

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

Université Larbi Tebessi - Tébessa  
Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie



Laboratoire Eau et Environnement

Département des sciences de la terre et de l'univers



Thèse présentée en vue de l'obtention  
du diplôme de doctorat en science

Option: Hydrogéologie appliquée

Présentée par:

CHAMEKH Khemissi

**Influence de la fracturation sur l'évolution du réservoir karstique.  
Exemple des calcaires fissurés de la région de Chéria. (Nord - est Algérien)**

Soutenu publiquement le : 03 / 02 / 2016

Devant le jury:

Dr. FEHDI Chemseddin	Professeur	U. Tébessa	Président
Dr. BAALI Fethi.	Professeur	U. Tébessa	Rapporteur
Dr. YAHIAOUI Abde El Wahabe	Maître de conférences A	U. Batna	Co-promoteur
Dr. DJABRI Larbi	Professeur	U. Annaba	Examineur
Dr. BOUDOUKHA Abderrahmane	Professeur	U. Batna	Examineur
Dr. GUEFAIFIA Omar	Maître de conférences A	U. Tébessa	Examineur

## ملخص

## تأثير التشققات الصخرية في تطور الحوض الصخري الكارستى

مثال: الحجر الكلسي المتشقق لمنطقة الشريعة

\_ شمال شرق الجزائر \_

حاليا المياه الجوفية الأكثر أهمية في منطقة الشريعة هي الحوض الخاص بالحجر الكلسي الكارستى الأيوسيني المتشقق، إن هذا الحوض عبارة عن منخفض مقعر له توجيه شمال شمال الشرقي- جنوب جنوب الغربي.

يمتاز هذا الحوض بتواجد فالقين تم اكتشافهما بفضل الطرق الجيوفيزيائية، تتواجد المغارات الكارستية بشكل كبير في متوسط السهل و تمتد إلى غاية جنوب المنطقة المعروفة بـ: "أوتا أم خالد".

إن الدراسة البنوية و التقييمية للخصائص الهيدروجيولوجية للتكوينات الصخرية الكلسية المتشققة تساهم في تحديد كميات المياه الجوفية بالنقصان، كما أنها تساهم بشكل جيد في فهم تقسيم التدفق المائي في الوسط الحجري غير المتجانس و توزيع الينابيع الكارستية الناتجة عن اتساع التشققات الصخرية.

هذه الدراسة تزودنا بالفهم الجيد لتطور النفاذية الصخرية في حوض الحجر الكلسي الكارستى الأيوسيني، نقوم لأجل ذلك بالتحليل العلمي الدقيق و ذلك بدراسة على الأخص التصورات التحليلية التالية:

أ- دراسة العلاقة التحليلية بين النفاذية و بعض الخصائص المتعلقة بتوزع الفراغات المسامية و الناتجة عن التشققات الصخرية ( اتجاه التشققات، عدد التشققات في المتر الواحد، اتساع و الامتداد الجانبي للتشققات).

ب- دراسة العلاقة التحليلية و التي تبين تأثير تدفق المياه الجوفية عبر التشققات و الخصائص الجيولوجية ( طبيعة الصخر، بنية الصخر).

في اتجاه و تعداد التشققات في المتر الواحد، و كذلك بالأخص اتساع التشققات.

من جهة أخرى نقوم بالبحث الدقيق و المعمق في إنشاء علاقة تجريبية تربط بين الحقل المتشقق و هندسة الحوض الحجري الكلسي الكارستى الأيوسيني و عمق المغارات الكارستية انطلاقا من السطح الطبوغرافي، حيث نقوم في هذه الدراسة باختبار صلاحية العلاقات التجريبية المتحصل عليها و إمكانية تطبيقها كعلاقة يمكن تعميمها على كامل سهل الشريعة، و كذلك الكشف بطريقة غير مباشرة عن جميع التشققات الموجودة، كما نقوم بوضع مخطط تصوري للعلاقة الموجودة بين الخصائص الجيولوجية، الخصائص الفيزيائية للصخور الكلسية الكارستية، و تطور الحوض الكارستى.

إن الوصول إلى كل هذه الحقائق العلمية هو الهدف المرجو من هذا العمل.

الكلمات الدالة: الشريعة، تبسة، التشققات الصخرية، النفاذية الصخرية، الوسط غير المتجانس، تطور الحوض الصخري الكارستى، الأيوسيني.

## *Abstract*

### *Influence of fracturing on the evolution of karstic reservoir. Example limestone fissures area of Cheria –North-eastern –Algeria*

Currently the most important in the plateau of Chéria aquifer limestone reservoir of Eocene cracked and karstic; the reservoir looks like a synclinal basin oriented NNE-SSW and is interrupted by two faults identified by geophysics, karstified zones are located in the center of the plain extending south to the region Outa Oum Khaled.

The structural study and calculation of the hydrogeological parameters of fissured limestone formation facilitates of quantization underestimate of groundwater; they permit a better understanding of the flow distribution in an anisotropic media and of the distribution of the karstic network

This study provides understanding the evolution of the permeability of karstic reservoir, we analyze more specifically, two groups of relationships:

a) The relationship between permeability and variables characterizing the distribution of the voids (mainly l'orientation, frequency, opening and the lateral extension of fractures).

b) The relationships show influence flows and geological factors (lithology, structure, etc.) on l'orientation, frequency, mostly ouverture fractures.

Consequently we seek â to specify the relationships represented symbolically in the field of fracturing and geometry of karstic reservoir and depth of karstic cavity from topography plane , in particular, we examine whether the analyzed relationships are, yes or not, usable like functions of interpolation for indirect estimate of the field of the fracturing. In this works we present a conceptual diagram of the relationships between geological factors (field of cracking), physical characters of the karstic rocks and evolutions of karstic reservoir, the knowledge of the latter being the final goal of our study.

**Key words:** Cheria, Tebessa, fracturing, permeability, anisotropy, evolutions, reservoir, karstic, Eocene.

## Résumé

### *Influence de la fracturation sur l'évolution de réservoir karstique. Exemple des calcaires fissurés de la région de Chéria – Nord Est Algérien*

Actuellement l'aquifère le plus important dans le plateau de Chéria est le réservoir de calcaire d'éocène fissuré et karstifié; le réservoir se présente comme une cuvette synclinale orientée grossièrement NNE-SSW et il est interrompu par deux failles mises en évidence par la géophysique, les zones karstifiées se localisent au centre de la plaine et s'étendent vers le sud jusqu'à la région d'Outa Oum Khaled.

L'étude structurale et l'estimation des paramètres hydrogéologiques des formations calcaires fissurées facilitent la quantification sous-estimée des eaux souterraines; ils permettent une meilleure compréhension de la répartition des écoulements en milieu anisotrope et de la distribution des réseaux karstiques.

Cette étude fournit la compréhension l'évolution de la perméabilité de réservoir karstique, Nous analysons, plus spécialement, deux groupes de relations:

- a) Les relations entre perméabilité et certaines variables caractérisant la distribution des vides (principalement l'orientation, la fréquence, l'ouverture et l'extension latérale des fractures).
- b) Les relations qui montrent l'influence des écoulements et des facteurs géologiques (lithologie, structure, etc) sur l'orientation, la fréquence et, surtout, l'ouverture des fractures.

Par conséquent nous cherchons, à préciser les relations représentées symboliquement dans le champ de fracturation, géométrie de réservoir karstique et profondeur des cavités karstique par rapport au surface topographique, en particulier, nous examinons si les relations analysées sont, oui ou non, utilisables comme fonctions d'interpolation pour l'estimation indirecte du champ des fracturations. Dans ce travail nous présentons un schéma conceptuel des relations entre facteurs géologiques (champ de la fissuration), caractères physiques des roches karstiques et évolutions de réservoir karstique, la connaissance de ces derniers étant le but final de notre étude.

**Mots-clés:** Chéria, Tébessa, fracturation, perméabilité, anisotrope, évolutions, réservoir, karstique, éocène.



*Merci à mes parents et mes grands parents qui ont fait de moi se que je suis, peut-être un peu trop. Merci pour vos encouragements, votre soutien et votre amour. Merci de m'avoir aidé à réaliser une de mes profondes envies. Et dire que tout ça est parti d'un pendule de sourcier...Je tiens tout particulièrement à remercier*

*Un énorme merci à ma femme, ma complice de toujours, merci pour ton soutien, ta sensibilité et ton amour.*

*A mes frères et sœurs*

*A toute ma famille*

*Vous nous contactez via les coordonnées personnels suivants:*

*Tél: 0775976167 / 0669204093*

*E-mail: [geologie84@gmail.com](mailto:geologie84@gmail.com)*

---

Le travail rapporté dans ce manuscrit a été mené dans le cadre d'une étude de Doctorat. L'ensemble de cette thèse a été réalisée à département des sciences de la terre et de l'univers de Tébessa.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma reconnaissance et mes remerciements aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail: Dr. FEHDI Chemseddin, président du jury, Dr. BAALI Fethi et Dr. YAHIAOUI Abde El Wahabe, rapporteurs courageux et enfin Dr. DJABRI Larbi, Dr. BOUDOUKHA Abderrahmane et Dr. GUEFAIFIA Omar, membres du jury. Nourddin, responsables de laboratoire de géologie de l'université de Tébessa n'ont accueilli. Je les remercie de m'avoir permis de réaliser cette thèse dans de telles conditions.

Mes remerciements les plus chaleureux, je souhaite les faire à Dr. BAALI Fethi. Merci de m'avoir suivi et supporté tout au long de ce travail. A son contact et peu à peu. Merci pour votre écoute et de m'avoir enrichi de toutes ces choses. Merci aussi pour votre patience, pour nos discussions, parfois un peu enflammées, et pour vos encouragements.

Mes remerciements à Dr. BRINIS Nafaâ; maître de conférences à université de Batna, Dr. ADDOUM Belkacem; maître de conférences à université des sciences et de la technologie (USTHB, Alger); pour leurs conseils, consultation et correction; chacun dans son spécialité.

Je tiens aussi à remercier de mes amis, qui m'ont accueilli au sein du groupe, encouragé et soutenu Mr. Messaoud, Mr. KERBOUB Djawher, Mr. RECHACHI Abd Rahim,...etc. Merci à tous,

Je souhaite dire sincèrement merci à membre administratif de département de géologie de l'université de Tébessa. Merci pour leurs encouragements, leurs

soutiens et pour avoir réussi à me redonner espoir dans les moments les plus sombres pour les moments passés avec eux à sensibiliser le grand public sur nos thématiques de recherches.

ملخص .....	I
Abstract .....	II
Résumé.....	III
Dédicace .....	IV
Remerciement.....	V
Table des matières.....	VII
Liste des tableaux .....	XVI
Liste des figures .....	XVIII
Liste des symboles .....	XXV
Introduction.....	1

## **I: Situation géographique et milieu naturel**

1. Situation géographique.....	6
2. Cadre physique.....	6
2.1. Les Montagnes.....	6
2.2. Les plaines.....	7
2.3. Les dépressions.....	7
2.5. Hydrographie.....	7
2.6. Ressources hydriques	
3. Situation géographique et cadre physique du plateau du Chéria.....	8
4. La population.....	9
5. La végétation.....	10

## **II: Aperçu géologique.**

1. Introduction .....	12
2. Cadre régionale .....	12
3. La lithostratigraphie du plateau de Chéria .....	12
3.1. Crétacé supérieur.....	13
3.1.1. Turonien .....	13
3.1.2. Campanien .....	13
3.1.3. Maestrichtien.....	13
3.2. Eocène .....	15

3.3. Pliocène .....	15
3.4. Quaternaire .....	15
4. La tectonique .....	17
5. Paléogéographie.....	19
6. Conclusion .....	19

### III: Hydroclimatologiques.

#### A. Climatologie

1. Introduction.....	20
2. Aperçu climatique de l'Algérie.....	20
3. Aperçu climatique de la région d'étude .....	20
4. Variation des précipitations annuelles de différentes stations .....	21
5. Analyse statistiques des données .....	25
5.1. L'homogénéité des données .....	25
5.2. Application des deux tests sur les stations (Chéria; Tébessa; Ain Babouche; Ain Troubia; Bir Mekadem; Bir Touila) .....	27
5.3. Interprétation des résultats .....	30
5.4. Correction des données .....	30
5.5. Application de la méthode de doubles cumuls .....	31
5.6. Homogénéisation des données pluviométriques des stations avec la station de Chéria...34	
5.7. Extension des données pluviométriques .....	34
5.7.1. Calcul du coefficient de corrélation .....	34
5.7.2. Corrélation entre les stations .....	35
5.7.3. Interprétation des résultats.....	35
5.8. Evaluation des pluies journalières maximales .....	36
5.8.1. Ajustement des données à une loi de probabilité.....	37
5.8.1.1. Ajustement des précipitations annuelles .....	37
5.8.1.2. Equations d'ajustement des précipitations annuelles .....	37
5.8.2. Ajustement des précipitations journalières maximal interannuelles .....	38
5.8.3. Calcul des quantiles .....	38
6. Etude des paramètres climatiques de la station de Chéria .....	38

<b>6.1. Les précipitations</b> .....	<b>38</b>
<b>6.1.1. Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers</b> .....	<b>39</b>
<b>6.1.2. Variation de la précipitation annuelle</b> .....	<b>40</b>
<b>6.2. Les températures</b> .....	<b>41</b>
<b>6.3. Le régime climatique</b> .....	<b>42</b>
<b>6.3.1. Méthode d'Euverte</b> .....	<b>42</b>
<b>6.3.2. Diagramme pluviométrique de Gausсен et Bagnouls</b> .....	<b>43</b>
<b>6.4. Calcul de l'indice de l'aridité « I »</b> .....	<b>44</b>
<b>6.5. Le diagramme d'Emberger</b> .....	<b>45</b>
<b>7. Vent</b> .....	<b>46</b>
<b>8. Humidité</b> .....	<b>47</b>
<b>9. Bilan hydrologique</b> .....	<b>48</b>
<b>9.1. Le bilan hydraulique de l'Algérie</b> .....	<b>48</b>
<b>9.1.1. La zone septentrionale</b> .....	<b>48</b>
<b>9.1.2. La zone des hauts plateaux</b> .....	<b>48</b>
<b>9.1.3. La zone sud Atlas</b> .....	<b>48</b>
<b>10. Établissement du bilan hydrique</b> .....	<b>48</b>
<b>10.1. Etude de l'évapotranspiration (évaporation + transpiration)</b> .....	<b>48</b>
<b>10.2. Calcul l'évapotranspiration potentielle (ETP)</b> .....	<b>48</b>
<b>10.3. Calcul l'évapotranspiration réelle (ETR)</b> .....	<b>50</b>
<b>10.4. Calcul de réserve facilement utilisable (RFU)</b> .....	<b>51</b>
<b>10.5. Calcul de ruissellement R</b> .....	<b>51</b>
<b>10.6. Calcul de l'infiltration</b> .....	<b>52</b>
<b>11. Interprétation des bilans hydriques</b> .....	<b>55</b>
<b>12. Conclusion</b> .....	<b>56</b>
 <b>B. Hydrologie:</b>	
<b>1. Introduction</b> .....	<b>57</b>
<b>2. Les caractéristiques de forme</b> .....	<b>57</b>
<b>2.1. Superficie du bassin versant</b> .....	<b>57</b>
<b>2.2. Périmètre du bassin versant</b> .....	<b>57</b>

2.3. Indice de compacité .....	57
2.4. Courbe hypsométrique .....	58
3. le rectangle équivalent .....	59
4. Les altitudes caractéristiques.....	61
4.1. Altitude moyenne .....	61
4.2. Altitude médium .....	61
4.3. Altitude maximale et altitude minimale .....	61
5. les indices de pente .....	61
5.1. Indice de pente de M <sup>r</sup> Roche .....	61
5.2. Indice de pente globale .....	61
5.3. Indice de pente moyenne .....	62
5.4. Dénivelée spécifique D <sub>s</sub> .....	62
6. Le réseau hydrographique.....	62
6.1. La densité de drainage.....	64
6.2. Coefficient de torrentialité.....	65
6.3. Temps de concentration.....	65
7. Conclusion .....	66

## IV: Hydrogéologie du système aquifère.

### A. Géométrie de l'aquifère

1. Introduction .....	67
2. Les coupes géoélectriques.....	67
2.1. Les formations anciennes (Éocène-Danien et Maestrichtien.....	67
2.2. Les formations récentes.....	68
2.3. Coupes géoélectriques. Profil (P, Q, E et R).....	68
3. Interprétation des résultats.....	69
4. Carte des isorésistivités (AB=1000m).....	71
5. Carte des isosubstratums.....	72
5.1. Carte isosubstratum du remplissage alluvionnaire.....	73
5.2. Carte en isosubstratum des calcaires éocènes.....	75

6. Cartes en isobathes.....	76
6.1. Carte en isobathe du remplissage alluvionnaire.....	76
6.2. Carte en isobathe au toit des calcaires éocène.....	77
7. Aquifères du plateau de Chéria.....	78
8. conclusion.....	78

## **B. Hydrogéologie**

1. Introduction.....	79
2. Définition des aquifères.....	79
2.1. Aquifère des calcaires Maastrichtiens.....	79
2.2. Aquifère des calcaires Eocènes.....	79
2.3. Aquifère des niveaux du Miocène.....	79
2.4. Aquifère des alluvions quaternaires et actuelles.....	80
3. Les conditions aux limites.....	81
4. La piézométrie.....	82
4.1. Inventaire des points d'eau.....	82
4.2.Évolution de la Piézométrie.....	83
4.2.1. Carte piézométrique; mai 2010 .....	84
4.2.2. Carte piézométrique; octobre 2010 .....	86
4.2.3. Carte piézométrique; avril 2012.....	88
4.2.4. Carte piézométrique; septembre 2012.....	89
4.2.5. Carte piézométrique; avril 2013.....	90
4.2.6. Carte piézométrique; septembre 2013.....	91
4.2.7. Carte piézométrique; avril 2014.....	92
4.3. Cartes de battement.....	93
5. Evolution de la profondeur du plan d'eau.....	95

## **C. Etude de la Karstification**

1. Introduction.....	96
2. Morphologie karstique.....	97
3. Réservoir karstique, des calcaires fissurés de la région de Chéria.....	99
3.1. karstification des calcaires éocènes.....	99



3.2. karstification des calcaires maestrichtien.....	99
4. Effondrements karstiques de calcaire éocène.....	100
Conclusion.....	102

## **V:Hydrochimie, présentation et interprétation des paramètres physico-chimique des eaux souterraines du plateau de Chéria.**

1. Introduction .....	103
2. Méthodologie de travail.....	103
3. Etude des paramètres physiques .....	105
4. Représentation graphique et identification des faciès.....	109
4.1. Diagramme de Schoeller-Berkalof.....	109
4.2. Diagramme de Piper.....	112
5. Cartographie hydrochimique.....	115
5.1. Carte du rapport $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ .....	116
5.2. Carte du rapport $Cl/Na^{+}$ .....	119
5.3. Répartition des Nitrates .....	122
6. Représentation graphique et statistique des éléments chimiques.....	124
7. Les faciès chimiques .....	130
8. Origine du chimisme des eaux du système aquifère.....	130
9. Indice d'échange de base (i.e.b) .....	131
10. Normes selon le degré hydrométrique total (D.H.T) .....	132
11. Aptitude des eaux à l'irrigation .....	132
12. Aperçu sur la pollution .....	133
12.1. Pollution d'origine domestique et urbaine.....	133
12.2. Pollution d'origine agricole.....	134
12.3. Pollution naturelle.....	134
13. Les couples des différents éléments chimiques .....	134
13.1. Couple Cl-Na .....	134
13.2. Couple $So_4$ -Na .....	134
13.3. Couple $So_4$ -Cl .....	135

13.4. Couple Na-Ca .....	136
13.5. Couple Cl-Ca .....	136
13.6. Couple Cd-So <sub>4</sub> .....	137
13.7. Couple So <sub>4</sub> +Cl-Cd .....	138
14. Evolution du chimisme (cations et inions).....	138
15. Conclusion .....	141

## **VI: Relation fracturation-morphologie implications hydrogéologiques**

1. Introduction .....	143
2. Analyse régionale.....	143
2.1. Les études sur les phases de déformations du Crétacé et Tertiaire.....	143
2.2. Analyse des linéaments à partir des images satellites et photos aériennes.....	144
2.3. Interprétation des cartes linéamentaires à partir des images satellites et des photos aériennes .....	145
2.3.1. La famille 1 .....	145
2.3.2. La famille 2 .....	145
2.3.3. La famille 3 .....	145
2.3.4. La famille 4 .....	145
3. Analyse du secteur d'étude.....	148
4. Inventaire des linéaments.....	149
5. Approche de la photo interprétation.....	149
5.1. Analyse linéamentaire.....	149
5.2. Démarche photo interprétative.....	149
6. Description des linéaments .....	150
6.1. Analyse des linéaments à partir des photos aériennes dans le secteur 01 .....	151
6.2. Analyse des linéaments à partir des photos aériennes dans le secteur 02 .....	154
6.3. Analyse des linéaments à partir des photos aériennes dans le secteur 03.....	155
7. Analyse des linéaments des calcaires d'éocène de plateau de Chéria.....	156
8. Description des rosaces.....	156
9. Analyse et significations structurales.....	157

<b>10. Méthode caractérisation de l'état actuel des aquifères et des circulations aux différentes échelles .....</b>	<b>158</b>
<b>10.1. Les relevés piézométriques.....</b>	<b>158</b>
<b>10.2. La chimie des eaux .....</b>	<b>160</b>
<b>10.3. Recherche des axes circulants .....</b>	<b>161</b>
<b>11. Relations hydrographie-structure.....</b>	<b>162</b>
<b>11.1. Linéaments et hydrographie.....</b>	<b>163</b>
<b>11.2. Les différents couloirs des fracturations.....</b>	<b>164</b>
<b>12. Conclusion .....</b>	<b>164</b>

## **VI: Influence de la fracturation sur l'évolution de réservoir karstique**

<b>1. Introduction.....</b>	<b>165</b>
<b>2. Paramètres augmentant les venues d'eau au fond des puits.....</b>	<b>165</b>
<b>2.1. Effet de la perméabilité verticale sur la formation du coning.....</b>	<b>166</b>
<b>2.2. Effet de la dimension de l'aquifère.....</b>	<b>166</b>
<b>3. Relation entre la fissuration et la direction préférentielle de karstification.....</b>	<b>167</b>
<b>4. Les problèmes liés à la détermination indirecte du réseau très perméable.....</b>	<b>167</b>
<b>5. Autorégulation partielle entre systèmes d'écoulement et caractères physiques des aquifères dans le karst.....</b>	<b>168</b>
<b>6. Moyen et méthode.....</b>	<b>170</b>
<b>6.1. Caractéristique et paramètre des fractures.....</b>	<b>170</b>
<b>6.2. Influence de la profondeur.....</b>	<b>172</b>
<b>7. Définition mathématique de la fracturation.....</b>	<b>172</b>
<b>8. Détermination la relation entre RMR et les facteurs géologiques.....</b>	<b>173</b>
<b>9. Comportement mécanique des calcaires fissurés du plateau de Chéria.....</b>	<b>174</b>
<b>9.1. Détermination des contraintes principale.....</b>	<b>174</b>
<b>9.2. Estimation des caractéristiques mécaniques à partir du RMR.....</b>	<b>174</b>

---

<b>10. Estimation de la profondeur de réservoir karstique (PRK).....</b>	<b>175</b>
<b>11. Lien entre perméabilité et microstructure.....</b>	<b>177</b>
<b>11.1. Propriétés acoustiques.....</b>	<b>178</b>
<b>11.2. Détermination du degré de fissuration.....</b>	<b>179</b>
<b>12. Calcul du tenseur de perméabilité dans le milieu anisotrope.....</b>	<b>183</b>
<b>12.1. Détermination indirecte du champ des perméabilités K.....</b>	<b>183</b>
<b>12.2. Relations entre caractères physiques et fissuration.....</b>	<b>183</b>
<b>12.3. Résultats et discussion.....</b>	<b>186</b>
<b>13. Évolution de perméabilité de réservoir karstique du plateau de Chéria.....</b>	<b>188</b>
<b>13.1. Paramètres géométriques des fissures.....</b>	<b>188</b>
<b>13.2. Estimation des vitesses de filtration dans les fissures.....</b>	<b>190</b>
<b>14. Interprétation des résultats.....</b>	<b>191</b>
<b>15. Conclusion.....</b>	<b>192</b>
<b>Conclusion générale. ....</b>	<b>194</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>198</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>206</b>

## *Liste des tableaux*

1 Coordonnées géographiques des stations climatologiques.....	21
2 Application des deux tests sur les stations (Chéria, Ain Troubia, Ain Babouche).....	28
3 Résultat final des deux tests sur les stations (Chéria, Ain Troubia, Ain Babouche).....	28
4 Application des deux tests sur les stations (Bir Mokadem, Tébessa, Bir Touila).....	29
5 Résultat final des deux tests sur les stations (Bir Mokadem, Tébessa, Bir Touila).....	29
6 Rapports correctifs pour les différentes stations.....	34
7 Valeurs des coefficients de corrélation R.....	35
8 Paramètres empiriques des PJmax.....	36
9 Précipitations annuelles .....	37
10 Moyenne mensuelle interannuelle de la précipitation de la station de Chéria. (1972 - 2014).....	39
11 Températures mensuelles corrigées de la station de Chéria (1982 - 2014).....	42
12 Régime climatique de la station de Chéria par la méthode d'Euverte. (1982 2014).....	43
13 Type de climat selon de D.Marton.....	44
14 Indice d'aridité de Martonne.....	45
15 Différentes valeurs de $Q_2$ .....	45
16 Calcul l'évapotranspiration potentielle.....	50
17 Bilan hydrique de la station de Chéria (1982 - 2014).....	53
18 Bilan hydrique pour l'année plus sèche de la station de Chéria; (2004).....	54
19 Bilan hydrique pour l'année plus humide de la station de Chéria; (2014).....	54
20 Bilan hydrique pour les cinq dernières d'années de la station de Chéria. (2010 - 2014).....	55

---

21 Répartition de différentes tranches d'altitude.....	59
22 Répartition des prélèvements hydrochimique.....	104
23 Répartition et fréquence des prélèvements hydrochimique.....	105
24 Évolution du faciès des eaux souterraines du plateau de Chéria.....	115
25 Évolution du faciès des eaux souterraines du plateau de Chéria.....	115
26 Statistique des variables physico-chimiques des eaux souterraines.....	125
27 Dureté des eaux (W.Theobald et A.Gama; 1969).....	132
28 Syntopique des phases compressives organisées au môle constantinois et les régions voisines (R. Marmi, R. Guiraud; 2006).....	143
29 Caractéristiques mécaniques des calcaires fissurés.....	174
30 Caractéristiques mécaniques à partir du RMR des calcaires fissurés.....	175
31 Propriétés physiques et mécaniques des principaux minéraux (Belikov; 1967).....	180
32 Fréquence, ouverture et porosité des fractures.....	182

## *Liste des figures*

1 Situation géographique du Tébessa.....	6
2 Situation géographique du plateau de Chéria.....	7
3 Réseau hydrographique du plateau de Chéria.....	8
4 Situation géographique et cadre physique du plateau du Chéria.....	10
5 Extrait de la carte géologique de la région de Chéria à partir de la carte géologique de l'Algérie .....	14
6 Coupes géologiques du plateau de Chéria. (Baali.F- Chafai .H; 2006). .....	16
7 Carte lithologique de Chéria. (Chamekh .Kh ; 2012).....	17
8 Esquisse tectonique des environs de Tébessa.....	18
9 Variation interannuelles des précipitations de la station de Chéria (1972-2014).....	21
10 Variation interannuelles des précipitations de la station de Bir Mokadem (1972-2008)...	22
11 Variation interannuelles des précipitations de la station de Bir Touila (1972-1994).....	22
12 Variation interannuelles des précipitations de la station d'Ain Troubia (1972-2008).....	23
13 Variation interannuelles des précipitations de la station d'Ain Babouche (1973-2006).....	23
14 Graphe de doubles cumuls (Chéria-Ain Babouche).....	32
15 Graphe de doubles cumuls (Chéria-Ain Troubia).....	32
16 Graphe de doubles cumuls (Chéria-Bir Touila).....	33
17. Graphe de doubles cumuls (Chéria-Bir Mokadem).....	33
18 Carte des précipitations annuelles moyennes.....	39
19 Variation saisonnière des précipitations interannuelles de la station de Chéria (1972-2014).....	40
20 Variation des moyennes interannuelles de précipitation de la station de Chéria (1972-2014).....	41
21 Régime climatique de la station de Chéria (1982 - 2014).....	43

