum est enregistré aux points P5 (1696 mg/l) et P6 (1650 mg/l), englobant la carrière, où les taux passent du simple au double, traduisant ainsi l'impact sur la qualité des eaux avec une forte minéralisation. Par ailleurs lors de l'année 2012, la carrière a augmenté sa production ce qui explique l'apparition des pics durant ces deux campagnes Octobre et Novembre 2012.

4.2.5. La Conductivité

La conductivité dépend de la quantité d'ions présents dans le milieu, ainsi que des espèces ioniques majeures, et mineures en solution. Elle indique le caractère plus ou moins salin de l'eau [122]. Elle est proportionnelle à la température de l'eau, et à sa minéralisation [122]. La forte minéralisation témoigne d'un temps de contact plus élevé avec la matrice encaissante, et cela est dû soit à des circulations très lentes, soit à des temps de séjour prolongés, ou une contamination [123]. On remarque que l'évolution des conductivités (Figure 4.6) est semblable à celle des résidus secs à travers l'ensemble des points de prélèvements. La conductivité est toujours supérieure à 500 μScm^{-1} oscillant entre 542 μScm^{-1} et 2570 μScm^{-1} .

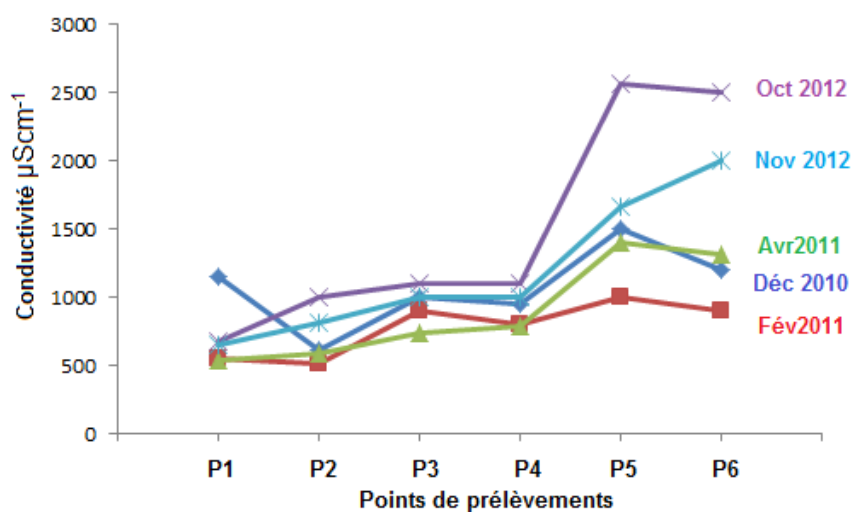


Figure 4.6 : Evolution de la conductivité durant les cinq campagnes.

Les fortes valeurs de conductivité sont enregistrées à partir du point P4 pour l'ensemble des campagnes. Cela dénote l'impact de l'activité de la carrière sur la qualité des eaux. Ces valeurs montrent un écart assez significatif, dû à la dissolution rapide des évaporites dans l'augmentation de la conductivité à l'aval de la carrière, car la conductivité est fonction des espèces ioniques en solution [111].

4.3. Paramètres chimiques

4.3.1. Les cations majeurs

4.3.1.1. Calcium

La présence de l'ion Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles différentes, la dissolution des formations alluvionnaires gypseuses (CaSO_4), et carbonatées (CaCO_3) [124,125]. A travers les six points de prélèvements, l'évolution des concentrations en calcium montre une distribution presque homogène à proximité de la carrière (Figure 4.7), sauf lors des deux dernières campagnes octobre 2012 et novembre 2012 où les points P5 (100 et 117 mg/l) et P6 (100 et 109 mg/l) montrent des concentrations dépassant la valeur de 80mg /l. Cette augmentation du taux de calcium est à mettre en relation avec le ruissellement des particules fines associée à la dissolution des terrains calcaires environnants dus en partie aux épisodes pluvieux ayant précédé ces deux dates de prélèvements.

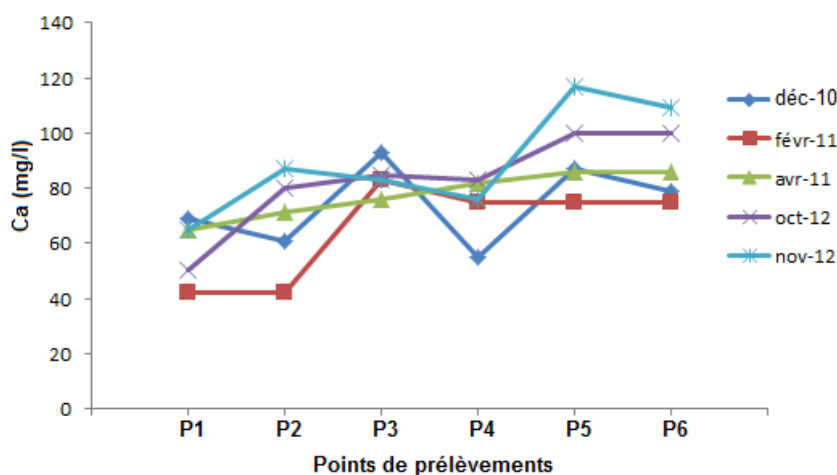


Figure 4.7 Evolution du Calcium durant les cinq campagnes.

Les teneurs en Ca^{2+} en amont s'expliquent par les apports de l'oued où on a une dilution des ions, ou probablement aux eaux qui acquièrent leur minéralisation.

4.3.1.2. Magnésium

Le magnésium se place au huitième rang parmi les éléments naturels les plus abondants dans la nature [126]. Son origine est comparable à celle du calcium, il provient de la dissolution des formations carbonatées (magnésite et dolomite) et des formations salifères riches en magnésium (MgSO_4). On observe une

augmentation des concentrations en magnésium entre les points P1 et P6 (Figure 4.8) durant la 4ème campagne (octobre 2012). La dernière campagne (novembre 2012) laisse apparaître une augmentation nette des teneurs sur l'ensemble du tronçon. Cette variation est due à l'influence des formations carbonatées telles que les calcaires, d'une part, et les formations argileuses et les marnes qui sont riches en Mg^{2+} d'autre part.

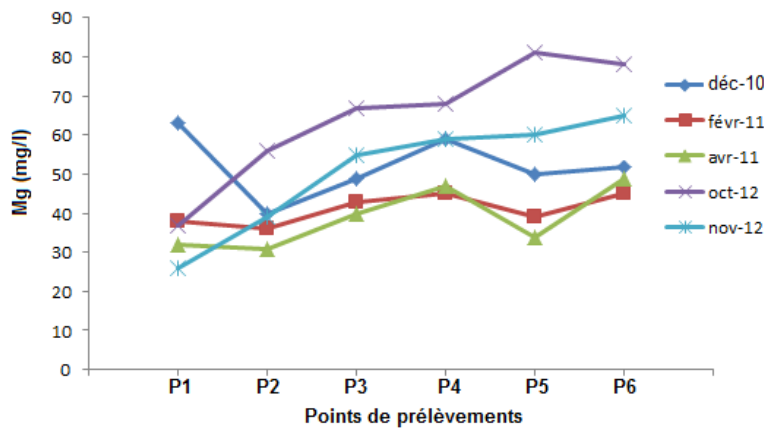


Figure 4.8 : Evolution du Magnésium durant les cinq campagnes.

4.3.1.3. Sodium

Le sodium est le plus abondant de tous les métaux alcalins et il représente 2.6 % de la croûte terrestre [127]. On remarque que les faibles concentrations se localisent en amont du site, où les 4 premiers points montrent une distribution homogène du sodium durant les 5 campagnes (Figure 4.9).

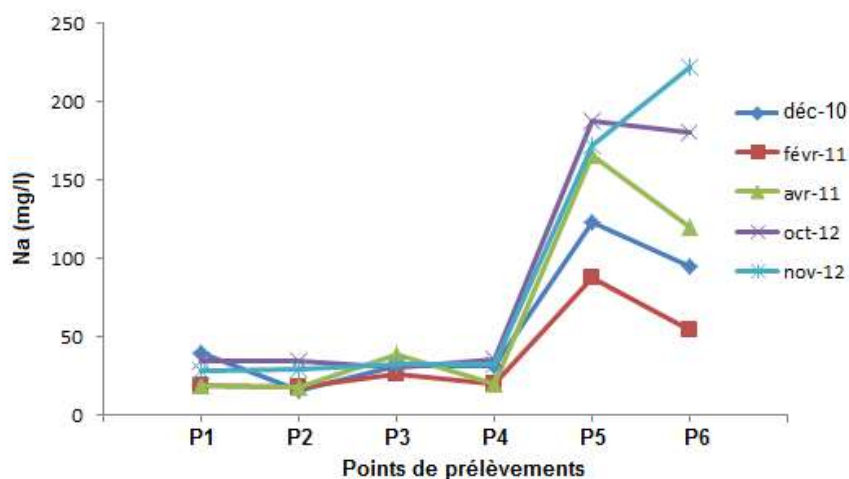


Figure 4.9 : Evolution du Sodium durant les cinq campagnes.

Aux points P5 et P6 (englobant la carrière), les concentrations sont multipliées par 3 pour les 5 campagnes. Les concentrations élevées en ions sodium peuvent être dues à des phénomènes de lessivage au niveau de la carrière plus particulièrement [128], aux échanges de base. La présence des ions sodium est principalement peut être due à la dissolution des formations évaporitiques riches en halite. La corrélation entre le sodium et les chlorures représentée dans le Tableau 4.11 (Matrice de corrélation) montre que l'apport de sodium est dû à la météorisation naturelle de la roche. Les concentrations élevées en sodium et chlorures témoignent probablement d'une contamination par les rejets de la station thermique [125]. Effectivement, l'analyse des eaux de la station thermique de Hammam Melouane confirme des teneurs élevées en Na.

4.3.1.4. Potassium

Il se trouve dans la nature sous forme de chlorures dans de nombreux minerais. Le potassium est moins abondant que le sodium. Les concentrations en potassium restent très faibles pour l'ensemble des points de prélèvement et lors des différentes campagnes.

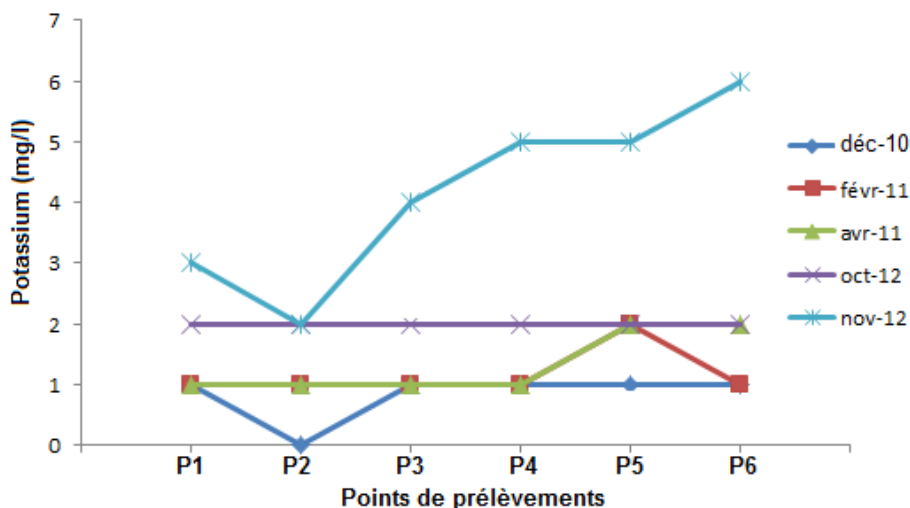


Figure 4.10 : Evolution du Potassium durant les cinq campagnes.

Le potassium peut tirer son origine de l'altération des formations silicatées (Gneiss, Schiste), de la dissolution des engrais chimiques lors de leur utilisation et des argiles potassiques [125]. Sa présence peut être liée au déversement des eaux usées domestiques.

4.3.2. Les anions majeurs

4.3.2.1. Chlorures

Généralement les chlorures sont très répandus dans la nature sous forme de sels de sodium, de calcium et de potassium. Les ions chlorures dont la plus grande partie se trouve dans les océans, constituent environ 0,05 % de la lithosphère [129]. Les teneurs en chlorures restent comparables à celles du sodium dans la zone d'étude. Les valeurs minimales sont enregistrées dans la partie amont de l'oued et les valeurs maximales sont observées au niveau des points P5 et P6 localisés respectivement en aval. Les chlorures passent de 50 mg/l entre les points P1 et P4 pour l'ensemble des campagnes à 400 mg/l aux points P5 et P6 au mois d'octobre 2012. L'homogénéité des concentrations pour les 4 premiers points durant les cinq campagnes et l'augmentation, de ces mêmes teneurs, subite et nette (Figure 4.11) à proximité de la carrière permet d'émettre l'hypothèse d'une influence directe de la carrière sur la qualité des eaux. Cette évolution indique peut être la contribution d'un apport anthropique qui peut être soit d'origine urbaine, soit probablement liée aux précipitations, ou pouvant provenir aussi de la dissolution des formations évaporitiques.

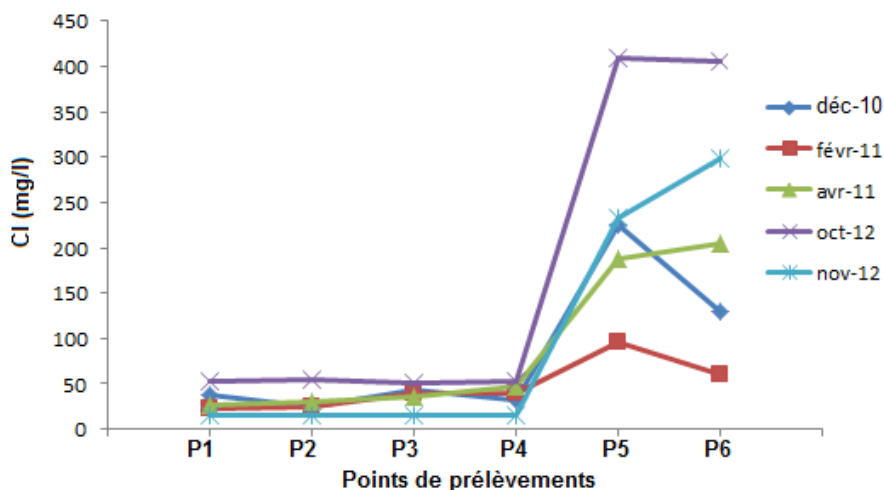
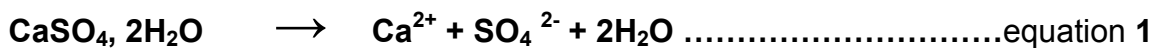


Figure 4.11. Evolution des Chlorures durant les cinq campagnes.

4.3.2.2. Les Sulfates

Les ions sulfates SO_4^{2-} peuvent formés des liaisons avec les cations majeurs tels que le calcium, le magnésium et le sodium. Les sulfates participent aux métabolismes des bactéries contenues dans l'eau, ces bactéries sulfato-réductrices transforment les sulfates en sulfures avec dégagement de gaz

sulfureux créant des désagréments à l'environnement [130]. La concentration en sulfates dans les eaux naturelles est très variable, mais ne dépasse généralement pas le gramme par litre [131]. La distribution des sulfates (Figure 4.12) montre une augmentation à partir d'avril 2011 entre les points P2 et P6 et une concentration négligeable au point P6 au mois de février 2011. Les plus fortes valeurs sont enregistrées pendant la période des basses eaux, suite au phénomène d'évaporation, et peut être dû également aux activités agricoles, ou à la dissolution du gypse contenu dans les marnes schisteuses, selon la réaction :



Ils peuvent résulter également de l'activité de certaines bactéries (chlorothiobactéries, rhodothiobactéries, etc.). Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H_2S) toxique en sulfate [130].

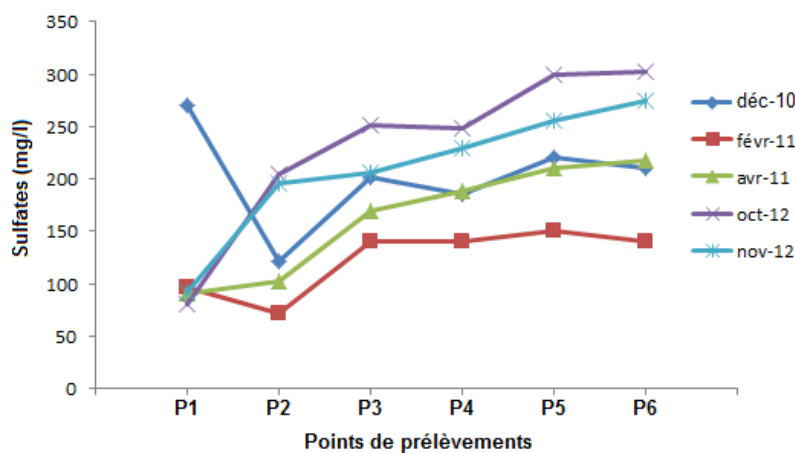
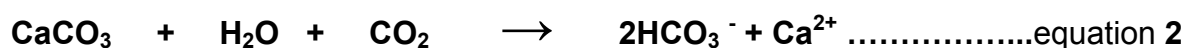


Figure 4.12 : Evolution des sulfates durant les cinq campagnes.

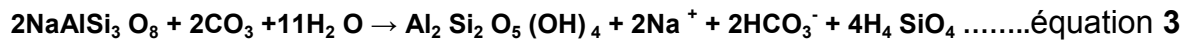
4.3.2.3. Bicarbonates

Sa présence dans l'eau est due à l'action des bactéries qui fournissent du CO_2 [111], et à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire, dolomie ...) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO_2), selon la réaction ci-dessous [132]:



Des valeurs faibles de bicarbonate révèlent l'existence d'une couche argileuse imperméable (marnes bleues plaisanciennes) entre les calcaires et les alluvions plio-quadernaire [133]. La distribution des bicarbonates (Figure 4.13) reste sensiblement homogène à travers les 4 premiers points et pour les 5 campagnes.

Cependant aux points P5 et P6 on note une augmentation de cet élément (300 mg/l). Les variations de concentration sont très faibles, l'eau d'infiltration s'enrichit en CO_2 en traversant le sol, va attaquer les minéraux aluminosilicates des roches. L'interaction eau-roche conduit à la formation de la kaolinite et/ou de la montmorillonite néoformée, et à la libération des cations, de la silice et des bicarbonates dans l'eau [134]. Par exemple l'altération de l'albite en kaolinite peut être représentée par la réaction suivante [134]:



Albite

Kaolinite

silice

La forte altération des silicates implique une augmentation des concentrations en cations, et en bicarbonates [134].

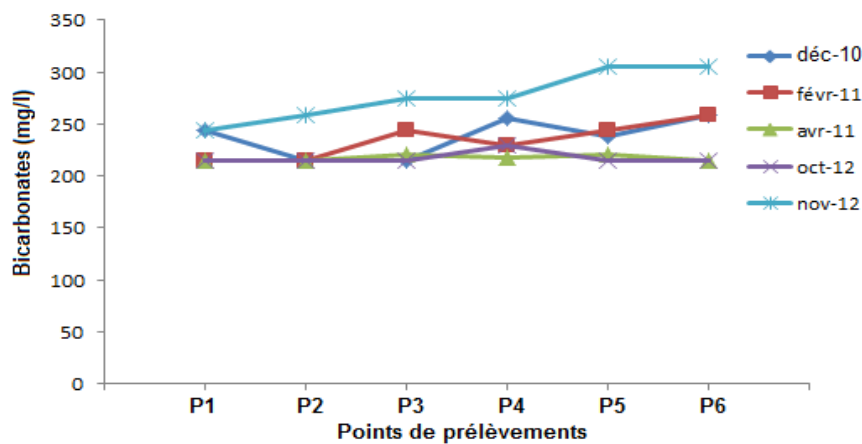
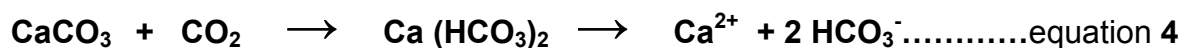


Figure 4.13 : Evolution des Bicarbonates durant les cinq campagnes.

Selon Faillat et Drogue [135], la présence du CO_2 dans l'eau provenant des sols facilite la réaction d'hydrolyse des minéraux silicatés et la formation des ions HCO_3^- , et confère à l'eau une force de dissolution bien plus importante en transformant les carbonates de calcium en bicarbonate de calcium, lesquels sont plus solubles dans l'eau selon la réaction suivante:



4.4. Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)

Le calcium et le magnésium ce sont deux éléments qui caractérisent la dureté de l'eau. Pour une teneur comprise entre 25 et 35°f l'eau est dure. L'eau est très dure pour une valeur supérieure à 35°f. Les eaux provenant de terrains calcaires, ou gypseux peuvent avoir des duretés très élevées, pouvant atteindre 1g de CaCO_3

par litre [122,136]. Les eaux de surface ont une dureté moins élevée que les eaux souterraines étant moins riches en acide carbonique et en oxygène dissous. La dureté (Figure 4.14) montre des valeurs variant entre 26 °f et 59 °f. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées à l'aval de la carrière pour les points P5 et P6 durant les campagnes octobre et novembre 2012. Cependant, les valeurs les plus faibles sont enregistrées pour les points P1 et P2 durant les campagnes (février et avril 2011). Durant les campagnes (Décembre 2010, Février 2011 et Avril 2011) l'eau reste dure malgré une augmentation aux points P5 et P6.

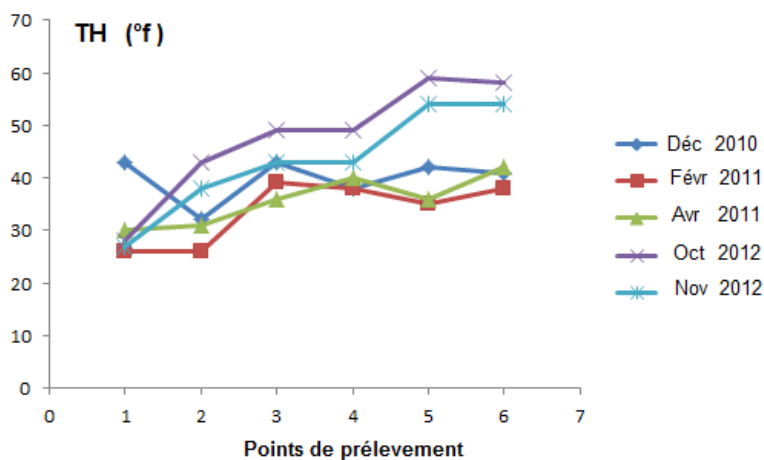


Figure 4.14 : Evolution de la dureté totale TH.

Cependant l'eau passe du caractère dure à très dure aux points P5 et P6 durant les campagnes (octobre 2012 et novembre 2012). Ce qui est conforme avec l'évolution des teneurs en calcium et magnésium.

4.5. Titre alcalimétrique TA et TAC

Les quantités d'hydroxydes, de carbonates et bicarbonates présentes dans l'eau sont données par les valeurs relatives du titre alcalimétrique TA, et du titre alcalimétrique complet TAC selon les relations ci-dessous :

Le titre alcalimétrique TA : $TA = [CO_3^{2-}] + [OH^-]$

Le titre alcalimétrique complet TAC : $TAC = [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] + [OH^-]$

Le titre alcalimétrique TA correspondant aux ions CO_3^{2-} et OH^- est nul pour un pH inférieur ou égale à 8,3 de l'eau [136], c'est le cas de notre étude. En effet le titre alcalimétrique TA est nul durant les cinq campagnes pour tous les points, l'eau

contient que des bicarbonates. Les valeurs du TAC (Figure 4.15) varient de 17 °f à 25°f pour l'ensemble des points durant les cinq campagnes.

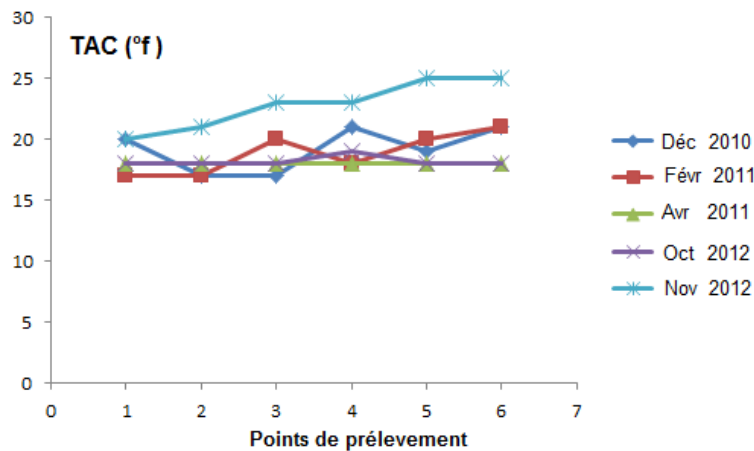


Figure 4.15 : Evolution du titre alcalimétrique complet TAC.

Les valeurs les plus élevées et qui dépassent 20°F ont été enregistrées lors de la campagne (Novembre 2012), ces valeurs restent relativement élevées par rapport aux autres campagnes, les valeurs de TH confirment ces résultats.

4.6. Détermination des principaux Faciès hydrochimiques

4.6.1. Diagramme de Piper

Les compositions chimiques ont fait l'objet d'une première vérification par l'analyse de la balance ionique selon la formule suivante :

$$\text{Balance ionique (en \%)} = (\sum \text{cations} - \sum \text{anions}) / (\sum \text{cations} + \sum \text{anions}) * 100$$

Les concentrations sont exprimées en meq/l (Annexe E, Annexe F).

La limite pour une analyse exploitable est fixée à un écart maximal de 10% et qui est une erreur acceptable pour ce type d'étude [137].

4.6.1.1. Campagne de Décembre 2010 (Figure 4.16)

L'ensemble des nuages de points ne présente pas de dominance anionique ou cationique. On signale cependant la présence d'un Faciès bicarbonaté magnésien et sulfaté magnésien relativement dominant, et un faible pourcentage de points ayant acquis un Faciès sulfaté calcique, et chloruré sodique. Les points qui se situent à l'amont présentent un état différent, avec des anions bicarbonatés et sulfatés dominants, alors que les cations magnésiques marquent presque la totalité des échantillons (66.67%). Ceci révèle la dominance de trois Faciès

hydrochimiques: Bicarbonaté magnésien, sulfaté magnésien, et sulfaté calcique. En aval on a un pôle cationique dominé par le sodium et un pôle anionique chloruré ; ceci conduit à un Faciès chloruré sodique. Le diagramme global confirme la présence des Faciès signalés (Figure 4.16).

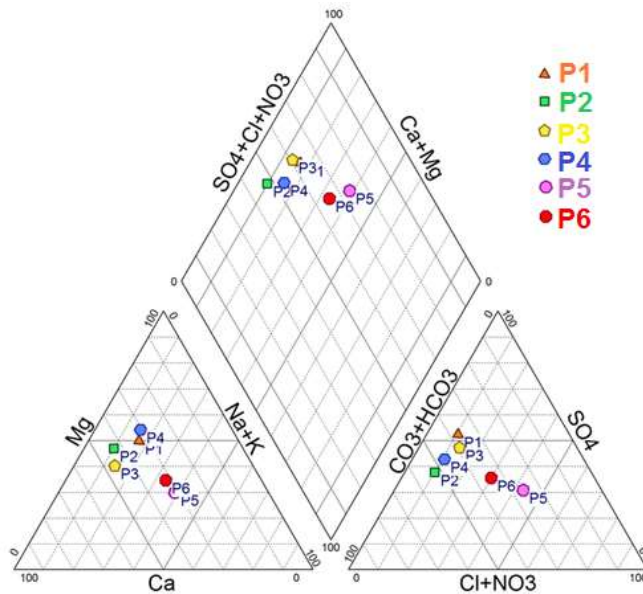


Figure 4.16 : Diagramme de Piper pour la campagne de décembre 2010.

Les différents types de Faciès sont reportés sur le tableau 4.1.

Tableau 4.1: Les différents types de Faciès chimiques pour la campagne de Décembre 2010.

Points de prélèvements	Ca ²⁺ méq/l	Mg ²⁺ méq/l	Na ⁺ méq/l	K ⁺ méq/l	Cl ⁻ méq/l	SO ₄ ²⁻ méq/l	HCO ₃ ⁻ méq/l	NO ₃ ⁻ méq/l	Faciès chimiques
1P1	3.45	5.25	1.739	0.026	1.070	5.625	4	0.048	Sulfaté-Magnésien
1P2	3.05	3.333	0.696	0	0.676	2.521	3.508	0	Bicarbonaté-magnésien
1P3	4.65	4.083	1.348	0.026	1.211	4.208	3.508	0	Sulfaté-Calcique
1P4	2.75	4.917	1.348	0.026	0.930	3.854	4.197	0.048	Bicarbonaté-magnésien
1P5	4.35	4.167	5.348	0.026	6.366	4.583	3.902	0.048	Chloruré-Sodique
1P6	3.95	4.333	4.130	0.026	3.662	4.375	4.246	0.048	Sulfaté-Magnésien

A travers le tableau 4.1 il apparait nettement un changement de Faciès, montrant l'existence d'un Faciès chloruré sodique à l'endroit de la carrière avec des concentrations en chlorure et en sodium les plus élevées au niveau du point P5. Le Diagramme triangulaire de Piper montre que les eaux de la zone d'étude pour la campagne de Décembre 2010, se répartissent en quatre principales familles. Il s'agit des eaux sulfatées calciques et magnésiennes, représentant 17% et 33% respectivement, des eaux bicarbonatées magnésiennes avec un pourcentage de 33% et enfin des eaux chlorurées sodiques 17% (Figure 4.17).

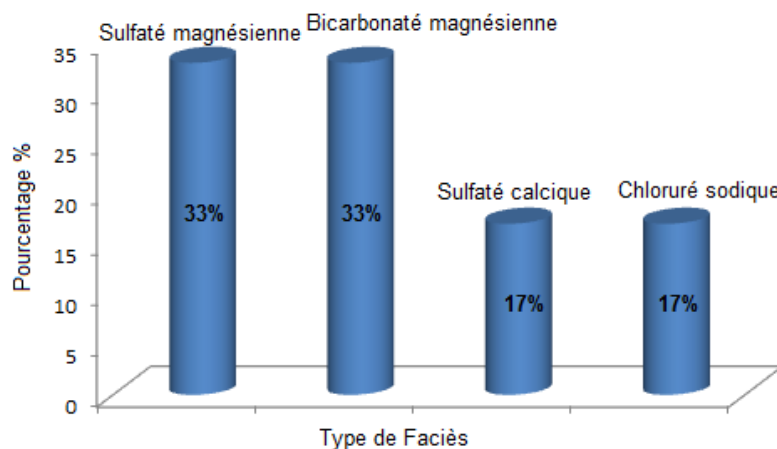


Figure 4.17 : Type de Faciès pour la campagne de Décembre 2010.

Les précipitations, la lithologie et les conditions hydrodynamiques (vitesse d'écoulement) ont favorisé le lessivage des formations traversées probablement riches en calcium, magnésium et sulfate, engendrant ces Faciès.

4.6.1.2. Campagne de Février 2011(Figure 4.18)

On remarque que toutes les eaux de la zone d'étude sont bicarbonatées.

Le pôle anionique est dominé par le bicarbonate, pour le pôle cationique pas de dominance. Nous observons donc des Faciès bicarbonaté calcique et bicarbonaté sodique. Les alluvions du remplissage et les marnes emschériennes du substratum sont à l'origine de ces Faciès.

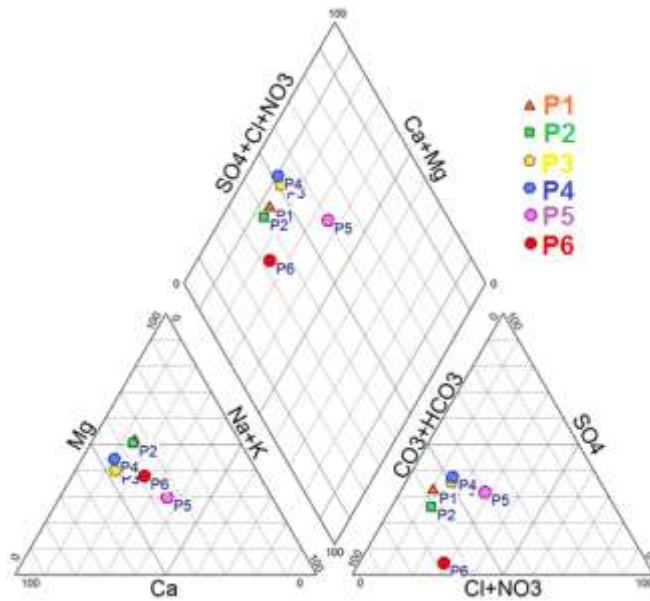


Figure 4.18 : Diagramme de Piper pour la campagne de Février 2011.

Le Faciès bicarbonaté sodique apparaît avec un faible pourcentage 17%(Figure 4.19). Comme on l'a signalé plus haut, la lithologie et les conditions hydrodynamiques, ont contribué à l'acquisition de ces Faciès.

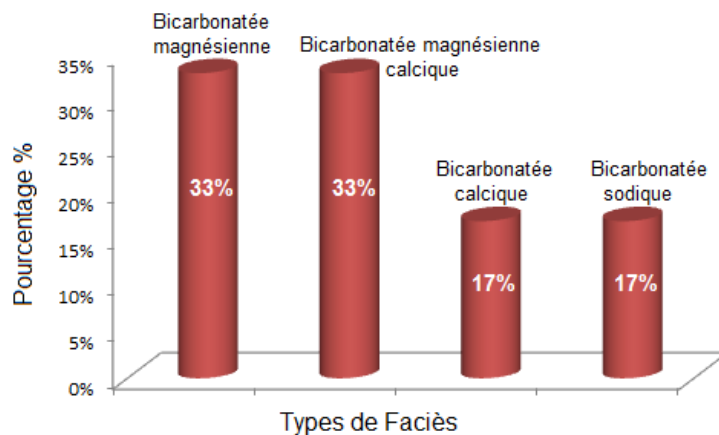


Figure 4.19: Type de Faciès pour la campagne de Février 2011.

Les différents types de Faciès pour la campagne pour la campagne de Février 2011 sont reportés sur le (tableau 4.2).

Le tableau 4.2 fait ressortir une homogénéité des Faciès caractérisé par: type bicarbonaté magnésien, bicarbonaté calcique à l'exception du point P5 où le sodium montre une concentration assez élevée. Cela induit un changement de la qualité de l'eau qui peut être dû à l'effet de l'exploitation de la carrière.

Tableau 4.2: Les différents types de Faciès chimiques pour la campagne de Février 2011.

Points de prélèvements	Ca ²⁺ méq/l	Mg ²⁺ méq/l	Na ⁺ méq/l	K ⁺ méq/l	Cl ⁻ méq/l	SO ₄ ²⁻ méq/l	HCO ₃ ⁻ méq/l	NO ₃ ⁻ méq/l	Faciès chimiques
2P1	2.1	3.167	0.826	0.026	0.648	2	3.508	0	Bicarbonaté magnésienne
2P2	2.1	3	0.783	0.026	0.676	1.5	3.508	0.081	Bicarbonaté magnésienne
2P3	4.15	3.583	1.130	0.026	1.127	2.917	4	0.097	Bicarbonaté calcique
2P4	3.75	3.75	0.870	0.026	1.127	2.917	3.754	0	Bicarbonaté magnésienne calcique
2P5	3.75	3.25	3.826	0.051	2.704	3.146	4	0.097	Bicarbonaté sodique
2P6	3.75	3.75	2.348	0.026	1.690	2.917	4.246	0.097	Bicarbonaté magnésienne calcique

4.6.1.3. Campagne d'Avril 2011(Figure 4.20)

A l'amont de la carrière, l'anion dominant est le bicarbonate. Quant aux cations, on remarque la présence d'un pôle calcique dominant.

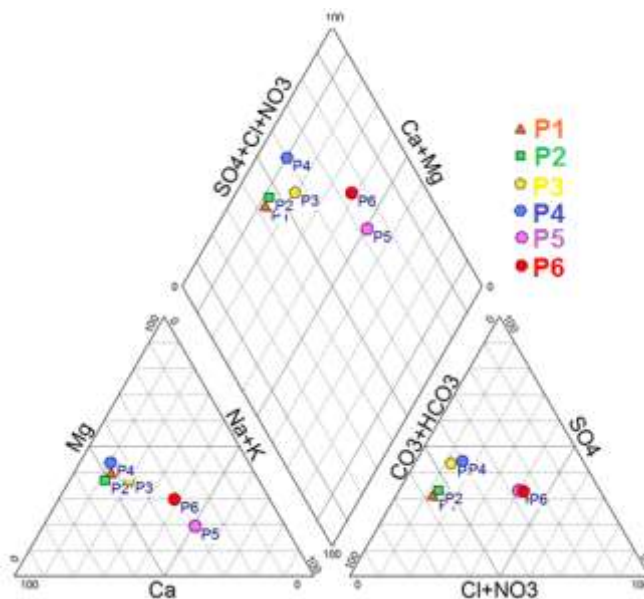


Figure 4.20 : Diagramme de Piper pour la campagne d'Avril 2011.

La combinaison donne naissance à un seul type de Faciès dominant qui est le bicarbonaté calcique.

A l'aval de la carrière, les eaux connaissent un enrichissement en ions, et on note une certaine dominance au niveau du pôle anionique. En effet, les nuages de points gravitent autour d'un pôle cationique sodique et un pôle anionique chloruré. Les différents types de Faciès pour la campagne d'Avril 2011 sont reportés sur le tableau 4.3.

D'après le tableau 4.3 les concentrations en sodium et en chlorures sont nettement plus importantes à partir du point P5 endroit de la carrière, laissant apparaitre un net changement de Faciès (chloruré sodique) évoquant une intrusion importante de NaCl.

Tableau 4.3: Les différents types de Faciès chimiques pour la campagne d'Avril 2011.

Points de prélèvements	Ca ²⁺ méq/l	Mg ²⁺ méq/l	Na ⁺ méq/l	K ⁺ méq/l	Cl ⁻ méq/l	SO ₄ ²⁻ méq/l	HCO ₃ ⁻ méq/l	NO ₃ ⁻ méq/l	Faciès chimiques
3P1	3.25	2.667	0.826	0.026	0.760	1.875	3.508	0	Bicarbonaté calcique
3P2	3.55	2.583	0.783	0.026	0.845	2.146	3.508	0	Bicarbonaté calcique
3P3	3.8	3.333	1.696	0.026	0.986	3.542	3.606	0	Bicarbonaté calcique
3P4	4.1	3.917	0.870	0.026	1.352	3.917	3.557	0	Sulfaté calcique
3P5	4.3	2.833	7.217	0.051	5.296	4.396	3.606	0	Chlorurée sodique
3P6	4.3	4.083	5.217	0.051	5.746	4.521	3.508	0	Chlorurée sodique

Les eaux de la campagne d'Avril 2011 présentent trois types de Faciès qui sont le bicarbonaté calcique le plus dominant avec un pourcentage de 50%, le sulfatée calcique 16.67% et le chlorurée sodique avec 33.33% (Figure 4.21).

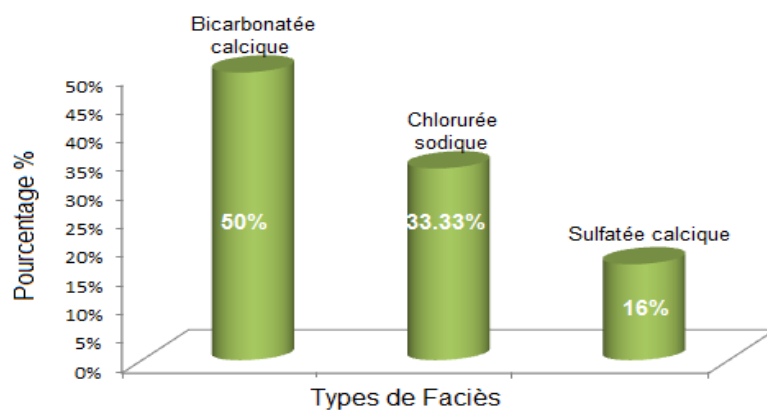


Figure 4.21 : Type de Faciès pour la campagne d'Avril 2011.

4.6.1.4. Campagne d'Octobre 2012 (Figure 4.22)

Les points qui se situent en aval de la carrière, montrent une dominance de Na^+ , alors que les anions montrent une dominance chlorurée.