22	Courbe Pluviométrique de la station de Chéria (1982 - 2014).....	44
23	Climagramme d'Emberger de la station de Chéria (1982 - 2014).....	46
24	Vent mensuelle interannuelle de la station de Chéria (1982 - 2014).....	47
25	Humidité mensuelle interannuelle de la station de Chéria (1982 - 2014).....	47
26	Courbe hypsométrique et des fréquences altimétriques.....	58
27	Rectangle équivalent.....	60
28	Bassins hydrographiques de l'Algérie et cadre de l'étude (bassins de l'Est algérien).....	62
29	Apports annuels moyens des bassins jaugés de l'Est Algérien (1972-1973-1983-1984)....	63
30	Carte de positionnement des sondages électrique; CGG 1970.....	67
31	Coupes géoélectriques, profil (E, P, Q et R).....	69
32	Carte des isorésistivités (AB = 1000 m).....	71
33	Carte du toit résistant des calcaires Maastrichtien.....	72
34	Carte en enisobstratum (2D et 3D) du remplissage alluvionnaire.....	74
35	Carte en isobstratum (2D et 3D) des calcaires éocènes.....	75
36	Carte en isobathe de remplissage alluvionnaire.....	76
37	Carte en isobathe au toit des calcaires éocène.....	77
38	Carte en 3D des formations aquifères du plateau de Chéria. (Azizi.Y; 2010).....	78
39	Carte des conditions aux limites (in Baali.F ; 2006).....	81
40	Carte d'inventaire des points d'eaux (2014).....	82
41	Carte piézométrique, mai 2010.....	84
42	Plan d'eau de l'aquifère éocène, mai 2010.....	85
43	Carte piézométrique, octobre 2010.....	86
44	Plan d'eau de l'aquifère éocène, octobre 2010.....	87
45	Carte piézométrique, avril 2012.....	88
46	Carte piézométrique, septembre 2012.....	89



47	Carte piézométrique, avril 2013.....	90
48	Carte piézométrique (Prévisionnelle), septembre 2013. ....	91
49	Carte piézométrique, avril 2014. ....	92
50	Carte de battement de l'aquifère alluvionnaire; 2010. ....	93
51	Carte de battement; 2012. ....	94
52	Carte de battement; 2013. ....	94
53	Evolution de la profondeur du plan d'eau selon la direction NE - SW.....	95
54	Evolution de la profondeur du plan d'eau selon la direction NW - SE.....	95
55	Morphologie du karst d'après Michel Bakalwicz; 2002. ....	97
56	Lapiez sur le versant SE Dj.Guerigueur. ....	98
57	Champ de dolines sur le versant SE de Dj.Guergueur.....	98
58	Localisation des affaissements (Extrait de la carte topographique de Chéria). Echelle: 1/50000.....	101
59	Affaissements d'un toit de calcaire éocène.....	101
60	Carte des conductivités (en mg/l), mai 2010.....	107
61	Carte des conductivités (en mg/l), octobre 2010.....	107
62	Carte des conductivités (en mg/l), septembre 2013.....	108
63	Carte des conductivités (en mg/l), avril 2014.....	108
64	Diagramme Schoeller-Berkalof, mai 2010.....	110
65	Diagramme Schoeller-Berkalof, octobre 2010.....	110
66	Diagramme Schoeller-Berkalof, septembre 2013.....	111
67	Diagramme Schoeller-Berkalof, avril 2014.....	111
68	Diagramme de Piper, mai 2010.....	112
69	Diagramme de Piper, octobre 2010.....	113
70	Diagramme de Piper, septembre 2013.....	113
71	Diagramme de Piper, avril 2014.....	114

72	Carte du rapport caractéristique: $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ , mai 2010.....	117
73	Carte du rapport caractéristique: $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ , octobre 2010.....	117
74	Carte du rapport caractéristique: $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ , septembre 2013.....	118
75	Carte du rapport caractéristique: $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ , avril 2014.....	119
76	Carte du rapport caractéristique: $\text{Cl}^{-}/\text{Na}^{+}$ , mai 2010.....	120
77	Carte du rapport caractéristique: $\text{Cl}^{-}/\text{Na}^{+}$ , octobre 2010.....	120
78	Carte du rapport caractéristique: $\text{Cl}^{-}/\text{Na}^{+}$ , septembre 2013.....	121
79	Carte du rapport caractéristique: $\text{Cl}^{-}/\text{Na}^{+}$ , avril 2014.....	121
80	Carte des nitrates (en mg/l), mai 2010.....	122
81	Carte des nitrates(en mg/l), octobre 2010.....	123
82	Carte des nitrates (en mg/l), septembre 2013.....	123
83	Carte des nitrates (en mg/l), avril 2014.....	124
84	Evolution de bicarbonate pour toutes les compagnes suivant la direction NE - SW (2010 - 2014).....	125
85	Evolution de bicarbonate pour toutes les compagnes suivant la direction NW - SE (2010 - 2014).....	126
86	Evolution de conductivité pour toutes les compagnes suivant la direction NE - SW (2010 - 2014).....	126
87	Evolution de conductivité pour toutes les compagnes suivant la direction NW - SE (2010 - 2014).....	127
88	Evolution de chlorure pour toutes les compagnes suivant la direction NE - SW (2010 - 2014).....	127
89	Evolution de chlorure pour toutes les compagnes suivant la direction NW - SE (2010 - 2014).....	128
90	Evolution de sulfate pour toutes les compagnes suivant la direction NE - SW (2010 - 2014).....	128

91 Evolution de sulfate pour toutes les compagnes suivant la direction NW - SE (2010 - 2014).....	129
92 Evolution de nitrate pour toutes les compagnes suivant la direction NE - SW (2010 - 2014).....	129
93 Evolution de nitrate pour toutes compagnes suivant la direction NW - SE (2010 - 2014).....	130
94 a Couple Cl – Na, mai 2010.....	134
94 b Couple Cl – Na, octobre 2010.....	134
95 a Couple SO <sub>4</sub> – Na, mai 2010.....	135
95 b Couple SO <sub>4</sub> – Na, octobre 2010.....	135
96 a Couple SO <sub>4</sub> – Cl, mai 2010.....	135
96 b Couple SO <sub>4</sub> – Cl, octobre 2010.....	135
97 a Couple Na – Ca, mai 2010.....	136
97 b Couple Na – Ca, octobre 2010.....	136
98 a Couple Cl – Ca, mai 2010.....	137
98 b Couple Cl – Ca, octobre 2010.....	137
99 a Couple Cd - SO <sub>4</sub> , mai 2010.....	137
99 b Couple Cd - SO <sub>4</sub> , octobre 2010.....	137
100 a Couple SO <sub>4</sub> + Cl – Cd, mai 2010.....	138
100 b Couple SO <sub>4</sub> + Cl – Cl, octobre 2010.....	138
101 (A - B) Evolution du chimisme des puits dans le temps suite à la direction NE - SW pendant la période (2010 - 2014).....	139
101 (C - D) Evolution du chimisme des puits dans le temps suite à la direction NE - SW pendant la période (2010 - 2014).....	140
102 Carte satellite de la partie est de l'Atlas saharien.....	144
103 Carte linéamentaires à partir de la photo satellite.....	144
104 Carte linéamentaires des monts de Tébessa à partir des photos aériennes.....	146

105 Rosace de la carte linéamentaires de la photo satellite de la partie Est de l'Atlas saharien.....	147
106 Rosace de la carte linéamentaires de la photo satellite des monts de Tébessa.....	147
107 Rosace de la carte linéamentaires des photos aériennes des monts de Tébessa.....	147
108 Localisation des calcaires d'écène pour l'étude de la fracturation.....	151
109 Les projections stéréographiques des plans de failles (mesures in situ).....	152
110 Carte linéamentaire de secteur 01 à partir des photos aériennes.....	153
111 Rosace des linéaments du secteur 01.....	153
112 Carte linéamentaire de secteur 02 à partir des photos aériennes.....	154
113. Rosace des linéaments du secteur 02.....	154
114 Carte linéamentaire de secteur 03 à partir des photos aériennes.....	155
115 Rosace des linéaments du secteur 03.....	155
116 Rosace des linéaments des calcaires de plateau de Chéria.....	156
117 Carte montrant les points d'inventaire piézométrique superposés aux cartes linéamentaires.....	159
118 Evolution de la profondeur du plan d'eau dans le temps.....	160
119 Plan d'eau de l'aquifère écène avec le champ de fracturation.....	162
120 Exemples de fractures déchiffrées à partir de l'allure hydrographique (Rasskatov G.P).....	163
121 Effet de la perméabilité verticale sur le débit d'eau.....	166
122 Evolution du débit d'eau en fonction de la dimension de l'aquifère.....	166
123 Schéma des relations entre facteurs hydrologiques, propriétés physiques de l'aquifère et caractères géologiques dans le karst.....	169
124 Familles des fracturations (affleuremnt d'écène au nord ouest du plateau de Chéria).....	171
125 Géométrie de la fracture.....	172
126 Familles de la fracturation.....	172

---

127	Affleurement de toit de réservoir karstique.....	175
128	Remplissage des formations quaternaires au-dessus de réservoir karstique.....	176
129	Détermination du degré de fissuration avec l'indice de continuité.....	181
130	Schéma explicative pour le calcul de tenseur de perméabilité en milieu fissuré.....	185
131	Schémas conceptuel des familles principales de la fracturation du plateau de Chéria présentées dans un bloc hypothétique.....	189
132	Fréquence des fissures de trois groupes à la fois (en f/m).....	189
133	Perméabilité de réservoir karstique de calcaire éocène du plateau de Chéria (en $10^{-5}$ m/s).....	190
134	Vitesse totale des trois familles de fracturation de réservoir karstique des calcaires fissurés d'éocène (en m/j).....	191

## *Liste des symboles*

PJ <sub>max</sub> : Pluies journalières maximales.....	25
n <sub>1</sub> : Taille d'échantillon .....	25
S <sub>1</sub> : Écart type .....	25
H <sub>0</sub> : Hypothèse .....	25
(1-α): Confiance .....	25
(α): Risque .....	25
T: Test des moyennes de Student.....	26
(n <sub>1</sub> +n <sub>2</sub> -2): Degrés de liberté suit une loi de Student.....	26
f <sub>v</sub> (x) : Densité de probabilité suit une loi de Student.....	26
(α/2) , (1-α): Valeur critique de Student.....	26
F: Test des variances de Fischer .....	27
ν <sub>f</sub> : Degrés de liberté suit une loi de Fischer - Snédecor .....	27
f <sub>(ν<sub>1</sub>,ν<sub>2</sub>)</sub> (x) : Densité de probabilité suit une loi de Fischer - Snédecor .....	27
M <sub>1</sub> : Pente moyenne de la plus parités des points.....	34
M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub> , M <sub>4</sub> , M <sub>5</sub> : Pente moyenne des points restants.....	34
R: Coefficient de corrélation linéaire .....	34
CV: Coefficient de variation des PJmax.....	36
$\bar{P}$ : Précipitation moyenne interannuelle en (mm).....	37
S <sub>p</sub> : Écart type des précipitations interannuelles en (mm).....	37
U: Variable réduite de Gauss qui dépend de période de retour de l'événement.....	37
I: Indice thermique annuelle .....	49
i: Indice thermique mensuel .....	49

EP: Evapotranspiration potentielle non corrigée.....	49
K: Coefficient de correction qui dépend du temps, du mois et de l'altitude du lieu .....	49
ETR: Evapotranspiration réelle (en mm).....	50
RFU: Calcul de réserve facilement utilisable.....	51
<i>Da</i> : Densité apparente du sol,.....	51
<i>He</i> : Capacité de retentions en %.....	51
R: Ruissellement .....	51
I: Infiltration:.....	52
Kc: Indice de compacité:.....	57
IP: Indice de pente de M <sup>f</sup> Roche .....	61
Ig: Indice de pente globale .....	61
Im: Indice de pente moyenne .....	62
Ds: Dénivelée spécifique .....	62
D <sub>a</sub> : Densité de drainage .....	64
C <sub>t</sub> : Coefficient de torrentialité .....	64
T <sub>c</sub> : Temps de concentration .....	64
Dd: Densité de drainage .....	64
Ct: Coefficient de torrentialité:.....	65
F <sub>1</sub> : Fréquence de chevelu hydrographique d'ordre 1 dans le bassin versant .....	65
Lp: Longueur du talweg principal en Km .....	65
OMS: Organisation Mondiale de Santé.....	126
CEE: .....	126
i.e.b: Indice d'échange de base .....	132
D.H.T: Degré hydrométrique total .....	133
S.A.R: Valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ration); .....	134

RMR: Rock Mass Rating System.....	174
RQD: Rock Quality Designation.....	174
Rc: Résistance à la compression simple de la roche saine en Mpa.....	174
Ej: Espacement des joints en m.....	174
D <sub>10m.L</sub> : Débit sur 10 m de longueur en l/min.....	174
C <sub>D-lj</sub> : Coefficient liée à la direction et inclinaisons des joints.....	174
C: Cohésion de la roche en Kpa. ....	175
Φ: Angle de frottement en ° . ....	175
E: Coefficient de young en MPa. ....	175
PRK: Profondeur de réservoir karstique .....	176
Cqua: Couverture de remplissage quaternaire.....	176
RK: Réservoir karstique. ....	176
ET: Epaisseur de toit de réservoir karstique .....	177
Pc: Pendage de couche en °.....	178
Pf <sub>i</sub> : Pendage moyenne du groupe i (°).....	178
d <sub>i</sub> : Ouverture moyenne du groupe i (m)....	178
f <sub>i</sub> : Fréquence moyenne du groupe i (fissures/m).....	178
Rh: Rayon hydraulique .....	179
IC: Indice de continuité .....	181
DF: Degré de fissuration .....	182
x: Fréquence des fissures en m/f.....	183
m: Porosité des fissures.....	183
g: Accélération due à la gravité (9.81 m/s <sup>2</sup> ).....	185
v: viscosité cinématique de l'eau (10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> /s).....	185
JP: projection du gradient général J dans le plan de la fissure.....	185



$n_i$ : normale moyenne du groupe i .....	186
[I]: matrice unité .....	187

# **INTRODUCTION GENERALE**

## Introduction générale

Le plateau de Chéria se caractérise par des aquifères assez importants, présentent une série stratigraphique connue sur plus de 1000 mètres, avec des possibilités hydrauliques certaines.

L'analyse de photos aérienne de plateau de Chérai montre les glacis, les mouvements de masses, l'orientation de leur évolutions leurs formes et leurs positions, l'apparition de phénomènes karstiques qui engendrée l'affaissement de Draa Douamis, et l'effondrement des maisons au niveau de la ville de Chérai, s'explique l'intensité de réseaux de fracturation, ainsi que leur relation avec l'environnement lithologique et structural.

En hydraulique souterraine, on parle en générale de milieu fissuré par opposition au milieu poreux, le caractère discontinu de la première s'opposant au caractère continu du second.

Les méthodes employées pour la détermination des champs hydrologiques doivent être explicitées car l'adéquation à la réalité, c'est-à-dire l'utilité de ces champs "reconstruits" dépendra des techniques utilisées pour obtenir les données de départ (mesures ou observations isolées et ponctuelles) et des transformations que l'on fait subir à ces données de départ (interpolation entre les points de mesure, extrapolation des valeurs pour toute la région étudiée, corrélation avec d'autres variables, etc.)

Dans les roches meubles la distribution des vides dépend des fractions granulométriques, de la forme des grains, de la structure sédimentaire, etc. Dans les roches sédimentaire consolidées la distribution des vides est modifiée par les processus diâgénéétiques et, surtout, par l'apparition des fissures dues aux déformations tectoniques, mais toutes ces modifications dans la distribution des vides sont encore déterminées par des facteurs géologiques.

La situation se complique dans le cas des roches solubles dans l'eau, comme les roches carbonatées, car la circulation des eaux souterraines peut modifier la répartition des vides

(et, par conséquent, la perméabilité) en modifiant l'ouverture des fissures par la dissolution des parois (karstification) ou par la formation de dépôts. L'élargissement des fissures par dissolution dépend, bien sûr, de la composition chimique des roches carbonatées et de l'eau.

Autrement dit, dans le karst, le champ de l'ouverture des vides et, par conséquent, le champ des perméabilités sont le résultat non seulement de l'histoire géologique des roches, mais de toute l'histoire, de toute l'évolution des systèmes d'écoulement souterrains; pour mieux

comprendre cette situation nous intéressons aux plusieurs chapitre (géologie, climatologie, géomorphologie, hydrogéologie, etc...).

Cette thèse est en réalité la continuité d'un travail déjà entrepris, dans le cadre du mémoire de magister, sur le plateau de Chéria. Elle vise approfondie de la connaissance plus spécialement sur les problématiques suivantes:

- Relation morphologie-fracturation du réservoir karstique
- l'influence des facteurs géologiques (lithologie, structure, etc.) sur l'orientation, la fréquence et, surtout, l'ouverture des fractures.
- l'influence des caractères géométriques des fractures sur l'évolution de réservoir karstique.

Ce mémoire de thèse s'articule en plusieurs chapitres:

**I-La situation géographique et milieu naturel:** qui montre la situation du plateau de Chéria dans le contexte régional et local; est relative aussi à l'étude des caractéristiques géographiques du plateau (Situation géographique, population, la végétation).

**II-Aperçu géologique:** où nous avons essayé de montrer les différentes phases lithologiques, paléogéographiques et tectoniques liées à l'histoire géologique du plateau de Chéria;

**III-Hydro-climatologie du système aquifère de la plaine de Chéria:** est consacrée à l'étude climatique de la région, nous essayons de classer la région d'étude suivant un certain nombre d'indices climatiques et d'établir les principaux éléments du bilan hydrique (type de climat, étude des précipitations, températures et bilan hydrique). Malgré le manque de données en absence de stations fonctionnelles.

**IV-Hydrogéologie:** visant à définir la géométrie et les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère c'est à dire on présentera la piézométrie du secteur étudié et la géométrie de l'aquifère et ses conditions aux limites. Basée sur l'étude de la circulation de l'eau, de son origine, son évolution dans le temps et dans l'espace.

**V-Présentation et interprétation des paramètres physico-chimique des eaux souterraines du plateau de Chéria:** Il s'agit de la présentation des résultats et la comparaison des concentrations en éléments majeurs à la norme algérienne. Elle nous permet d'étudier l'évolution des eaux au sein d'une même formation et d'apprécier leurs qualités chimiques (le suivi saisonnier des paramètres physico-chimiques, leurs représentations cartographiques), et

permettant de voir la répartition des faciès et des éléments indicateurs de pollution et de salinisation, à savoir les chlorures, les sulfates et les nitrates.

**VI-Relation fracturation – morphologie implication hydrogéologique:** a été consacré une analyse morphologique, structurale (photos aériennes, esquisses géologiques et structurales). Il est donc essentiel de saisir la distribution de la fracturation dans la zone étudiée, le déchiffrement des linéaments à partir des photographies aériennes de la région s'avère très utile pour établissement d'une carte de fracturation avec les lignes d'écoulements. Nous nous sommes établis la relation entre la direction d'écoulement souterraines et de surface avec la tectonique ancienne et récente.

**VII-Influence de la fracturation sur l'évolution de réservoir karstique:** Nous créons la relation entre les facteurs géologiques, besoins, pour la résolution de problèmes pratiques et théoriques. Cela veut dire que l'interprétation concrète et l'extension de l'évolution de réservoir karstique; nous sommes basés sur l'étude statistique des variations spatiales de certaines facteurs géologiques dans dix stations de mesure;

Dans ce travail, nous nous intéressons particulièrement à deux problèmes: à la simulation par modèles mathématiques de la profondeur de réservoir karstique en fonction des plusieurs paramètres hydraulique, mécanique; etc, et à la détermination du champ des caractères physiques dans les aquifères karstiques, en particulier à la détermination indirecte du champ de perméabilité, Ces deux sujets présentent non seulement un grand intérêt pour la détermination des systèmes d'écoulement, mais sont, en quelque sorte, interconnectés.

En particulier nous présentons un schéma conceptuel des relations entre facteurs géologiques (champ de la fissuration), caractères physiques des roches karstiques et leurs influences sur l'évolution de réservoir karstique.

Dans les chapitres suivants nous examinons la possibilité de déterminer ces champs dans les aquifères karstiques et, en particulier, nous examinons s'il est possible de déterminer la structure caractéristique du champ (très hétérogène) des perméabilités à l'aide des facteurs géologiques.

Les résultats des interprétations, durant les années de recherche de la présente thèse, ont fait l'objet de publication internationale avec une publication nationale et neuf communications internationales avec une communication nationale:

**-Publication, Juin 2014:** Relation fracturation-morphologie implications Hydrogéologiques. Exemple des calcaires fissures de la région de Chéria (NE Algérien). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°18, Juin2014, pp. 19-30.

**-Publication, 2015:** Relation entre fracturation et morphologie et leurs implications hydrogéologiques: Exemple des calcaires fissurés de la région de Chéria, (NE Algérien). Afrique SCIENCE 11(1) (2015) 252 - 259 252, ISSN 1813-548X.

**-Communication, Décembre 2012:** Relation fracturation-morphologie implications hydrogéologiques. Exemple des calcaires fissures de la région de Chéria (NE Algérien). 2eme colloque international « La géologie du Sahara, Ressources minérales, en hydrocarbures et en eau ». Université de Ourgala.

**-Communication, Novembre 2012:** Relation fracturation-morphologie implications hydrogéologiques. Exemple des calcaires fissures de la région de Chéria (Nord-Est Algérien). Colloque REZAS12 « Ressources en eau dans les zones arides et semi-arides. Enjeux et perspectives. Cas du continent africain »

**-Communication, Novembre 2013:** Calculer du tenseur de perméabilité dans le milieu anisotrope. Exemple de l'aquifère karstique de la région de Chéria. (Nord -est Algérien). 3eme colloque international les géosciences au service du développement durable. Université de Tébessa.

**-Communication, Octobre 2013:** Calcul du tenseur de perméabilité dans le milieu anisotrope. Exemple de l'aquifère karstique de la région de Chéria. (Nord -est Algérien).

2<sup>ème</sup> Colloque International sur la Gestion Intégrée des Ressources en Eau GIRE'2013. Le Département des Sciences de la Terre et de l'Univers. Faculté des Sciences - Université Hadj Lakhdar - Batna.

**-Communication, Novembre 2013:** Calculer du tenseur de perméabilité dans le milieu anisotrope. Exemple de l'aquifère karstique de la région de Chéria. (Nord -est Algérien). Deuxième conférence internationale sur eau (CIEAU2013), Laboratoire de Recherches Sciences de l'Eau (LRS-Eau). École Nationale Polytechnique (ENP) –Alger.

**-Communication, Mars 2014:** Influence de la fracturation sur l'évolution de réservoir karstique. Exemple des calcaires fissurés de la région de Chéria. (Nord -Est Algérien), L'Association Marocaine des Jeunes Géomaticiens AMJG, Rabat. Maroc

**-Communication, Novembre 2014:** Interprétation diagraphique du réservoir Cambro-ordovicien du Bassin d'Illizi. Algérie. 1<sup>er</sup>Colloque International sur Hydrocarbures, Energies et Environnement (HCEE 2014) à l'Université d'Ouargla.

**-Communication, Novembre 2014:** Etude de la fracturation dans les réservoirs de l'ordovicien et leur influence sur les paramètres pétrophysiques du gisement de gaz de Garet El Guefoul. Bassin de l'Ahnet. (Sud-ouest Algérien). 1<sup>er</sup>Colloque International sur Hydrocarbures, Energies et Environnement (HCEE 2014) à l'Université d'Ouargla.

**-Communication, Novembre 2014:** Caractérisation pétrolière du réservoir dévonien f4 d'Edjeleh (Sud-est du bassin d'Illizi) Algérie. 1<sup>er</sup>Colloque International sur Hydrocarbures, Energies et Environnement (HCEE 2014) à l'Université d'Ouargla.

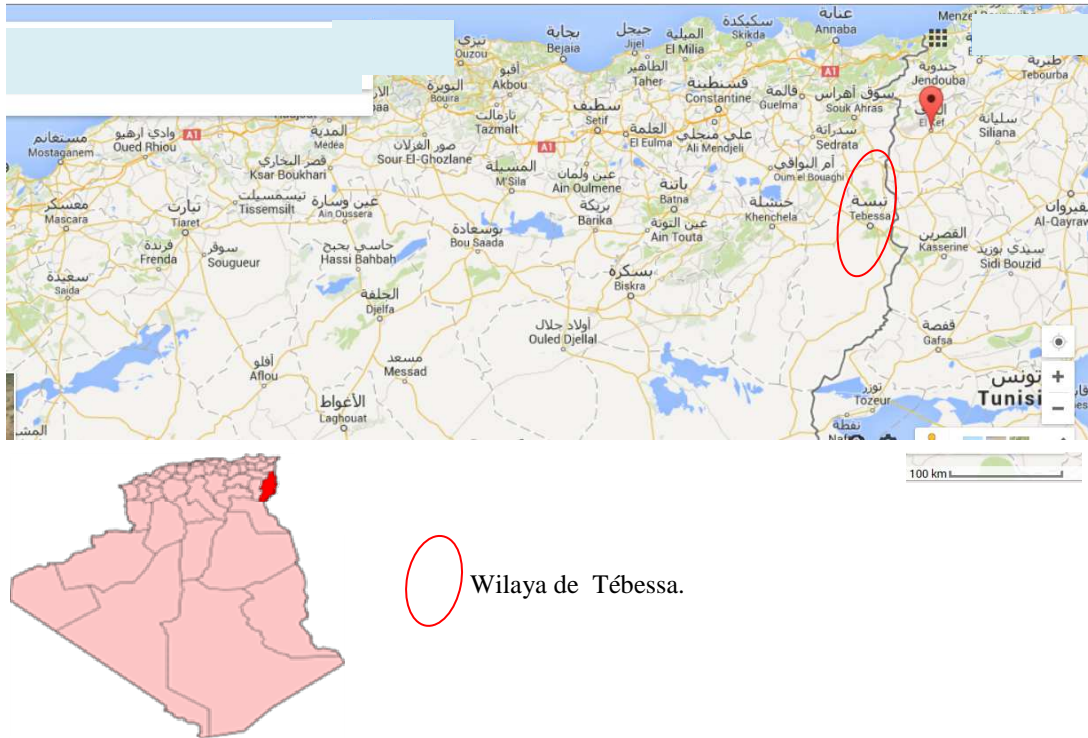
**-Communication, Avril 2015:** Validité de la méthode drastique à l'évaluation de la vulnérabilité de la nappe alluviale de Guerrara a la pollution. 1<sup>ère</sup> séminaire national sur l'eau et l'environnement dans les zones arides (ZNEEZA 2015).

## **I: SITUATION GEOGRAPHIQUE ET MILIEU NATUREL**



## 1. Situation géographique:

Le plateau de Chéria se trouve dans les territoires de la wilaya de Tébessa. C'est une wilaya située au nord - Est de l'Algérie, à la limite de la frontière Algéro - Tunisienne, elle appartient entièrement au bassin versant saharien à 45 Km au sud - ouest du chef lieu de la wilaya de Tébessa et fait partie intégrante des hauts plateaux, qui constituent un réseau serré de montagnes de moyenne à forte altitude séparé par plusieurs dépression.



**Fig. 01:** Situation géographique du Tébessa.

## 2. Cadre physique:

### 2.1. Les Montagnes:

Se sont une série établie et continue de l'Est à l'Ouest et du nord au sud, de forme grossièrement de monts culminants (Dj. doukkane d'une altitude de 1550 m). Sur le plan structural, cette chaîne représente le reste des principales structures tectoniques atlasiques de la région, une alternance de calcaire et de marne favorisant le dégagement des formes structurales par érosion différentielle. La dépression de la ville de Chéria est entourée par les massifs des Djebels: Doukkane, Tazbent, Troubia, Krime, Reddama, Zeghrata, kef Nsour, Dj. El Mezraa, Dj. Zohra, Dj. Gaagaa.

## 2.2. Les plaines:

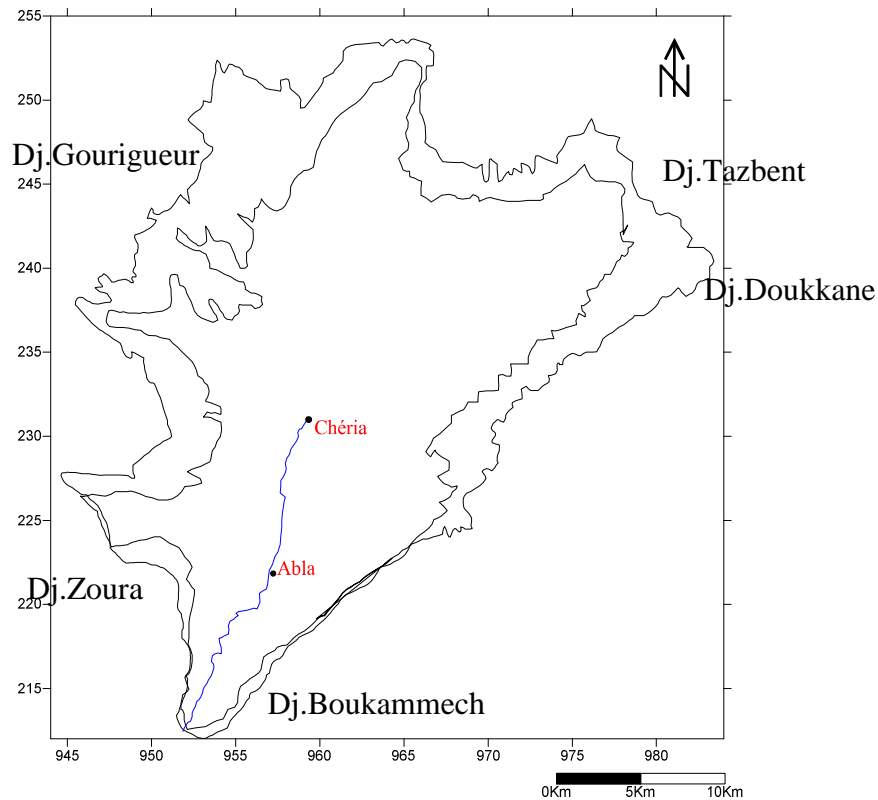
En distingue deux types;

\*Les plaines d'érosion: La plaine de Serdies est une vaste combe dégagée dans une puissante série marneuse limitée par Dj. Troubia au sud.

\*Les plaines d'accumulation (Chéria). Sont formés d'un matériel détritique, d'âge mio - plio - quaternaire; occupent majeure partie de la plaine de Chéria.

## 2.3. Les dépressions:

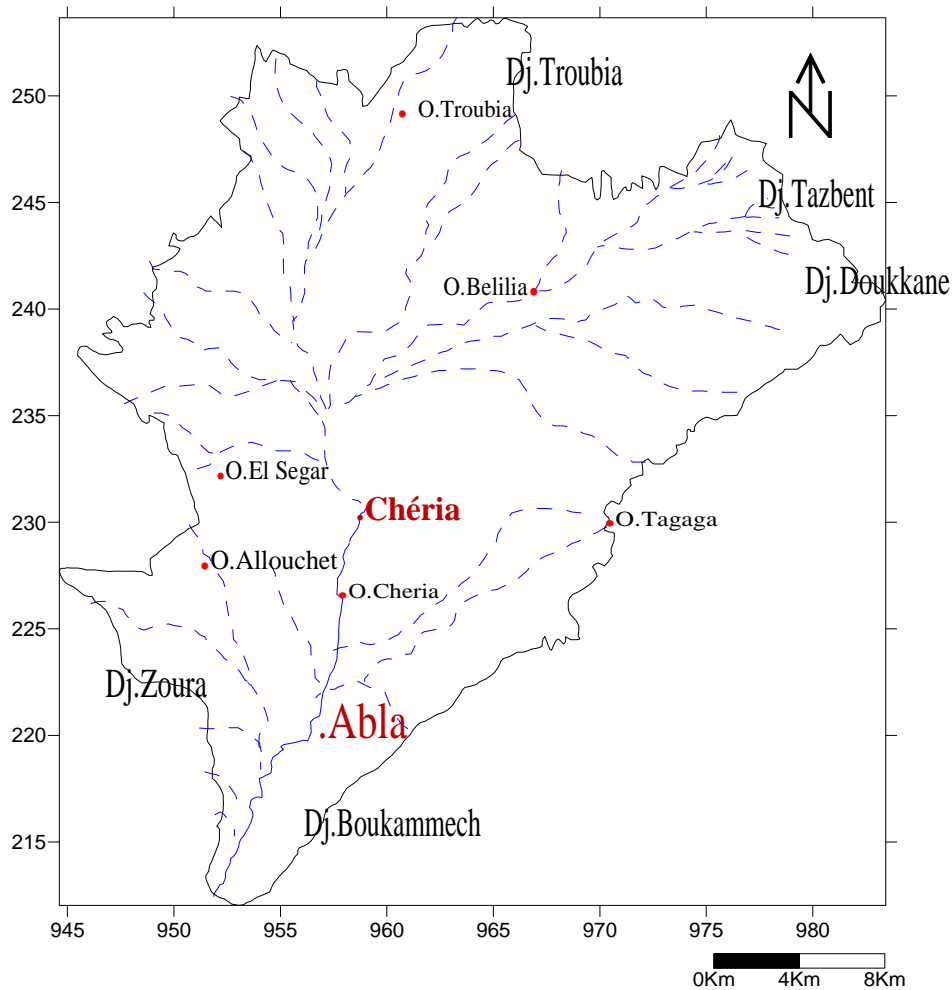
La depression de la ville de Chéria est entourée par les massifs des Djebels: Doukkane, Tazbent, Troubia, Krimea, Reddama, Zeghrata, kef Nsour, Dj. El Mezraa, Dj. Zohra, Dj. Gaagaa.



**Fig. 02:** Situation géographique du plateau de Chéria.

## 2.5. Hydrographie:

Le plateau de Chéria est caractérisé par plusieurs oueds secondaires qui constituent un réseau hydrographique simple qui ne fonctionne qu'en hivers ou pendant les pluies exceptionnelles (Figure 03).



**Fig. 03:** Réseau hydrographique du plateau de Chéria.

## 2.6. Ressources hydriques:

La superficie de tout système aquifère de Chéria est environ de  $800 \text{ Km}^2$ ; le rabattement moyen observé entre avril et aout est de l'ordre de  $0.6 \text{ m}$ , ce qui représente un volume de terrain de  $480 \text{ millions de m}^3$ . Ce volume atteindrait les  $2400 \text{ millions de m}^3$  pour un rabattement de  $3 \text{ m}$  correspondant à une exploitation rationnelle de la réserve totale. Cette hypothèse tient compte des abaissements minimums des niveaux dynamiques observés dans les puits, pouvant dépasser souvent les  $10 \text{ mètres}$ .

## 3. Situation géographique et cadre physique du plateau du Chéria:

Le synclinal perché de Chéria appartient au bassin versant de chott Melghir à  $45 \text{ km}$  au sud ouest du chef lieu de la wilaya de Tébessa. Il est de forme grossièrement triangulaire d'une superficie de  $722 \text{ km}^2$  (figure 04), il est limité:

- Au Nord par: le fossé d’effondrement Hamammet – Tébessa - Morsott, Gourigueur et par Rass el djelf, Koudiat El Gargara, Dj. Troubia, Dj. Larrou, Dj. Gaaga, Dj Bourough, Dj. Zouztane, Dj. Koudiat Nazia.
- À l’Est par: le sous bassin versant d’El Ma El Abiod et par Dj.Doukkane, Fedj Tafouna, Dj. Aroura, Rouibet Es Said, Dj. Krime, Dj Radama, Dj. Zerhata, Dj. Boukamech.
- À l’Ouest par: le bassin d’El Dalaa, Mazaraa et par Kef El Nsour, Dj. Zora, Limite de partage des eaux entre l’oued de Chéria et le synclinal d’Ain Cheroud, Dj.Kemelal, Bir Bouzaoua, Koudiat El Araour, Dj. Touila.
- Au sud par: le bassin de Tlidjen et fin des calcaires Eocènes au nord d’El Mezeraa.

#### **4. La population:**

La population de Chéria est estimée à 72000 habitants selon le recensement national du 2010, cette population est concentrée notamment à la ville de Chéria, Bir Mokadem, Mechantel, El Merja et à Ouled Saaidane; où l’activité agricole et l’élevage ovin et bovin sont développés.

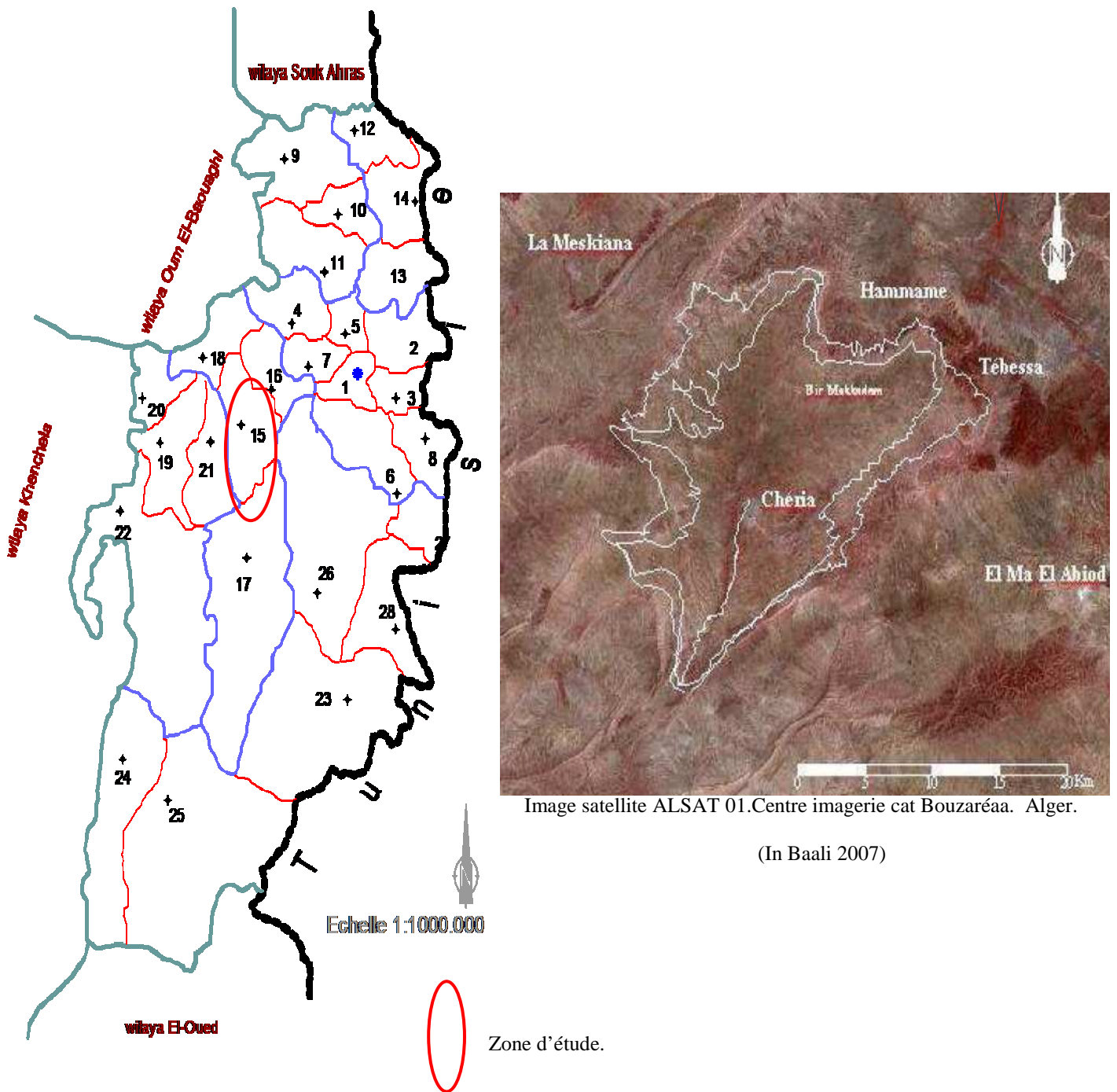


Fig.04: Situation géographique du plateau du Chéria.

### 5. La végétation:

La superficie totale de qui occupée par des surfaces agricoles utiles (S - A - U) 6% seulement par les forêts, et le reste considéré comme surface vierge. Les terres agricoles sont évaluées à 326 hectares. Le volume d'eau nécessaire pour l'irrigation s'élève à  $6.10^6 \text{ m}^3$  d'après les récentes enquêtes sur la région. Les habitants procèdent à la culture de quelques

légumes essentiellement pomme de terre, salade, fève...etc, dont l'irrigation est assurée grâce aux eaux souterraines. En revanche les céréales sont conditionnées par les précipitations qui sont très irrégulières.

## **II: APERÇU GEOLOGIQUE.**

## 1. Introduction:

L'étude géologique est nécessaire, bien sûr, de la composition chimique des roches carbonatées et de l'eau; pour connaître la distribution des fissures et leurs influence sur l'évolution du système karstique. On va essayer de reprendre les anciens travaux effectués par les différents auteurs tels que Lambert et Durozoy (1947), R. Laffitte (1956), Gaud (1977), H. Chaffai et F. Baali (2006).....etc.

## 2. Cadre régional:

La plaine de Chéria est un vaste plateau; orienté suivant le sens NE – SW à faible inclinaison vers le sud - ouest.

Ce plateau divisait en deux sous bassins (figure 06):

-La cuvette amont comprise entre Gaaga et Chéria (sous bassin nord)

-La cuvette avale (sous bassin sud); limitée entre  $35^{\circ} 50'$  et  $36^{\circ}$  longitudinale,  $7^{\circ}30'$  et  $8^{\circ}$  de latitude.

Elle présente une pente faible inclinée vers le SW où la forme générale est grossièrement triangulaire. Elle est limitée sur sa périphérie par des bourrelets montagneux continus (figure 05), à peine coupé de cols peu entaillés. Au sud, ces derniers convergent en entonnoir et laissent entre eux une vallée étroite (oued Chéria).

Le sommet le plus culminant est Dj. Doukkane à 1685 m, ses présentent des pentes accentuées qui s'adouissent dans la plaine jusqu'à se confondre avec l'inclinaison générale de celle - ci descendant du nord et du nord - Est vers le sud.

Une chaîne de monts et de collinettes s'étend à l'Est du plateau nord en forme d'arc depuis le djebel Tazbent (1418 m) jusqu'à Kef M'chouar (1135 m) en une série d'élévation de moins en moins hautes au-dessus du plateau qui sont Draa krerafi (1200 m), collines de Bir Mokaddem, Kef hadjera Oum Neb et Draa Douamis.

## 3. Lithostratigraphie du plateau de Chéria:

La série lithostratigraphique du plateau de Chéria est constituée essentiellement, par trois formations:



-Une première caractérisée par les calcaires du maestrichtien, aux bordures.

-Une deuxième qui est la plus importante pour la région et sa périphérie, les calcaires de l'Éocène.

-La troisième formation est des alluvions d'âge Mio - plio - quaternaire.

Cette série a été présentée en se référant aux anciens travaux géologiques, réalisés par de nombreux géologues, et chercheurs dont Richard (1979), Guiraud (1977),...etc.

La description stratigraphique suivante concerne uniquement les formations rencontrées dans le plateau de Chéria.

### **3.1. Crétacé supérieur:**

Il est caractérisé par de puissants dépôts marneux, témoins d'une sédimentation vaseuse généralisée, mais la fin de l'époque est marquée par l'apparition d'une sédimentation essentiellement calcaire à Inocérames.

#### **3.1.1. Turonien:**

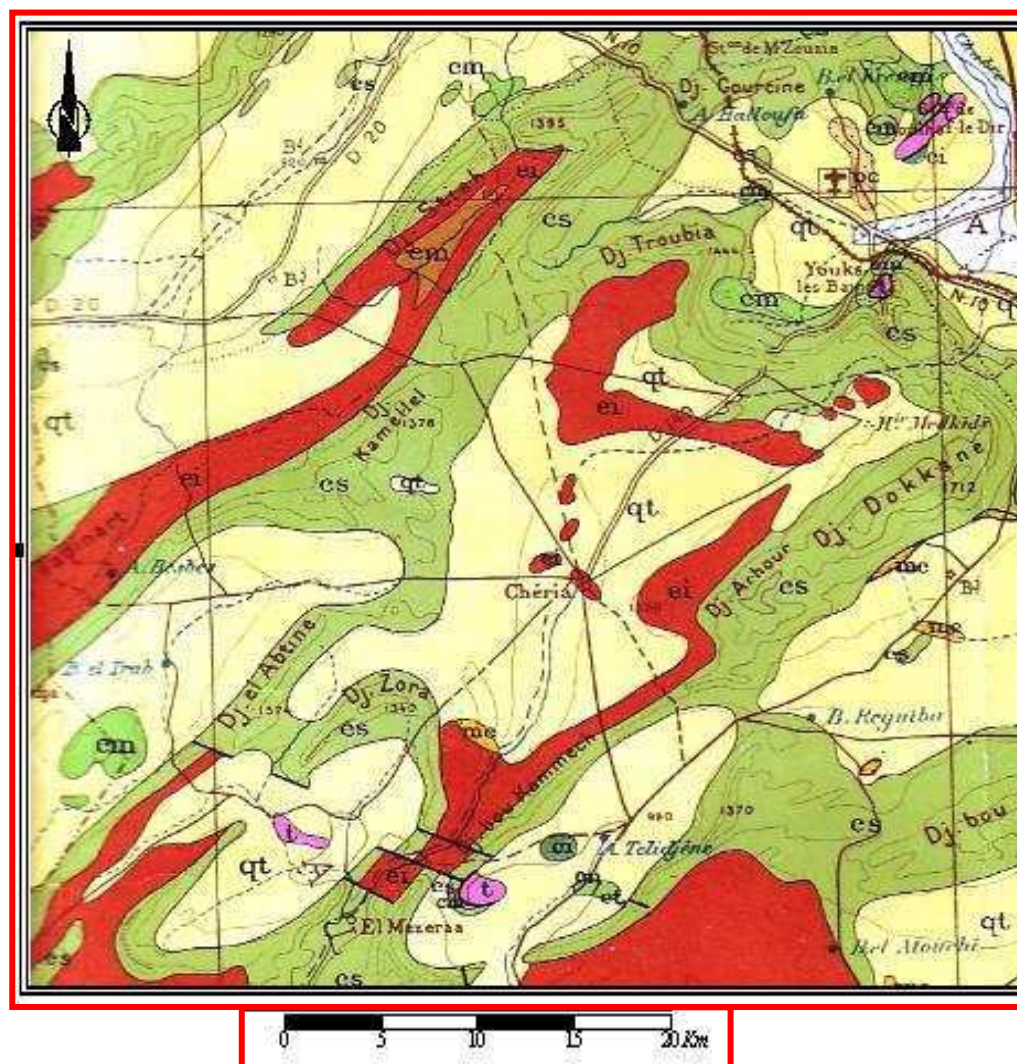
Il attire l'attention par l'irrégularité de ses dépôts et par son changement rapide de sédimentation vers des calcaires compacts. Affleure au nord (Dj. Essenn, Dj. Gaaga) et au sud (Outa Oum Khaled) sous forme des calcaires beiges, roses à patine, parfois sombres et piquetés d'hématite.

#### **3.1.2. Campanien:**

Il s'agit des accumulations de marnes grises représentant le Campanien inférieur. Dans le Campanien moyen, c'est des calcaires blancs à gris clair, crayeux en bancs alternant avec de petits niveaux de marnes claires, grise parfois verdâtres localisées dans la plus grande bordure externe du bourrelet montagneux limitant le plateau de Chéria.

#### **3.1.3. Maestrichtien:**

Le maestrichtien comprend les marnes noires et grises (M. Koualski; 2002) surmontées par une puissante série calcaire (environ 250 à 300 m). Se sont des calcaires blancs, gris à gris, jaunâtre en gros bancs massifs renfermant des prismes d'Inocérâmes.



TERRAINS		SÉDIMENTAIRES	
A	Alluvions actuelles: laas, marécages, dayas, chotts, sebkhas, limons et croûtes gypso-salines		
D	Dunes récentes		
qt	Quaternaire continental: alluvions, regs, terrasses		
qm	Quaternaire marin: plages anciennes et formations dunaires consolidées qui les accompagnent		
qC	Calabrien: grès marins et formations dunaires associées		
qV	Villafranchien: calcaires lacustres, argiles à lignite, couches rouges		
pV	Pliocène continental et Villafranchien non séparés (pV)		
pc	Pliocène continental: poudingues, calcaires lacustres		
p	Pliocène marin   conglomérats, marnes bleues, mollasses, grès et formations dunaires subordonnées		
mp	Pontien (localement équivalent du mc)		
ms	Miocène terminal marin et lagunaire: couches à Tripoli, marnes à gypse		
mm	Miocène supérieur marin: calcaires, grès, argiles		
mc	mc Miocène continental antépontien		
mi	Miocène inférieur marin (Burdigalien)		
oa	Aquitainien continental (pouvant inclure localement la base du Burdigalien)		
oc	Oligocène continental (pouvant inclure localement l'Éocène sup. continental)		
o	Oligocène marin incluant localement l'Éocène supérieur)		
em	Éocène moyen marin		
ee	Éocène moyen et inférieur continental		
ei	Éocène inférieur marin		
es	Crétacé supérieur marin		
esc	Crétacé supérieur continental		
esm	Crétacé supérieur marin non subdivisé		
em	Crétacé moyen (marin ou lagunaire)		
ct	divisé éventuellement en Turonien		
cn	Cénomannien		
c	Crétacé marin non subdivisé		
ci	Crétacé inférieur   faciès marins normaux		
cir	"   récifaux ou subrécifaux		
cic	"   continentaux ou lagunaires		

Fig.05: Extrait de la carte géologique de la région de Chéria à partir de la carte géologique de l'Algérie.

### 3.2. Eocène:

#### a-Danien:

Au calcaire du Maestrichtien succèdent les dépôts marneux très argileux, noirâtres d'une épaisseur de 100 à 150 m, particulièrement développés dans le mont de Tazbent (Nord - Est). Au sud leurs épaisseurs deviennent très difficiles à évaluer mais elles ne dépassent pas la vingtaine de mètres et passant latéralement à des calcaires crayeux à silex.

#### b-Thanétien

Le Thanétien est constitué de formations lumachelliques calcaires et marnes, affleurant au sud, et sur les bordures des anticlinaux de Telidjene.

#### c-Ypresien

La fin des dépôts du thanétien est marquée par l'apparition d'une part d'une série siliceuse ou marneuse, apparaisse au nord (Koudiat Kraa et à Draa Belgacem) et d'autre part des calcaires marneux et des calcaires brun - beiges à silex avec présence de niveaux phosphatés.

#### d-Lutétien

Un puissant système lagunaire caractérisé par des calcaires à gypse blanchâtre fragile cas de l'affaissement de Douamis et l'affleurement de Bir Touil.

### 3.3. Pliocène:

Alternance d'argiles gypseuses surmontée par des lentilles de sable et des sable siliceux jaunes, d'une épaisseur environ de 60 m.

### 3.4. Quaternaire:

#### a- Alluvions de remplissage

Dans la partie sud de Chéria (zone marécageux), se sont des alternances entre des formations cailloutis et petits galets enrobés, et formations argileuses.

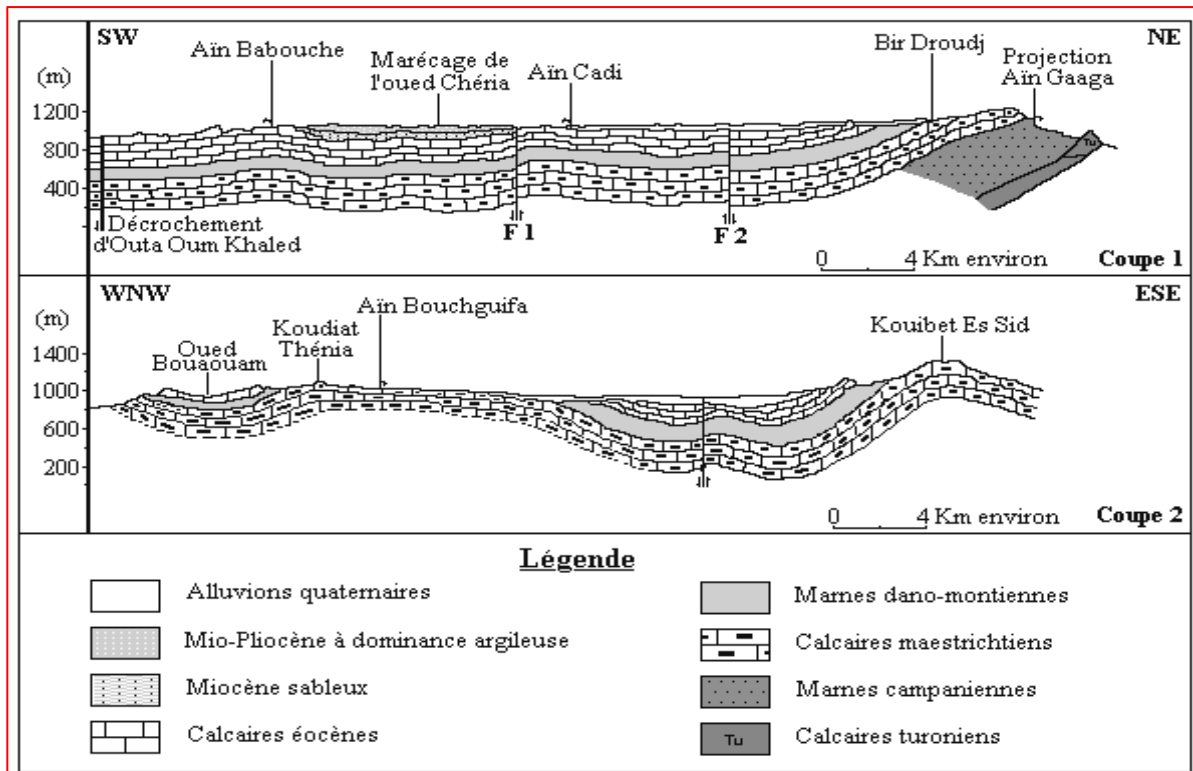
#### b- Alluvions de piedmont

Formation des cailloutis, elles occupent toute la périphérie de la plaine de Chéria, d'une épaisseur importante au pied de Dj. Doukkane.

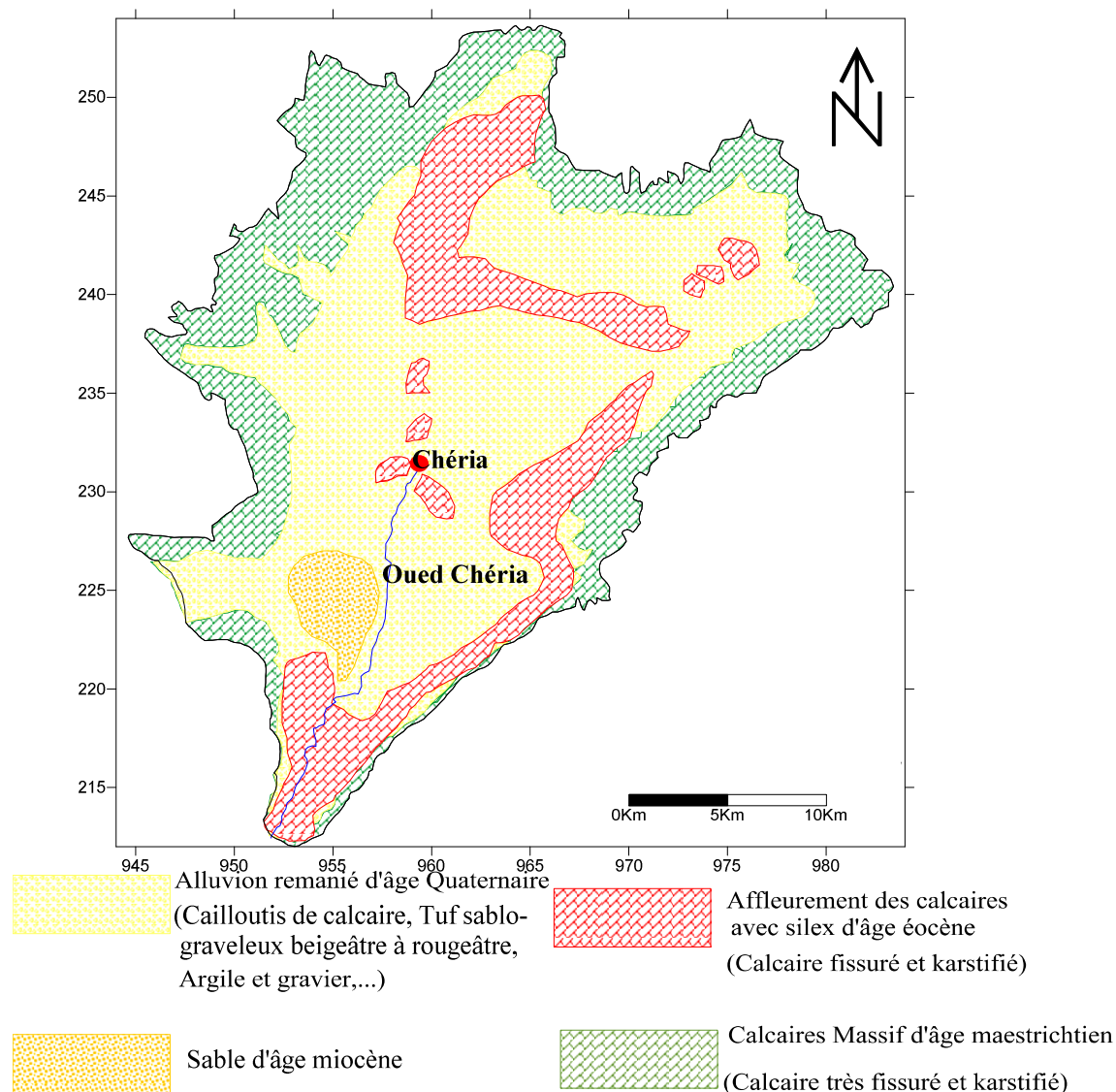


### c- Éluvions

Résultant du phénomène de gel et dégel sur les calcaires du maestrichtien, leurs faibles épaisseurs.