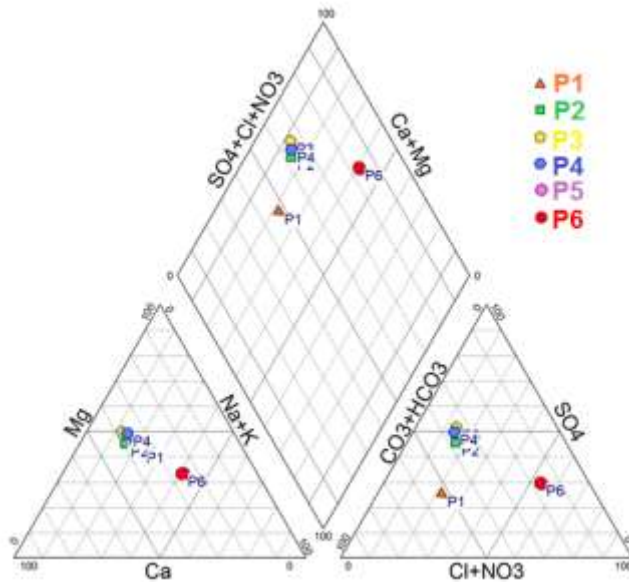


Figure 4.22 : Diagramme de Piper pour la campagne d'octobre 2012.

Par contre à l'amont, on note une dominance de Mg^{2+} , tandis que les anions montrent une dominance sulfatée. Comme on l'a signalé auparavant, la lithologie, les conditions hydrodynamiques, et l'évaporation sont à l'origine de ces Faciès. Les différents types de Faciès sont reportés sur le Tableau 4.4 et Figure 4.23.

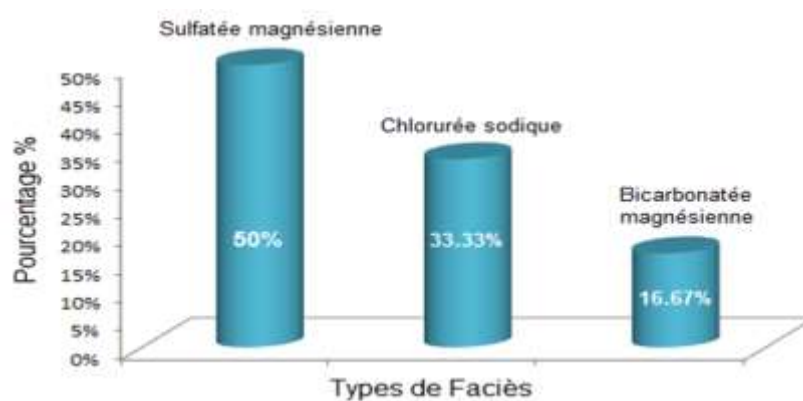


Figure 4. 23 : Type de Faciès pour la campagne d'Octobre 2012.

Le tableau 4.4 confirme la pérennité du Faciès chloruré sodique (concentrations en Na et Cl les plus élevées, et où les concentrations en sulfate sont plus importante que pour les quatre premiers points.

Tableau 4.4: Les différents types de Faciès chimiques pour la campagne d'Octobre 2012.

Points de prélèvements	Ca ²⁺ méq/l	Mg ²⁺ méq/l	Na ⁺ méq/l	K ⁺ méq/l	Cl ⁻ méq/l	SO ₄ ²⁻ méq/l	HCO ₃ ⁻ méq/l	NO ₃ ⁻ méq/l	Faciès chimiques
4P1	2.5	3.083	1.522	0.051	1.465	1.688	3.508	0	Bicarbonatée magnésienne
4P2	4	4.667	1.522	0.051	1.550	4.25	3.508	0	Sulfatée magnésienne
4P3	4.25	5.583	1.304	0.051	1.408	5.229	3.508	0	Sulfatée magnésienne
4P4	4.15	5.667	1.565	0.051	1.465	5.188	3.754	0	Sulfatée magnésienne
4P5	5	6.75	8.174	0.051	11.549	6.25	3.508	0	Chlorurée sodique
4P6	5	6.5	7.826	0.051	11.408	6.292	3.508	0	Chlorurée sodique

4.6.1.5. Campagne de Novembre 2012(Figure 4.24)

Pour les points qui se trouvent à l'amont de la nappe, la représentation sur le diagramme de Piper montre un nuage de points marquant un pôle cationique abondant en Ca²⁺ et Mg²⁺ et on note la présence de points enrichis en HCO₃⁻. Ils se localisent à proximité des zones calcaires. Le diagramme global donne un Faciès : bicarbonaté calcique.

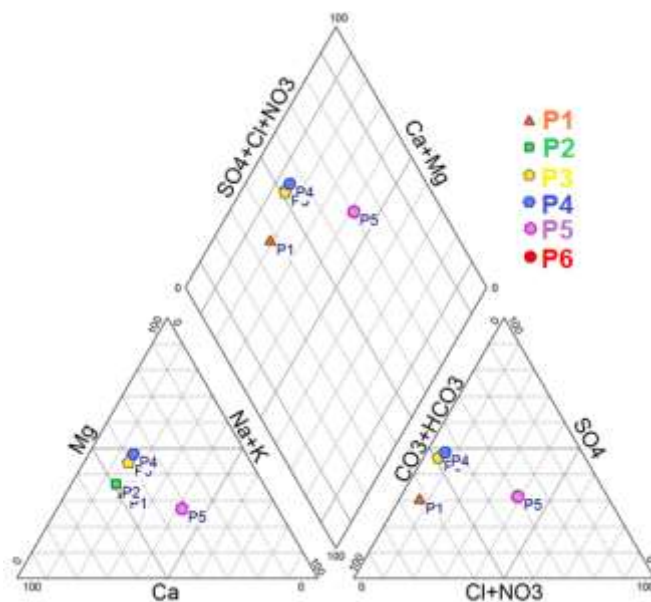


Figure 4.24 : Diagramme de Piper pour la campagne de Novembre 2012.

A l'aval, le nuage des points se concentre autour d'un pôle cationique sodique et un pôle anionique chloruré, avec la disparition des points marquant le cation calcique, et l'anion bicarbonaté. La combinaison des ions abondants a donné naissance au Faciès, chloruré sodique avec l'absence du Faciès bicarbonaté

calcique. L'observation des deux diagrammes, en amont et en aval indique la présence d'une situation plus au moins identique à celle de la campagne de Avril 2011. Les différents types de Faciès sont reportés sur le tableau 4.5 et Figure 4.25.

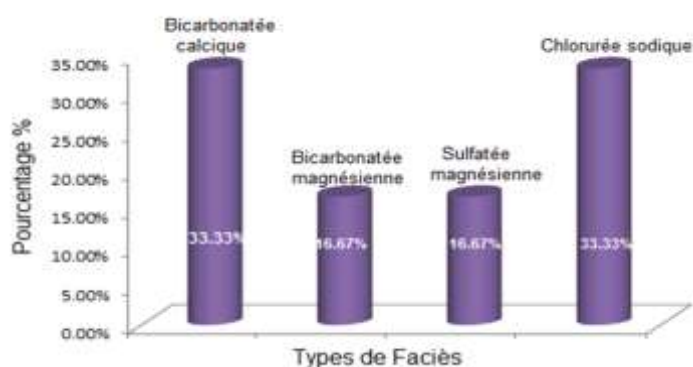


Figure 4.25 : Type de Faciès pour la campagne de Novembre 2012

Le Faciès bicarbonaté calcique et le bicarbonaté magnésien apparait dans la majorité des eaux, durant les cinq campagnes à l'amont de la carrière, On remarque que sur toute la période d'observation, que la répartition des différents Faciès dépendait de la lithologie et de l'hydrodynamisme de la nappe aquifère. Le Faciès bicarbonaté calcique tire son origine des formations carbonatées, et se localise à l'amont. On signale la présence d'un Faciès de type chloruré-sodique aux points englobant la carrière (Tableau 4.5 points P5 et P6).

Tableau 4.5 : Les différents types de Faciès chimiques pour la campagne de Novembre 2012.

Points de prélèvements	Ca ²⁺ méq/l	Mg ²⁺ méq/l	Na ⁺ méq/l	K ⁺ méq/l	Cl ⁻ méq/l	SO ₄ ²⁻ méq/l	HCO ₃ ⁻ méq/l	NO ₃ ⁻ méq/l	Faciès chimiques
5P1	3.25	2.167	1.217	0.077	0.422	1.917	4	0.026	Bicarbonatée calcique
5P2	4.35	3.25	1.261	0.051	0.451	4.062	4.246	0	Bicarbonatée calcique
5P3	4.15	4.583	1.391	0.102	0.451	4.292	4.508	0	Bicarbonatée magnésienne
5P4	3.8	4.917	1.391	0.128	0.451	4.792	4.508	0.282	Sulfatée magnésienne
5P5	5.85	5	7.478	0.128	6.535	5.312	5	0	Chlorurée sodique
5P6	5.45	5.417	9.652	0.154	8.394	5.729	5	0.077	Chlorurée sodique

Le Faciès chloruré-sodique se développe au voisinage de la carrière, son apparition coïncide avec une formation d'argiles gypsifères triasiques. Ceci est dû probablement aux apports qui sont constitués de formations évaporitiques, et à la présence des marnes emschériennes. La présence de ces différents Faciès chimiques marque ainsi l'hétérogénéité de la lithologie de la région d'étude. En effet, on peut citer le Faciès bicarbonaté caractérisant les eaux provenant des calcaires, les Faciès chlorurés et sulfaté résultant des formations évaporitiques et le Faciès salifère. La répartition spatiale des éléments chimiques et les rapports caractéristiques ont confirmé que l'origine de ces Faciès est fortement liée à la nature lithologique. La dissolution des formations carbonatées et évaporitiques est à l'origine de cette distribution.

4.6.2. Diagramme de Schoeller Berkaloff

La représentation graphique de Schoeller Berkaloff pour toutes les campagnes confirme la dominance du Faciès bicarbonaté calcique, du bicarbonaté magnésien, et le chloruré sodique.

4.6.2.1. Campagne de Décembre 2010

Ce diagramme (Figure 4.26) montre l'existence de deux familles d'eau avec un comportement hydrochimique différent. Effectivement les concentrations en sodium et en chlorure sont nettement plus importantes au droit de la carrière (points P5 et P6).

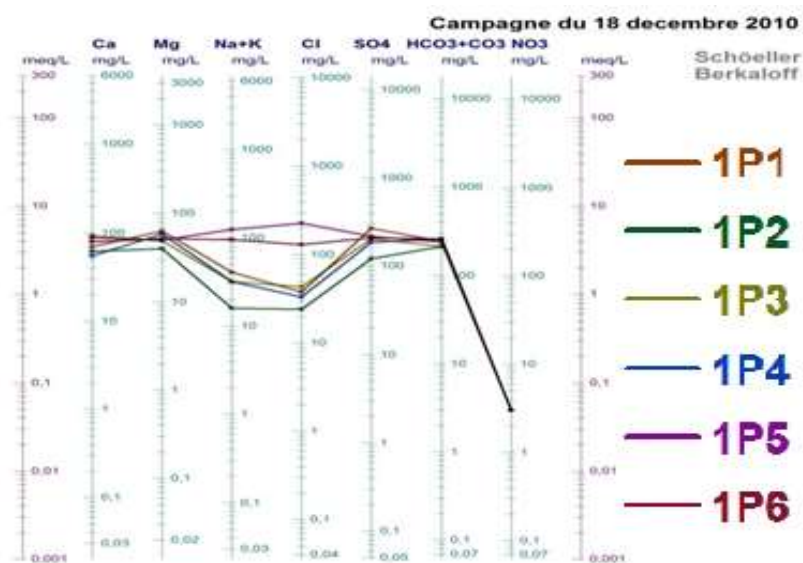


Figure 4. 26 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff campagne Décembre 2010.

Les formules caractéristiques révélées par le tableau 4.6 indiquent la présence d'une contamination de l'eau : $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ et $\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$

Tableau 4.6 : Classification des eaux selon Schoeller- Berkaloff (Campagne Décembre 2010).

Campagne	Formules caractéristiques	Formules caractéristiques	Facies chimiques
Décembre 2010	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$	Sulfaté magnésienne
	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	Bicarbonaté Magnésienne
	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$	Sulfaté Calcique
	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	Bicarbonaté Magnésienne
	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	Chloruré Sodique
	$\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+}$	Sulfaté magnésienne

4.6.2.2. Campagne de Février 2011

Ce diagramme (Figure 4.27) montre que les eaux ont tendance à présenter un facies homogène d'amont en aval bicarbonaté calcique ou bicarbonaté magnésien.

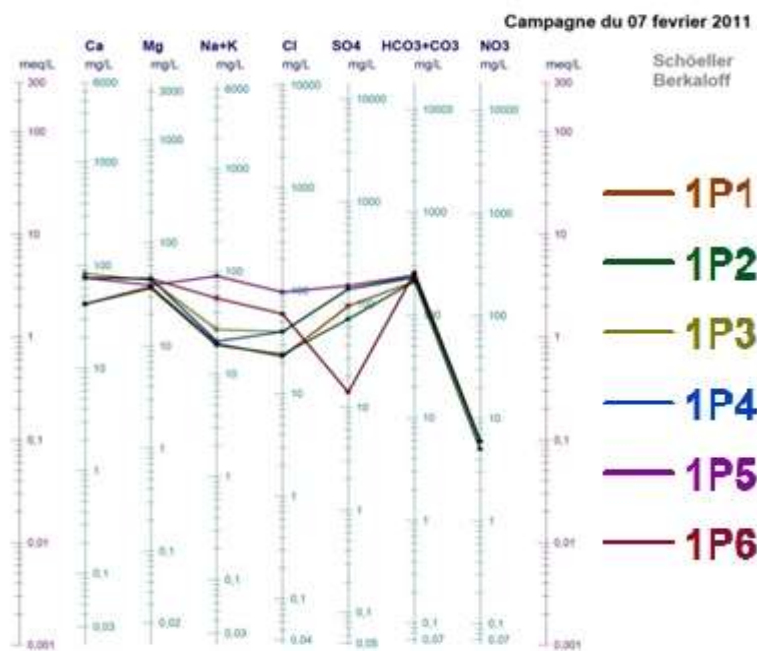


Figure 4.27: Diagramme de Schoeller-Berkaloff Campagne Février 2011.

Le tableau 4.7 confirme la prédominance des bicarbonates à travers l'ensemble des points de prélèvement.

Tableau 4.7 : Classification des eaux selon Schoeller- Berkaloff (Campagne Février 2011).

Campagne	Formules caractéristiques	Formules caractéristiques	Facies chimiques
Février 2011	$Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+$	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$	Bicarbonaté Magnésienne
	$Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+$	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$	Bicarbonaté Magnésienne
	$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$	Bicarbonaté Calcique
	$Ca^{2+} = Mg^{2+} > Na^+$	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$	Bicarbonaté Calcique Magnésienne
	$Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$	Bicarbonaté Sodique
	$Ca^{2+} = Mg^{2+} > Na^+$	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$	Bicarbonaté Calcique Magnésienne

4.6.2.3. Campagne d'Avril 2011

Le diagramme (Figure 4.28) fait apparaître l'existence de deux familles d'eaux séparées par la carrière. Cette distribution a été déjà constatée lors de la campagne décembre 2010.

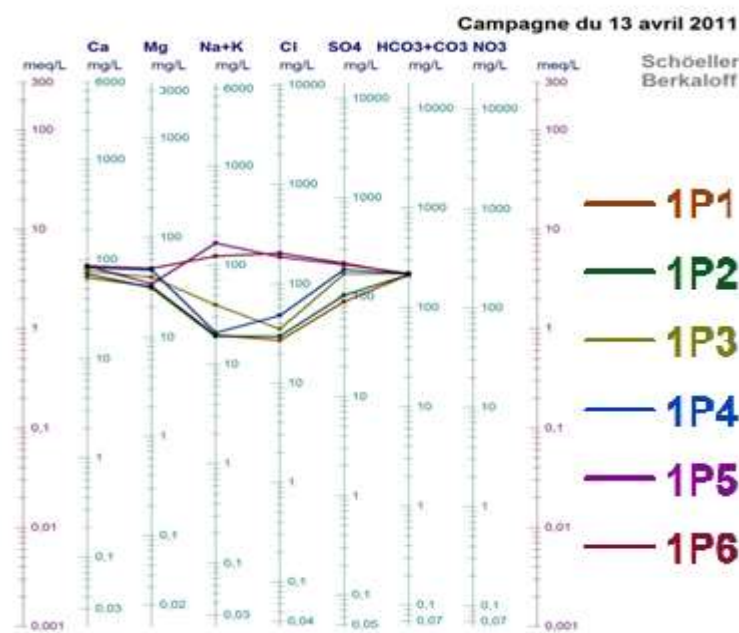


Figure 4.28 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff campagne Avril 2011.

Le tableau 4.8 confirme la persistance du Faciès chloruré sodique à partir du point P5.

Tableau 4.8 : Classification des eaux selon Schoeller- Berkaloff (Campagne Avril 2011).

Campagne	Formules caractéristiques	Formules caractéristiques	Facies chimiques
Avril 2011	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	Bicarbonaté Calcique
	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	Bicarbonaté Calcique
	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	Bicarbonaté Calcique
	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$	Sulfaté Calcique
	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	Chloruré Sodique
	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	Chloruré Sodique

4.6.2.4. Campagne d'Octobre 2012

Le diagramme (Figure 4.29) révèle l'existence toujours de deux familles d'eaux avec des concentrations maximales chlorure et sodium à partir du pont P5.

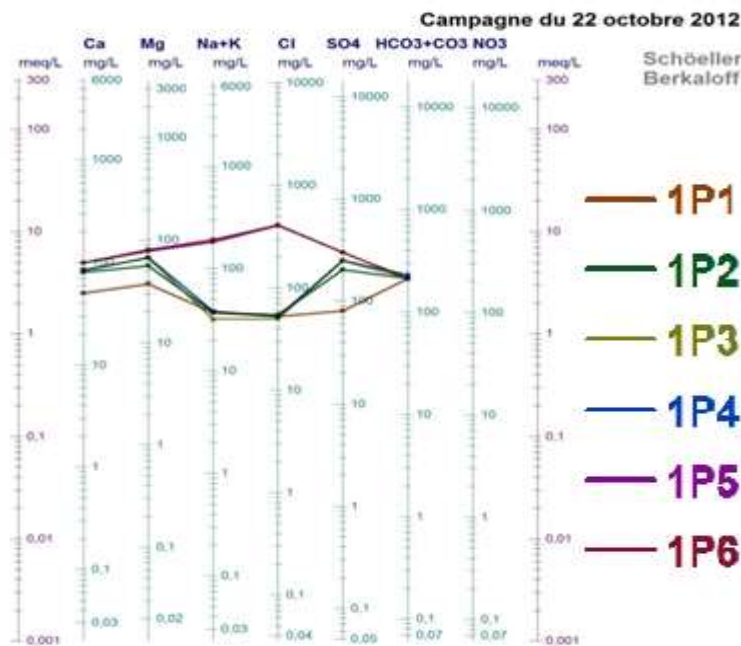


Figure 4.29: Diagramme de Schoeller-Berkaloff campagne Octobre 2012.

Le tableau 4.9 marque la persistance du Faciès chloruré sodique aux points P5 et P6.

Tableau 4.9 : Classification des eaux selon Schoeller- Berkaloff (Campagne Octobre 2012).

Campagne	Formules caractéristiques	Formules caractéristiques	Facies chimiques
Octobre 2012	$Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+$	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$	Bicarbonaté Magnésienne
	$Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+$	$SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$	Sulfaté magnésienne
	$Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+$	$SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$	Sulfaté magnésienne
	$Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+$	$SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$	Sulfaté magnésienne
	$Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$	Chloruré Sodique
	$Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$	Chloruré Sodique

4.6.2.5. Campagne de Novembre 2012

Le diagramme de la Figure 4.30 confirme la différenciation du comportement hydrochimique des eaux à partir du point P5.