**Fig.06:** Coupes géologiques du plateau de Chéria. (Baali.F- Chafai .H; 2006).



**Fig.07:** Carte lithologique de Chéria.

#### 4. La tectonique:

Au point de vue tectonique le plateau de Chéria affectée par deux phases:

-Phase tectonique post éocène (Lutétien), se traduit des synclinales de direction NE - SW, et d'autres synclinales dont la direction orthogonales à la première, des grandes failles, des plis accusés sur le plateau.

- Phase tectonique post miocène (Pontien)

Le plateau de Chéria est formé par deux cuvettes synclinales accolées au niveau de Chéria. La cuvette amont a tendance à se dégiter sur sa bordure nord - est; la cuvette avale se prolonge vers le sud - ouest par le synclinal compris entre les dômes du Hamimat Querra et Hemimat Guibeur; ces charnières synclinales sont allongées suivantes la direction NE - SW. Une autre direction

tectonique, sensiblement orthogonale à la première, se traduit par de grandes failles et des plis peu accusés sur le plateau. Un de ces plissements partage en deux l'aire synclinale de Chéria, c'est celui qui va du Djebel Allouchette au Djebel Krah (CGG; 1970), (Baali. 2007).

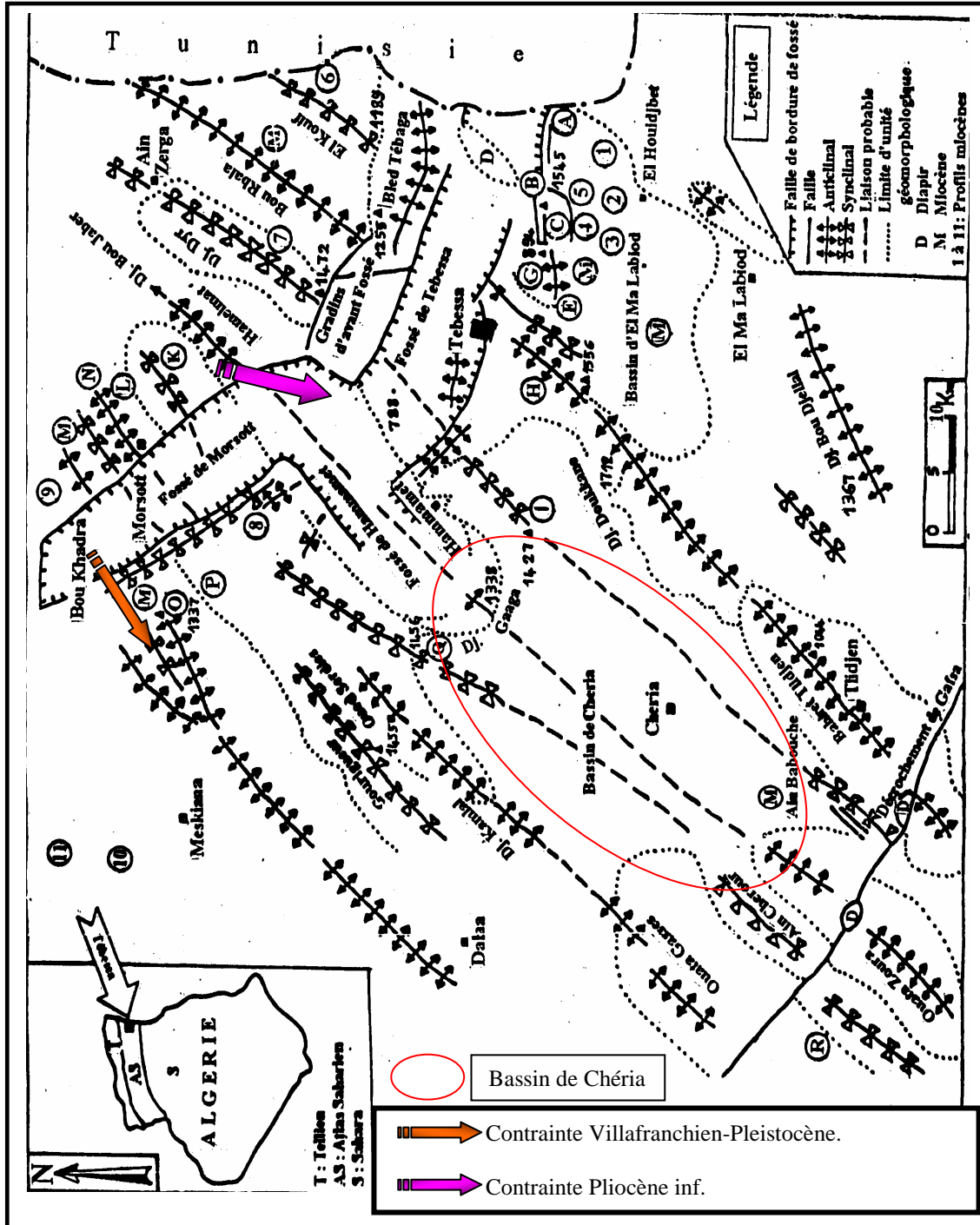


Fig. 08: Esquisse tectonique des environs de Tébessa, Himmimed. M; 1997)

## 5. Paléogéographie:

Dans la région de Chéria les niveaux phosphatés de l'éocène sont, comme ceux du maestrichtien, très riches en débris de vertébrés. Ils forment dans les régions du sud constantinois et du sud tunisien, d'importants gisements activement exploités. L'âge de leurs dépôts s'étend de pontien au lutétien supérieur.

L'éocène et l'oligocène n'ont encore, dans leurs totalité, fourni aucun document certain. Les faunes du miocène inférieur et moyen ne sont elles - mêmes connues que très partiellement par quelques documents sporadiques. J'ai cité, pour ce qui concerne les niveaux les plus inférieurs du miocène, les dents de Proboscidiens découvertes, l'une dans la région de kenchla (aures) et rapprochée, par Gaudry, de celles de *Mastodon turicensis* Schinz, l'autre en Kabylie par Depéret (1897) et qu'Osborne (1936) a attribuée au genre *Phiomia* (in Baali. F; 2006).

## 6. Conclusion:

En peut ressortir comme conclusion; que la région d'étude fait une partie de la chaîne des Maghrébides; Elle appartient à la série de l'avant pays atlasique autochtone.

D'un point de vue lithostratigraphique; la région d'étude est caractérisée par une série sédimentaire complète, le Trias au Quaternaire, la série Jurassique absente à l'affleurement, mais des travaux minières montrent leur existence en profondeur (par G. Dubourdieu; 1956, J.M. Vila; 1980, et les travaux récents; W. M. Kowalski).

D'un point de vue structural, la région d'étude affectée par l'action conjuguée de plusieurs styles tectoniques variables (les fossés d'effondrements, et les manifestations diapiriques).

Enfin la succession des formations suivantes dans le synclinale de Chéria:

Les marnes d'âge campanien, les calcaires maestrichtien, les marnes du danien et les calcaires d'éocènes, les alluvions et le sable du Mio - plio - quaternaire.

Les affleurements de bordure et à l'intérieur du plateau d'âge maestrichtien et éocène. La structure géologique du plateau de Chéria consiste un synclinale dont les dômes était des édifices structuraux orientés aux deux directions opposées à la suite de deux phases de plissement dites anti - miocène de direction NW - SE et la phase poste miocène de direction NE - SW.

### **III: HYDROCLIMATOLOGIE**



## **A. Climatologie:**

### **1. Introduction:**

Le climat joue un rôle prépondérant dans le modèle et le remaniement de la surface du sol (érosion et altération sous toutes leurs formes) et par conséquent la modification des caractéristiques hydrogéologiques de ce dernier. L'étude des caractéristiques climatiques permet de quantifier les paramètres tels que la lame d'eau écoulée, la durée de récurrence des crues et l'évapotranspiration, on se base sur deux paramètres; les précipitations et la température.

### **2. Aperçue climatique de l'Algérie:**

Selon Seltzer 1946, le climat de l'Algérie est de type méditerranéen caractérisé par une période pluvieuse allant en moyenne de septembre à mai et un été sec et ensoleillé.

L'Atlas tellien joue le rôle d'un rempart qui provoque la condensation et les précipitations d'une partie de la vapeur d'eau amenée par les vents soufflant de la mer. L'altitude entraîne une diminution générale de la température, l'éloignement de la mer, une augmentation des amplitudes diurnes et annuelles.

Le climat de l'Atlas tellien présentera donc tous les degrés intermédiaires entre un climat de montagnes pluvieuses, froid à amplitude thermique relativement faible avec chutes de neige et un climat de plaines plus sec relativement chaud et à forts écarts thermiques.

### **3. Aperçue climatique de la région d'étude:**

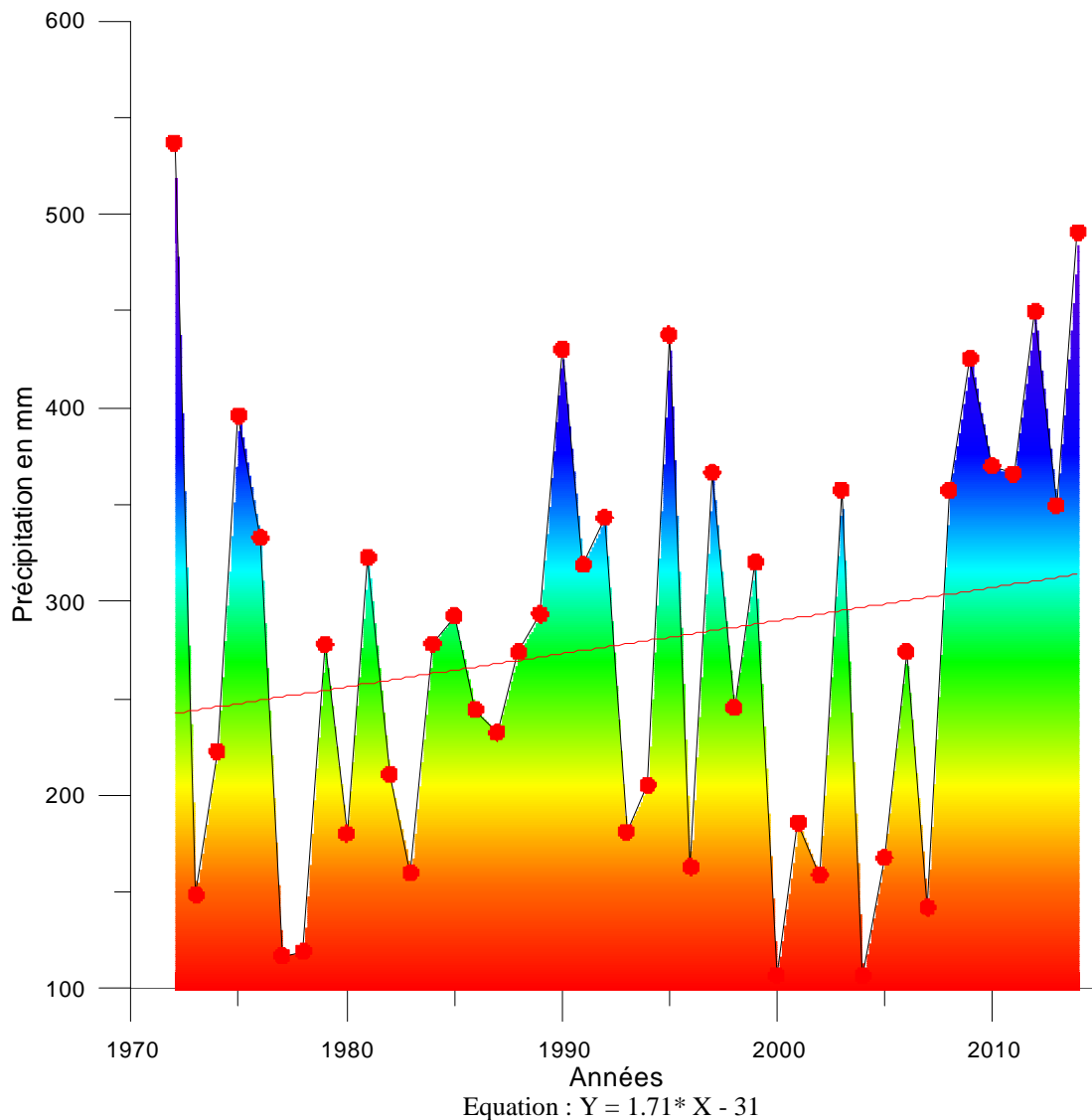
Le climat de la région est semi - aride, avec un été chaud et sec prolongé et un hiver froid où des chutes de neige couvrent fréquemment les montagnes pendant plusieurs semaines au cours des mois de décembre et janvier.

La région de Chéria est contrôlée par les stations pluviométriques dont les coordonnées cartographiques suivantes:

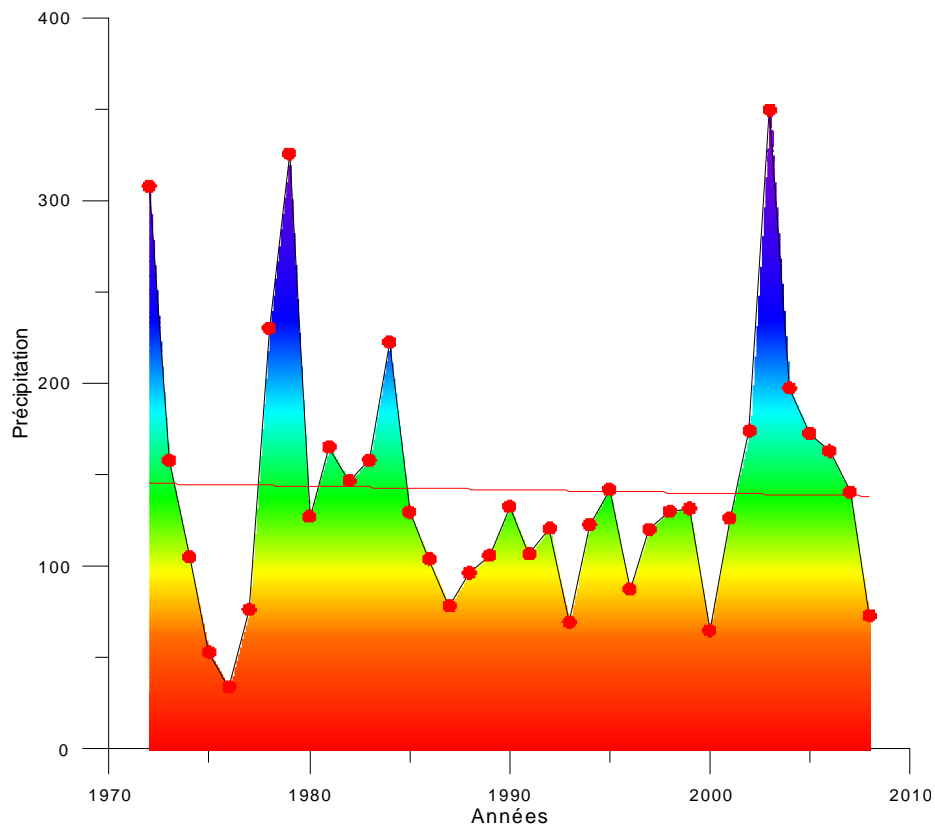
Station pluviométrique	Code	Coordonnée Lambert			Période d'enregistrement
		X	Y	Z	
Chéria	06.23.01	959.20	231.10	1087	1946 - 2014
Bir Mokadem	06.23.03	946.30	242.60	1156	1972 - 2011
Bir Touil	06.23.07	968.55	234.05	1163	1972 - 2011
Ain Troubia	06.23.07	963.25	250.91	1252	1972 - 2011
Ain Babouche	06.23.11	954.10	241.80	1175	1974 - 2011

**Tab. 01:** Coordonnées cartographique des stations climatiques.

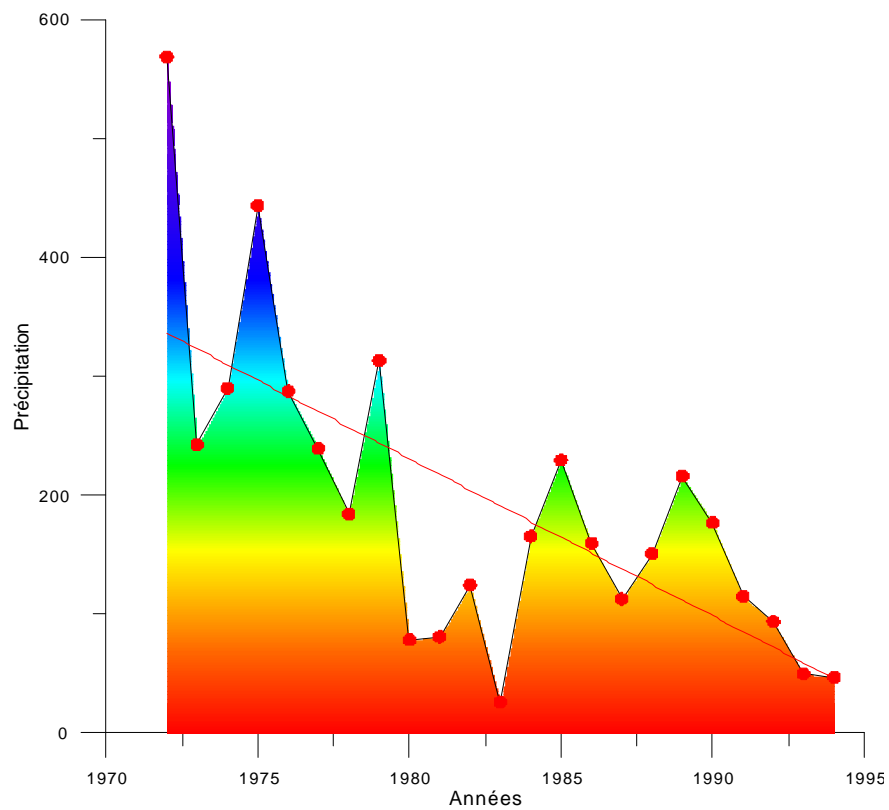
#### 4. Variation des précipitations annuelles de différentes stations:



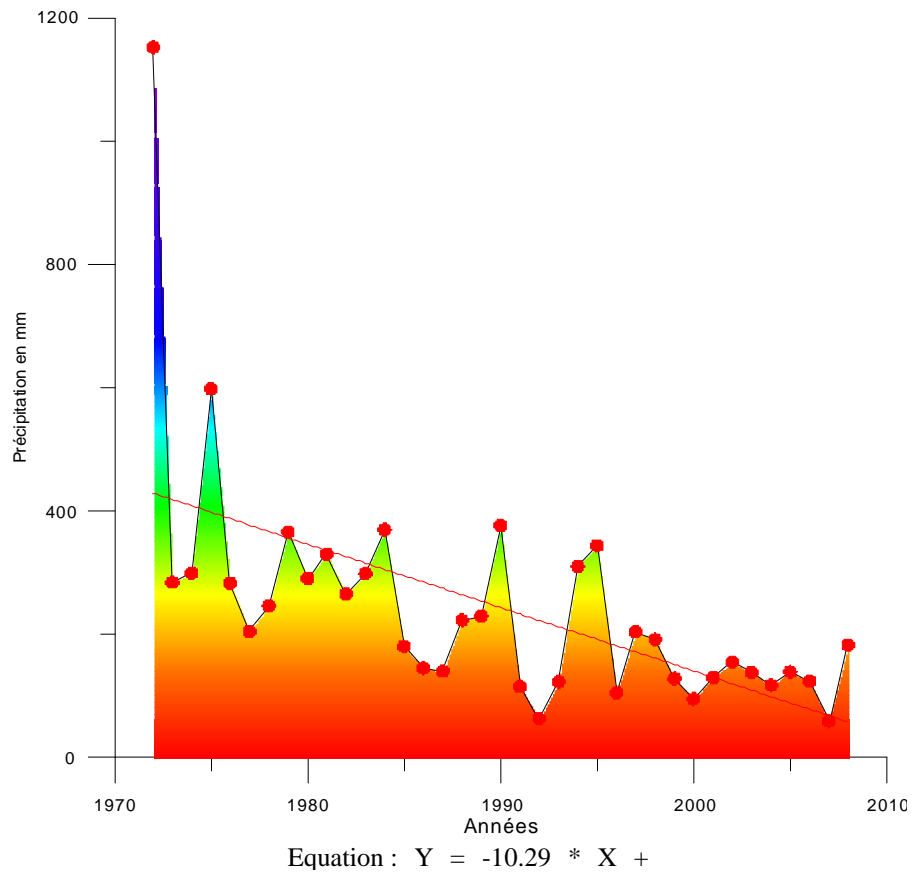
**Fig. 09 :** Variation interannuelles des précipitations de la station de Chéria. (1972 - 2014).



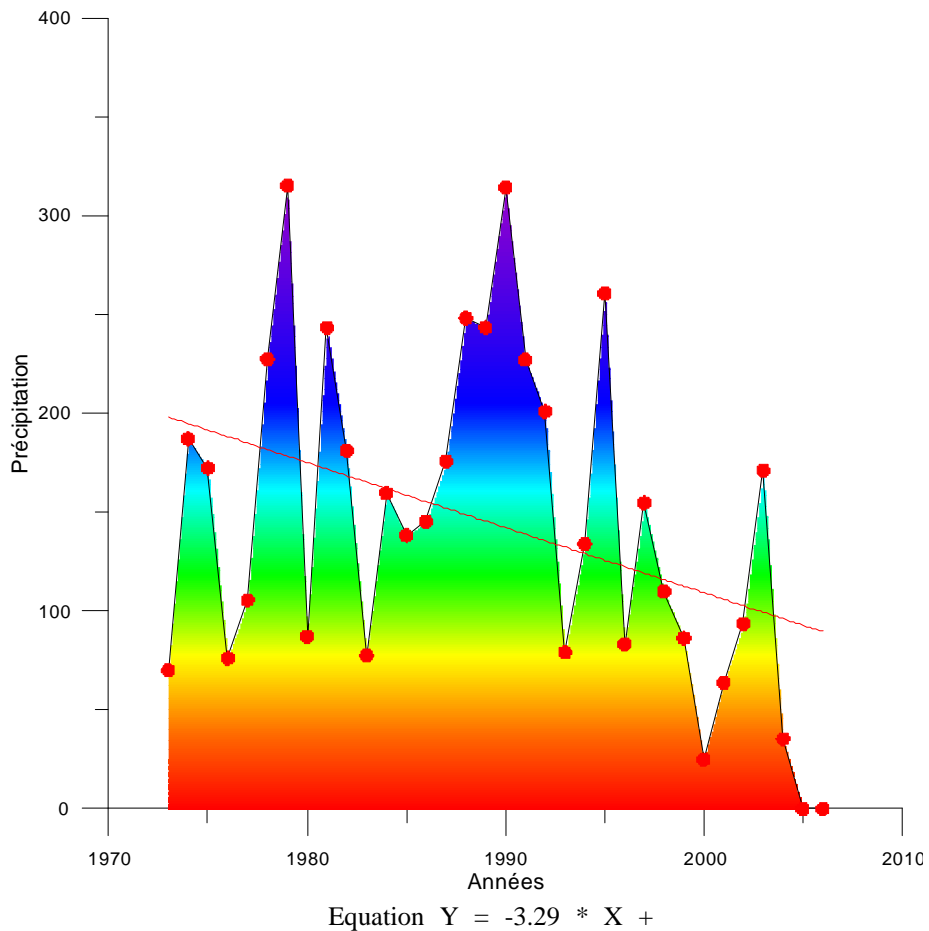
**Fig. 10 :** Variation interannuelles des précipitations de la station de Bir Mokadem. (1972 - 2008).



**Fig. 11 :** Variation interannuelles des précipitations de la station de Bir Touila (1972 - 1994).



**Fig. 12:** Variation interannuelles des précipitations de la station d'Ain Troubia. (1972 - 2008).



**Fig. 13:** Variation interannuelles des précipitations de la station d'Ain Babouche. (1973 - 2006).

Le plus important à remarquer sur les figures est:

- Que la région a sévié une période de deux décennies depuis les années 80 jusqu'à 2000 une sécheresse marquée par des précipitations généralement au - dessous des moyennes annuelles sauf pour quelques années au niveau de la station de Chéria.

-Une pluviométrie très basse est constamment signalée à la station de Bir Mokadem par rapport aux autres stations. L'explication réside probablement dans le fait que cette région abritée des vents humides du nord - ouest par le Djebels Troubia et ce qui le prolonge. En général il y a donc diminution de la hauteur pluviométrique entre les Djebels de bordures et la région de Bir Mokadem (B Gaud; 1978).

-Stations Chéria, l'année 1972 est année exceptionnelle (fortes Précipitations), la précipitation atteindra jusqu'à 537.1 mm/an, pendant la période d'observation (1972 - 2014), par ailleurs la précipitation plus faible est de l'ordre de 106.8 mm/an pour l'année 2004.

-Durant la période d'enregistrement des données à la station de Bir Mokadem (1972 - 2008), les valeurs des précipitations sont balancées entre 34.6 et 34.1 mm/an pendant respectivement des années 1972 et 1976.

-La période d'enregistrement des données pluviométrique de la station de Bir Touil est plus courte (1972 - 1994), la précipitation annuelle maximale est 568.6 mm/an à l'année de 1972, tandis que la valeur minimale de la précipitation est de l'ordre de 26.1 mm/an à l'année de 1983.

-la période d'observation de 1972 jusqu'à 2008, les valeurs de précipitation enregistrées à la station de Ain Troubia sont variées entre 1152 mm/an et 59.4 mm/an respectivement aux les années 1972 et 2007.

-L'année 1979 avec 315.1 mm/an pour la station d'Ain Babouche par contre pour les deux années 2005 et 2006, les valeurs de précipitation sont négligeables à cause de la sécheresse qui affecte la région pendant ces années.

-La constatation générale pour toutes les stations pendant la période d'observation (1972 - 2004), montre que l'année de 1972 est la plus pluvieuse, par ailleurs la période plus sèche s'étale de 2000 jusqu'à 2006.

## 5. Analyse statistiques des données:

Les données traités sont généralement ceux hydro climatologiques (précipitations, pluies journalières maximales ( $PJ_{\max}$ ), débits, ..., etc.). Le traitement a pour but de contrôler l'homogénéité et l'extension de ces données dans un premier lieu et d'autre de les corriger s'ils contiennent des erreurs et finalement ces données seront ajustées par les lois de probabilité connues afin de définir les valeurs quantiles des différents projets.

### 5.1. L'homogénéité des données:

Ce type de traitement fait appel aux plusieurs tests statistiques parmi lesquelles on cite :

- a) Test des moyennes de Student:
- b) Conditions d'application: deux échantillons indépendants de tailles  $n_1$  et  $n_2$  et de lois Normales  $N_1$  ( $moy_1; S_1$ ) et  $N_2$  ( $moy_2; S_2$ ) (écart type inconnus mais égaux). On construit l'hypothèse suivante:

$H_0$ :  $moy_1 = moy_2$ ; l'échantillon est homogène à  $(1-\alpha)$  de confiance

$H_1$ :  $moy_1 \neq moy_2$ ; l'échantillon contient des erreurs à  $(\alpha)$  de risque de se tromper

Mise en œuvre du test:

On divise notre échantillon aléatoirement en deux sous échantillons  $n_1$  et  $n_2$ .

On calcule la moyenne et la variance pour chaque échantillon en appliquant les deux formules suivantes:

$$moy = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X - moy)^2}{N - 1}$$

On détermine la statistique du test suivante:

$$T = \frac{(moy_1 - moy_2)\sqrt{n_1 + n_2 - 2}}{\sqrt{(n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2)\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

La statistique précédente suit une loi de Student à  $(n_1 + n_2 - 2)$  degrés de liberté, ayant la densité de probabilité suivante:

$$f_v(x) = \frac{\delta\left(\frac{v+1}{2}\right)}{\sqrt{v} \cdot \sqrt{\pi} \cdot \delta\left(\frac{v}{2}\right) \left(1 + \frac{t^2}{v}\right)^{\frac{v+1}{2}}}$$

Et comme fonction de répartition la table de Student et comme paramètre le nombre de degrés de liberté  $v$ , la variable  $t$  s'appelle variable critique de Student qui est tabulée en fonction  $\alpha$  qui s'appelle seuil de risque de se tromper.

Sous l'hypothèse  $H_0$ : la probabilité pour que la valeur absolue de  $T$  soit inférieure à la valeur critique de Student pour  $(\alpha/2)$  soit  $(1-\alpha)$ . Donc si la valeur absolue de  $T$  est inférieure à celle qui se trouve sur la table de Student pour  $(\alpha/2)$  on accepte l'hypothèse  $H_0$  que les sous échantillons proviennent de la même population ou bien que notre échantillon est homogène.

c) Test des variances de Fischer:

Conditions d'application: deux échantillons indépendants de tailles  $n_1$  et  $n_2$  et de lois Normales  $N_1$  ( $moy_1; S_1$ ) et  $N_2$  ( $moy_2; S_2$ ) (moyennes inconnues mais égaux). De même que précédemment on construit l'hypothèse suivante:

$H_0: S_1 = S_2$ ; l'échantillon est homogène à  $(1 - \alpha)$  de confiance

$H_1: S_1 \neq S_2$ ; l'échantillon contient des erreurs à  $(\alpha)$  de risque de se tromper

Mise en œuvre du test:

Comme précédemment on divise l'échantillon à traiter en deux sous ensembles  $n_1$  et  $n_2$ , puis on calcule les paramètres empiriques pour chaque échantillon (moyenne, variance).

On calcule la statistique du test grâce à la formule suivante:

$$F = \frac{\frac{n_1 \cdot S_1^2}{v_1}}{\frac{n_2 \cdot S_2^2}{v_2}}$$

Avec:  $v_1 = n_1 - 1$  et  $v_2 = n_2 - 1$

La statistique de Fischer suit une loi de Fischer - Snédecor à  $v_1$  et  $v_2$  degrés de liberté. Cette peut être présentée par la densité de probabilité suivante:

$$f_{(v_1, v_2)}(x) = v_1^{\frac{v_1}{2}} \cdot v_2^{\frac{v_2}{2}} \cdot \frac{\delta\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right) \cdot x^{\left(\frac{v_1}{2} - 1\right)}}{\delta\left(\frac{v_1}{2}\right) \cdot \delta\left(\frac{v_2}{2}\right) \cdot (v_1 x + v_2)^{\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right)}}$$

Sous l'hypothèse  $H_0$  la probabilité pour que  $F$  soit inférieur à  $F$  critique au seuil de signification  $\alpha$  égale  $(1 - \alpha)$ . Donc si  $F$  calculé est inférieur que celle lui sur les tables de Fischer - Snédecor au seuil  $\alpha$  on accepte que les deux sous ensembles de l'échantillon traité proviennent de la même population et qu'il soit homogène.

## 5.2. Application des deux tests sur les stations (Chéria, Tébessa, Ain Babouche, Ain Troubia, Bir Mekadem, Bir Touila):

Nous avons appliqué les tests précédents sur les différentes stations, les résultats obtenus illustrés dans les tableaux suivants:



Station de Chéria		Station d'Ain Troubia		Station d'Ain Babouche	
1972 - 2014		1972 - 2008		1973 - 2004	
Teste de Fischer		Teste de Fischer		Teste de Fischer	
Moyen X1	292.12	Moyen X1	508,25	Moyen X1	167.61764
VariX1	15151.6806	VariX1	190797,583	VariX1	5143.05654
MyenX2	266.076	MyenX2	183	MyenX2	135.90666
VariX2	10422.1525	VariX2	7923.876199	VariX2	7143.76495
F	1,46377	F (Calculé)	24.153	F (Calculé)	0.713937
F critique	2.31 (0.95)	F critique	2.38 (0.95)	F critique	2.38 (0.95)
F critique	3.30 (0.99)	F critique	3.46 (0.99)	F critique	3.46 (0.99)
Commentaire Homogène		Commentaire non Homogène		Commentaire Homogène	
Teste de Student		Teste de Student		Teste de Student	
T (Calculé)	0.74066	T (Calculé)	3.089	T (Calculé)	1.11155
T (Critique)	1.684(0.95)	T (Critique)	1.697(0.95)	T (Critique)	1.697 (0.95)
T (Critique)	2.423(0.99)	T (Critique)	2.457(0.99)	T (Critique)	2.457 (0.99)
V(N)	41	V(N)	35	V(N)	30
Commentaire Homogène		Commentaire non Homogène		Commentaire Homogène	

**Tab. 02:** Application des deux tests sur les stations.  
(Chéria, Ain Troubia, Ain Babouche)

Commentaire avant la correction			
Station	Station de Chéria	Station d'Ain Troubia	Station d'Ain Babouche
Teste de Fischer	Commentaire Homogène	Commentaire non Homogène	Commentaire Homogène
Teste de Student	Commentaire Homogène	Commentaire non Homogène	Commentaire Homogène
Résultat finale	Station Homogène	Station non Homogène	Station Homogène

**Tab. 03:** Résultat final des deux tests sur les stations.  
(Chéria, Ain Troubia, Ain Babouche)

Station de Bir Mokadem		Station de Tébessa		Station de Bir Touila	
1972 - 2008		1977 - 2014		1972 - 1994	
Teste de Fischer		Teste de Fischer		Teste de Fischer	
Moyen X1	78,5	Moyen X1	354.70625	Moyen X1	81
VariX1	1300,5	VariX1	10264.65129	VariX1	24824.27697
MyenX2	125	MyenX2	378.0266667	MyenX2	165,5
VariX2	1786	VariX2	12432.55352	VariX2	5100,5
F (Calculé)	0.73	F (Calculé)	3.30306	F (Calculé)	4.83
F critique	2.38 (0.95)	F critique	2.28 (0.95)	F critique	3.07 (0.95)
F critique	3.46 (0.99)	F critique	3.23 (0.99)	F critique	5.06 (0.99)
Commentaire non Homogène		Commentaire non Homogène		Commentaire non Homogène	
Teste de Student		Teste de Student		Teste de Student	
T (Calculé)	3.492	T (Calculé)	4.80402	4.56106	4.56106
T (Critique)	1.679(0.95)	T (Critique)	1.697(0.95)	1.697(0.95)	1.697(0.95)
T (Critique)	2.457(0.99)	T (Critique)	2.457(0.99)	2.457(0.99)	2.457(0.99)
V(N)	35	V(N)	33	36	36
Commentaire non Homogène		Commentaire non Homogène		Commentaire non Homogène	

**Tab. 04:** Application des deux tests sur les stations.  
(Bir Mokadem, Tébessa, Bir Touila)

Commentaire avant la correction			
Station	Station de Bir Mokadem	Station de Tébessa	Station de Bir Touila
Teste de Fischer	Commentaire non Homogène	Commentaire non Homogène	Commentaire non Homogène
Teste de Student	Commentaire non Homogène	Commentaire non Homogène	Commentaire non Homogène
Résultat finale	Commentaire non Homogène	Commentaire non Homogène	Commentaire non Homogène

**Tab. 05:** Résultat final des deux tests sur les stations.  
(Bir Mokadem, Tébessa, Bir Touila)

### 5.3. Interprétation des résultats:

Le contrôle des données de précipitations pour chaque station par les deux tests de Student et Fischer conduit à remarquer le bon fonctionnement des stations; Chéria, et Ain Babouche puisque les données obtenues à partir lesquelles sont homogènes, cependant les données des autres stations contiennent des erreurs qu'on doit les corriger jusqu'à ce qu'ils deviennent homogènes. Les causes de mauvais fonctionnement des stations; Tébessa, Ain Troubia, Bir Mekadem et Bir Touila seraient:

- Négligence de l'observateur.
- Changement de l'appareil
- Changement de site de mesure
- Surestimation ou bien sous-estimation des mesures
- Appareil mal placé (trop soumis au vent souvent)
- Erreur de transcription
- Mauvaise différenciation valeurs nulles, données manquantes, ..., etc.

La correction des données de chaque station citées ci-dessus, sera réalisée grâce à la méthode des doubles cumuls en fonction de la station homogène la plus proche de station à corriger.

### 5.4. Correction des données:

La méthode adoptée pour corriger les erreurs de mesures se base sur le principe suivant:

Si deux stations (X, Y) ayant les mêmes conditions climatiques et pour lesquelles les données sont homogènes sur une période quelconque N, l'ajustement des couples  $(X_{cum_1}, Y_{cum_1})$ ,  $(X_{cum_2}, Y_{cum_2})$ ,  $(X_{cum_3}, Y_{cum_3})$ , ...,  $(X_{cum_N}, Y_{cum_N})$ , va mettre en évidence un alignement selon une droite en posant la station X en abscisse et celle de Y en ordonnées. Mais si une cassure était mise en évidence; une station parmi lesquelles contient des erreurs. Afin de les corriger on applique la procédure suivante:

- On Pose la station Homogène comme station (X) ou bien station de référence et celle à corriger comme station (Y).
- On calcul les cumuls pour chaque station.
- On porte sur un papier millimétré avec en abscisses les cumuls de la station (X) et en ordonnées celle de (Y)

- Une cassure sur le graphe sera remarquée à cause de l'hétérogénéité des données de la station (Y).
- A fin de corriger les données de la station (y), on calcule la pente  $m_1$  correspondant aux plus hautes parités des points, puis celles qui restent.
- Les valeurs seront corrigées, soit en multipliant par les rapports  $m_1/m_2$ ,  $m_1/m_3$ ,  $m_1/m_4$ ,  $m_1/m_5$ , et soient par celui de  $m_2/m_1$ ,  $m_3/m_1$ ,  $m_4/m_1$ ,  $m_5/m_1$ .

### **5.5. Application de la méthode de doubles cumuls:**

#### **a. Station Chéria - Ain Troubia:**

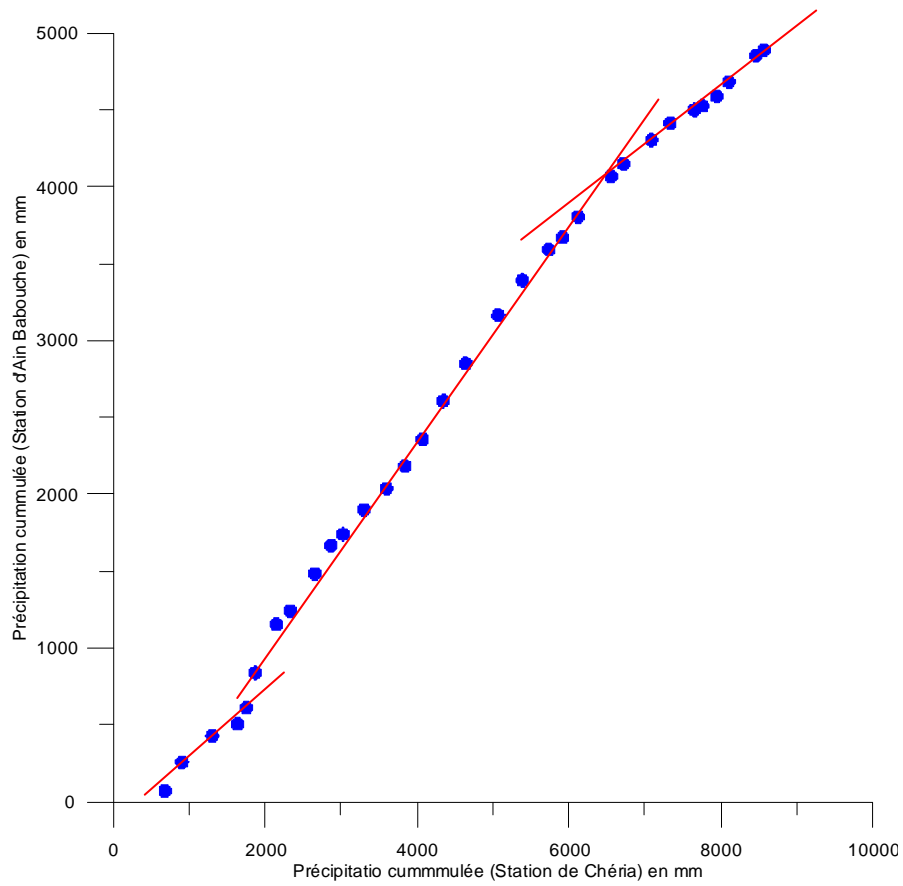
Nous avons appliqué cette méthode pour corriger les données des précipitations interannuelles de la station d'Ain Troubia à l'aide de celle de Chéria pour une période (1972 - 2007). Le graphe de doubles cumuls (Chéria - Ain Troubia) s'est présenté dans la figure 14.

#### **c. Station Chéria - Bir Touila:**

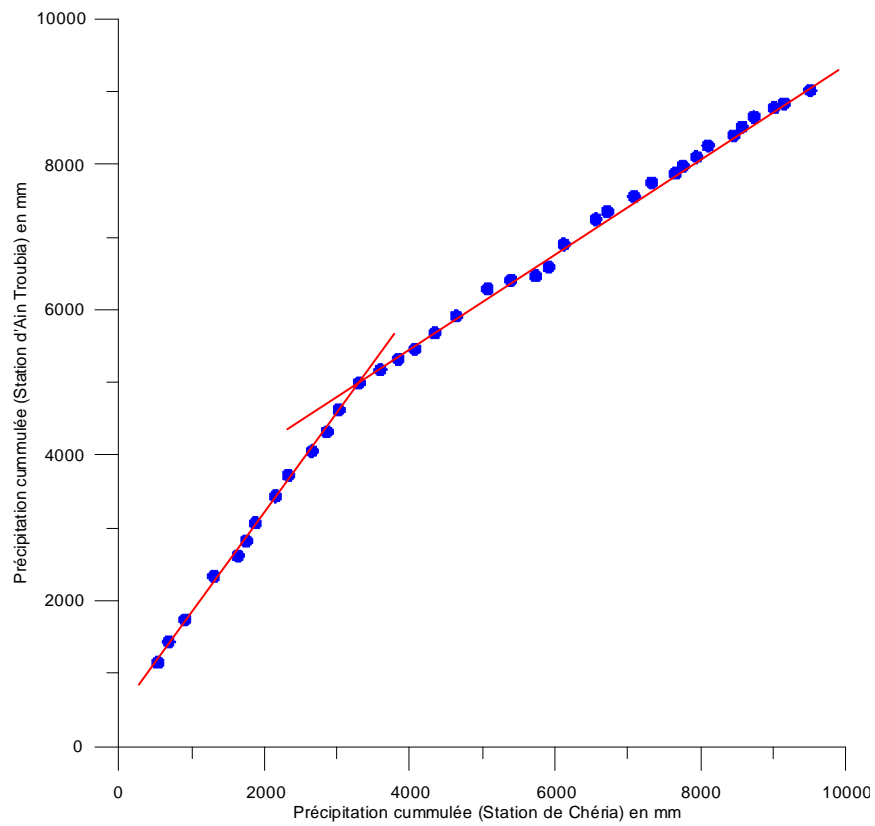
Le principe est même que la station Bir Mokadem; l'ajustement des couples cumuls est présenté dans la figure 15.

#### **b. Station Chéria - Bir Mokadem:**

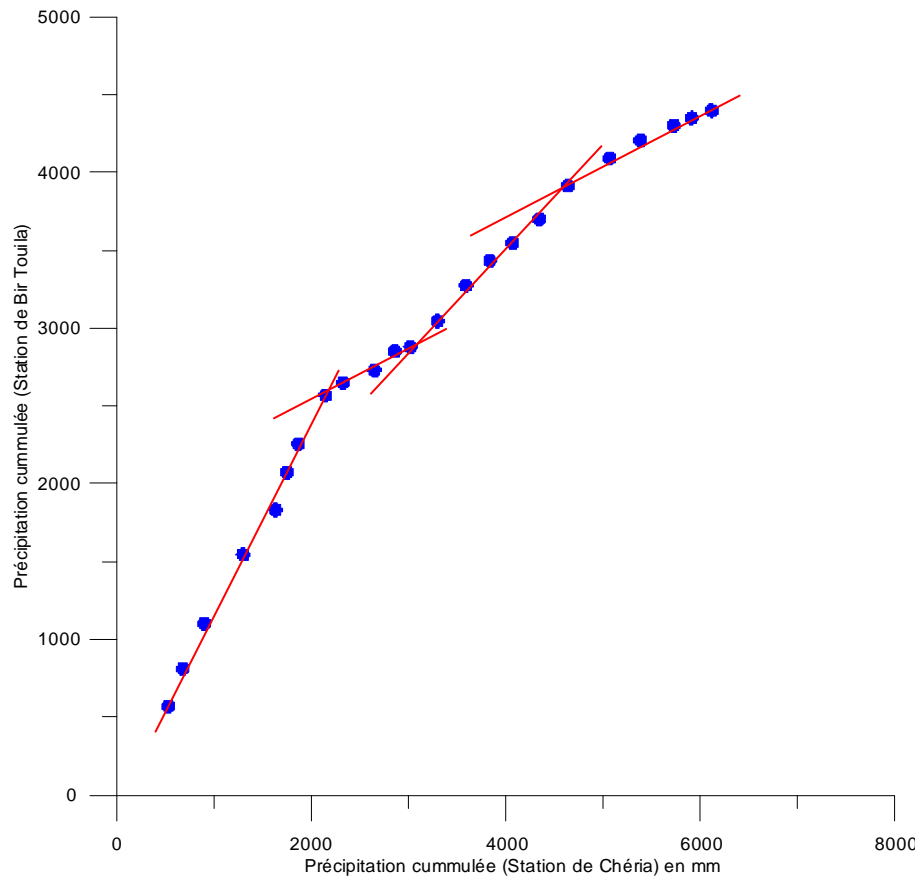
De même que précédemment le graphe de doubles cumuls est illustré dans la figure 16.



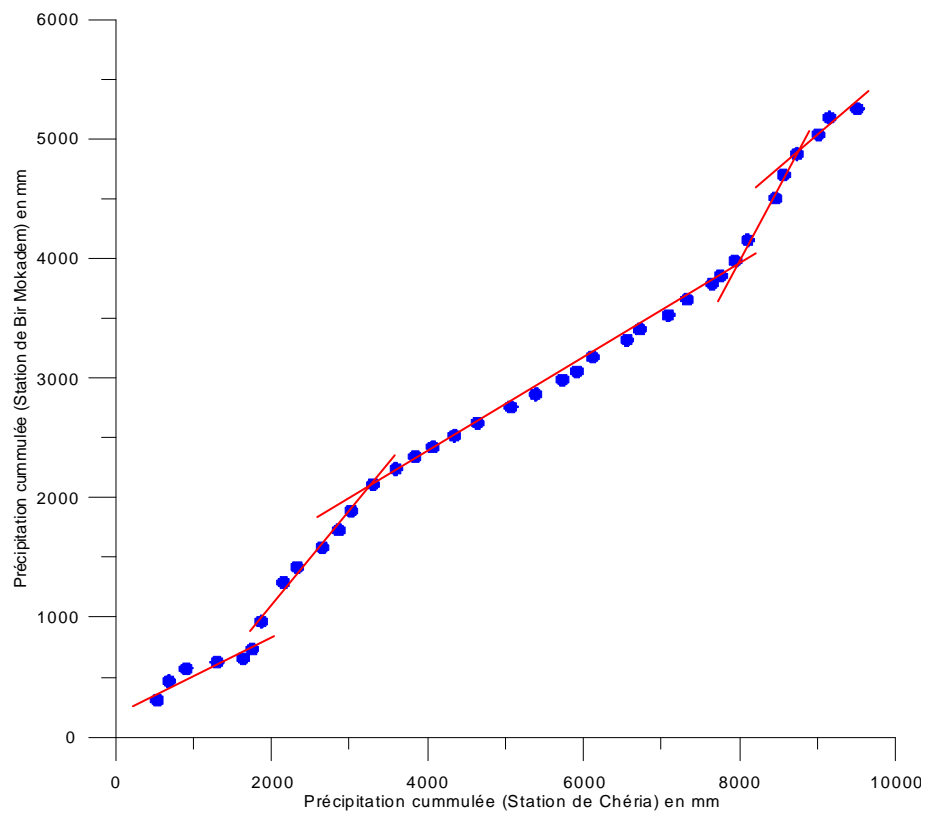
**Fig. 14:** Graphe de doubles cumuls (Chéria - Ain Babouche).



**Fig. 15:** Graphe de doubles cumuls (Chéria - Ain Troubia).



**Fig. 16:** Graphe de doubles cumuls (Chéria - Bir Touila).



**Fig. 17:** Graphe de doubles cumuls (Chéria - Bir Mokadem).

### 5.6. Homogénéisation des données pluviométriques des stations avec la station de Chéria:

Les rapports correctifs pour les différentes stations sont dressés dans le tableau suivant:

Stations pente	Chéria - Ain Troubia	Chéria - Ain Babouche	Chéria - Bir Mokadem	Chéria - Bir Touila
M <sub>1</sub>	0.65	0.69	0.4	1.23
M <sub>2</sub>	1.26	0.4	0.8	0.64
M <sub>3</sub>	-	0.64	0.49	0.32
M <sub>4</sub>	-	-	1.13	0.35
M <sub>5</sub>	-	-	0.48	-
M <sub>3</sub> /M <sub>1</sub>	-	0.92	-	-
M <sub>1</sub> /M <sub>3</sub>	-	-	0.81	3.84
M <sub>1</sub> /M <sub>2</sub>	0.51	1.725	0.5	1.92
M <sub>2</sub> /M <sub>1</sub>	-	-	-	-
M <sub>1</sub> /M <sub>4</sub>	-	-	0.35	3.51
M <sub>1</sub> /M <sub>5</sub>	-	-	0.83	-
M <sub>4</sub> /M <sub>1</sub>	-	-	-	-

**Tab. 06:** Rapports correctifs pour les différentes stations.

Avec:

M<sub>1</sub>: Pente moyenne de la plus parités des points.

M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>5</sub>: Pente moyenne des points restants.

Les données corrigées des statons Ain Troubia, Bir Mokadem et Bir Touila ainsi que les graphes de doubles cumuls après la correction se trouvent en annexe.

### 5.7. Extension des données pluviométriques:

Il s'agit de combler les données des précipitations pour les stations qui ont un minimum de données à partir des séries pluviométriques pour les autres stations dont un maximum de données. Pour ce la on fait appel à la méthode des régressions linéaire, qui consiste à chercher un modèle linéaire entre deux variables grâce à trouver une certaine liaison entre eux. Cette liaison sera traduire par un coefficient qui s'appelé le coefficient de corrélation linéaire R.

Si  $R = \pm 1$ ; une liaison linéaire parfaite existant entre ces deux variables.

Si  $-1 < R \leq -0.7$  ou bien  $0.7 \leq R < 1$ ; une liaison considérable.

Si  $-0.7 < R < 0.7$ ; une liaison introuvable.

### 5.7.1. Calcul du coefficient de corrélation:

Soient deux variables, le premier est (x) dont N observation et une autre variable (y) dont K observation avec  $K \leq N$ . Le coefficient de corrélation entre (x) et (y) peut être se traduire par l'expression:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^K (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^K (x - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^K (y - \bar{y})^2}}$$

### 5.7.2. Corrélation entre les stations:

La corrélation entre chaque deux stations est représentée sous forme d'une matrice de corrélation, qui à été insérée dans le tableau 07.

Stations	Chéria	Ain Troubia	Tébessa	Bir Touila	Bir Mokadem	Ain Babouche
Chéria	1	0.320631	0	0.311339	0.0278876	0.125617
Ain Troubia	0.320631	1	0.0836854	0.575409	0.121415	0.01316
Tébessa	0	0.0836854	1	0.0184133	0.0169143	0.0597529
Bir Touila	0.311339	0.575409	0.0184133	1	0.0945399	0.155296
Bir Mokadem	0.0278876	0.121415	0.0169143	0.0945399	1	0.266081796
Ain Babouche	0.125617	0.01316	0.0597529	0.07083801	0.266081796	1

**Tab. 07:** Valeurs des coefficients de corrélation R.

### 5.7.3. Interprétation des résultats:

D'après les corrélations résultantes une valeur maximale de R à été constaté entre les stations Bir Touila - Ain Troubia de l'ordre 0.575409, alors que une valeur minimale de R à été constaté entre deux stations Ain Troubia - Ain Babouche de l'ordre 0.01316. Ce qui implique qu'on peut plus combler les données de précipitation grâce à un modèle linéaire. Donc on ne peut pas traiter les données informées selon une même période. Chaque station sera traitée selon la période disponible.



### 5.8. Evaluation des pluies journalières maximales:

La pluie journalière maximale correspondant à l'hauteur de précipitation du jour le plus pluvieuse durant une année.

En absence des données les PJ max ont été estimées par la formule de Body - K; 1981. Cela par la formule linéaire existant entre les précipitations annuelles et PJ max:

$$PJ \text{ max} = 0.0525P_{an} + 18.6$$

La formule ci-dessus est appropriée aux bassins de la partie Est de l'Algérie, ayant un coefficient de corrélation R de l'ordre 0.976. Les données estimées se trouvent dans l'annexe.

- moyenne interannuelle de chaque station (PJ max):

Elle est définie par la relation suivante:

$$\overline{PJ \text{ max}} = \frac{\sum_{i=1}^N PJ \text{ max}}{N}$$

On définit également des autres paramètres dans le tableau ci-dessous:

Station	Chéria	Tébessa	Bir Touila	Bir Mokadem	Ain Troubia	Ain Babouche
Période	1972 - 2014	1977 - 2014	1972 - 1994	1972 - 2007	1972 - 2007	1973 - 2004
$\overline{PJ \text{ max}}$	33.63	38.15	25.44	23.73	27.63	26.61
S	119.8770011	98.24	68.42	45.53	98.73	78.35
C.V	0.45	0.26	0.52	0.57	0.57	0.51

**Fig. 08:** Paramètres empiriques des PJmax.

Avec:

S: Écart type des PJmax.

CV: Coefficient de variation des PJmax;  $CV = \frac{S}{\overline{X}}$

### 5.8.1. Ajustement des données à une loi de probabilité:

Il s'agit de chercher la fonction de répartition qui régit les variables  $p$  et  $PJ_{max}$ . Les fonctions de répartition les plus répondues sont: loi Normale (Gauss), loi log Normale (Galton) et la loi des valeurs extrêmes (Gumbel).

#### 5.8.1.1. Ajustement de précipitations annuelles:

En Algérie les précipitations interannuelles suivent deux lois de probabilité; pour les échantillons ayant le  $C.V \leq 0.5$ , il s'agit d'une distribution normale (symétrique) autrement dit, la loi de Gauss. Cependant pour ceux ayant le  $C.V > 0.5$  la loi log Normale de Galton à trois paramètres, convient mieux à l'ajustement que celle de Gauss.

#### -Application:

Les caractéristiques des données pour chaque station ainsi que les lois adoptées à l'ajustement peuvent être se résumer dans le tableau suivant:

Station	Chéria	Tébessa	Bir Touila	Bir Mokadem	Ain Troubia	Ain Babouche
Période	1972 - 2014	1977 - 2014	1972 - 1994	1972 - 2007	1972 - 2007	1973 - 2004
$\bar{P}$	263.97	365.99	130.32	97.79	172.14	152.75
$S_p$	119.8770011	98.24	68.42	45.53	98.73	78.35
C.V	0.45	0.26	0.52	0.57	0.57	0.51
Lois adoptée	Gauss	Gauss	Galton	Galton	Galton	Galton

**Tab. 09:** Précipitations annuelles.

#### 5.8.1.2. Equations d'ajustement des précipitations annuelles:

Pour la loi Normale l'équation d'ajustement s'écrit ainsi:

$$P = \bar{P} + S_p \cdot U ; \text{Où}$$

$\bar{P}$  : Précipitation moyenne interannuelle en (mm).

$S_p$  : Écart type des précipitations interannuelles en (mm).

$U$  : Variable réduite de Gauss qui dépend de période de retour de l'événement.

Pour la loi log Normale à trois paramètres; l'équation d'ajustement s'écrit comme suit:

$$\text{Log}(p - p_0) = a \cdot U + b$$

- Où  $p_0$ ,  $a$  et  $b$  sont des paramètres déterminés.

### **5.8.2. Ajustement des précipitations journalières maximal interannuelles:**

En Algérie les pluies journalières maximales interannuelles suivent une loi log Normale à deux paramètres ayant une distribution symétrique cela dans un premier lieu, et dans un autre; elles pourraient également suivre une loi des valeurs extrême (Gumbel). L'ajustement est fait par une loi log Normale à deux paramètres.