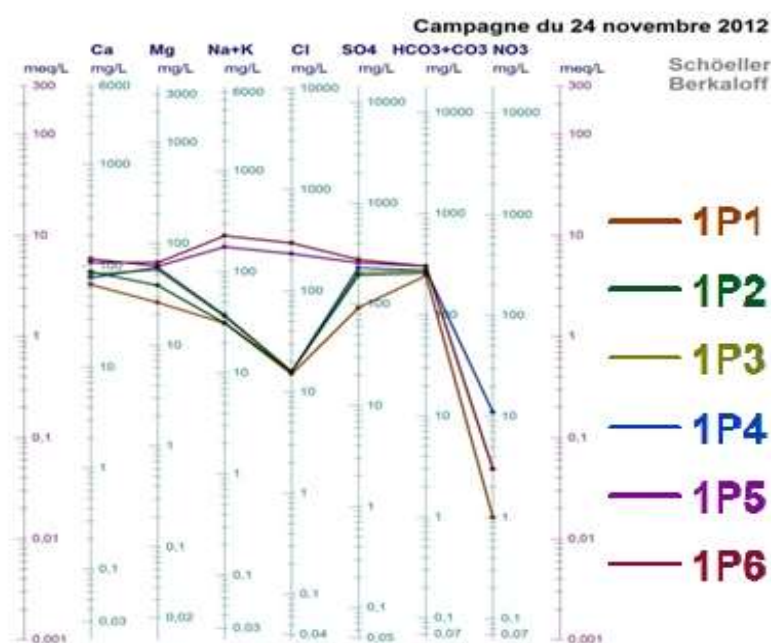


Figure 4.30: Diagramme de Schoeller-Berkaloff campagne Novembre 2012.

Le tableau 4.10 confirme l'existence du Faciès chloruré sodique matérialisé par les formules caractéristiques $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ et $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ aux points P5 et P6.

Tableau 4.10 : Classification des eaux selon Schoeller- Berkaloff (campagne Novembre 2012).

Campagne	Formules caractéristiques	Formules caractéristiques	Facies chimiques
Novembre 2012	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	Bicarbonaté Calcique
	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	Bicarbonaté Calcique
	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	Bicarbonaté Magnésienne
	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$	Sulfaté magnésienne
	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	Chloruré Sodique
	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	Chloruré Sodique

Après cette étude on peut classer les eaux selon quatre familles, des eaux bicarbonatées magnésienne aux points P1 et P2, des eaux sulfatées magnésiennes et bicarbonatées calciques aux points P3 et P4, et enfin la quatrième famille des eaux chlorurées sodiques qui correspondent aux points P5 et P6. La dominance cationique et anionique change selon les zones, ce qui reflète la variété des minéraux primaires soumis au processus d'altération, et la présence de ces différents Faciès chimiques marque ainsi l'hétérogénéité de la lithologie de la région d'étude. En effet, on peut citer le Faciès bicarbonaté caractérisant les eaux provenant des calcaires, les Faciès chlorurés et sulfaté résultant des formations évaporitiques et le Faciès salifère. La répartition spatiale des éléments chimiques et les rapports caractéristiques ont confirmé que l'origine de ces Faciès est fortement liée à la nature lithologique. La dissolution des formations carbonatées et évaporitiques est à l'origine de cette distribution.

4.7. Méthodes statistiques multivariées

Les méthodes statistiques permettent de fournir un outil puissant pour analyser les données physico chimiques des eaux et déterminer si les échantillons peuvent

être regroupés en groupes hydro chimiques. Cette analyse nous permet de suivre l'évolution chimique des eaux. En effet, l'ACP est une méthode statistique multidimensionnelle descriptive utilisable comme outil d'aide à l'interprétation d'une matrice de données [109].

4.7.1. Analyse de corrélation

Les corrélations linéaires existantes entre certains éléments chimiques nous renseignent sur l'origine de la minéralisation en évaluant les degrés de dépendance entre les différents paramètres étudiés. L'analyse de corrélation fait ressortir toutes les liaisons entre les variables prises deux à deux. L'évaluation est exprimée à l'aide des coefficients de corrélation déterminés par des calculs statistiques, coefficients de Bravais Pearson. Plus le coefficient de corrélation R est proche de la valeur 1, la corrélation entre deux paramètres sera plus significative. Nous avons eu recours à une analyse en composantes principales (ACP) sur une matrice de corrélation de données formées en lignes de cinq points de prélèvement. Les colonnes correspondent aux différentes variables représentant les paramètres mesurés et analysés, les paramètres physiques (pH, CE, RS, et turbidité), et les teneurs en éléments majeurs cations et anions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-).

Les principales corrélations qui résument les relations entre ces variables sont présentées dans le tableau 4.11. L'examen de ce tableau montre des corrélations significatives à très hautement significatives entre les variables.

Les valeurs significativement différentes de zéro à un niveau de confiance de 95% sont représentées en en gras. L'examen des données relatives à la matrice de corrélation entre les variables nous a permis de révéler hormis le pH et la turbidité, l'existence d'une forte corrélation significativement élevée entre les variables, ce qui signifie que toutes ces variables varient en moyenne dans le même sens.

Les coefficients de corrélation entre les paramètres physicochimiques sont reportés dans le tableau 4.11.

Tableau 4.11 : Matrice de corrélation entre les variables

	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	pH	Conductivité	Résidus secs	Turbidité
Calcium	1										
Magnésium	0.566	1									
Sodium	0.699	0.490	1								
Potassium	0.515	0.338	0.478	1							
Chlorures	0.657	0.592	0.939	0.311	1						
Sulfates	0.719	0.819	0.597	0.423	0.612	1					
Bicarbonates	0.411	0.219	0.322	0.722	0.105	0.232	1				
pH	-0.177	0.051	-0.130	-0.336	-0.068	0.113	-0.260	1			
Conductivité	0.746	0.778	0.892	0.402	0.948	0.777	0.218	-0.025	1		
Résidus secs	0.754	0.719	0.923	0.453	0.959	0.731	0.261	-0.084	0.985	1	
Turbidité	-0.115	-0.044	-0.144	0.161	-0.188	-0.241	0.369	-0.205	-0.103	-0.084	1

On note de fortes corrélations entre résidus secs, conductivité, chlorure et sodium, tous les autres éléments sont plus au moins moyennement corrélés à faiblement corrélés entre eux. Soulignons que le potassium n'est corrélé qu'avec les bicarbonates, sodium et calcium. La turbidité n'est corrélée qu'avec les bicarbonates. La faible corrélation entre le bicarbonate et les cations montre que la dissolution des minéraux silicatés n'est pas le seul processus conduisant à la mise en solution de ces cations. D'autres sources et d'autres processus interviennent dans la minéralisation de ces eaux comme le montrent les différentes corrélations observées. La relation entre les bicarbonates et la conductivité électrique n'est pas significative ce qui indique que les bicarbonates ne contribuent pas dans la salinité. En effet, ceci nous permet de dire que la salinité de l'eau est beaucoup plus due aux formations salifères telles que le gypse, l'anhydrite, l'halite ... La forte liaison qui existe entre les sulfates et le calcium confirme cette tendance. On suppose que les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sont impliqués dans des processus géochimiques distincts, du fait qu'aucune liaison significative n'est observée entre eux. Une très bonne corrélation ($R=0.985$) entre la conductivité et les résidus secs, ce qui confirme la contamination des eaux par des rejets des eaux usées, une pollution d'origine anthropique.

4.7.2. Analyse en Composantes Principales Normées (ACPN)

Une analyse en composante principales ACP a été réalisée sur un tableau de données de 11 variables et de 6 individus. Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel XLSTAT. Les valeurs propres des facteurs sont présentées dans le tableau 4.12.

Tableau 4.12 : Valeurs propres et pourcentage de variance exprimée

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Valeur propre	5.983	1.941	0.964	0.797	0.604	0.330	0.222	0.116	0.025	0.010	0.008
% variance	54.389	17.642	8.767	7.244	5.489	3.004	2.016	1.054	0.232	0.095	0.069
% cumulé	54.389	72.031	80.798	88.042	93.531	96.535	98.550	99.604	99.836	99.931	100.000

Les deux premiers facteurs (F1-F2) représentent 72.03% de la variance exprimée. De ce fait, l'analyse des résultats de l'ACP sera faite en se limitant à ces deux premiers axes. L'analyse des variables de l'ACPN dans le plan factoriel F1-F2 est présentée par la Figure 4.31.

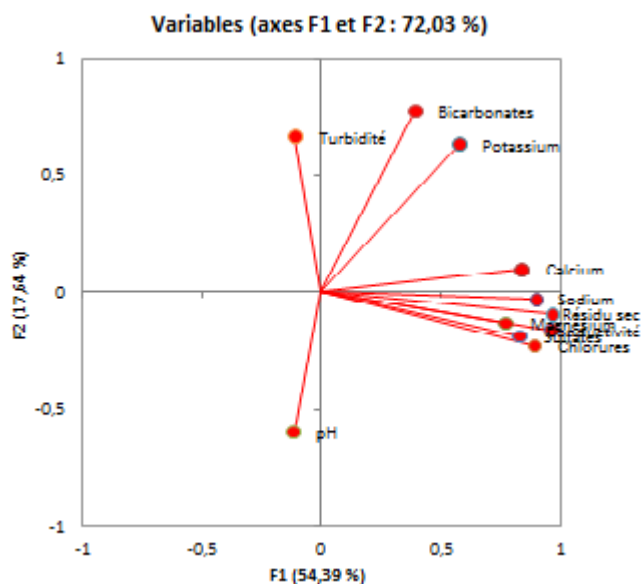


Figure 4.31 : Analyse en Composantes Principales des paramètres physicochimiques. Carte factorielle des variables dans le plan F1- F2.

La conductivité, les résidus secs, le calcium, les chlorures, le sodium, le magnésium et les sulfates définissent **le facteur 1 (F1)**, exprimant 54,39 % de la variance totale (Tableau 4.13). Dans la partie négative du facteur 2, on note un

regroupement des chlorures, sodium, sulfate, magnésium, résidus secs, et conductivité.

Tableau 4.13: Corrélations entre les variables et les axes principaux de l'ACP

Contributions des variables (%) :

Variables	F1	F2
Calcium	11.827	0.479
Magnésium	9.983	0.930
Sodium	13.558	0.051
Potassium	5.602	20.469
Chlorures	13.356	2.720
Sulfates	11.475	1.862
Bicarbonates	2.590	30.685
pH	0.222	18.409
Conductivité	15.563	1.368
Résidu sec	15.623	0.484
Turbidité	0.201	22.543

Ce regroupement peut exprimer une minéralisation liée aux activités domestiques. La conductivité nous renseigne sur la minéralisation globale de l'eau. Le facteur 1 définit alors un gradient de minéralisation allant de la gauche vers la droite de l'axe. La relation positive existante entre les éléments SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- et la conductivité électrique caractérise le pôle évaporitique, défini par le facteur 1. L'ion potassium K^+ , présente une corrélation avec l'axe F1, ainsi qu'avec l'axe F2, ce qui atteste que les deux axes contribuent à son origine. Le Calcium et le Magnésium tirent leurs origines de l'altération des roches et de l'hydrolyse acide des minéraux silicatés. Ce regroupement traduit alors une minéralisation des eaux liée au contact eau-roche appelée minéralisation temps de séjour. Pour les ions bicarbonates, on ne note aucune relation significative avec les chlorures (Tableau 4.11) ce qui semble confirmer que ces teneurs élevées en chlorures dans l'eau sont influencées par d'autres phénomènes que l'altération des silicates. Le facteur F1 est donc considéré comme un axe de minéralisation d'origine à la fois naturelle (contact eau-roche) et anthropique.

Le facteur 2 (F2) exprimant 17,64% de la variance totale, est défini principalement par les bicarbonates, le potassium, la turbidité et le pH. Leur proximité de cet axe factoriel 2, les bicarbonates, le potassium signifie que ces éléments sont mis en solution par le même phénomène. Il est donc considéré comme étant l'axe de minéralisation qui exprime le phénomène de pluviolessivage des sols par le mécanisme d'hydrolyse acide, caractérisant un pôle de pollution urbaine. Le phénomène de contamination serait à l'origine de l'union entre les bicarbonates et le potassium. En effet, la présence des bicarbonates serait liée à l'augmentation de CO_2 provenant de la décomposition de la matière organique. Par la relation inverse entre l'évolution des bicarbonates et le pH, le facteur 2 indique le pôle des carbonates.

4.7.3. Analyse en Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)

Le résultat de la classification est présenté sous forme graphique appelé Dendrogramme. La Figure 4.32 présente le Dendrogramme issu de la classification des eaux de surface de la région sur la base de leur minéralisation. Ce dendrogramme met en évidence quatre groupements (dissimilarité élevée) et des sous-groupements (dissimilarité faible).

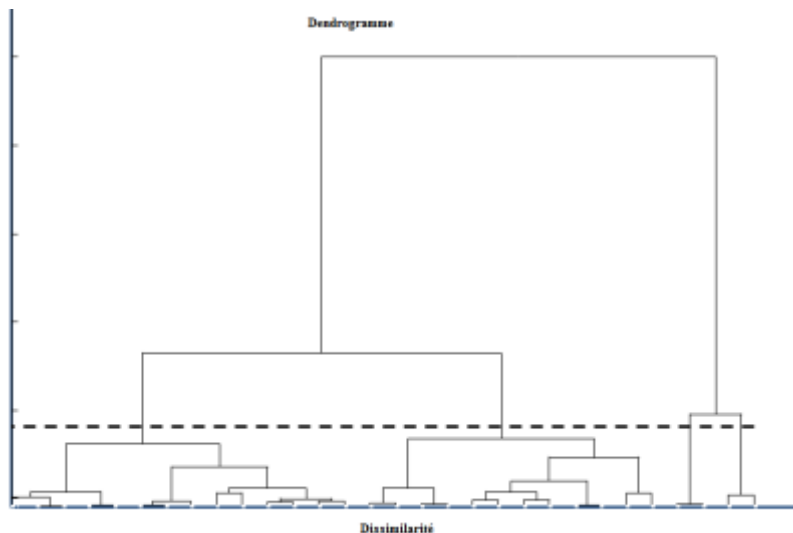


Figure 4.32 : Dendrogramme de la classification des eaux de surface de la région d'étude.

L'analyse des individus dans le plan factoriel F1-F2 nous a permis de distinguer 4 groupes essentiels (Figure 4.33.) et (Tableau 4.14).

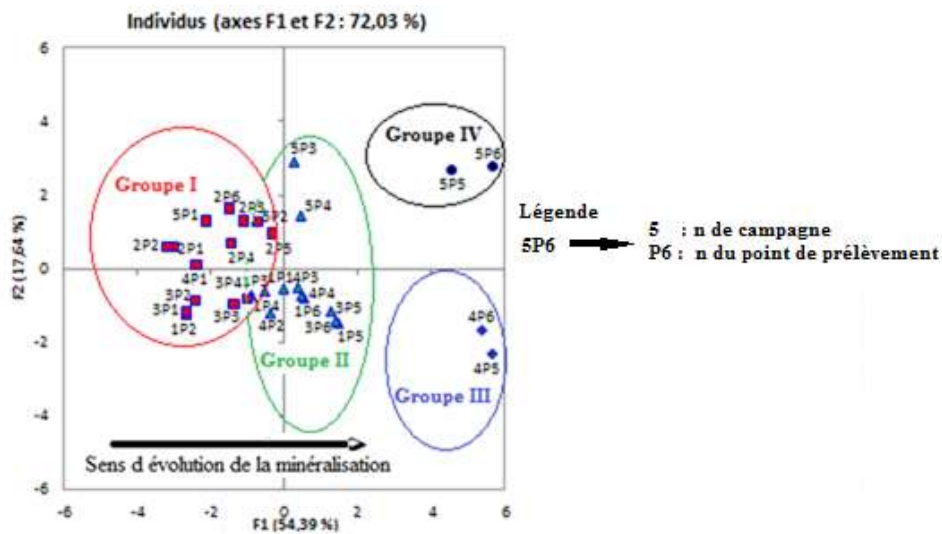


Figure 4.33 : Analyse en Composantes Principales des individus
(Carte factorielle des individus).

Tableau 4.14 : Composition des classes.

Composition des classes :				
Classe	I	II	III	IV
Intra	477051.370	653646.163	3561.880	88830.225
Effectif	14	12	2	2
	1P2	1P1	4P5	5P5
	2P1	1P3	4P6	5P6
	2P2	1P4		
	2P3	1P5		
	2P4	1P6		
	2P5	3P5		
	2P6	3P6		
	3P1	4P2		
	3P2	4P3		
	3P3	4P4		
	3P4	5P3		
	4P1	5P4		
	5P1			
	5P2			

Classe I: Elle comprend les points caractérisés par une faible conductivité en relation avec une faible minéralisation. Ces eaux présentent des teneurs

relativement faibles en sulfates. Ce sont des eaux où les ions bicarbonates sont dominants.

Classe II: Ce groupe est caractérisé par une minéralisation intermédiaire, influencée par des activités anthropiques, et des teneurs relativement élevées en sulfates.

Classe III et IV: Ils sont formés par les points P5 et P6 (**Figure 4.33**), points englobant la carrière. Ce sont des groupes qui se caractérisent par des teneurs élevées en éléments majeurs, ce qui se traduit par une conductivité importante ainsi que la turbidité et les résidus secs. Ce sont donc des stations très minéralisées. Le groupe IV se caractérise par des teneurs plus élevées en bicarbonate et en potassium. Par contre le groupe III se caractérise par les plus fortes teneurs en résidus secs. On a une mise en évidence de l'impact de la carrière sur la modification des paramètres physico chimiques des eaux de surface.

4.8. Etude des rapports caractéristiques et origine des éléments

C'est le rapport de la teneur de deux éléments exprimée en milli équivalent par litre (méq/l).

4.8.1. Rapports caractéristiques

4.8.1.1. Rapport $r \text{Mg}^{2+} / r \text{Ca}^{2+}$

Le rapport $r \text{Mg}^{2+} / r \text{Ca}^{2+}$ est variable, certains points présentent un rapport supérieur à 1 (campagne octobre 2012), ce qui explique la dissolution rapide des dolomies par rapport aux calcaires, et certains points leur rapport est inférieur à 1 (campagne avril 2011), mettant en évidence une eau très riche en calcium (Annexe A).

4.8.1.2. Rapport $r \text{SO}_4^{2-} / r \text{Cl}^-$

Ce rapport est supérieur à 1 pour la majorité des points, ce qui montre que les eaux sont sulfatées, et ceci à cause du lessivage des terrains riches en sulfates, en général des lentilles de gypse. Ces eaux font partie de la classe II (Tableau 4.14), et les points P5 et P6 présentent des rapports inférieurs à 1, traduisant ainsi un apport en chlorures (Annexe B).

4.8.1.3. Rapport $r \text{HCO}_3^- / r \text{SO}_4^{2-}$

Les rapports inférieurs à 1 expliquent que les eaux sont sulfatées, suite au lessivage des formations gypseuses et salifères. Pour les rapports supérieurs à 1 les ions bicarbonatés sont dominants (Annexe C).

4.8.1.4. Rapport $r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) / r (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$

Le rapport des alcalins sur les alcalino-terreux montre des valeurs qui sont inférieures à 1, ceci est due à la prédominance des alcalino-terreux et essentiellement le pôle calcique (Annexe D).

4.8.2. Origine des éléments dominants

Le parcours d'écoulement et la nature des couches traversées influent sur l'acquisition des éléments chimiques. Elle est liée aux produits solubles de l'altération des roches [138]. On va essayer de déterminer l'origine probable de tous les éléments dominants, en utilisant les mesures et les analyses chimiques de toutes les campagnes. La présentation des relations entre les principaux éléments majeurs, consiste à déterminer les éléments dominants, pour cela on procède à une représentation graphique sur échelle arithmétique de ces éléments.

4.8.2.1. Les éléments Na^+ et Cl^-

La présence de ces deux éléments Na^+ et Cl^- dans les eaux naturelles correspond à la dissolution de l'halite, que l'on rencontre dans les formations triasiques. Cependant les chlorures, et le sodium peuvent avoir d'autres origines naturelles ou anthropiques. L'effet de l'évaporation joue simultanément sur Na^+ et Cl^- impliquant une bonne corrélation entre eux. Cette corrélation est traduite généralement par la formation de l'halite au cours du cycle géochimique jusqu'à des phases avancées.

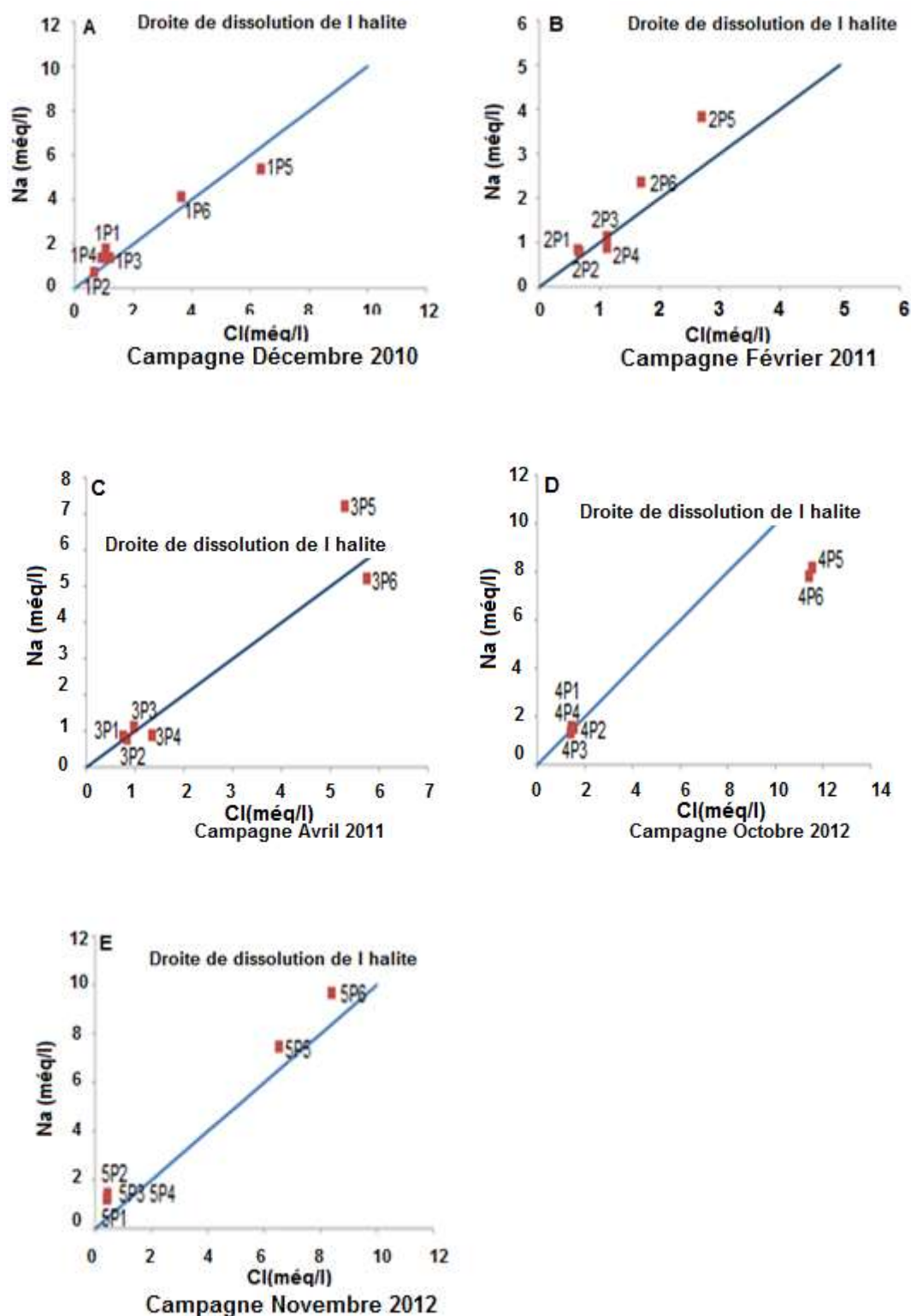
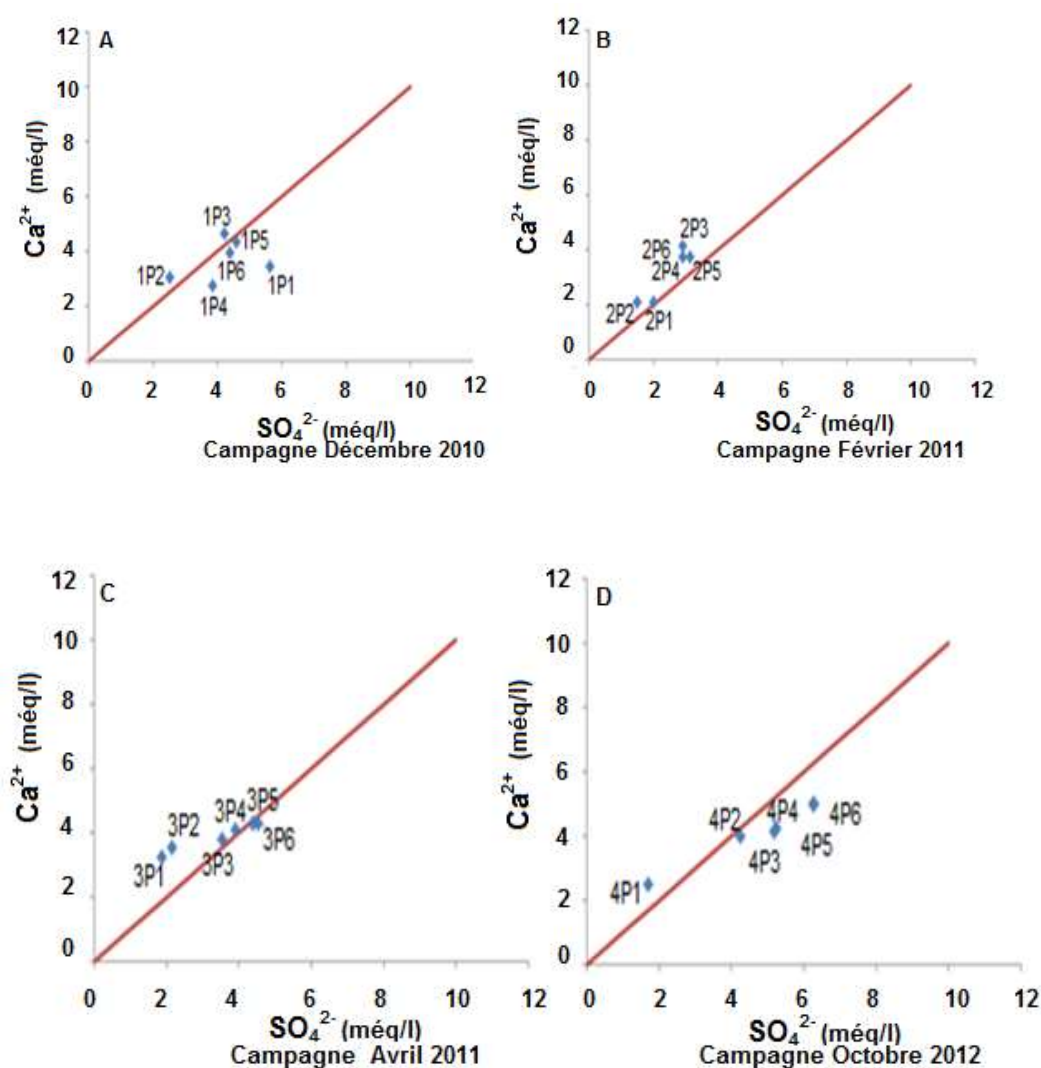


Figure 4.34 : Détermination de l'origine du sodium Na^+ .

La corrélation entre Na^+ et Cl^- (Figure 4.34) montre un premier groupe, dont les points sont situés sur la droite de dissolution de l'halite de pente égale à 1, influencé par la dissolution de l'halite (Figures 4.34 A, B, C, D). Un deuxième

groupe, où les points sont situés au-dessus de la droite de pente égale à 1 (Figures 4.34 A, B, C, E) traduisent un excès en Na^+ par rapport au Cl^- . Cet excès pourrait être expliqué par un autre type d'échange ionique où les ions Ca^{2+} remplacent les ions Na^+ qui sont libérés du complexe. En effet les argiles du substratum emschérien peuvent libérer des ions Na^+ après avoir fixé le Ca^{2+} [139,140]. Et enfin un troisième groupe, où les points sont situés en dessous de la droite (Figures 4.34 A, B, C, D). Ce processus pourrait être dû à des réactions d'échange de base avec les minéraux argileux par lesquels les ions Ca^{2+} et/ou Mg^{2+} seront libérés dans l'eau contre une fixation des ions Na^+ [139,140].

4.8.2.2. Les éléments Ca^{2+} et SO_4^{2-}



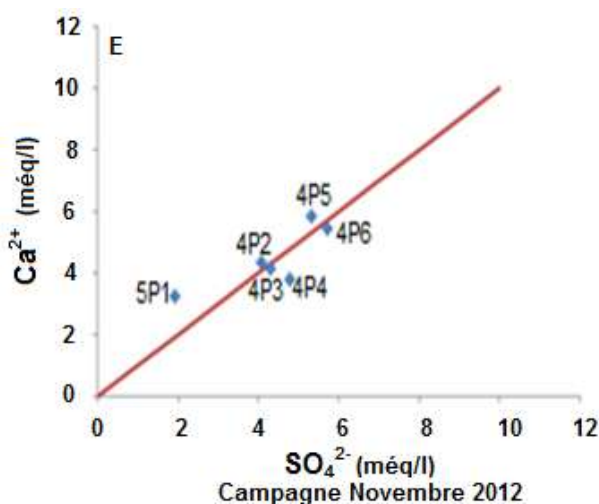


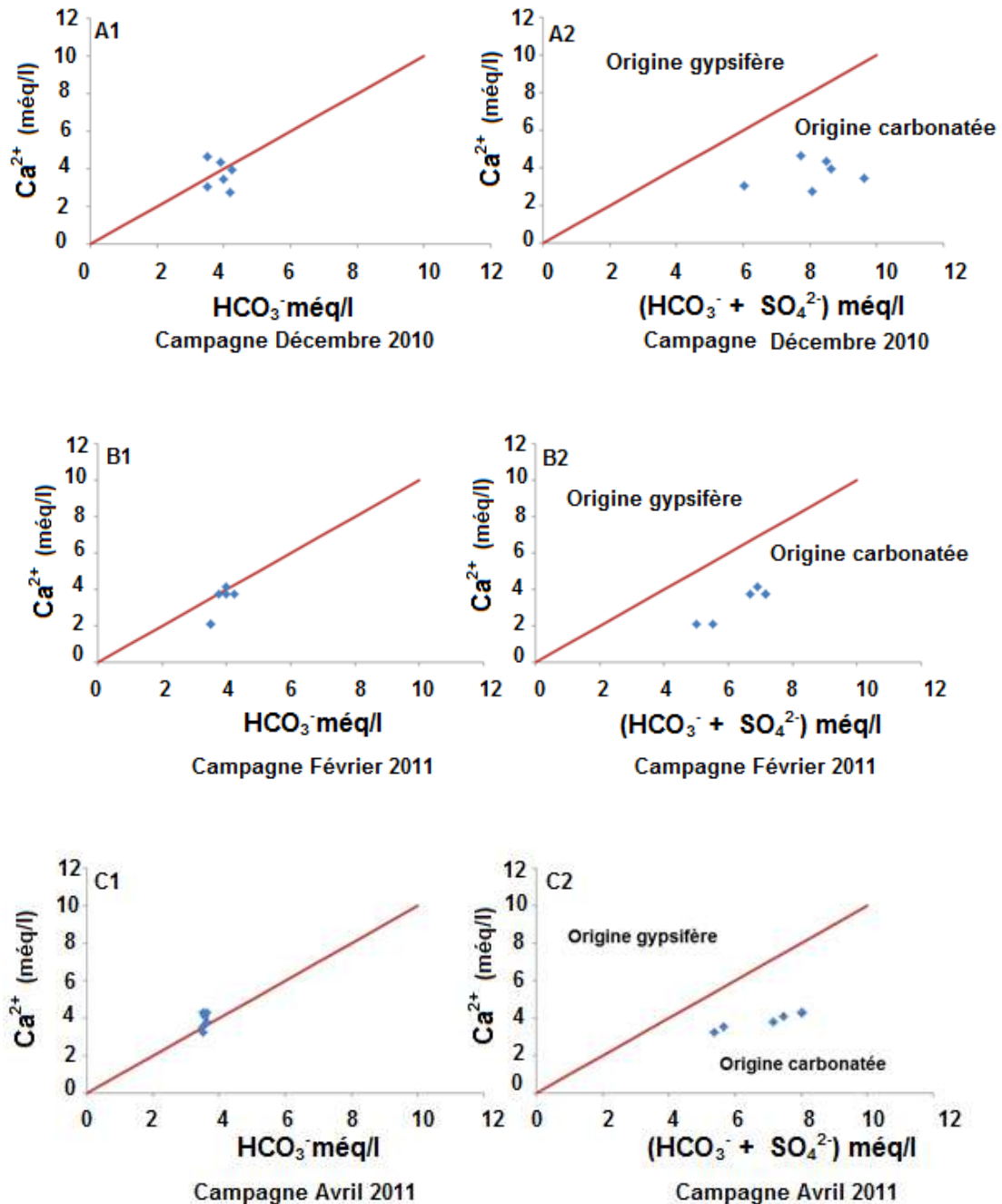
Figure 4.35 : Origine des éléments Ca^{2+} et SO_4^{2-} .

La corrélation entre Ca^{2+} et SO_4^{2-} (Figure 4.35) nous a permis de classer les points d'eau en des groupes distincts, un groupe avec des rapports voisins de 1, indiquant que ces deux ions sont soumis à un effet de dissolution de l'anhydrite et/ou de gypse ; le deuxième groupe représente les points où les eaux sont minéralisées, et montrent un excès en Ca^{2+} qui pourrait provenir d'un processus d'échange de base; et enfin un troisième groupe, est influencé par la dissolution de gypse et/ou l'anhydrite. Ceci pourrait être expliqué par le déficit en Na^+ , qui est plus ou moins équilibré par l'enrichissement en Ca^{2+} et Mg^{2+} , suggérant que le processus pourrait se dérouler simultanément avec la réaction d'échange cationique [139,140], ou probablement pourrait être dû à une réduction des sulfates dissous en H_2S [130].

4.8.2.3. Origine du calcium

Le calcium tire son origine de la dissolution des carbonates (calcite, calcite magnésienne) et / ou des sulfates (gypse, anhydrite) dont les solubilités élevées permettent la mise en solution de quantités importantes de calcium. Dans les roches détritiques carbonatées telles que les marnes, il est généralement le cation principal [141]. La mise en solution du calcium, lors de la dissolution des carbonates, s'accompagnant de la mise en solution des bicarbonates ; on observe alors une corrélation entre ces ions. Ainsi le rapport $\text{HCO}_3^- / \text{Ca}^{2+}$ renseigne sur l'origine du calcium, il permet de mettre en évidence la dissolution de la calcite ou de la dolomie. En effet, un rapport équimolaire entre les HCO_3^- et Ca^{2+} (méq/l)

permet l'identification de la dissolution de la calcite, tandis qu'un rapport égal à 1.5 indique la dissolution de la dolomie [142]. Nous avons établi les graphes ci-dessous où nous avons représenté le calcium en fonction des bicarbonates et des sulfates (Figure 4.36). L'analyse de ces graphes montre que les échantillons ont une origine carbonatée.



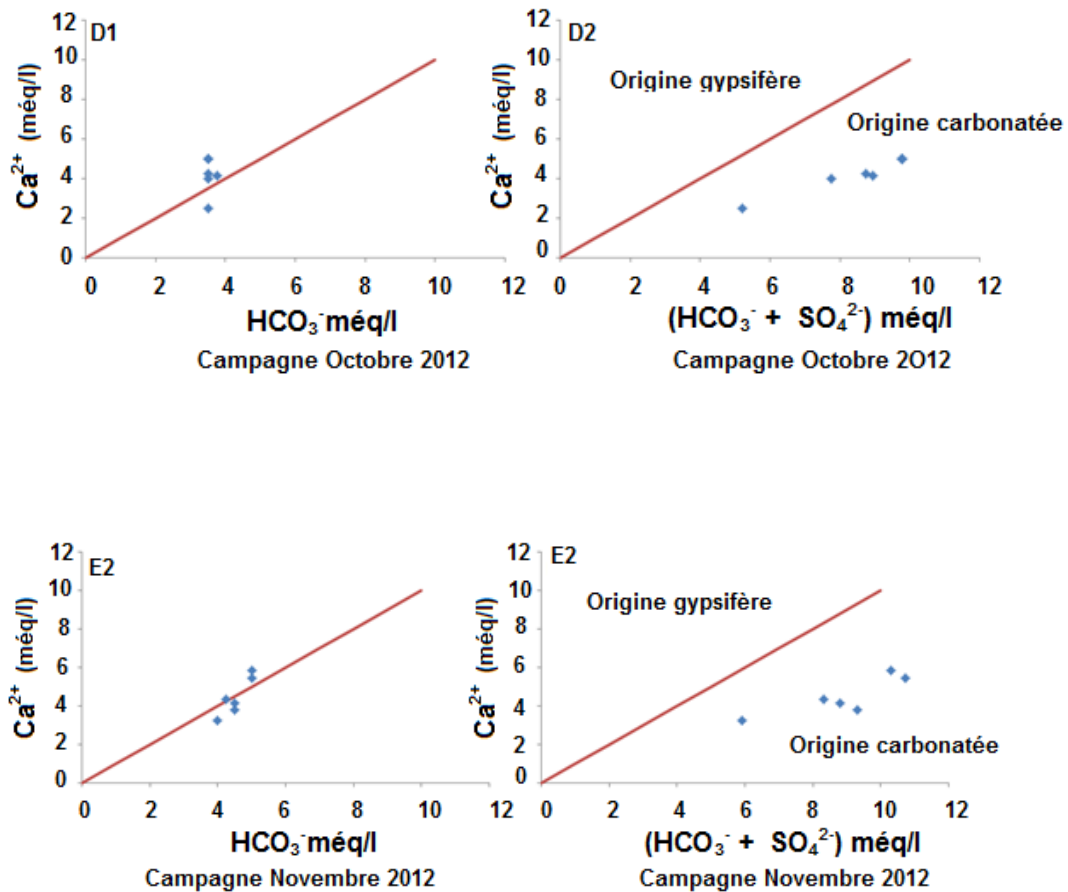
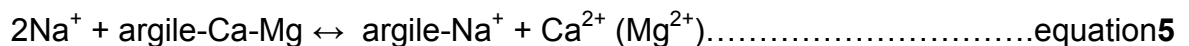


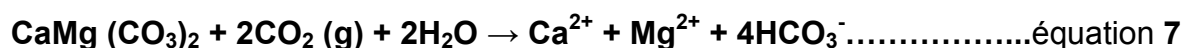
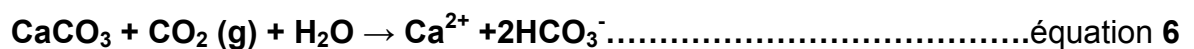
Figure 4.36 : Détermination de l'origine du calcium.

L'échange de base a tendance à déplacer les points vers le bas en raison de l'excès de $(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ ou vers le haut en raison de l'excès de Ca^{2+} [143,144].

Ce processus se fait selon la réaction ci-dessus :



Les Figures concernant la détermination de l'origine du calcium (Figure 4.36) montrent que les points se situent au-dessus de la droite d'équilibre ce qui traduit un échange de base du à un excès de Ca^{2+} provenant des formations carbonatées. L'utilisation des diagrammes d'équilibre eau-minéraux montre que l'eau est en équilibre principalement avec la dolomite et l'aragonite [140]. Cette dissolution se fait dans les conditions naturelles selon les réactions 5 et 6 [145,146].



Les équilibres naturels qui contrôlent les teneurs en calcium, en magnésium et en sodium dans les eaux sont complexes. Ceci peut être expliqué par la dissolution et la précipitation des minéraux carbonatés et évaporitiques et des échanges cationiques d'adsorption et de désorption sur des minéraux argileux.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de cette étude a porté sur l'évaluation de l'impact de l'extraction des granulats sur la qualité physico-chimique des eaux de surface du site de la carrière « SAMBA », située dans la partie amont de l'oued El Harrach, et à 1 km à l'aval du village Touristique de Hammam Melouane.