### **5.8.3. Calcul des quantiles:**

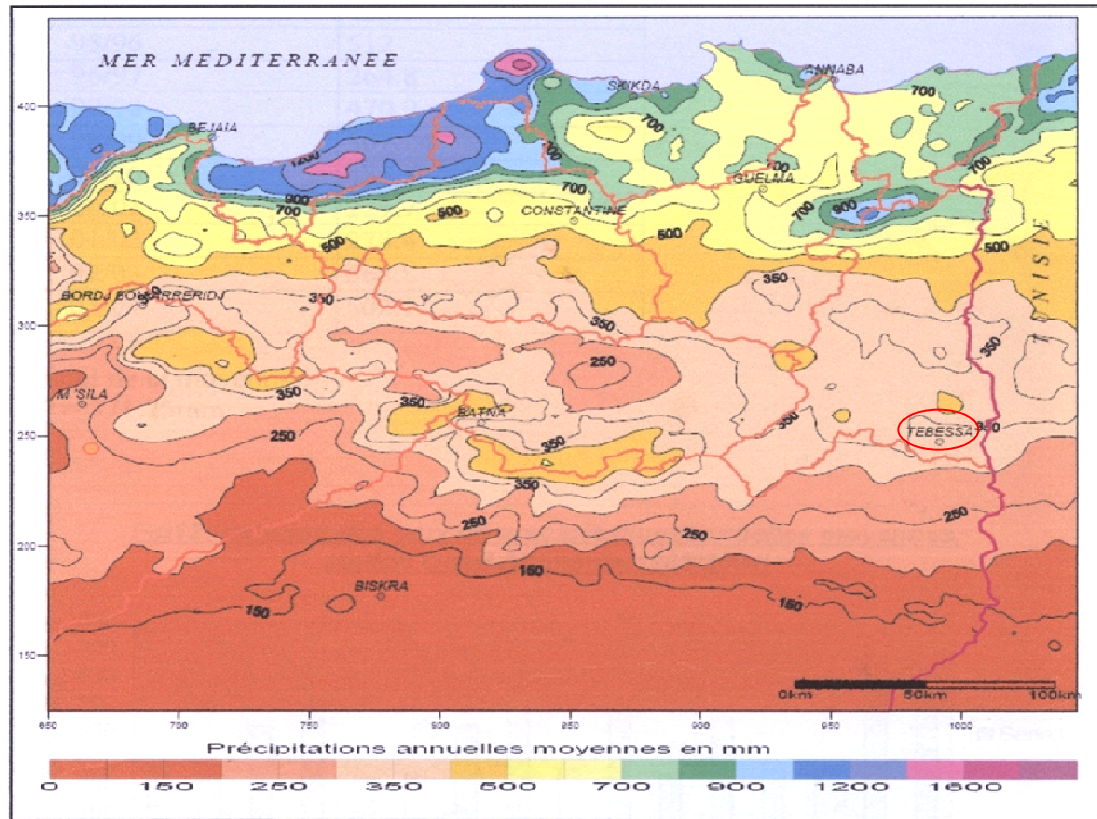
Les quantiles sont des variables aléatoires à préavisier dont une période de retour donnée. Ces quantiles ont pour but d'estimer les valeurs des variables aléatoires, introduisant dans le projet à étudier comme projet de retenue collinaire à l'exutoire de bassin versant de Chéria. Tous les quantiles des précipitations annuelles, ainsi que PJmax ont été calculés à l'aide des équations d'ajustements, trouvés précédemment en fonction de la variable réduite de Gauss (U).

## **6. Etude des paramètres climatiques de la station de Chéria:**

Elle est basée essentiellement sur les précipitations et la température.

### **6.1. Les précipitations:**

La Pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs, (P.Seltzer; 1913 - 1938, H. Gaussen; 1918 - 1947, G. Medinger; 1913 - 1953, M. Chaumont et C. Paquin; 1913 - 1963). Les précipitations, jouent un rôle primordial dans l'alimentation du réseau hydrographique d'une région ainsi que son système aquifère, en plus elles forment un paramètre indispensable dans la réalisation des bilans hydriques.



○ Région du Tébessa

**Fig. 18:** Carte des précipitations annuelles moyennes (In Azizi Y; 2011).

La région du Tébessa prend des valeurs de l'ordre de 300 à 350 mm de précipitation, on sait que l'augmentation de la température surtout en été; pour ce la; elle trouvait dans le domaine semi-aride.

### 6.1.1. Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers:

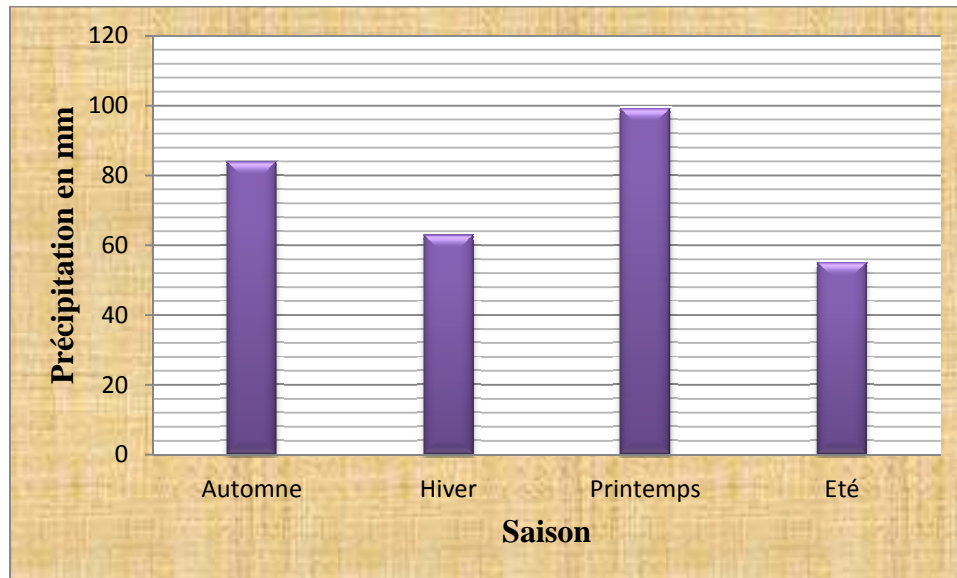
Selon les données de la précipitation mensuelle on remarque que la saison la plus pluvieuse est printemps avec une précipitation moyenne 33.053 mm, et le mois le plus pluvieux est le mois de septembre avec une précipitation moyenne 35.41 mm.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	35.41	25.33	23.14	19.22	23.61	20.06	31.45	28.04	39.67	25.1	11.15	18.77
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
P (mm)	83.88			62.89			99.16			55.02		

**Tab. 10:** Moyenne mensuelle interannuelle de la précipitation de la station de Chéria. (1972 - 2014).

La constatation globale de ce tableau, montre que:

- Les deux saisons Automne et Printemps donnant des quantités important d'eau de l'ordre 85 mm, tandis que la pluviométrie de saison d'été presque à la même pluviométrie en saison d'Hiver due à des orages très violent.



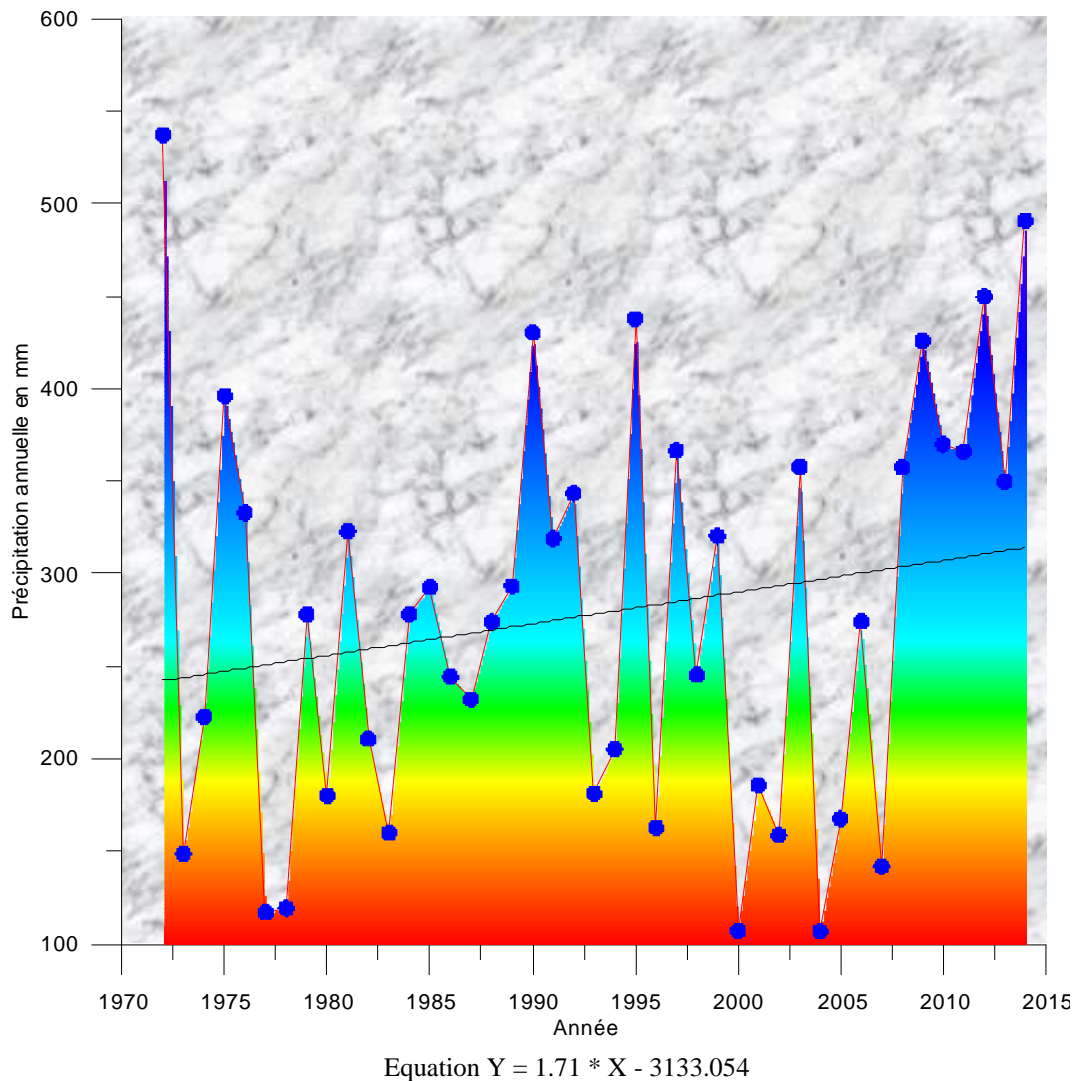
**Fig. 19:** Variation saisonnière des précipitations interannuelles de la station de Chéria. (1972 - 2014).

### 6.1.2. Variation de la précipitation annuelle:

A partir des données des précipitations annuelle pendant la période 1972 - 2014, on remarque que:

\* L'année la plus pluvieuse est l'année 1972, avec précipitation de l'ordre de 537.1 mm.

\* L'année la plus sèche est l'année 2004, avec précipitation de l'ordre de 106.8 mm.



**Fig. 20:** Variation des moyennes interannuelles de précipitation de la station de Chéria. (1972 - 2014).

## 6.2. Les températures:

Les températures moyennes annuelles et mensuelles régissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, vitesse et turbulence du vent, précipitation) et biogéographique, le phénomène d'évapotranspiration et déficit d'écoulement annuel et saisonnier.

Nous avons utilisé les données de la station de Tébessa qui est la plus proche de la région d'étude avec une correction en fonction de l'altitude. Le manque des données de la température au début de 1972 jusqu'au 1982, engendré certaines difficulté pour calculer le bilan hydrique dans même période; pour cela on utilise les données de précipitation et température dans même période d'enregistrement qui s'étale de 1982 jusqu'au 2014.

Les données des températures mensuelles corrigées de la station de Tébessa pour la période (1982 - 2014) sont illustrées dans le tableau suivant:

Mois	S	O	N	D	J	F
T C <sup>0</sup>	21.34	16.44	11.19	7.34	6.28	7.32
T C <sup>0</sup> (Corrigée)	20.84	15.94	10.69	6.84	5.78	6.82
Mois	M	A	M	J	J	A
T C <sup>0</sup>	10.07	13.35	17.98	22.77	26.46	26.09
T C <sup>0</sup> (Corrigée)	9.57	12.85	17.48	22.27	25.96	25.59

**Tab. 11:** Températures mensuelles corrigées du station de Chéria (1982 - 2014).

D'après le tableau précédent on constate que:

Le mois le plus froid est le mois de janvier à une valeur de l'ordre de 5.78 c°, et le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une température égale 25.96 c°.

### 6.3. Régime climatique:

Afin de préciser les conditions climatiques de la région de notre étude, nous avons utilisé plusieurs méthodes; méthode d'Euverte; Diagramme Pluviométrique de Gausson Bagnoules; Indice d'aridité de Martonne; Diagramme d'Emberger.

#### 6.3.1. Méthode d'Euverte:

Le rapport précipitation / température établit mensuellement; permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol, il permet également de définir plusieurs régime:

-Un régime très sec ou:  $\frac{P}{T} < 1$

- Un régime sec ou:  $1 < \frac{P}{T} < 2$

-Un régime sub-humide ou:  $2 < \frac{P}{T} < 3$

-Un régime humide ou:  $\frac{P}{T} > 3$

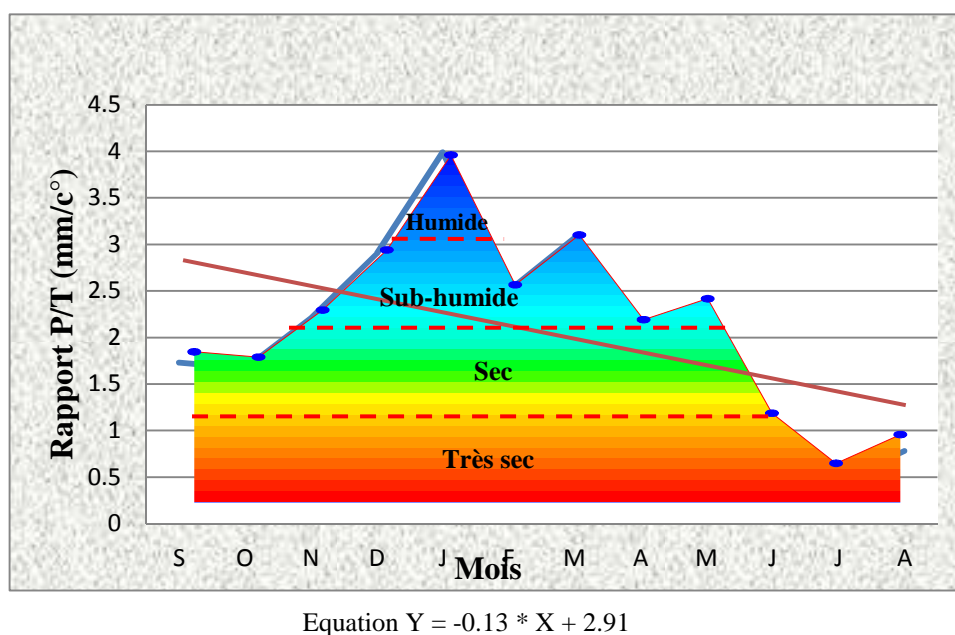


Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P	36.2	26.68	23.7	19.87	23.11	17.11	29.4	27.08	41	22.84	11.73	20.2
T	20.84	15.94	10.7	6.84	5.78	6.82	9.57	12.85	17.5	22.27	25.96	25.6
P/T	1.73	1.67	2.21	2.9	3.99	2.5	3.072	2.1	2.34	1.025	0.45	0.78

**Tab. 12:** Régime climatique du station de Chéria par la méthode d'Euverte. (1982 - 2014).

Les diagrammes dressés pour les stations d'étude pour la période de 1982 à 2014 généralement révèlent:

-Pour la station de Chéria, la période très sèche de juillet et aout, la période sèche pendant le mois de septembre, octobre et juin, et la période sub - humide au début de novembre jusqu' à avril à l'exception des mois de janvier et mars.



**Fig. 21:** Régime climatique de la station de Chéria (1982 - 2014).

D'après le graphique précédent la plupart des saisons ayant un régime sec à sub-humide.

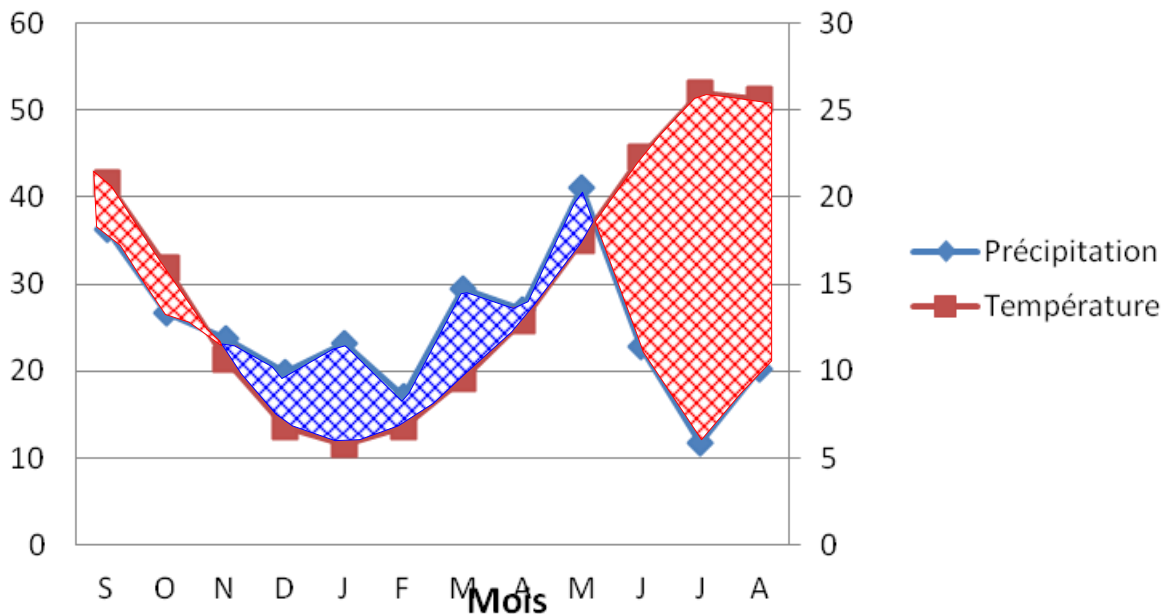
### 6.3.2. Diagramme pluviométrique de Gausse et Bagnouls:

On utilise cette méthode pour déterminer la période sèche et la période humide.

Pour Gausse et Bagnouls le climat sec est celui où la totalité des précipitations exprimé en (mm) est inférieur ou égale au double des températures moyennes ( $P \leq 2T \text{ c}^\circ$ ).

Cette relation permet d'établir un graphique pluviométrique sur lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations.





**Fig. 22:** Courbe Pluviothermique de la station de Chéria (1982 - 2014).

La superposition de la courbe de précipitation et la courbe de température mensuelle dans un même diagramme, nous conduisons à l'établissement d'un diagramme qu'on appelle Pluviothermique.

L'analyse de ce diagramme montre que:

- La période humide s'étend du mois novembre jusqu'au mois de mai.
- Les restes mois représentent la période sèche.

#### 6.4. Calcul de l'indice de l'aridité « I »:

L'indice de l'aridité (I) permet de terminer le type de climat en fonction de la précipitation moyenne annuelle P en (mm) et de la température moyenne annuelle T en C°.

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

Où:

P: Représente les précipitations moyennes annuelles;

T: Représente les températures moyennes annuelles.

Selon D. Marton les différents types des climats sont les suivants:

I	I = 5	5 < I < 7.5	7.5 < I < 10	10 < I < 20	20 < I < 30
Type de climat	hyperaride	désertique	steppique	Semi-aride	tempéré

**Tab. 13:** Type de climat selon de D. Marton.

Les résultats du calcul de l'indice d'aridité sont reportés dans le tableau suivant:

Station	P	T	I	Régime
Chéria	300.95	15.55	11.78	semi-aride

**Tab. 14:** Indice d'aridité de Martonne.

D'après cette classification la région d'étude est caractérisée par un climat de type semi-aride:  $I = 11.78$ .

### 6.5. Le diagramme d'Emberger:

Pour situer le climat de la région, on peut également utiliser le diagramme d'Emberger qui est un abaque comportant, en ordonnées les valeurs de  $Q_2$  données par la relation:

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}.$$

Avec:

-P: Moyenne annuelle des précipitations en mm.

-M: Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimées en degré absolu ( $K^{\circ}$ )

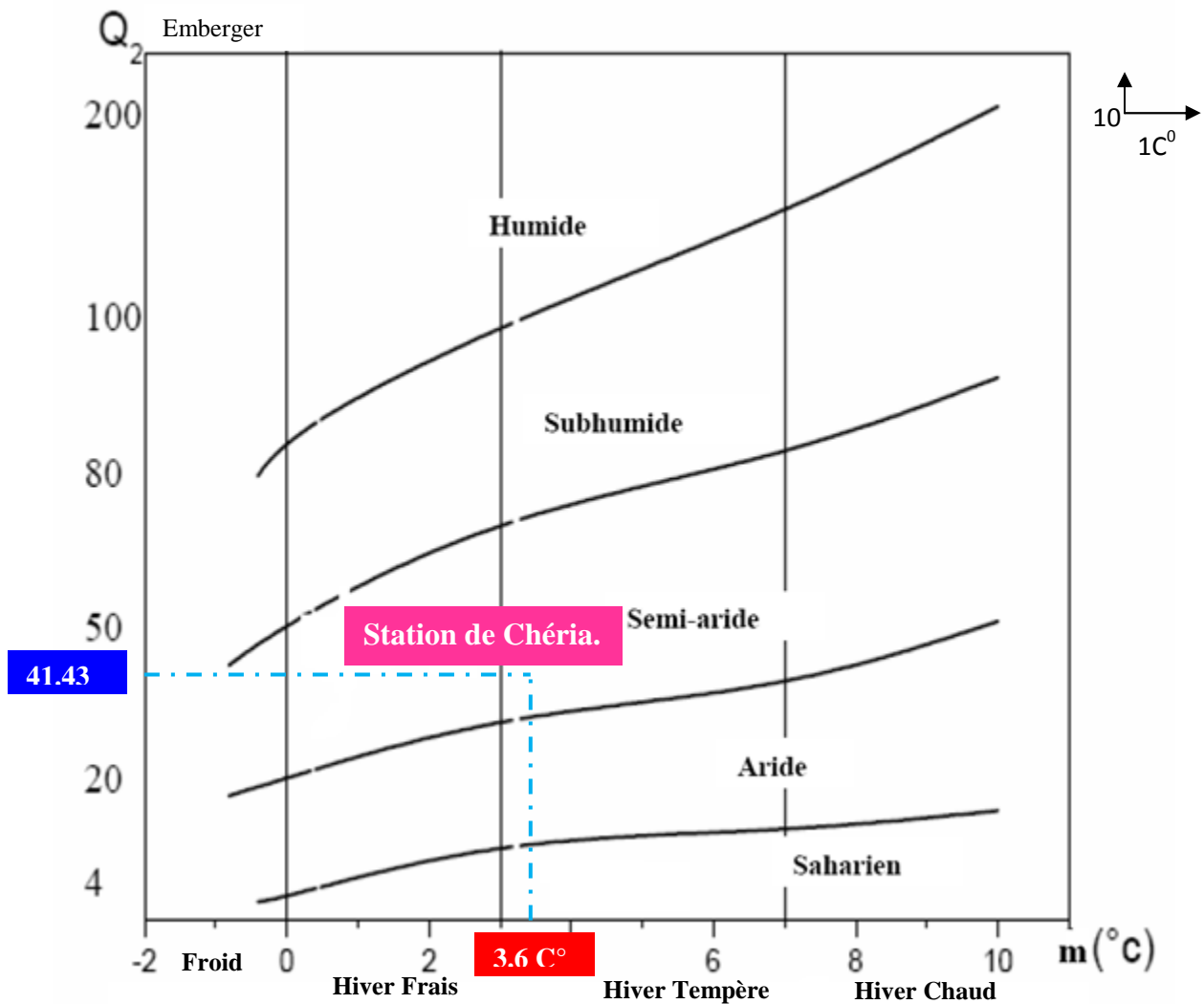
-m ; moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimée en degré absolu ( $K^{\circ}$ ). ( $T.K^{\circ} = T.c^{\circ} + 273.2$ ).

En abscisse la moyenne des minima de la saison froide (en  $c^{\circ}$ ).

Après calcul nous obtenons les résultats reportés dans le tableau suivant:

Station	P (mm)	M		m		$Q_2$
Chéria	300.95	28.7	301.9	3.6	276.8	41.43

**Tab. 15:** Différentes valeurs de  $Q_2$ .

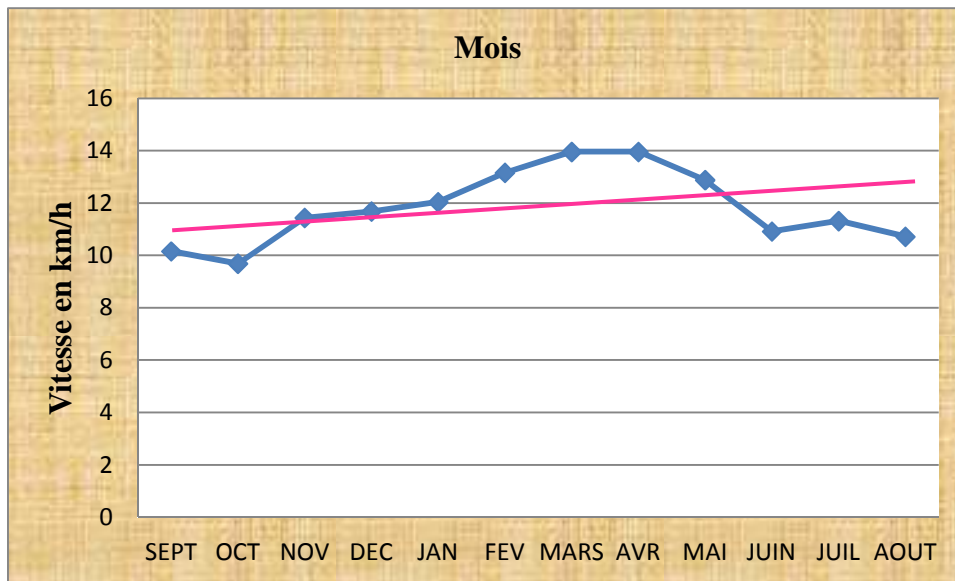


**Fig. 23:** Climagramme d'Emberger de la station de Chéria (1982 - 2014).

Suite à la représentation de ces valeurs sur le Climagramme de L. Emberger; nous constatons que la région de Chéria est une région semi-aride, et située dans la zone climatique hiver tempère.

#### 7. Vent:

Il atteint à des valeurs maximales à la saison printemps de l'ordre de 14 km/h, cependant il prend des valeurs minimales à la saison automne de l'ordre de 9 km/h, les résultats des vitesses de vent du plateau de Chéria pendant la période de 1982 à 2014 illustrés dans la figure suivante:

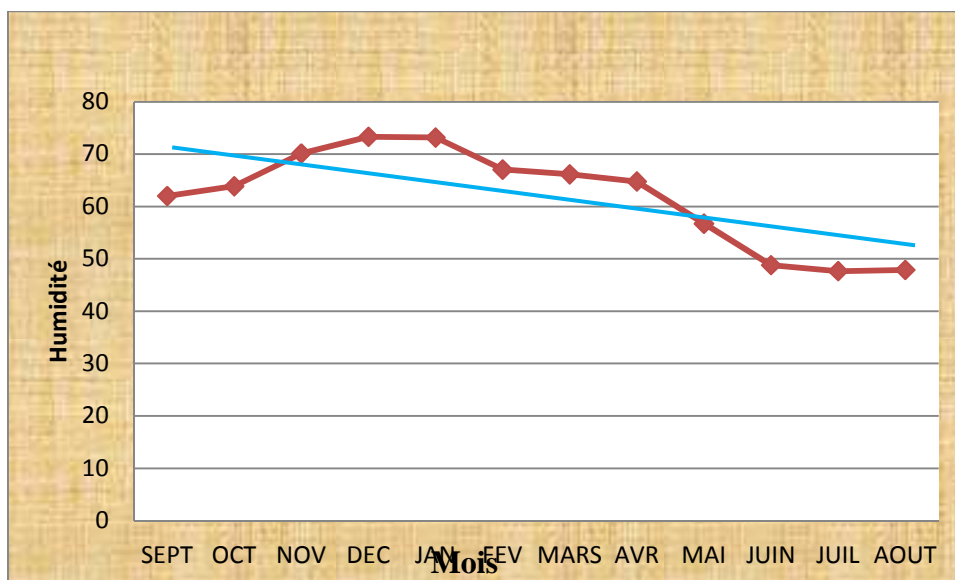


$$\text{Equation } Y = 0.10 * X + 11.15$$

**Fig. 24:** Vent mensuelle interannuelle de la station de Chéria (1982 - 2014).

### 8. Humidité:

La variation de l'humidité dépende aux plusieurs facteurs climatiques; température, précipitation, vitesse de vent, ...etc. Les valeurs d'humidité variée entre 75 et 40, la comparaison entre la courbe de vent et l'humidité montre que l'humidité elle variée proportionnellement inverse à le vent, cette relation est très favorable à la réalité.



$$\text{Equation } Y = -1.95 * X + 74.51$$

**Fig. 25:** Humidité mensuelle interannuelle de la station de Chéria (1982 - 2014).

## 9. Bilan hydrologique:

### 9.1. Le bilan hydraulique de l'Algérie:

Qui se divise approximativement en trois zones:

#### 9.1.1. La zone septentrionale:

D'une superficie de  $130000 \text{ km}^2$ , elle reçoit, en moyenne  $500 \text{ mm/an}$ , ou  $13 \times 10^{10} \times 0.5 = 65 \times 10^9 \text{ m}^3$  (65 milliards de  $\text{m}^3$ ). (Sari Ahmed; 2002).

#### 9.1.2. La zone des hauts plateaux:

D'une superficie de  $76000 \text{ km}^2$ , avec  $300 \text{ mm/an}$  en moyenne, ou  $76 \times 10^9 \times 0.3 = 22.8$  milliards de  $\text{m}^3$  (Sari Ahmed; 2002).

#### 9.1.3. La zone Sud Atlas:

D'une superficie de  $67000 \text{ km}^2$ , avec  $250 \text{ mm/an}$  ou  $67 \times 10^9 \times 0.25 = 16.75$  milliards de  $\text{m}^3$  (Sari Ahmed; 2002). Le bilan hydrique permet d'interpréter plus précisément la notion de sécheresse, cette dernière peut être reconnue quand les précipitations et les réserves d'eau du sol ne compensent pas la capacité élaboratrices et les besoins de la végétation qui représentent l'évapotranspiration potentielle.

## 10.Établissement du bilan hydrique:

L'établissement du bilan nous permet d'estimer la répartition des précipitations sur le terme suivant:

ETR: évapotranspiration réelle, R: ruissellement, I: infiltration, P: précipitation.

### 10.1. Etude de l'évapotranspiration (évaporation + transpiration):

L'évapotranspiration est la transformation de l'eau en vapeurs par un processus physique. Cette transformation se fait à partir de la fines pellicule d'eau recouvert les feuilles, les tiges et les branches, de toutes les plantes aussi qu'on partir du surface d'eau stagnantes ou mobile et des couches superficielle du sol.

### 10.2. Calcul l'évapotranspiration potentielle (ETP):

C'est une quantité d'eau pouvant être évaporé ou transpirer sur une surface donnée et pendant une période définie, en considérant que les apports en eau sont suffisants.

Il existe plusieurs formules empiriques pour calculer l'évapotranspiration potentielle, mais elles ne sont pas représentatives pour toutes les régions du monde, parce qu'elles doivent subir plusieurs corrections locales.

-Formule de Thornthwaite:

Cette formule est basé sur de nombreuse expérience effectué sur le terrain et avec des lucimètres elle exprimé en fonctions de la température mais à condition considéré du surfaces suffisamment étendue et des pas de temps assez long de l'ordre de la décade.

$$ETP = 16 \left( \frac{10 \times T}{I} \right)^a \times K \text{ (en mm)}$$

ETP: Évapotranspiration mensuelle corrigée; T: Température moyenne mensuelle (en °C);

a: Coefficient calculé par la formule:  $a = \left( \frac{1.6}{100} \right) I + 0.5$

I: Indice thermique annuelle,  $I = \sum i$

i: Indice thermique mensuel, déterminé par l'expression:  $i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514}$

EP : Évapotranspiration potentielle non corrigée, déterminée par l'expression:

$$EP = 16 \left( \frac{10 \times T}{I} \right)^a$$

K: Coefficient de correction qui dépend du temps, du mois et de l'altitude du lieu, par lequel, on doit multiplier les valeurs de l'ETP pour obtenir les valeurs corrigées.

**-Application:**

( $a = 1.66$ ,  $\sum I = 72.27$ )

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T	21.34	16.44	11.19	7.34	6.28	7.32	10.07	13.35	17.98	22.77	26.46	26.09
i	9.00	6.06	3.39	1.79	1.41	1.78	2.89	4.42	6.94	9.93	12.46	12.20
I	72.27	72.27	72.27	72.27	72.27	72.27	72.27	72.27	72.27	72.27	72.27	72.27
EP	96.55	62.62	33.06	16.42	12.67	16.34	27.75	44.32	72.65	107.53	137.97	134.78
K	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
ETP	99.45	62.62	33.06	16.42	12.67	16.34	27.75	44.32	72.65	107.53	137.97	134.78

**Tab. 16:** Calcul l'évapotranspiration potentielle.

### 10.3. Calcul l'évapotranspiration réelle (ETR):

L'évapotranspiration réelle est la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période donnée.

TURC a proposé une formule permettant d'évaluer directement l'évapotranspiration réelle à partir de la hauteur annuelle de la pluie et de la température moyenne annuelle, la formule est exprimée de la manière suivante:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)}}$$

Avec:

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3;$$

P: Précipitation moyenne mensuelle interannuelle (en mm);

T: Température moyenne annuelle (en °C);

ETR: Évapotranspiration réelle (en mm).

#### -Application:

$$L = 300 + 25 \times 15.55 + 0.05 \times 3760.028.$$

L= 876.75, P = 25.08 mm. Donc aura ETR = 26.68 mm

D'après monsieur A. COUTAGNE, une formule empirique permettant de calculer l'ETR:

$$ETR = P - \lambda.P^2.$$

Avec:

-P: Précipitation moyenne mensuelle interannuelle (m):  $\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14T}$ .

-T: Température moyenne annuelle en (C°).

Cette formule n'est applicable qu'à la condition:  $\frac{1}{8\lambda} \leq P \leq \frac{1}{2\lambda}$ .

Application:  $\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14(15.55)} = 0,33$

On a:  $\frac{1}{2\lambda} = \frac{1}{2.0,33} = 1,51$ , et  $\frac{1}{8\lambda} = \frac{1}{8.0,33} = 0,37$

$\frac{1}{8\lambda} \leq P \leq \frac{1}{2\lambda}$ .  $\Leftrightarrow 0,37 \leq 0,2508m \leq 1,51$ : Donc la formule de C. COUTAGNE est applicable.

$$ETR = P - \lambda.P^2 = 0.2508 - 0.33 \times \{0.2508\}^2 = 0.23m = 230mm$$

Donc, ETR = 230mm soit 81.54 % du moyenne des précipitations annuelles ( $P = 282.04mm$ )

#### 10.4. Calcul de réserve facilement utilisable (RFU):

C'est la quantité d'eau absorbée par le sol, est dépend d'une part par la nature du sol (degré de saturation) et d'autre part par la couverture végétale, elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol donnée par la formule de J. Richard; 1970.

$$RFU = \left(\frac{1}{3}\right) Da \times He \times P$$

$Da$ : Densité apparente du sol,  $He$ : capacité de retentions en %

$P$ : Profondeur de la terre parcourue par les racines

$$Da = 14, He = 0.25, P = 25mm. \text{ Avec: } RFU = \frac{1}{3}(14 \times 0.25 \times 25) = 29mm$$

#### 10.5. Calcul de ruissellement R:

Le ruissellement est l'écoulement instant temporaire des eaux sur un versant à la suite des averses.



Le ruissellement apparaît dès que l'intensité d'une pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration du sol. Il est nettement plus élevé sur sol nu que sous cultures. Les plus faibles ruissellements proviennent des pluies tombantes après une période sèche. Par contre, les ruissellements et les pertes en terres les plus élevées ont eu lieu à une époque où le sol est déjà très humide et dans le cas de pluies exceptionnelles et des orages d'automne et de printemps.

Ces seuils de hauteur dépendent en partie des caractéristiques des pluies (intensité, mais aussi du volume de pluie tombant après saturation du sol) et surtout de l'état de surface du sol (plus le sol est dégradé plus le ruissellement est rapide).

La loi de TIXERON - BERKALOFF (1960), nous permet d'estimer le ruissellement à partir des précipitations moyennes annuelles et de l'ETP, calculée selon THORNTHWAITE.

Elle concerne surtout les régions ayant un climat aride et semi-aride.

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Où: R: Ruissellement annuelle en mm; P: Précipitation moyenne annuelle;

ETP: Évapotranspiration annuelle en mm, calculée par THORNTHWAITE.

#### **-Application:**

$P = 282.04mm$ ,  $ETP = 765.56mm$ . Donc,  $R = 12.49mm$  soit 4.43 % des précipitations annuelles.

#### **10.6. Calcul de l'infiltration:**

Tous les sols sont plus ou moins perméables. Le coefficient de perméabilité qui représente la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol dépend essentiellement de la porosité du sol.

Pour un sol homogène initialement non saturé, la surface du sol présente une certaine infiltrabilité définie comme le flux maximum qu'elle peut absorber lorsqu'elle est maintenue en contact avec l'eau et la pression atmosphérique. Au cours du temps cette baisse par l'action de la compaction des sols, que ce soit sous l'action des agents climatiques ou par l'action de l'homme, conduit à une réduction de la porosité et donc de la conductivité hydraulique. La diminution de la capacité d'infiltration constitue ainsi un facteur défavorable générateur de ruissellement et de transport de sédiments.

En revanche, cette même diminution de l'infiltration joue un rôle positif contre l'érosion puisqu'elle renforce la résistance au cisaillement des sols.

Pour calcul l'infiltration on applique la formule suivante:

$$P = ETR + R + I ; I = P - (ETR + R), \text{ ETR: Calculée suivant la formule d'après monsieur A.}$$

COUTAGNE (ETR = 230 mm).

#### -Application:

$I = 39.55\text{mm}$ , soit 14.04 % des précipitations annuelles.

Tous les paramètres climatiques calculés illustrés dans le tableau suivant:

**-Vérification:**  $P = ETR + R + I = 81.54 \% + 14.04 \% + 4.43 \% = 100.01 \%$ ; c'est - à - dire l'ensemble de ETR, R, I annuelles égale la moyenne des précipitations annuelles.

Mois	Paramètres climatiques calculés												
	T	i	I	a	EP	K	P	ETP	P-ETP	RFU	ETR	EX	DA
Sep	21.34	9	72.27	1.66	96.55	1.03	36.2	99.45	-63.25	0	36.2	0	63.25
Oct	16.44	6.06	72.27	1.66	62.62	0.97	26.68	62.62	-35.94	0	26.68	0	35.94
Nov	11.19	3.39	72.27	1.66	3.39	0.86	23.67	33.06	-9.39	0	23.67	0	9.39
Déc	7.34	1.79	72.27	1.66	1.79	0.85	19.87	16.42	3.45	3.45	16.42	0	0
Jan	6.28	1.41	72.27	1.66	1.41	0.87	23.11	12.67	10.44	13.89	12.67	0	0
Fév	7.32	1.78	72.27	1.66	1.78	0.85	17.11	16.34	0.77	14.66	16.34	0	0
Mar	10.07	2.89	72.27	1.66	2.89	1.03	29.4	27.75	1.65	16.31	27.75	0	0
Avr	13.35	4.42	72.27	1.66	4.42	1.09	27.08	44.32	-17.24	0	43.39	0	0.93
Mai	17.98	6.94	72.27	1.66	6.94	1.21	41.02	72.65	-31.63	0	41.02	0	31.63
Jui	22.77	9.93	72.27	1.66	9.93	1.21	22.84	107.53	-84.69	0	22.84	0	84.69
Juil.	26.46	12.46	72.27	1.66	12.46	1.23	11.73	137.97	-126.24	0	11.73	0	126.24
Aou	26.09	12.2	72.27	1.66	12.2	1.16	20.2	134.78	-114.58	0	20.2	0	114.58
Total	-	-	-	-	-	-	298.91	765.56	-	-	298.91	0	466.65

**Tab. 17:** Bilan hydrique de la station de Chéria (1982 - 2014).

#### -Vérification:

$$P = \sum ETR + \sum EX = 298.91 + 0 = 298.91\text{mm}; \text{ vérifiée.}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA = 298.91 + 466.65 = 765.56\text{mm}; \text{ vérifiée.}$$

Mois	Paramètres climatiques calculés												
	T	i	I	a	EP	K	P	ETP	P-ETP	RFU	ETR	EX	DA
Sep	20.3	8.34	62.70	1.5	93.21	1.03	20.80	96.02	-75.21	0	20.80	0	75.21
Oct	20	8.16	62.70	1.5	91.15	0.97	4.80	88.42	-83.62	0	4.80	0	83.62
Nov	9.7	2.73	62.70	1.5	30.79	0.86	29.50	26.48	3.02	3.02	26.48	0	0
Déc	7.6	1.88	62.70	1.5	21.35	0.85	10.20	18.15	-7.95	0	13.22	0	4.93
Jan	6.4	1.45	62.70	1.5	16.50	0.87	4.80	14.36	-9.56	0	4.80	0	9.56
Fév	10.7	2.48	62.70	1.5	27.98	0.85	9.50	23.78	-14.28	0	9.50	0	14.28
Mar	12.3	3.16	62.70	1.5	35.67	1.03	8.00	36.74	-28.74	0	8.00	0	28.74
Avr	12.3	3.91	62.70	1.5	43.96	1.09	4.80	47.93	-43.12	0	4.80	0	43.12
Mai	15.4	5.49	62.70	1.5	61.59	1.21	4.80	74.52	-69.72	0	4.80	0	69.72
Jui	21.90	9.36	62.70	1.5	104.44	1.21	4.80	126.38	-121.58	0	4.80	0	121.58
Juil.	25.7	11.92	62.70	1.5	132.78	1.23	4.80	163.31	-158.51	0	4.80	0	158.51
Aou	26.5	12.49	62.70	1.5	139.02	1.16	7.10	161.27	-154.17	0	7.10	0	154.17
Total	-	-	-	-	-	-	113.90	877.34	-		113.9	0	763.44

**Tab. 18:** Bilan hydrique pour l'année plus sèche de la Station de Chéria (2004).

**-Vérification:**

$$P = \sum ETR + \sum EXE = 113.9 + 0 = 113.9mm ; \text{vérifiée.}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA = 113.9 + 763.44 = 877.34mm ; \text{vérifiée.}$$

Mois	Paramètres climatiques calculés												
	T	i	I	a	EP	K	P	ETP	P-ETP	RFU	ETR	EX	DA
Sep	20.63	8.55	51.66	1.32	99.52	1.03	42.70	102.50	-59.80	0	42.70	0	59.80
Oct	15.43	5.51	51.66	1.32	67.83	0.97	46.20	65.79	-19.59	0	46.20	0	19.59
Nov	10.4	3.03	51.66	1.32	40.29	0.86	49.00	34.65	14.35	14.35	34.65	0.00	0.00
Déc	5.6	1.19	51.66	1.32	17.80	0.85	33.90	15.13	18.77	29	15.14	4.12	0.00
Jan	6.8	1.59	51.66	1.32	23.00	0.87	12.00	20.01	-8.01	20.99	12.00	0	8.01
Fév	6.47	1.48	51.66	1.32	21.54	0.85	65.00	18.30	46.70	29	18.30	38.69	0.00
Mar	6.47	1.48	51.66	1.32	21.54	1.03	24.40	22.18	2.22	29	22.18	2.22	0.00
Avr	12.03	3.78	51.66	1.32	48.83	1.09	100.00	53.23	46.77	29	53.23	46.77	0.00
Mai	15.53	5.56	51.66	1.32	68.41	1.21	50.50	82.77	-32.27	0	50.50	0	32.27
Jui	21.83	9.31	51.66	1.32	107.23	1.21	2.90	129.75	-126.85	0	2.90	0	126.85
Juil.	26.46	2.56	51.66	1.32	88.75	1.23	23.30	137.97	-114.67	0	23.30	0	114.67
Aou	25.33	0.36	51.66	1.32	130.48	1.16	40.80	151.36	-110.56	0	40.80	0	110.56
Total	-	-	-	-	-	-	490.70	833.64	-		361.90	<b>90.8</b>	471.75

**Tab. 19:** Bilan hydrique pour l'année plus humide de la station de Chéria (2014).

**-Vérification:**

$$P = \sum ETR + \sum EX = 361.9 + 128.8 = 490.70mm ; \text{vérifiée.}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA = 361.90 + 471.75 = 833.65mm ; \text{vérifiée.}$$

Mois	Paramètres climatiques calculés												
	T	i	I	a	EP	K	P	ETP	P-ETP	RFU	ETR	EX	DA
Sep	20.92	8.73	71.15	1.64	93.79	1.03	40.64	96.60	-55.96	0	40.64	0.00	55.96
Oct	15.87	5.75	71.15	1.64	59.61	0.97	23.40	57.83	-34.43	0	23.40	0.00	34.43
Nov	10.90	3.25	71.15	1.64	32.21	0.86	39.92	27.70	12.22	12.22	27.70	0.00	0
Déc	6.95	1.65	71.15	1.64	15.40	0.85	20.62	13.09	7.53	19.75	13.09	0.00	0
Jan	7.30	1.77	71.15	1.64	16.69	0.87	39.04	14.52	24.52	29	14.52	15.27	0
Fév	8.03	2.05	71.15	1.64	19.52	0.85	24.42	16.60	7.82	29	16.60	7.82	0
Mar	11.00	3.30	71.15	1.64	32.69	1.03	31.34	33.67	-2.33	26.67	33.67	0.00	0
Avr	13.72	4.61	71.15	1.64	46.95	1.09	61.20	51.18	10.02	29	51.18	7.69	0
Mai	16.22	5.94	71.15	1.64	61.79	1.21	67.84	74.76	-6.92	22.08	74.76	0.00	0
Jui	22.67	9.86	71.15	1.64	107.00	1.21	19.00	129.47	-110.47	0	41.08	0.00	88.39
Juil.	26.00	12.13	71.15	1.64	134.00	1.23	15.76	164.82	-149.06	0	15.76	0.00	149.06
Aou	25.97	12.11	71.15	1.64	133.72	1.16	22.50	155.11	-132.61	0	22.50	0.00	132.61
Total	-	-	-	-	-	-	405.68	835.35	-		374.9	30.78	460.45

**Tab. 20:** Bilan hydrique pour les cinq dernières d'années de la station de Chéria. (2010 - 2014).

**-Vérification:**

$$P = \sum ETR + \sum EX = 374.9 + 30.78 = 405.68mm ; \text{vérifiée.}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA = 374.49 + 460.45 = 835.35mm ; \text{vérifiée.}$$

**11. Interprétation des bilans hydriques:**

Généralement les mois déficitaires dépassent largement celles excédentaires et les moyennes des précipitations mensuelles sont calculées sur tous les jours du mois (jour pluvieux ou pas). L'analyse des bilans hydriques de la station de Chéria montre que:

-Pour les années de 1982 à 2014, la hauteur des précipitations est de 298.91 mm; atteint leur maximum en mois de mai (41.02 mm) où l'ETP atteint en juillet (137.97 mm) le minimum 16.34 mm en mois de février. Par ailleurs ETR est de l'ordre 298.91 mm ainsi que l'excédent est nul qui représente respectivement 100 % et 0 % des précipitations. Pour l'excédent il

n'apparaît plus pendant tous les mois. Ce qui explique l'influence de l'évapotranspiration sur la région d'étude, notamment le déficit agricole.

-Pour l'année plus sèche de la station de Chéria (2004), la hauteur des précipitations est de 113.90 mm; atteint leur maximum en mois de novembre (29.50 mm) où l'ETP atteint en juillet (163.31 mm), avec le minimum 14.36 mm en mois de janvier. Par ailleurs ETR est de l'ordre 113.9 mm ainsi que l'excédent est nul; pour tous les mois, qui représente respectivement 100% et 0% des précipitations. Ce qui explique l'influence de l'évapotranspiration et la sécheresse qui affect la région d'étude.

-Pour l'année plus humide de la station de Chéria (2014), la hauteur des précipitations est de 490.70 mm; atteint leur maximum en mois de avril (100 mm) où l'ETP atteint en août (151.36 mm) avec le minimum 15.13 mm en mois de décembre. Par ailleurs ETR est de l'ordre 361.90 mm ainsi que l'excédent est de l'ordre de **90.8** mm qui représente respectivement 73.75 % et **18.50** % des précipitations, notamment le déficit agricole moyen de l'ordre de 471.75 mm.

-Pour les cinq dernières d'années de la station de Chéria. (2010 - 2014), la hauteur des précipitations est de 405.68 mm; atteint leur maximum en mois de mai (67.84 mm) où l'ETP atteint en juillet (164.82 mm) avec le minimum 13.09 mm en mois de décembre. Par ailleurs ETR est de l'ordre 374.9 mm ainsi que l'excédent est de l'ordre 30.78 mm qui représente respectivement 92.41 % et 7.58 % des précipitations, cependant que le déficit agricole moyen est de l'ordre 460.45 mm.

## 12. Conclusion:

Le contrôle des données de précipitation pour chaque station par les deux tests de Student et Fischer conduit à remarquer le bon fonctionnement des stations; Chéria, Tébessa et Ain Babouche puisque les données obtenues à partir lesquelles sont homogènes, cependant les données des autres stations contiennent des erreurs qu'on doit les corriger jusqu'à ce qu'ils deviennent homogènes.

Le climat de la région est semi-aride, avec un été chaud et sec prolongé et un hiver froid; ( $Q_2 = 41.43$ ; représentée sur diagramme d'Emberger).

Les calculs du bilan hydrique en utilisant la méthode de Thorntwaite montre que les bilans globaux sont généralement déficitaires.

## **B. Hydrologie:**

### **1. Introduction:**

Le régime hydrographique du plateau de Chéria est très différent au nord de ce qu'il est au sud. Au nord les oueds convergent des bordures vers la cuvette avec un nombre important des talwegs.

Le bassin versant a une fonction de collecteur, il recueille les pluies et la transformation est fonction des conditions climatiques et des caractéristiques physiques du bassin versant.

Ces caractéristiques sont:

-Morphologiques: forme, relief, réseau de drainage.

-Superficielles: nature du sol et couverture végétale.

### **2. Les caractéristiques de forme:**

Les principaux paramètres sont:

-Indice de compacité; -Relief: Caractérisé par la courbe hypsométrique; -Indice de pente

#### **2.1. Superficie du bassin versant:**

Sur une carte à l'échelle topographique 1/250000, et par planimétrage; la superficie du bassin de Chéria est de l'ordre de 810 km<sup>2</sup>.

#### **2.2. Périmètre du bassin versant:**

Selon le résultat qui donné par le curvimètre après le curvimétrage du bassin de Chéria; le périmètre de ce bassin est 136 km.

#### **2.3. L'indice de compacité:**

Le contour d'un bassin versant en serré une superficie (S) qui a une certaine forme, laquelle va avoir une influence sur l'écoulement global et sur l'allure de l'hydrogramme résultante d'une pluie donnée. Si  $K_c < 1$ : Implique que le bassin versant a une forme ramassés.

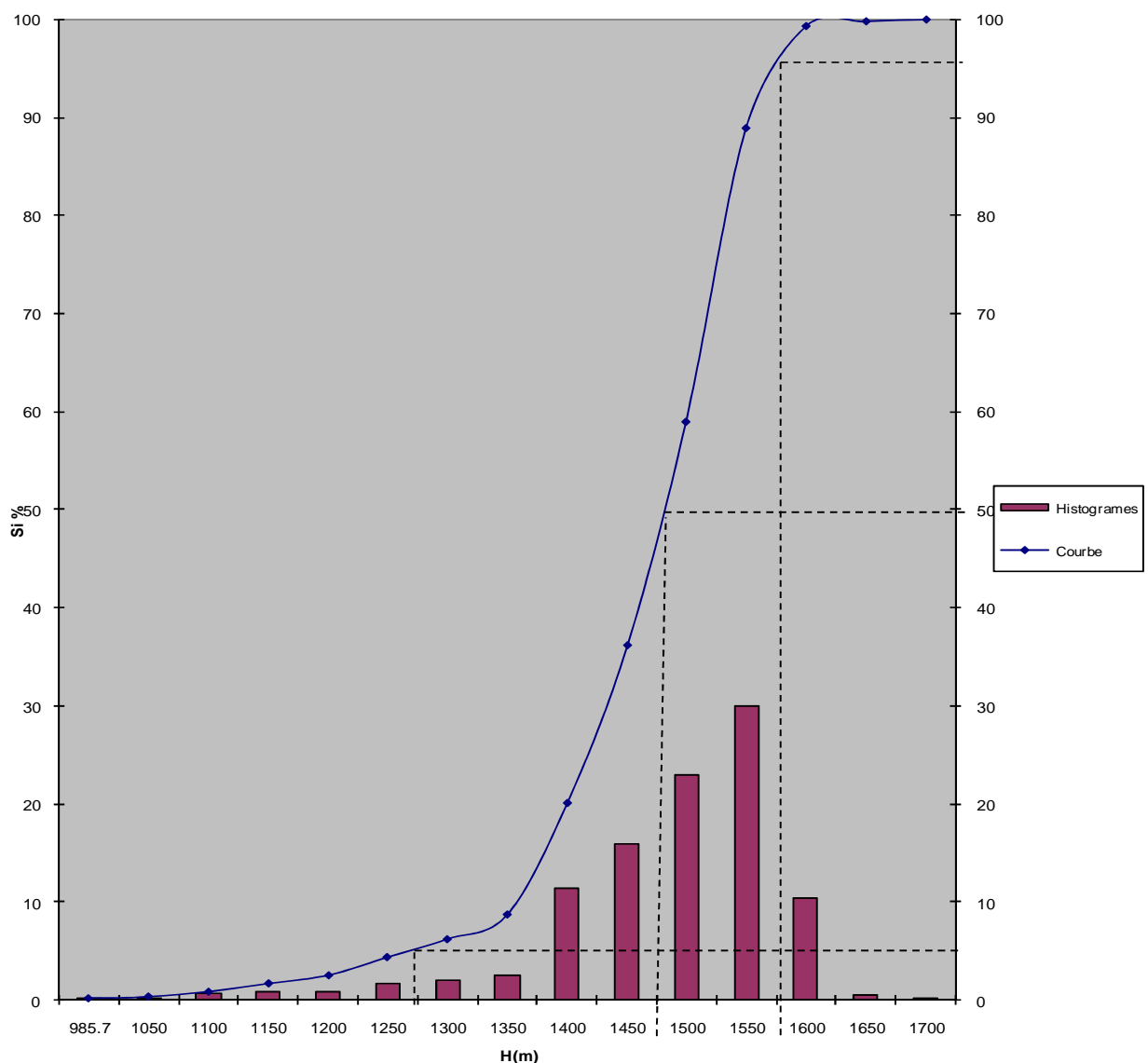
-Si  $K_c > 1$ : Implique que le bassin versant a une forme étalée.

$$\text{Donc: } K_c = \left( \frac{P}{\sqrt{S}} \right) * 0.282$$

$= \left( \frac{136}{\sqrt{810}} \right) * 0.282 = 1.34$  . Alors:  $K_c > 1$ ; c'est-à-dire le bassin versant de Chéria à une forme généralement étalée.

#### 2.4. Courbe hypsométrique:

Cette courbe est obtenue en portant: en abscisses, l'altitude considérée en ordonnées, la surface partielle du bassin versant pour laquelle chaque point a une cote au moins égale à cette altitude.



**Fig. 26:** Courbe hypsométrique et des fréquences altimétriques.

A partir de cette courbe, on détermine:

-Altitude à 5 % de la surface,  $H_5 = 1275m$  ; -Altitude à 50 %,  $H_{50} = 1475m$  ; -Altitude à 95 % de la surface,  $H_{95} = 1575m$  ;

L'altitude du bassin versant de Chéria varie entre 985.70 m et 1712 m.

Altitude de l'intervalle en (m)	Surface partielles		Surface cumulées		Largeur de l'intervalle en (m)
	Si en (km <sup>2</sup> )	Si en %	∑Si en (km <sup>2</sup> )	∑Si en %	
1700-1650	1.05	0.13	1.05	0.131	68.37
1650-1600	0.95	0.12	2.02	0.25	61.86
1600-1550	5.21	0.64	7.23	0.89	339.25
1550-1500	6.32	0.78	13.55	1.69	411.53
1500-1450	7.11	0.88	20.66	2.55	462.98
1450-1400	14.15	1.75	34.81	4.30	921.40
1400-1350	15.62	1.93	50.43	6.23	1017.12
1350-1300	20.07	2.48	70.30	8.71	1306.89
1300-1250	92.87	11.46	163.37	20.17	6047.40
1250-1200	129.12	15.94	292.49	36.12	8407.89
1200-1150	185.33	22.88	477.82	59.00	12068.11
1150-1100	242.94	30.00	720.72	89.00	15819.49
1100-1050	84.07	10.37	804.83	99.37	5474.37
1050-1000	3.80	0.47	808.63	99.84	247.44
1000-985.7	1.37	0.17	810.00	100	89.21

**Tab. 21:** Répartition de différente tranche d'altitude.

### 3. Rectangle équivalent:

Il s'agit d'une transformation purement géométrique dans laquelle.