Le secteur d'étude se situe à l'extrémité sud de la plaine de la Mitidja, un des bassins néogènes de l'Algérie ayant fait l'objet de plusieurs études géologiques. Les variations verticales de Faciès ont permis l'identification de deux principaux réservoirs aquifères constitués par la formation Astienne et par celle des alluvions grossières du quaternaire. La densité du réseau hydrographique à l'amont du secteur est liée aux conditions climatiques ainsi qu'à la présence de terrains de très faibles perméabilités, et à l'existence d'une pente favorisant le ruissellement au dépend de l'infiltration. A ce titre le sol argileux et l'apport de fortes précipitations qui engorgent le sol (en période hivernale) peuvent provoquer des glissements de terrains.

Depuis 1985, la carrière SAMBA exploite les calcaires de couleur beige et grise à une cadence moyenne journalière de 1500 tonnes. L'impact de l'extraction de ces granulats a été évalué à travers l'étude de la qualité physico chimique des eaux de surface sur l'ensemble du site. En effet, les eaux superficielles au niveau de MegtaaLazreg à proximité de Hammam Melouane, sont de bonnes qualités. Cependant juste à l'aval, le long de l'oued El Harrach l'eau est d'aspect jaunâtre. Ce changement brusque de couleur est à mettre en relation avec l'exploitation de la carrière SAMBA.

En effet, les valeurs de la turbidité augmentent de 3,2 NTU à l'amont pour atteindre des valeurs de 145 NTU à l'aval de la carrière. La conductivité électrique est très affectée par l'exploitation de la carrière, puisqu'elle passe de $510 \mu\text{Scm}^{-1}$ à l'amont pour atteindre des valeurs de $2500 \mu\text{Scm}^{-1}$ à l'aval. Ceci est dû à la forte augmentation de la concentration en sodium (Na^+) et en chlorures (Cl^-) au voisinage de la carrière, qui est probablement dû à plusieurs facteurs, notamment : le concassage (la poussière constitue la principale source de pollution de l'air lors de l'exploitation des carrières), le lavage des matériaux,

l'affleurement d'une source à caractère thermique, et probablement à l'utilisation de produits (contenant du sodium et des chlorures) au moment du lavage des matériaux. Cet impact de la carrière sur la qualité physicochimique a engendré aussi un changement dans le Faciès de l'eau.

A l'aval de la carrière les Faciès sont à dominance bicarbonaté calcique-magnésienne alors qu'en amont le Faciès chloruré sodique reste majeur.

La comparaison des teneurs des éléments chimiques (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^-) fait apparaître la dominance des ions salifères (Na^+ , Cl^-), au voisinage de la carrière, et carbonatés (Ca^{2+} , HCO_3^-) par rapport à ceux gypsifères (Ca^{2+} , SO_4^{2-}) dans l'acquisition de la composition chimique des eaux.

Les méthodes statistiques utilisées, la Classification Hiérarchique Ascendante (CAH) et l'Analyse en Composantes Principales montrent une minéralisation des eaux de la région résultant de la combinaison de trois grands phénomènes. En effet, le temps de séjour, le lessivage des sols par les eaux de précipitations, et les activités anthropiques participent aux chimismes de ces eaux. La représentation spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine des Faciès est fortement liée à la géologie du secteur. En effet, la dissolution des formations carbonatées et évaporitiques peut être à l'origine de cette distribution.

Les résultats de cette étude ont montré l'impact de la carrière sur la qualité physicochimique (turbidité, conductivité, concentration en sodium et chlorure et Faciès). Ces résultats méritent d'être complétés et affinés par d'autres investigations sur le terrain et des analyses au laboratoire des métaux lourds, le cycle de l'azote, le phosphore total et sa relation avec les matières en suspension qui justifieraient d'une pollution d'origine organique ou non.

RECOMMANDATIONS

Au terme de ce travail, après exploitation des résultats des analyses physico-chimiques effectuées au niveau de l'Agence Nationale des Ressources hydriques de Blida (A.N.R.H), les paramètres physicochimiques (les taux du résidu sec, la conductivité, et la turbidité de l'eau) ont augmenté à l'aval de la carrière engendrant un changement du Faciès de l'eau. Pour cela nous recommandons à la fin de cette étude :

- ❖ De prévoir la réalisation d'un bassin de décantation au niveau du rejet de la carrière pour éliminer les matières en suspension et les matières colloïdales afin d'améliorer la turbidité à l'aval de la carrière ;
- ❖ De prévoir la récupération et le traitement obligatoire des eaux de ruissèlement de l'exploitation avant rejet dans le cours d'eau ;
- ❖ De fixer de véritables objectifs en matière de qualité des eaux de surface ;
- ❖ De veiller à la préservation des sables alluvionnaires qui jouent le rôle de filtre permettant de maintenir une bonne qualité de l'eau de la nappe alluviale ;
- ❖ D'envisager l'implantation de bassins d'alimentation dans les secteurs les plus perméables permettant la restitution des eaux superficielles à l'endroit de la recharge de la nappe en amont.
- ❖ Les règles et la réglementation régissant le fonctionnement des activités de carrières doivent également être appliquées.

BIBLIOGRAPHIE

1. Ministère de l'énergie et des mines, (2009) édition 2010, Bilans des activités minières.
2. Khattaoui M., Boudlal O., Benamar A., La marne de M'douha (Algérie) source de granulats, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'ingénieur JNGG 2014 – Beauvais 8-10 Juillet 2014.
3. Groupement d'intérêt scientifique, GIS SIEGMA Juillet 2012, suivi des impacts de l'extraction de granulats marins.
4. Les Etudes des Agences de l'Eau, N°71(2000), effet de l'extraction des granulats alluvionnaires sur les milieux aquatiques, 47 pages.
5. Mimoun D., Spatialisation de l'information : Une aide à l'analyse hydraulique et paysagère développée lors de la réhabilitation des sites post industriels – cas des réaménagements des gravières en eau en milieu alluvionnaire – Thèse de doctorat (2004), Ecole nationale supérieure des mines de Saint Etienne et de l'université Jean Monnet Spécialité Science de la Terre et de l'environnement.
6. Tanouayi G., Gnandi K., Ahoudi H., Ouro-Sama K., La contamination métalliques des eaux de surfaces et des eaux souterraines de la zone minière de exploitation des phosphates de Hahotoé-Kpogamé (Sud du Togo), cas du cadmium, plomb, cuivre, et nickel, Larhyss Journal, ISSN 1112- 3680, n° 21 , mars 2015, pp. 35-50.
7. BRGM-61632-FR, Avril 2014, Suivi de la turbidité des eaux de Guyane. Etat des lieux et recommandations. Approche par télédétection.
8. Rapport à l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, I.E.A. (1995), Effets des extractions alluvionnaires.
9. Remal K., & Remini B., Impact of quarry sand exploitation on surface water flow quality—case of El Harrach stream channel, Algeria, Desalination and Water Treatment, 2015.
10. Henni- Chebra K., Bougara A., Hallal A., Estimation des particules de poussières causées par l'industrie cimentière les plaques métalliques. Revue « Nature & Technologie», Sciences fondamentales et Engineering, N° 12, 2015, pp. 02-10.

11. Abdallaoui A., Contribution à l'étude du phosphore et des métaux lourds contenus dans les sédiments et de leur influence sur les phénomènes d'eutrophisation et de la pollution - Cas du bassin versant de l'oued Beht et de la retenue du barrage El Kansera- Thèse de doctorat (1998), Université Moulay Ismail Faculté des Sciences de Meknès.
12. Chapman P.M., Determining when contamination is pollution - Weight of evidence determinations for sediments and effluents, Environment International, 33(4), 2007, pp.492-501.
13. Agence de l'eau Seine-Normandie (Mai 2007), l'extraction de granulats dans le bassin Seine-Normandie.
14. Bchitou R., Le suivi des métaux lourds dans les eaux et les sédiments du moyen Sebou : Elaboration d'un plan d'expérience afin d'éliminer le chrome, Thèse d'Etat (2001), Faculté des Sciences Université Mohammed V-Agdal Rabat.
15. Roald Simler. <http://www.lha.Uvin-avignon.fr/LHA-Logitiels-htm>.
16. Baron J., et Sautrey R., "Le béton hydraulique", Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1982, 560 pages.
17. <http://www.mineroc.com/marche.html>.
18. FUSTEC, in UNPG (1993), Assises sable et graviers du bassin Seine-Normandie, 74 pages.
19. Schanen O., Analyse et modélisation de l'impact hydrodynamique et biogéochimique des lacs de gravières sur la nappe alluviale du Val de Seine- Thèse de doctorat (1998), de l'université Paris VI. 273 pages.
20. Chere C. (1992), Impact des gravières sur l'environnement : collecte des données juridiques techniques et politiques, Synthèse bibliographique des connaissances Agence de l'eau Seine-Normandie, 83 pages.
21. BRGM (1994), Impact des carrières de granulats sur les ressources en eau souterraine. Plaine du Perthois. 30 pages.
22. Nezzal F., Belkebir R., Benhaida A., Risque d'inondation dans le bassin versant de l'oued HAMIZ (Baie d'Alger), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, N°22, Juin 2015, pp. 81-89.
23. Meddi M., Contribution à l'étude du transport solide en Algérie du nord, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, N°24, Décembre 2015, pp. 315-336.

24. http://www.bourgogne.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/SDC89RAPP5P_cle611646.pdf.
25. Interactions entre les carrières et les eaux souterraines et superficielles
Bilan des connaissances techniques Par M. GRAVOST avec la collaboration
de J.M.SIONNEAU Novembre 1988 BRGM : 87SGN 391 PAC TPGF :
Opération 56 EG 142.
26. Rapport BRGM/RP-57157-FR, Janvier 2012, Schéma des carrières de la
Guadeloupe.
27. Pillet G., et al. Tableau de bord méso – économique des couts et bénéfices
environnementaux de l'industrie du ciment en Algérie Résultats et guide
méthodologique.
28. Henni-Chebra K., Estimation des particules de poussières causées par
l'industrie cimentière, Séminaire International, Innovation & Valorisation en
génie civil & Matériaux de construction 5P-069, Rabat – Maroc / 23-25
Novembre 2011.
29. AIDEQ 2005.
30. Gonzague P, Cenoble E., Zein K., « Tableau de bord méso – économique
des couts et bénéfices environnementaux de l'industrie du ciment en Algérie
» Résultats et guide méthodologique. Nov.2002, 6pages.
31. Aigbedion, Environmental Pollution in the Niger-Delta, Nigeria. Inter-
Disciplinary J, Enugu-Nigeria, 3(4), 2005, pp. 205–210.
32. Oumarou T et Anselme W., Exploitation minière dans l'arrondissement de
Figuil (Cameroun) : problèmes de santé publique et effets
environnementaux, Revue belge de géographie, Belgeo, Miscellaneous. pro
4, 2014.
33. Clemente A.S., Werner C., MÁguas C., Cabral M.S., Martins-LouÇÃo M.A.,
Correia O., Restoration of a limestone quarry: effect of soil amendments on
the establishment of native Mediterranean sclerophyllous shrubs,
Restoration Ecology, 2004, pp. 20-28.
34. OMS, 2010.
35. Djabri A., Hani R., Laouar J., Mania J., Mudry and Louhi A., Potential
pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, North-Eastern
Algeria, Environmental Geology, Vol 44, N 6, 2003, pp. 738-744.

36. Messadi A., Louhi S., Ali-Mokhnache N., Zenati., Utilisation des spectroscopies d'absorption et d'émission atomique pour le contrôle de la pollution minérale des oueds Meboudja et Seybouse dans la zone industrielle d'Annaba (Nord-Est Algérien), CAST, Vol.6, N°1, 2001, pp.41-48.
37. Bendjama A., Chouchane T., Boukari O., Morakchi K., Meradi H., Caractérisation d'une pollution organique et inorganique des eaux superficielles oued Meboudja situé au Nord Est de l'Algérie, Conférence Internationale sur le Soudage, le CND et l'Industrie des Métaux, IC-WNDT-MI'10, Oran, 27 - 28 novembre 2010.
38. Hazourli S., Boudiba L., Ziaty M., caractérisation de la pollution des eaux résiduelles de la zone industrielle d'El-Hadjar, Larhyss journal, N°6, Décembre 2007, pp. 45-55.
39. Chaoui W., Bousnoubra H., Chaoui K., Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines de la région Bouchegouf (Nord-Est Algérien), Nature&Technologie C- Sciences de l'environnement, N°08, Janvier 2013, pp. 33-40.
40. Voeltzel D, Paillat G., Andrieu N. F., Rohaut M., Carrières de roches massives: potentialités écologiques - analyse bibliographique et réflexions, UNICEM, 2007, 176 pages.
41. Langer W.H., A general overview of the technology of in-stream mining of sand and Gravel resources associated potential environmental impacts, and methods to control Potential Impacts, USGS, 2003, 02-153p.
42. Kondolf, G.M., Williams J.G., Horner T.C., and Millan D., Assessing physical quality of Spawning habitat American fisheries society symposium, 65:000-000, 2008.
43. Kondolf, G.M., Environmental effects of aggregate extraction from river channels and floodplains. In: Aggregate resources: a global perspective (P.T. Bobrowsky, ed.), Balkema, Rotterdam, 1998, pp. 113-129.
44. Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées - 226 - MAI-JUIN 2000 - RÉF. 4324 - PP. 27-4S.
45. <http://sage.loire.fr/upload/docs/application/pdf/extractions.pdf>.
46. http://www.sage-estuaire-loire.org/files/documents/diagnostic/fiches/136_extraction23.pdf

47. Beaudelin P., Conséquences de l'exploitation des granulats dans la Garonne. In: Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, Tome 60, fascicule 4, 1989, Garonne, pp. 603-616.
48. Mehmet E., Impact of quarries on karst groundwater systems, Hydrogeological Processes in Karst Terranes, IAHS Publ., N° 207, 1993.
49. Kresic., Neven., Papic., Petar., Golubovic., and Radosav., Elements of groundwater protection in a karst area: Environmental geology Water Science, V. 20, N° 3, 1992, pp. 157-164.
50. Kaufmann O., and Quinif Y., Cover-collapse sinkholes in the "Tournaisis" area, southern Belgium: Engineering Geology, v. 52, nos. 1&2, 1999, pp. 15-22.
51. Ausseur J.Y., De LA QUIERE P., SAUTY J.P. effets thermiques des exploitations en eau de sables et graviers en vallées alluviales sur les rivières de Haute Normandie. Simulation des phénomènes et exemples d'application. Op. CGTPFG EG 114- Rapport .B.R.G.M. 80 SGN 868 HNO, 51p. 17fig.
52. Sinoquet C. (1985), Qualité physicochimique des eaux de gravière et impact sur le milieu environnant- Analyse globale et approche particulière E.N.I.T.R.T.S. et un. L. Pasteur I.M.MF. De STRASBOURG, Mem. DEA de Méc., Opt. SC. Et techn. De l'eau, 86p. 76fig. 40an.
53. http://www.meuse.gouv.fr/content/download/5812/35362/file/sab_laimont_et_uide_impact_chap_3-1.pdf.
54. Sreedharan S., "Environmental Impact Assessment of Sand Mining from the Small Catchment Rivers in the Southwestern Coast of India: A Case Study," Environmental Management.DOI 10.1007/s00267-010-9571-6, 2010.
55. Packer D.B., Griffin K., & Mc Glynn K.E., "A review of the effects of in- and near-stream gravel extraction on anadromous fishes and their habitats, with recommendations for avoidance, minimization and mitigation," NMFS-F/SPO-70, 2005.
56. Nivoit D., (1994), Les gravières, l'eau et les écosystèmes aquatiques une cohabitation à organiser dans le bassin Seine-Normandie, 60 pages.
57. Berge Ph., Détection de l'origine des pollutions azotées d'un aquifère alluvial de la vallée de la Garonne par traçage isotopique, Thèse 3ème cycle (1983), Ecologie, Toulouse : 221 p.

58. Boeglin J-C., Analyse des eaux résiduaires. Pollution industrielle de l'eau caractérisation, classification, mesure, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie industriel, G 1 210, 1997.
59. Djabri L., Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines, Thèse Doctorat (1996), Es-Sciences, Université Annaba, 261pages.
60. FRANCE NATURE ENVIRONNEMENT - Réseau Eau (2000), Investigations sur l'impact des extractions de granulats dans les zones alluviales des cours d'eau. Rapport de phase 2. 85 pages.
61. Atlas de l'environnement du Morbihan, Les carrières et les mines.
62. <http://www.bretagne-environnement.org/Media/Dossiers/Les-carrieres/Un-controle-strict-de-l-impact-sur-la-qualite-de-l-eau-la-biodiversite-et-les-paysages>.
63. Earthworks Fact sheet: Hardrock Mining and Acid Mine drainage. [http://www.earthworksaction.org/pubs/Fs_AMd .pdf](http://www.earthworksaction.org/pubs/Fs_AMd.pdf).
64. Mihai T.C., Alina L., Karel L., Impact of open pit gravel extraction from Sebes, Alba County, on soil fertility, Research Journal of Agricultural Science, 45 (4), 2013.
65. Tuomo H., Effect of gravel extraction on groundwater, Future Groundwater Resources at Risk, IAHS Publ, N° 222, 1994, 427.
66. Peter M.A, Ebenezer B., Peter P-K.Y., L'impact de la carrière de Sofokrom sur la rivière Anankwari, International Journal of Science and Research, V 4 Issue 11, 2015.
67. Armah A., Obiri S., Yawson D.O., Papoe, A.N.M., Mining and Heavy metal pollution: Assessment of Aquatic Environments' in Tarkwa(Ghana) using multivariate statistical analysis. Journal of Environmental statistics, Vol. 1, issue 4, 2010.
68. Musah E., Sociological and Ecological impacts of sand and Gravel Mining, Journal of Environmental protection Agencies (Accra) Ghana. Vol. 1, 2009, pp. 1 – 36
69. Morrison M. A. S., Mwanga, K., & Simoro, A. (2001). Impact assessment of industrial and sewage effluents on the water quality of receiving Marimba River in Harare, Zimbabwe: University publications.

70. Martin. L. (2003). Effect of quarry on water bodies. New York: Macmillan Publishers.
71. NISA (1997), the impact of dust on the environment. New York: W. H. Freeman and Company. pp. 17 – 18.
72. Ako T. A., Onoduku U. S., Oke S. A., Essien B. I., Idris F. N., Umar A. N., Ahmed A. A., Effets environnementaux de l'exploitation minière de sable et de gravier sur les terres et les sols à Luku, Minna, Niger, Nord-Central Nigeria, Journal of Geosciences and Geomatics, Vol. 2, N° 2.4, 2014.
73. Rapport Ifremer ODE/LERN/15-06, Juillet 2015, Etat chimique des sédiments et influence d'une extraction de granulats sur l'état chimique de l'eau de mer dans le cadre du PER GMH Etude SCOOTER.
74. Billen G., Garnier j, (2006), Diagnostic du fonctionnement biogéochimique du continuum Estuaire-panache de la Seine (Diapason). Rapport Seine-Aval 2005 :17p.
75. GIP Seine Aval, 2009, Dynamique des nutriments dans l'estuaire de la Seine, 6pages.
76. Latteux B., 2008. Exploitation de matériaux marins et stabilité du littoral. Quae Editions. 162 pages.
77. Mehmet O., Pollution de l'environnement et ses effets sur les sources d'eau des carrières de marbre de l'ouest de la Turquie, Environ Earth, 75 :796, 2016.
78. Ako T. A., Onoduku U. S., Waziri S. H., Adegbe M., Chukwu J. N., Kajena C. M, Évaluation des impacts environnementaux des carrières de marbre sur les eaux de surface à Kwakuti, Etat du Niger, Centre-Nord du Nigeria, International Journal of Engineering and Advanced Research Technology (IJEART), Volume-1, Issue-1, July 2015.
79. Mulk S., Azizullah A., Korai AL., Khattak MN., Impact des effluents de l'industrie du marbre sur l'eau et la qualité des sédiments de la rivière Barandu dans le district de Buner, au Pakistan, Environ Monit Assess, 187(2):8, doi: 10.1007/s10661-014-4221-8, 2015.
80. Fakher J. Aukour *, Mohammed I. Al-Qinna, La production de marbre et les contraintes environnementales: étude de cas Du gouvernorat de Zarqa, Jordanie, Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences, ISSN 1995-6681, Volume 1, N° 1, 2008, pp. 11 -21.

81. Idris G. N., Asuen G. O., Ogundele O. J., Impact environnemental sur la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines provenant des activités minières à Ikpesi, État d'Edo, Nigéria, *International Journal of Geosciences*, 5, 2014, pp.749-755.
82. Er. R.P.Singh Kushwah., Scientific Disposal system of Marble Slurry for Clean and Green Environment, Assistant professor-I, JECRC University Jaipur, *International Journal of Engineering Sciences & Research, Technology*, ISSN: 2277-9655, 2014.
83. Felix Lamech Mogambi Ming'ate, and Mohamed Yussuf Mohamed, Impact des carrières de pierre sur l'environnement et les moyens de subsistance des communautés dans le comté de Mandera au Kenya, *Journal of Scientific Research & Reports* 10(5), 2016, pp. 1-9.
84. Veyret Y. & Pech P. (1992), *L'homme et l'environnement*, Paris, PUF, 424 pages (Lyon, 1997).
85. Lyon J. (1997), Interview, Mineral Policy Center, Washington DC.
86. Edmore K., and Humphrey M., Évaluation des incidences environnementales de l'exploitation minière de sable et de gravier dans la vallée de Nzhelele, province du Limpopo, Afrique du Sud, 2012 3rd International Conference on Biology, Environment and Chemistry IPCBEE vol.46 (2012) © (2012) IACSIT Press, Singapore DOI: 10.7763/IPCBEE. 2012. V46. 29
87. Melton B.P.E., 2009. In-stream gravel mining impacts and environmental degradation feedback associated with gravel mining on the Rio Tigre of the OSA Peninsula, Costa Rica, and the proposed ADI Jimenez Gravel Mining Concession. Texas: Melton engineering services, Austin.
88. Farki K., Zahour G., Baroudi Z., Alikouss S., Zerhouni Y., El Hadi H., and Darhnani M., Mines et carrières triasico-liasiques de la région de Mohammedia: Inventaire, valorisation et étude d'impact Environnemental, *International Journal of Innovation and Scientific Research* ISSN 2351-8014 Vol. 20 N° 2, 2016, pp. 306-326.
89. Saad Zineb., Les carbonates du gisement d'agrégats en exploitation du Djebel GUSTAR –Ain El Hadjer (Sétif- Algérie): Géologie, état des réserves et orientation de l'exploitation- Master (2012-2013), Géologie, Université Ferhat Abbas de Sétif .1.

90. Ghodbani T. – Extractions du sable dunaire à Terga plage, Algérie ouest, Impacts sur l'environnement, Conflits d'usagers et outils de gestion Colloque international « Le littoral : subir, dire, agir » Lille, France 16-18 janvier 2008.
91. Remini B., Bensafia D., Missoum M., Silting of Foun el Gherza Reservoir, GeoSci. Eng. LXI (1) (2015) 1–9.
92. Ma J., Ding Z., Edmunds W.M., J.B. Gates J.B., et Huang T., (2009). Limits to recharge of groundwater from Tibetan plateau to the Gobi desert, implications for water management in the mountain front. J. Hydrol., 364, pp. 128-141.
93. Bouguerne A., Etude comparative par analyse hydrologique et hydrochimique des eaux de surface des bassins versants de oued Boussalem et oued Rhumel- Mémoire de Magister (2001), Université Batna. 148 pages.
94. O.N.M Office national de météorologie
95. Glangeaud L. & AYME A. (1935), Histoire géologique de la province d'Alger. XIX Congrès Intern, Alger. Monog. Régionales, 1ère sér, Algérie, n° 25, 30p.
96. Glangeaud L., 1932. Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger, Thèse et Bull.Serv.Carte Géol., 2ème série. n°8, Alger, 608p.
97. Binnie et Partners W.S. Atkins, international 1983. Rapport N°F3, ministère de l'hydraulique à Alger.
98. Saoudi N., Pliocène et Pléistocène inférieur et moyen du sahel occidental d'Alger- Thèse 3ème Cycle (1982), Université Aix-Marseille II. 227p.
99. Rivoirard R., (1952), Aperçu sur hydrogéologie algérienne XIX Congrès géologique Intern. Alger. 12pages.
100. Mutin G., 1977. Les données géomorphologiques dans la Mitidja, décolonisation et espace géographique. Centre Nat. Rech. Scientifique, Paris, 50p.
101. ANRH (1973), Carte hydrogéologique de la région d'Alger à 1/200.000.
102. Géo hydraulique (1968-1972), Etude hydrogéologique quantitative de la plaine de la Mitidja. Rapports n° 1 à 5. ANRH, Alger, 150p.
103. Source A.N.R.H.
104. Nedjai R, Etude hydrogéologique et hydrochimique des sources thermominérales du centre Algérien (Nord)- Thèse du 3ème cycle (1987), spécialité sciences de la terre, option hydrogéologie, Grenoble.

105. Kahoul M., Touhami M., Evaluation de la qualité physicochimique des eaux de consommation de la vallée d'Annaba (Algérie), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, N°19, 2014, pp. 129-138.
106. Nechad I., Fadil K., Fadil F., Qualité physicochimique des eaux des sources Ain Regrag et Ain Sidi Bouali dans la région de Sefrou (Maroc), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, N° 20, Décembre 2014, pp. 127-146.
107. Remini B., La problématique de l'eau en Algérie. Collection hydraulique et transport solide. Edition 2005.182pages.
108. National Institute of Cartography; modified by authors.
109. Travi Y., Mudry J., Méthode pour l'évaluation et la gestion du risque nitrate dans les aquifères du socle de la zone sahélienne d'Afrique de l'Ouest, Revue d'Hydrogéologie, 1, 1997, pp.13-21.
110. Yiadana S.M., Ophori D., Banoeng-Yakubo B., A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data – The Ankobra Basin, Ghana, Journal of Environmental Management, 86, 2008, pp. 80-87.
111. Rodier J., 2005. L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8^{ème} édition: Dunod, Paris.
112. Boeglin 2000. Contrôle des eaux douces et de consommation humaine. Ed. Techniques de l'ingénieur, 24 pages.
113. Dib I., L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien)- Mémoire de magister (2009), hydraulique, construction hydro-technique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar Batna, 127 pages.
114. Lanteigne J., 2003. Encyclopédie de l'agora.
115. Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin DCSMM (2014), Evaluation et suivi de l'impact des extractions de granulats marins sur les écosystèmes et la biodiversité.
116. Duclos P.A., Impact morpho-sédimentaires de l'extraction de granulats sur les fonds marins de la Manche orientale- Thèse de doctorat (2012), Université de Rouen, 266p.
117. Marcel, D., 1995. Chimie des oxydants et traitement des eaux. L'université de Poitiers (E.S.I.P), 230 pp.

118. Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Van M., Contribution à l'étude physicochimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental), *larhyss journal*, 9, 2011, pp.149-169.
119. Alayat H., Evolution spatio-temporelle du chimisme des eaux thermo minérales des monts de la Cheffia (N-E Algérien), *Kartologia*, N° 48, 2006, pp. 23-28.
120. Audubert A., Les ions en solutions, P.U.F Paris 1955, Tome 1, p.90.
121. Roques H., Fondements théoriques du traitement chimique des eaux, Technique et documentation, Lavoisier , Vol.I et II ,Paris 1990 .
122. Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., 2005. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 pages.
123. Dakoure D., Etude hydrogéologique et géochimique de la bordure Sud-Est du bassin sédimentaire de Taoudéni (Burkina Faso - Mali)- Essai de modélisation- Thèse de doctorat (2003), sciences de la Terre, Géosciences et Ressources Naturelles, Université Paris VI - Pierre et Marie Curie, 255 pages.
124. Fehdi C., Boudoukha A., Rouabhia A., Salameh E., 2009. Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud-Est algérien). *Afrique Sciences* 05 (2) (2009) : pp.5-12.
125. Debieche T.H., Evolution de la qualité des eaux (Salinité, Azote et Métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle (application à la basse de la plaine Seybouse –Nord –Est Algérien)- Thèse de Doctorat (2002), Université de Franche-Comté, France, 235p.
126. Ministère de l'environnement de l'Ontario, 1976. Hazardous substances list and handbook. Rapport N° ARB-TDA-33-76, Hazardous substances Program, Air Ressources Branch.
127. Weast, R.C. (dir. de publ.). Sodium. Dans: Handbook of chemistry and physics. 52ème édition. CRC Press, Cleveland, OH (1971-1972).
128. Belghiti M.L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustain R., Etude de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux souterraines de la

- nappe Plio- quaternaire dans la région de Meknès (Maroc) Larhyss Journal, 14, 2013, pp.21-36.
129. Conseil national de recherche du Canada (1977), Les effets des halogénures alcalins dans l'environnement canadien. CNRC n° 15019. Comité associé des critères scientifiques concernant l'état de l'environnement. Ottawa.
 130. Haut-Commissariat Aux Eaux et Foret, et la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD), Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat, 2006, 201 pages.
 131. Glossaire des paramètres de qualité de l'eau potable.
 132. Belhadj M.Z., Etude de la pollution du barrage de Zit-Emba Commune de Bekkouche Lakhdar Wilaya de Skikda - Mémoire de Magister (2006), Université Batna. 107 pages.
 133. Achour F., Conditions hydrologiques et disponibilité en eau en région semi-arides : Application de méthodologies nouvelles au bassin du Cheliff, Algérie- Thèse Doctorat (1997), Université de Franche- Comte – France, 261 pages.
 134. Ouandaogo-Yameogo S., Ressources en eau souterraines du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso qualité et vulnérabilité - Thèse de Doctorat (2008), Université d'Avignon, France.
 135. Faillat J.P., Drogue C., Différenciation hydrochimique de nappes superposées d'altérites et de fissures en socle granitique (Hydrochemical differentiation of superimposed layers of regolith and cracks in granite base), Hydrol, Sci. J. 38(3), 1993, pp.215–229.
 136. Figarella J., Leyral G., 2002. Analyse des eaux: Aspects réglementaires et techniques. Ed. Scérén CRDP d'Aquitaine, Paris, 360 pages.
 137. ANRH, laboratoire de référence Algérie.
 138. Bohy M., « Caractérisation de sources de pollution composées d'un mélange de solvants chlores en aquifère alluvial, Expérimentations en laboratoire et sur site contrôlé associées à la simulation numérique » - Thèse de Doctorat (2003), Université Louis Pasteur de Strasbourg.
 139. Capaccioni B., Didero M., Paletta C et Idero L., Saline intrusion and refreshing in a multilayer coastal aquifer in the Catania Plain (Sicily, Southern Italy): dynamics of degradation processes according to

- hydrochemical characteristics of groundwaters, *J. Hydrol*, 307, 2005, pp.1-16.
140. Stiger T.Y., Van Ooijen, S.P.J., Post, V.E.A., Appelo C.A.J. and Carvalho Dill A.M.M. 1998. A hydrogeological and hydrochemical explanation of the ground-water.
 141. Meybeck M., *Les fleuves et le cycle géochimique des éléments - Thèse d'état* (1984), Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, pp. 26- 52.
 142. Tullen P., *Méthodes d'analyse du fonctionnement hydrogéologique des versants instables - Thèse de l'école* (2002), Polytechnique de Lausanne (Département Génie Civil), 192 pages.
 143. Cerling T.E., Pederson B.L., Damm K.L.V., Sodium–Calcium ion exchange in the weathering of shales: implications for global weathering budgets, *Geology*, 17, 1989, pp.552–554.
 144. Fisher R.S., Mulican W.F., Hydrochemical evolution of sodium-sulfate and sodium-chloride groundwater beneath the northern Chihuahuan desert, Trans-Pecos, Texas, USA, *Hydrogeology Journal*, 10(4), 1997, pp.455–474.
 145. Drever, J.I., 1988. *The Geochemistry of Natural Waters*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
 146. Garrels, R.M., MacKenzie, F.T., 1971. *Evolution of Sedimentary Rocks*. Norton, New York).
 147. Daho I., *Etude du potentiel local en granulats pour une utilisation optimale - Magister en génie civil* (2012), Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.

ANNEXE A

Points	Mg ²⁺ (meq/l)	Ca ²⁺ (meq/l)	r (Mg ²⁺) /r (Ca ²⁺)
1P1	5.25	345	0.015
1P2	3.333	3.05	1.093
1P3	4.083	4.65	0.878
1P4	4.917	2.75	1.788
1P5	4.167	4.35	0.958
1P6	4.333	3.95	1.097
2P1	3.167	2.1	1.508
2P2	3	2.1	1.429
2P3	3.583	4.15	0.863
2P4	3.75	3.75	1.000
2P5	3.25	3.75	0.867
2P6	3.75	3.75	1.000
3P1	2.667	3.25	0.821
3P2	2.583	3.55	0.728
3P3	3.333	3.8	0.877
3P4	3.917	4.1	0.955
3P5	2.833	4.3	0.659
3P6	4.083	4.3	0.950
4P1	3.083	2.5	1.233
4P2	4.667	4	1.167
4P3	5.583	4.25	1.314
4P4	5.667	4.15	1.366
4P5	6.75	5	1.350
4P6	6.5	5	1.300
5P1	2.167	3.25	0.667
5P2	3.25	4.35	0.747
5P3	4.583	4.15	1.104
5P4	4.917	3.8	1.294
5P5	5	5.85	0.855
5P6	5.417	5.45	0.994

ANNEXE B

Points	SO ₄ ²⁻ méq/l	Cl ⁻ méq/l	r (SO ₄ ²⁻) / r (Cl ⁻)
1P1	5.625	1.07	5.26
1P2	2.521	0.676	3.73
1P3	4.208	1.211	3.47
1P4	3.854	0.93	4.14
1P5	4.583	6.366	0.72
1P6	4.375	3.662	1.19
2P1	2	0.648	3.09
2P2	1.5	0.676	2.22
2P3	2.917	1.127	2.59
2P4	2.917	1.127	2.59
2P5	3.146	2.704	1.16
2P6	2.917	1.69	1.73
3P1	1.875	0.76	2.47
3P2	2.146	0.845	2.54
3P3	3.542	0.986	3.59
3P4	3.917	1.352	2.90
3P5	4.396	5.296	0.83
3P6	4.521	5.746	0.79
4P1	1.688	1.465	1.15
4P2	4.25	1.55	2.74
4P3	5.229	1.408	3.71
4P4	5.188	1.465	3.54
4P5	6.25	11.549	0.54
4P6	6.292	11.408	0.55
5P1	1.917	0.422	4.54
5P2	4.062	0.451	9.01
5P3	4.292	0.451	9.52
5P4	4.792	0.451	10.63
5P5	5.312	6.535	0.81
5P6	5.729	8.394	0.68

ANNEXE C

Points	HCO_3^- méq/l	SO_4^{2-} méq/l	$r(\text{HCO}_3^-) / r(\text{SO}_4^{2-})$
1P1	4	5.625	0.71
1P2	3.508	2.521	1.39
1P3	3.508	4.208	0.83
1P4	4.197	3.854	1.09
1P5	3.902	4.583	0.85
1P6	4.246	4.375	0.97
2P1	3.508	2	1.75
2P2	3.508	1.5	2.34
2P3	4	2.917	1.37
2P4	3.754	2.917	1.29
2P5	4	3.146	1.27
2P6	4.246	2.917	1.46
3P1	3.508	1.875	1.87
3P2	3.508	2.146	1.63
3P3	3.606	3.542	1.02
3P4	3.557	3.917	0.91
3P5	3.606	4.396	0.82
3P6	3.508	4.521	0.78
4P1	3.508	1.688	2.08
4P2	3.508	4.25	0.83
4P3	3.508	5.229	0.67
4P4	3.754	5.188	0.72
4P5	3.508	6.25	0.56
4P6	3.508	6.292	0.56
5P1	4	1.917	2.09
5P2	4.246	4.062	1.05
5P3	4.508	4.292	1.05
5P4	4.508	4.792	0.94
5P5	5	5.312	0.94
5P6	5	5.729	0.87

ANNEXE D

Points	Na ⁺ méq/l	K ⁺ méq/l	Ca ²⁺ méq/l	Mg ²⁺ méq/l	r (Na ⁺ +K ⁺) / r (Ca ²⁺ +Mg ²⁺)
1P1	1.739	0.026	3.45	5.25	0.20
1P2	0.696	0	3.05	3.333	0.11
1P3	1.348	0.026	4.65	4.083	0.16
1P4	1.348	0.026	2.75	4.917	0.18
1P5	5.348	0.026	4.35	4.167	0.63
1P6	4.13	0.026	3.95	4.333	0.50
2P1	0.826	0.026	2.1	3.167	0.16
2P2	0.783	0.026	2.1	3	0.16
2P3	1.13	0.026	4.15	3.583	0.15
2P4	0.87	0.026	3.75	3.75	0.12
2P5	3.826	0.051	3.75	3.25	0.55
2P6	2.348	0.026	3.75	3.75	0.32
3P1	0.826	0.026	3.25	2.667	0.14
3P2	0.783	0.026	3.55	2.583	0.13
3P3	1.696	0.026	3.8	3.333	0.24
3P4	0.87	0.026	4.1	3.917	0.11
3P5	7.217	0.051	4.3	2.833	1.02
3P6	5.217	0.051	4.3	4.083	0.63
4P1	1.522	0.051	2.5	3.083	0.28
4P2	1.522	0.051	4	4.667	0.18
4P3	1.304	0.051	4.25	5.583	0.14
4P4	1.565	0.051	4.15	5.667	0.16
4P5	8.174	0.051	5	6.75	0.70
4P6	7.826	0.051	5	6.5	0.68
5P1	1.217	0.077	3.25	2.167	0.24
5P2	1.261	0.051	4.35	3.25	0.17
5P3	1.391	0.102	4.15	4.583	0.17
5P4	1.391	0.128	3.8	4.917	0.17
5P5	7.478	0.128	5.85	5	0.70
5P6	9.652	0.154	5.45	5.417	0.90

ANNEXE E

BALANCE IONIQUE

Campagne Décembre 2010

Points de prélèvements	Ca ²⁺ méq/l	Mg ²⁺ méq/l	Na ⁺ méq/l	K ⁺ méq/l	ΣCations méq/l	Cl ⁻ méq/l	SO ₄ ²⁻ méq/l	HCO ₃ ⁻ méq/l	NO ₃ ⁻ méq/l	ΣAnions méq/l
1P1	3.45	5.25	1.739	0.026	10.465	1.070	5.625	4	0.048	10.743
1P2	3.05	3.333	0.696	0	7.079	0.676	2.521	3.508	0	6.705
1P3	4.65	4.083	1.348	0.026	10.107	1.211	4.208	3.508	0	8.927
1P4	2.75	4.917	1.348	0.026	9.041	0.930	3.854	4.197	0.048	9.029
1P5	4.35	4.167	5.348	0.026	13.891	6.366	4.583	3.902	0.048	14.899
1P6	3.95	4.333	4.130	0.026	12.439	3.662	4.375	4.246	0.048	12.331

Balance ionique pour la campagne de Décembre 2010.

	$\sum \text{C cations} = \sum \text{C anions}$ (méq/l)	$\sum \text{C cations} - \sum \text{C anions}$ (méq/l)	$\sum \text{C cations} + \sum \text{C anions}$ (méq/l)	$\text{Erreur} = \frac{\text{Somme des Anions} - \text{Somme des Cations}}{\text{Somme des Anions} + \text{Somme des Cations}} \times 100$
1P1	10.465 = 10.743	10.465 - 10.743 = 0.278	10.465 + 10.743 = 21.208	1.31%
1P2	7.079 = 6.705	7.0790 - 6.705 = 0.374	7.079 + 6.705 = 13.784	2.71%
1P3	10.107 = 8.927	10.107 - 8.927 = 1.18	10.107 + 8.927 = 19.03	6.20%
1P4	9.041 = 8.927	9.041 - 9.029 = 0.012	9.041 + 9.029 = 18.07	0.066%
1P5	13.891 = 14.899	13.891 - 14.899 = 1.008	13.891 + 14.899 = 28.79	3.50%
1P6	12.439 = 12.331	12.439 - 12.331 = 0.108	12.439 + 12.331 = 24.77	0.44%

Campagne Février 2011.

Points de prélèvements	Ca ²⁺ méq/l	Mg ²⁺ méq/l	Na ⁺ méq/l	K ⁺ méq/l	ΣCations méq/l	Cl ⁻ méq/l	SO ₄ ²⁻ méq/l	HCO ₃ ⁻ méq/l	NO ₃ ⁻ méq/l	ΣAnions méq/l
2P1	2.1	3.167	0.826	0.026	6.119	0.648	2	3.508	0	6.156
2P2	2.1	3	0.783	0.026	5.909	0.676	1.5	3.508	0.081	5.765
2P3	4.15	3.583	1.130	0.026	8.889	1.127	2.917	4	0.097	8.141
2P4	3.75	3.75	0.870	0.026	8.396	1.127	2.917	3.754	0	7.798
2P5	3.75	3.25	3.826	0.051	10.877	2.704	3.146	4	0.097	9.947
2P6	3.75	3.75	2.348	0.026	9.874	1.690	2.917	4.246	0.097	8.95

Balance ionique pour la campagne Février 2011.

	$\sum \text{C cations} = \sum \text{C anions}$ (méq/l)	$\sum \text{C cations} - \sum \text{C anions}$ (méq/l)	$\sum \text{C cations} + \sum \text{C anions}$ (méq/l)	Erreur = $\frac{\text{Somme des Anions} - \text{Somme des Cations}}{\text{Somme des Anions} + \text{Somme des Cations}}$
2P1	6.119 = 6.156	6.119 - 6.15 = 0.037	6.119 + 6.15 = 12.275	0.3%
2P2	5.909 = 5.765	5.909 - 5.765 = 0.225	5.909 + 5.765 = 11.674	1.93%
2P3	8.889 = 8.141	8.889 - 8.141 = 0.748	8.889 + 8.14 = 17.03	4.39%
2P4	8.396 = 7.798	8.396 - 7.798 = 0.595	8.396 + 7.798 = 16.194	3.67%
2P5	10.877 = 9.947	10.877 - 9.947 = 0.93	10.877 + 9.947 = 20.824	4.47%
2P6	9.874 = 8.95	9.874 - 8.95 = 0.924	9.874 + 8.95 = 18.824	4.91%

Campagne Avril 2011.

Points de prélèvements	Ca ²⁺ méq/l	Mg ²⁺ méq/l	Na ⁺ méq/l	K ⁺ méq/l	ΣCations méq/l	Cl ⁻ méq/l	SO ₄ ²⁻ méq/l	HCO ₃ ⁻ méq/l	NO ₃ ⁻ méq/l	ΣAnions méq/l
3P1	3.25	2.667	0.826	0.026	6.769	0.760	1.875	3.508	0	6.043
3P2	3.55	2.583	0.783	0.026	6.942	0.845	2.146	3.508	0	6.499
3P3	3.8	3.333	1.696	0.026	8.855	0.986	3.542	3.606	0	8.134
3P4	4.1	3.917	0.870	0.026	8.913	1.352	3.917	3.557	0	8.826
3P5	4.3	2.833	7.217	0.051	14.401	5.296	4.396	3.606	0	13.298
3P6	4.3	4.083	5.217	0.051	13.651	5.746	4.521	3.508	0	13.775

Balance ionique pour la campagne Avril 2011.

	$\sum \text{C cations} = \sum \text{C anions}$	$\sum \text{C cations} - \sum \text{C anions}$	$\sum \text{C cations} + \sum \text{C anions}$	Erreur = $\frac{\text{Somme des Anions} - \text{Somme des Cations}}{\text{Somme des Anions} + \text{Somme des Cations}}$
3P1	6.769 = 6.443	6.769 - 6.443 = 0.326	6.769 + 6.443 = 13.212	2.467%
3P2	6.942 = 6.499	6.942 - 6.499 = 0.443	6.942 + 6.499 = 13.441	3.296%
3P3	8.855 = 8.134	8.855 - 8.134 = 0.721	8.855 + 8.134 = 16.989	4.244%
3P4	8.913 = 8.826	8.913 - 8.826 = 0.087	8.913 + 8.826 = 17.739	0.490%
3P5	14.401 = 13.298	14.401 - 13.298 = 1.103	14.401 + 13.298 = 27.699	3.982%
3P6	13.651 = 13.775	13.651 - 13.775 = 0.353	13.651 + 13.775 = 27.426	1.287%

Campagne Octobre 2012.

Points de prélèvements	Ca ²⁺ méq/l	Mg ²⁺ méq/l	Na ⁺ méq/l	K ⁺ méq/l	Σ Cations méq/l	Cl ⁻ méq/l	SO ₄ ²⁻ méq/l	HCO ₃ ⁻ méq/l	NO ₃ ⁻ méq/l	Σ Anions méq/l
4P1	2.5	3.083	1.522	0.051	7.156	1.465	1.688	3.508	0	6.661
4P2	4	4.667	1.522	0.051	10.24	1.550	4.25	3.508	0	9.278
4P3	4.25	5.583	1.304	0.051	11.188	1.408	5.229	3.508	0	10.145
4P4	4.15	5.667	1.565	0.051	11.433	1.465	5.188	3.754	0	10.107
4P5	5	6.75	8.174	0.051	19.975	11.549	6.25	3.508	0	21.307
4P6	5	6.5	7.826	0.051	19.377	11.408	6.292	3.508	0	21.208

Balance ionique pour la campagne Octobre 2012.

	$\sum \text{C cations} = \sum \text{C anions}$	$\sum \text{C cations} - \sum \text{C anions}$	$\sum \text{C cations} + \sum \text{C anions}$	Erreur = $\frac{\text{Somme des Anions} - \text{Somme des Cations}}{\text{Somme des Anions} + \text{Somme des Cations}}$
4P1	7.156 = 6.661	7.156 – 6.661 = 0.495	7.156 + 6.661 = 13.817	3.582%
4P2	10.24 = 9.278	10.24 – 9.278 = 0.962	10.24 + 9.278 = 19.518	4.929%
4P3	11.188 = 10.145	11.188 – 10.145 = 1.043	11.188 + 10.145 = 21.333	4.889%
4P4	11.433 = 10.107	11.433 – 10.107 = 1.326	11.433 + 10.107 = 21.554	6.152%
4P5	19.975 = 21.307	19.975 – 21.307 = 1.332	19.975 + 21.307 = 41.282	3.226%
4P6	19.377 = 21.208	19.377 – 21.208 = 1.831	19.377 + 21.208 = 40.585	4.512%

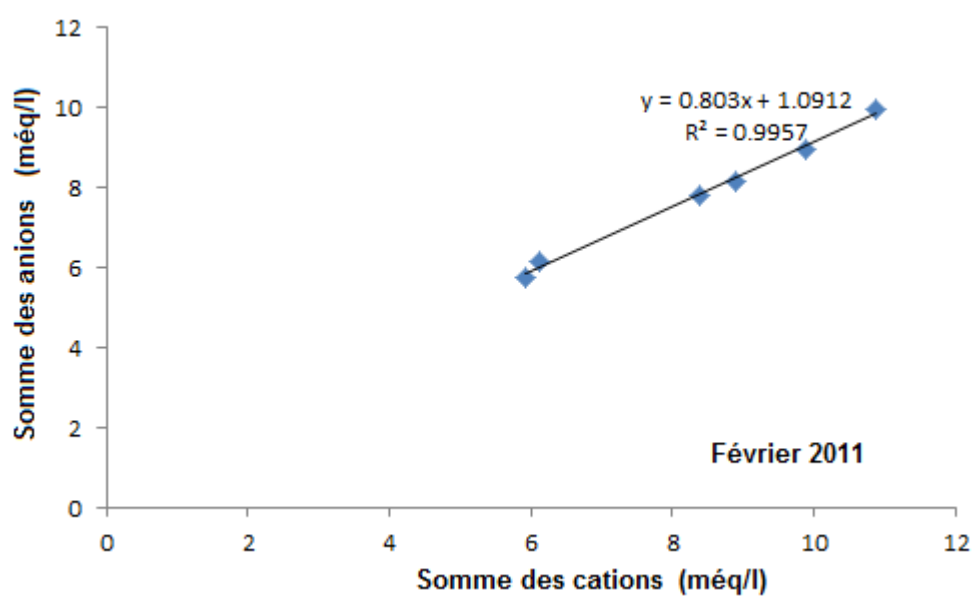
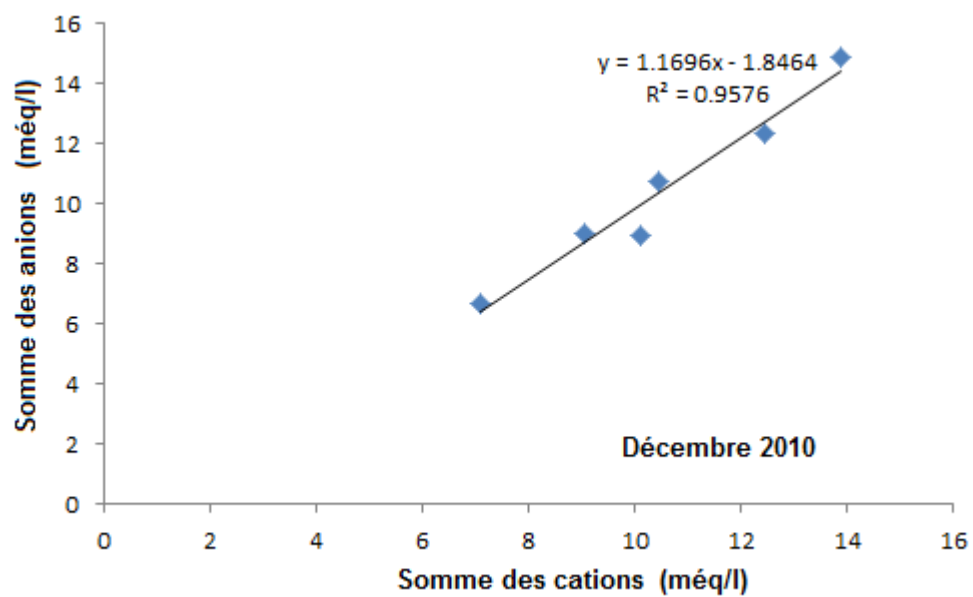
Campagne Novembre 2012.

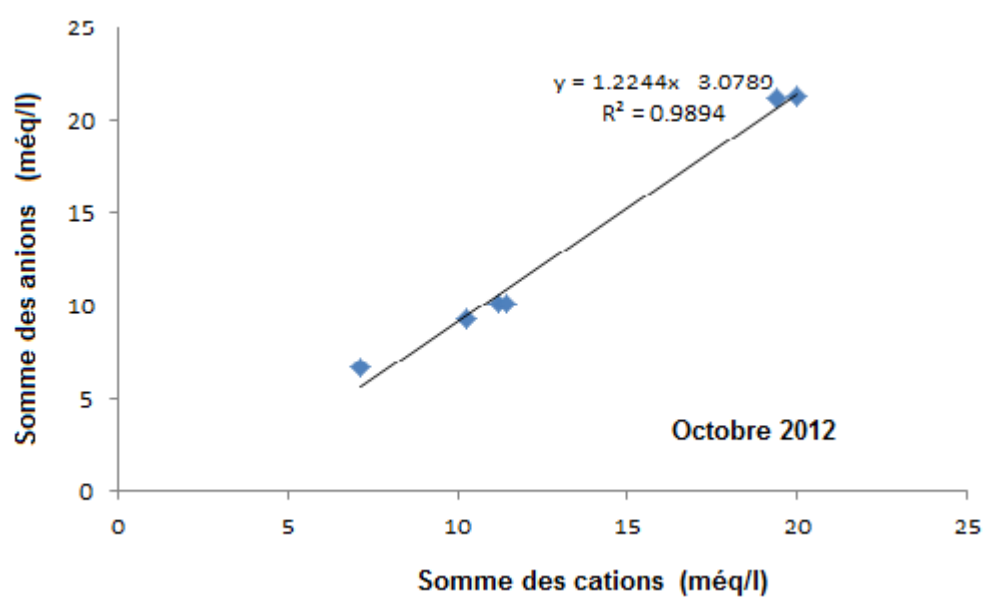
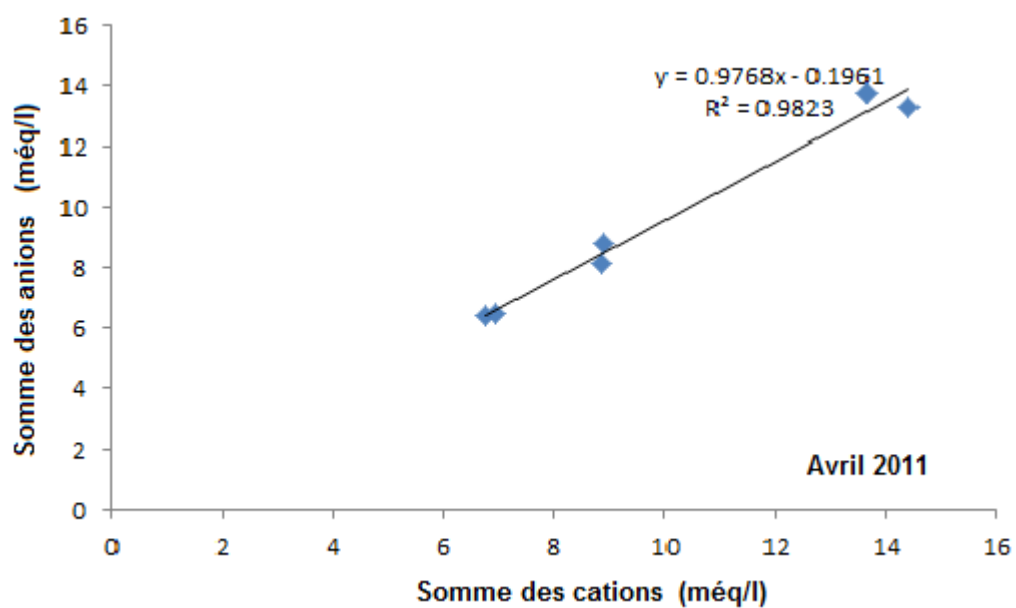
Points de prélèvements	Ca ²⁺ méq/l	Mg ²⁺ méq/l	Na ⁺ méq/l	K ⁺ méq/l	Σ Cations méq/l	Cl ⁻ méq/l	SO ₄ ²⁻ méq/l	HCO ₃ ⁻ méq/l	NO ₃ ⁻ méq/l	Σ Anions méq/l
5P1	3.25	2.167	1.217	0.077	6.711	0.422	1.917	4	0.026	6.365
5P2	4.35	3.25	1.261	0.051	8.912	0.451	4.062	4.246	0	8.758
5P3	4.15	4.583	1.391	0.102	10.226	0.451	4.292	4.508	0	9.251
5P4	3.8	4.917	1.391	0.128	10.236	0.451	4.792	4.508	0.282	10.033
5P5	5.85	5	7.478	0.128	18.456	6.535	5.312	5	0	16.847
5P6	5.45	5.417	9.652	0.154	20.673	8.394	5.729	5	0.077	19.2

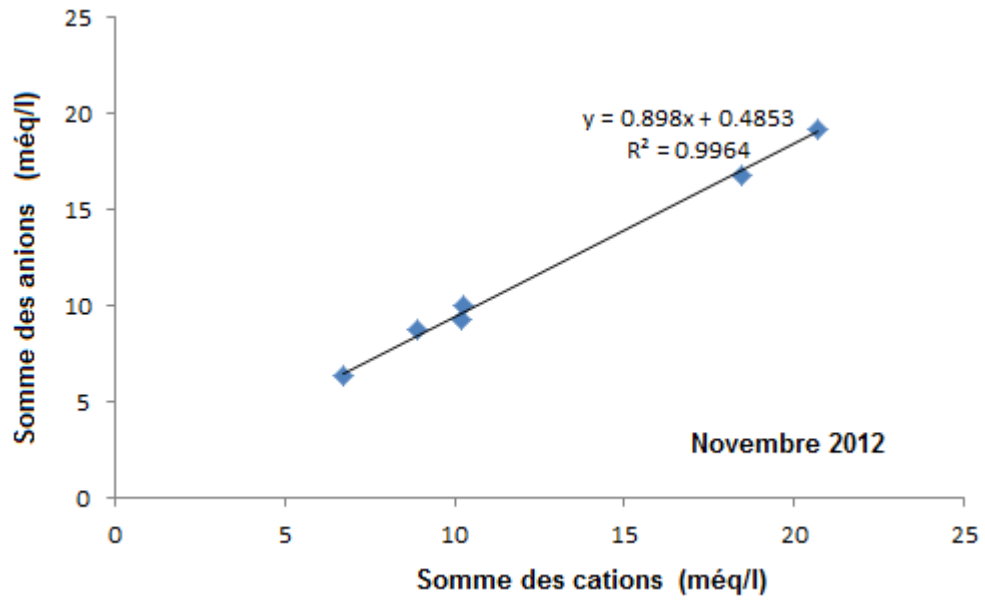
Balance ionique pour la campagne de Novembre 2012.

	$\sum \text{C cations} = \sum \text{C anions}$	$\sum \text{C cations} - \sum \text{C anions}$	$\sum \text{C cations} + \sum \text{C anions}$	Erreur = $\frac{\text{Somme des Anions} - \text{Somme des Cations}}{\text{Somme des Anions} + \text{Somme des Cations}}$
5P1	6.711 = 6.364	6.711 – 6.364 = 0.347	6.711 + 6.364 = 13.075	2.65%
5P2	8.912 = 8.758	8.912 – 8.758 = 0.154	8.912 + 8.758 = 17.67	0.87%
5P3	10.226 = 9.251	10.226 – 9.251 = 0.975	10.226 + 9.251 = 19.477	5%
5P4	10.236 = 10.033	10.236 – 10.033 = 0.203	10.236 + 10.033 = 20.269	1%
5P5	18.456 = 16.847	18.456 – 16.847 = 1.609	18.456 + 16.847 = 35.303	4.56%
5P6	20.673 = 19.2	20.673 – 19.2 = 1.473	20.673 + 19.2 = 39.873	3.69%

ANNEXE F
Courbes de corrélations
 $\Sigma C \text{ anions} = f(\Sigma C \text{ cations})$







ANNEXE G

Différentes exploitations minières en activité

- **1 146** exploitations minières en activité recensées dans **48** wilayas dont :

906 exploitations privées (**79.1%**).

240 exploitations publiques (**20.9%**).

- **782** exploitations minières des **granulats** dans **46** wilayas dont :

603 exploitations minières des **agrégats** et **sable concassé**.

145 exploitations minières ne produisent que des **agrégats**.

34 exploitations minières ne produisent que du **sable concassé**.

- **128** exploitations minières des **argiles** dans **36** wilayas.

- **78** exploitations ont produit du **sable naturel** dans **21** wilayas

- **50** exploitations minières de **tuf** dans **17** wilayas.

- **36** exploitations minières de **gypse** dans **14** wilayas.

- **15** exploitations minières de **calcaire pour ciments** dans **13** wilayas.

- **13** exploitations minières de **sel** dans **4** wilayas.

- **7** exploitations minières ont produit du **marbre** dans **4** wilayas

- **8** exploitations minières des **produits pour enrochement** dans **5** wilayas.

- **5** unités de production de **carbonate de calcium** dans **4** wilayas.

- **5** unités de production de la **Pierre de taille** dans **4** wilayas.

- **5** exploitations minières du **minerai de fer** dans **3** wilayas.

- **3** exploitations minières de la **baryte** dans **3** wilayas.

- **3** exploitations ont produit des **grés** dans **3** wilayas

- **3** exploitations minières de la **pouzzolane** dans **1** wilaya.

- **3** exploitations minières des **schistes** dans **2** wilayas.
- **2** exploitations minières de la **bentonite** dans **2** wilayas.
- **2** exploitations minières de **kaolin** dans **1** wilaya.
- **2** exploitations minières de **calcaire pour chaux** dans **2** wilayas.
- **1** unité de production des **phosphates**.
- **1** exploitation minière d'extraction et de traitement d'**or** et d'**argent**.
- **1** exploitation minière du **feldspath**.
- **1** exploitation minière du **kieselguhr**.
- **1** unité de production de **dolomie**.

ANNEXE H
PHOTOS DE QUELQUES CARRIERES DE LA
WILAYA DE TLEMCEEN



Station de concassage- SEROR [147].



Carrière RAMDANI – Koudia [147].



Carrière OTHMANI – Koudia [147].



Carrière de Maaziz – Hammam Bouhrara [147].



Carrière de Boudjlida après la fin de son exploitation **[147]**.



Impact de l'exploitation de la carrière sur le paysage : exploitation anarchique **[147]**.