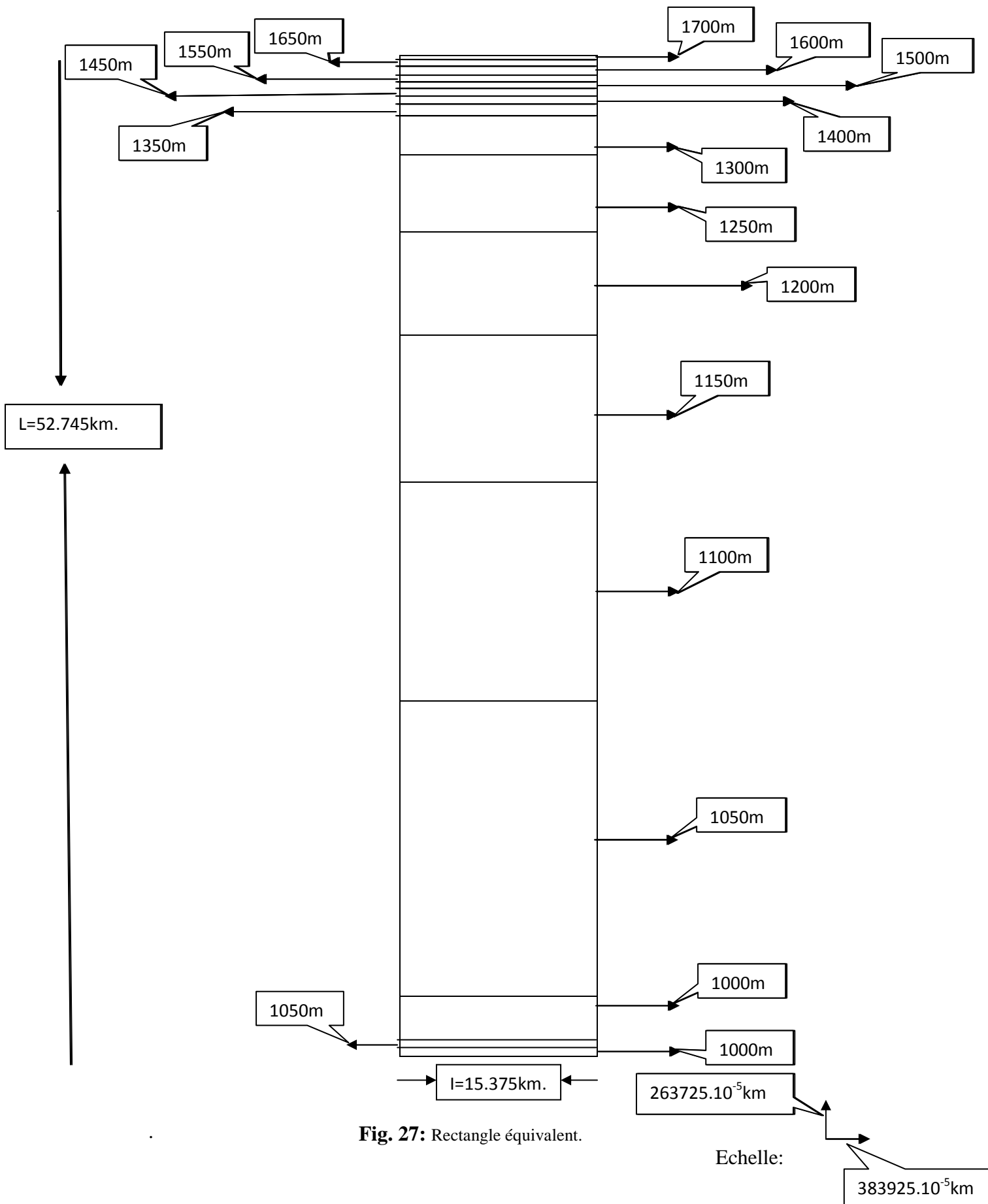
- Le contour du bassin devient un rectangle de même périmètre.
- Les courbes de niveau sont des droites parallèles à la largeur du rectangle.
- L'exutoire est des petits cotés du rectangle.

La longueur L et la largeur I sont données par:

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] ; \quad I = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Donc on aura: L = 52,745 km; I = 15,357 km





**Fig. 27:** Rectangle équivalent.

Echelle:

$383925 \cdot 10^{-5} \text{ km}$

#### 4. Les altitudes caractéristiques:

Les altitudes caractéristiques nécessaires pour les calculs hydrologiques sont:

##### 4.1. Altitude moyenne:

Elle est obtenue par l'expression suivante:

$$H_{\max} = \sum \frac{V}{S}; \text{ sachant que: } V = \left[ \frac{(h1+h2)}{2} \right] \times Si = H_{\text{moyenne}} \times Si. \text{ Donc: } H_{\text{moyenne}} = 1189.11m$$

##### 4.2. Altitude médium:

L'altitude médium correspond au point d'abscisse  $\left(\frac{S}{2}\right)$  de la courbe hypsométrique, pour notre bassin  $h_{\text{méd}} = 1165m$

##### 4.3. Altitude maximale et altitude minimale:

L'altitude du bassin versant varie entre  $985.70m$  et  $1712m$

#### 5. Les indices de pente:

##### 5.1. Indice de pente de M<sup>r</sup> Roche:

$$\text{L'indice de pente de M}^r \text{ Roche est définie par: } IP = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{b_i (a_i - a_{i-1})}$$

Où  $L$  et  $a_i$  sont exprimés en mètres et  $b_i$  est la surface de bassin versant (en %), comprise entre  $a_i$  et  $a_{i-1}$ . Ainsi, l'indice de pente du bassin versant de Chéria est:

$$IP = 0.00435 \times 207.6337 = 0.9036. \text{ Alors: } IP = 0.9036$$

##### 5.2. Indice de pente globale:

$Ig = \frac{\Delta}{L_r}$ ; où  $\Delta$  est dénivelée totale. Mais en réalité, on prend:  $\Delta = H_{95} - H_5$ , pour notre bassin

$$\text{versant, on a donc: } Ig = \frac{285}{52.745} = 5.40m / km,$$

Les zones montagneuses sont situées sur le contour, elles sont caractérisées par un relief très accidenté, où les pentes varient entre 12.5 %, et 40 % s'étalent au 30 % dans notre bassin versant.

### 5.3. Indice de pente moyenne:

$$I_m = \frac{\Delta H}{L_r} = \frac{(H_{\max} - H_{\min})}{L_r} . \text{ OÙ } I_m = \frac{(1712 - 985.7)}{52.745} = \frac{726.5}{52.745} = 13.77 \text{ m / km} .$$

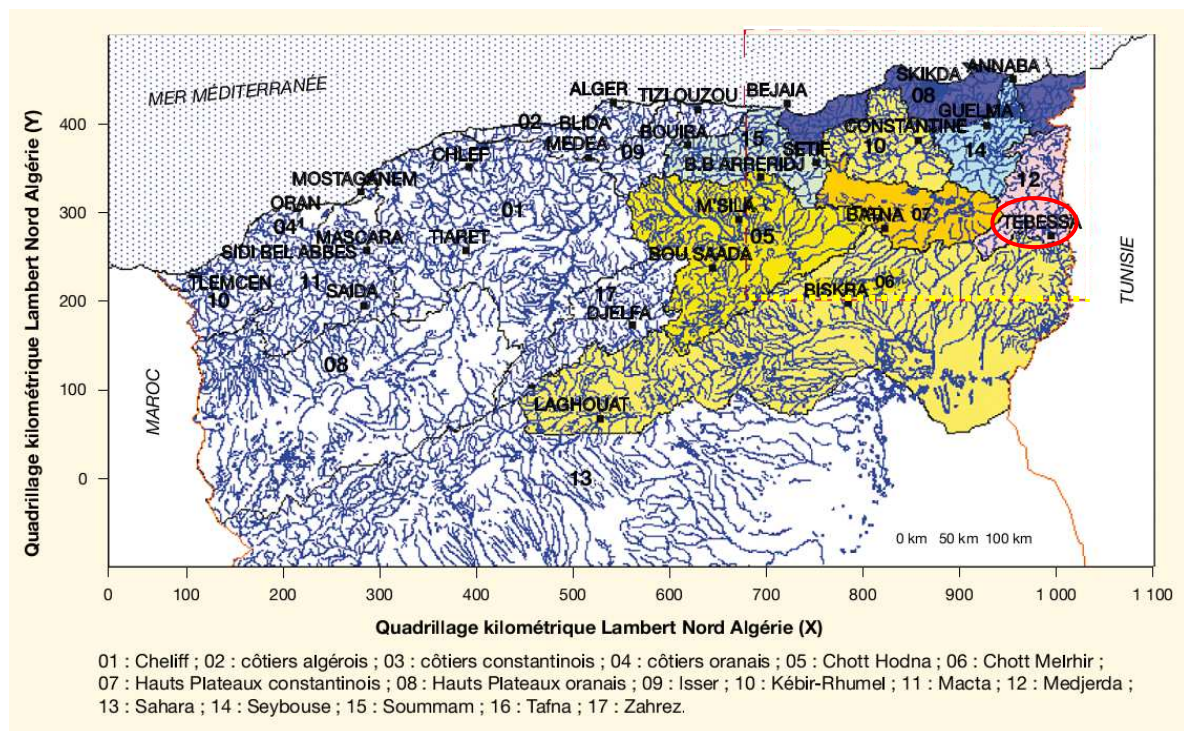
### 5.4. Dénivelée spécifique D<sub>s</sub>:

Elle est exprimée par la relation suivante:  $D_s = I_g \sqrt{S} = 5.4 \sqrt{810} = 153.68$

La dénivelée spécifique permet d'utiliser la classification de l'O.S.T.O.M qui permet définir les différents types de relief des bassins versants quelque soient leurs superficies (Annexe: Tab.1). D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M; notre bassin versant présente un relief assez fort (R<sub>s</sub>), car:  $100 \text{ m} < D_s < 250 \text{ m}$ .

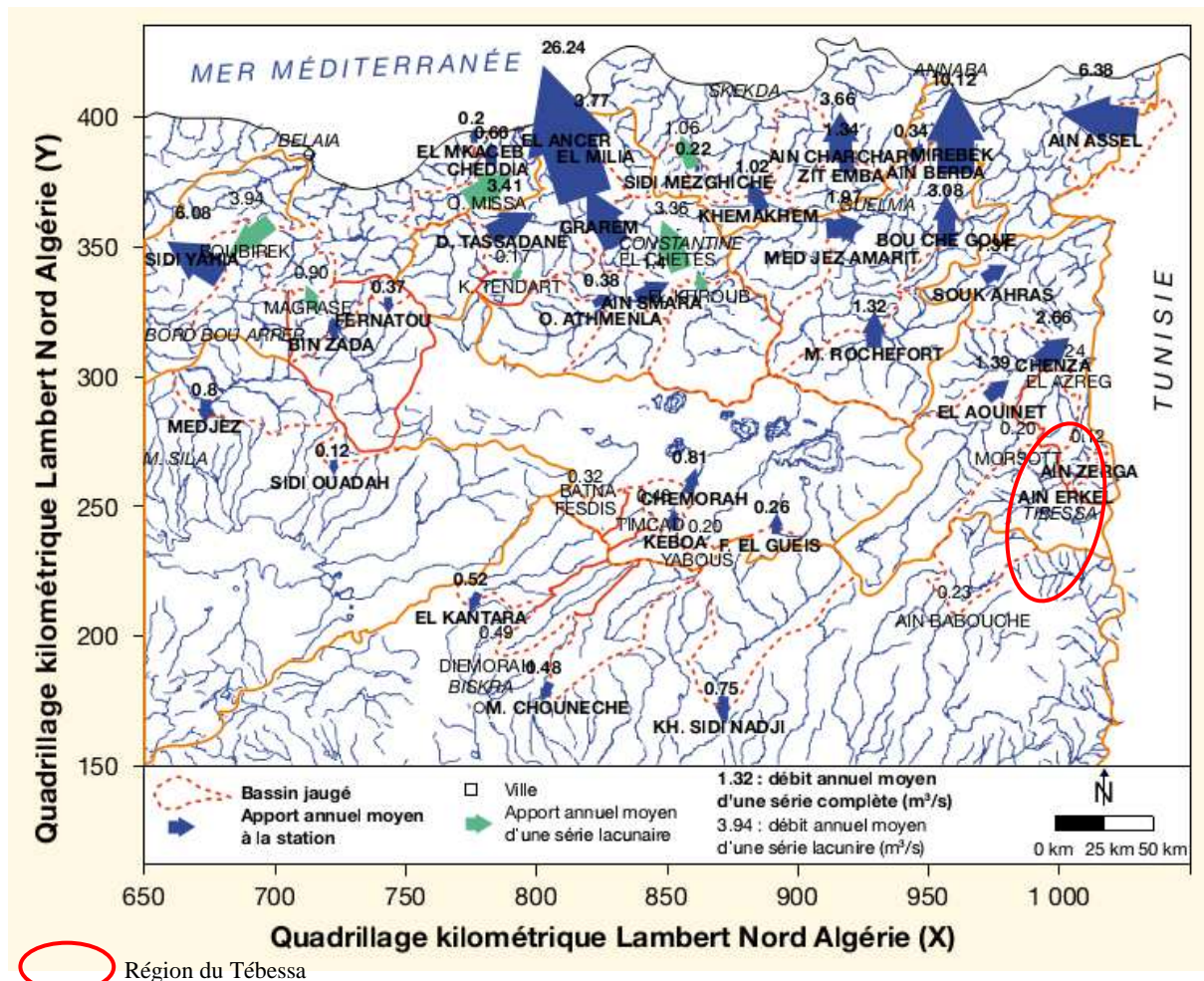
## 6. Le réseau hydrographique:

L'Algérie orientale, au climat semi-aride très contrasté, est drainée par deux systèmes hydrographiques opposés du nord au sud: Oueds tributaires de la mer méditerranéenne et oueds reliés aux dépressions fermées de l'intérieur.



○ Région du Tébessa

**Fig. 28:** Bassins hydrographiques de l'Algérie (bassins de l'Est algérien). (Mebarki A; 2010)



**Fig. 29:** Apports annuels moyens des bassins jaugés de l'Est algérien (1972 - 1973 - 1983 - 1984). (Mebarki A; 2010)

C'est l'ensemble des canaux naturels (permanent ou temporaire) par lequel s'écoulent toute les eaux (ruissellement de neige...etc.) et convergent tous on un seul point de vidange du bassin versant (exutoire), le plateau de Chéria présente un régime hydraulique qui est très diffèrent au nord de ce qu'il est au sud.

Au nord, les oueds convergent vers le centre du plateau et autour de lui, le nombre des ravins et des talwegs est important, sur les flancs inclinés des montagnes et à leurs pieds se perdant la plus part des oueds dans les alluvions.

En divisant le système hydrographique en deux, on trouve que celui du nord est constitué de deux oueds et leurs affluents. Ils collectent les eaux des pluies et les drainent jusqu'au centre du bassin dans sa partie nord. IL s'agit de oued Blilia qui prend naissance à Dj.Tazbent et étant sa vallée en direction NE - SW jusqu'à la route nationale reliant Chéria Youkkous.



Le deuxième c'est oued Troubia qui part des Dj. Troubia et se perd dans la plaine de Bir Djelmda après un parcours de 15 Km quelque réapparition des lits de ces oueds montrent une continuité d'écoulement jusqu'à Chéria en période des grandes crues.

Le second système hydrographique est présente par oued Chéria encadre par deux vallées affluentes importantes. A l'oued Allouchette et l'est oued Tebaga.

En fait au sud de Chéria; il n'y a pas à proprement parler de bassin, oued Chéria se présent à cet effet comme canal d'évacuation jusqu'à la plaine d'Outa-Oum Khaled provoquent ainsi des marécages.

Le réseau hydrographique est caractérisé par les paramètres usuels:

- La densité de drainage ( $D_d$ )
- Le coefficient de torrencialité ( $C_t$ )
- Temps de concentration ( $T_c$ )

### 6.1. La densité de drainage:

La densité de drainage est étroitement dépendante de deux facteurs principaux:

La lithologie et l'abondance des précipitations, elle permet d'apprécier le réseau hydrographique dans le bassin versant les morphologies l'appellent densité de talweg. Elle correspond à la dissociation du relief. Elle est définie par l'équation:

$$D_d = \sum L_x / S \text{ (Km/ Km}^2\text{)}.$$

$L_x$ : Longueur totale cumulée des cours d'eau d'ordre (x).

S: Superficie du bassin versant ( $\text{Km}^2$ )

#### -Application numérique:

$$\sum L = 1989 \text{ Km}$$

$$S = 810 \text{ Km}^2$$

$$\Leftrightarrow D_d = 2.46 \text{ Km /Km}^2$$

Au nord du bassin, les oueds convergent vers le centre du plateau et autour de lui la densité de drainage est importante, au centre du plateau la plus part des oueds se perdaient. Dans les réapparitions des lits de ces oueds montrent une continuité d'écoulement jusqu'à la ville de Chéria en période des grandes crues, donc une densité de talweg faible.

## 6.2. Coefficient de torrentialité:

Qui tient compte à la fois de la densité des talwegs élémentaires (ordre 1) par la densité de drainage met en évidence le caractère torrentiel d'un chevelu hydrographique:

$$C_t = F_1 * D_d$$

Où :

$F_1$ : Fréquence de chevelu hydrographique d'ordre 1 dans le bassin versant avec

$$F_1 = [N_1 / S]$$

$N_1$ : Nombre de talweg d'ordre 1.

$S$ : La surface du bassin versant.

$$\Rightarrow N_1 = 3847, F_1 = 4.75, C_t = 11.685$$

La valeur du coefficient de torrentialité est grande ce qui montre que l'écoulement dans les talwegs d'ordre 1 est de grande torrentialité cette valeur est due à la forte pente qui caractérise les talwegs du bassin surtout dans la partie nord de ce bassin versant.

## 6.3. Temps de concentration:

C'est le temps mis par une particule d'eau tombée sur le point le plus éloigné du bassin versant pour arriver à l'exutoire.

Bien que ce paramètre intervienne pour l'étude de crues ou les formules utilisées ne sont pas absolus, le temps de concentration par la formule de Giandotti est largement utilisé comme paramètre hydrologique de grande importance qui sert aussi à la comparaison des bassins différents.

D'où:

$$T_c = \frac{4 \sqrt{S + 1.5 (L_p)}}{0.8 \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}} \dots (\text{heure})$$

$T_c$ : Temps de concentration (heure)

$S$ : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>)

$L_p$ : Longueur du talweg principal ( Km)

$H_{\text{moy}}$ : Altitude moyenne du bassin étudiée ( m)

$H_{\text{min}}$ : Altitude minimale du bassin étudiée ( m)

$S = 810 \text{ Km}$ ,  $I = 50.25 \text{ Km}$ ,  $H_{\text{moy}} = 1189 \text{ m}$

$H_{\text{min}} = 985.7 \text{ m}$   $T_c = 16 \text{ heures } 35 \text{ minutes } 2 \text{ secondes.}$

## 7. Conclusion:

Les lignes des crêtes bordant ce bassin sont bien distinguées comme en forme triangulaire, dont la base au nord et haut au Est et ouest par deux arrêts de triangle.

La région est une zone inondables c'est-à-dire, elle est sensible aux crues, pour oued Chéria est utilisé comme un canal évacuateur, cela peut argumenter la superposition de l'axe d'effondrement sur l'axe de l'oued due à l'écoulement à grande vitesse le long des fissures. Cette irrégularité dans le régime des précipitations influe directement sur le phénomène de « battement des nappes », c'est-à-dire la variation du niveau des nappes d'eaux souterraines.

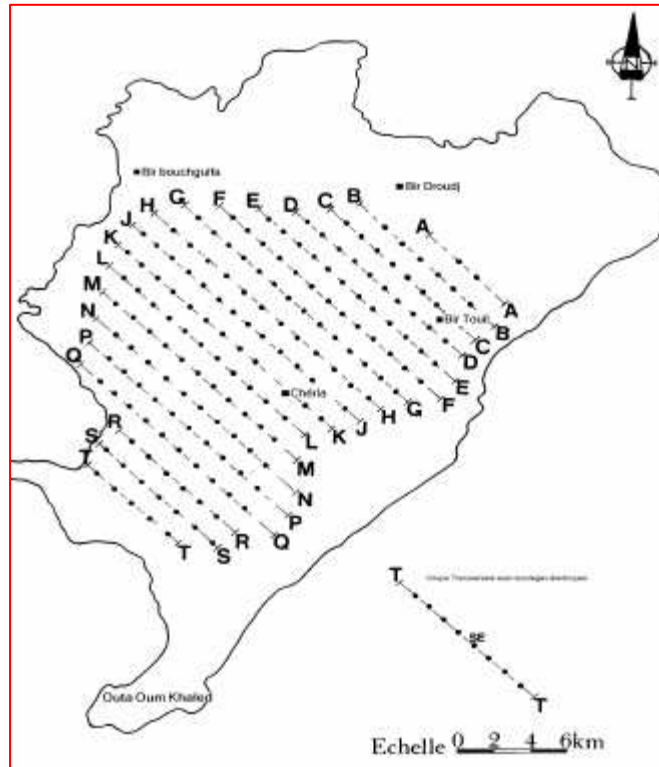
## **IV: HYDROGEOLOGIE DU SYSTEME AQUIFERE**



## A. Géométrie de l'aquifère

### 1. introduction:

L'étude géophysique dans la région de Chéria est basée principalement sur la prospection géoélectrique menée par la société CGG en 1970.



**Fig. 30:** Carte de positionnement des sondages électrique. CGG; 1970.

La prospection géoélectrique suscitée recouvre une superficie de 790 km<sup>2</sup> représenté par 291 sondages électriques disposés suivants des profils NW - SE et espacés de 1 km, les sondages eux-mêmes distant de 1 km, lors de cette campagne les lignes d'injection AB ont été de 2000 m (68. SE), 3000 m (64. SE), 4000 m (158. SE). (D'après le rapport géophysique).

### 2. Les coupes géoélectriques:

D'après les différentes coupes géoélectriques réalisées sur la région d'étude, on peut établir les résultats suivants :

#### 2.1. Les formations anciennes (Éocène - Danien et Maestrichtien):

Dans la zone nord, les coupes de B à L sont particulièrement simples. Elles traduisent bien la structure synclinale de l'éocène, du danien et du maestrichtien. Dans cette zone les épaisseurs sont respectivement constantes (200 à 250 m) pour des résistivités de l'ordre de 200 à 300 ohm.m.

Les épaisseurs moyennes des calcaires maestrichtiens semble être de l'ordre de 250 m mais difficile à estimer, d'autant plus qu'ils comportent souvent une partie sèche très résistante. Ils sont érodés dans la partie ouest. Les calcaires se terminent en biseau vers l'ouest, (profil N) et leurs épaisseurs est parfois inférieure à 100 m (Figure 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6) (Voir l'annexe II). Les marne daniennes se trouvent réduites en épaisseur (ordre de 100 m) ce qui peut paraître très faible d'autant plus qu'au sud (200 m sur profil S et T).

L'interprétation de cette zone ouest des profils N, P et Q reste donc douteuses et devra être considères avec toutes les réserves nécessaires.

## **2.2. Les formations récentes:**

Le remplissage continental dans la partie nord est constitué généralement de trois niveaux.

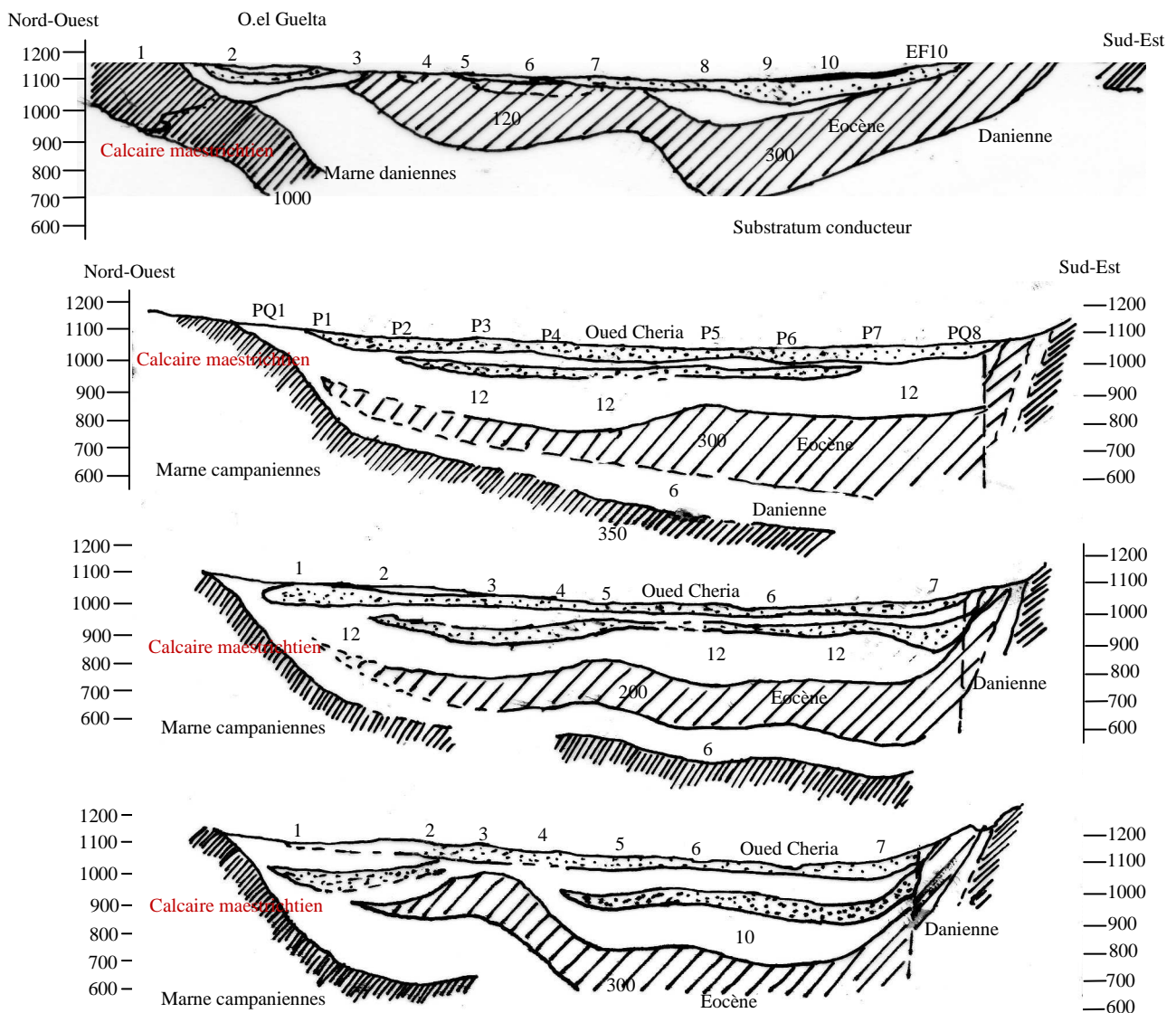
-Un niveau superficiel dont la résistivité est en général estimé entre 20 et 40 ohm.m.

-Un niveau résistant (70 - 100 ohm.m) correspondant à des éléments grossiers (galets plus ou moins symétriques). Ce niveau est développé d'avantage le long de la bordure Est du bassin et semble provenir de destruction du massif (profils E). L'épaisseur pourrait atteindre 30 - 40 m. (Profils D, F, G et H) (Voir l'annexe). Dans la partie sud du bassin le remplissage Mio - Pliocène prenait de l'importance (formations argileuses). Mais on notera au souvent en profondeur, apparait un autre niveau résistant, dont l'interprétation en terme de profondeur et épaisseur est assez délicate. Cette dernière serait particulièrement important (P3, Q3, Q7, QR7, R1, R2, R4 à R7, S1, S2, S5, S6, T3).

Elle se situerait en gros vers 100 m de profondeur et aurait une cinquantaine de mètre d'épaisseur.

## **2.3. Coupes géoélectriques, profil (P, Q, E et R):**

-Un troisième niveau plus conducteur (10 - 20 ohm.m) souvent épais et constitue le remplissage principale au cœur du synclinal. Le remplissage des plaines dépasse par fois la centaine de mètre (Oued El Guelta, El Goussa à l'Ouest). En surface existe également en surface un niveau grossier. Au sondage électrique MS le niveau résistant (150 ohm.m) peut être attribut aussi à un remplissage alluvionnaire, qu'à des éboulis provenant des calcaires maestrichtiens



**Fig. 31:** Coupes géoélectriques. Profils (E, P, Q et R).

### 3. Interprétation des résultats:

Cette carte est caractérisée par la plage conductrice (moins de 20 ohm. m) à la remontée des marnes daniennes entre les calcaires de l'éocène et ceux du maestrichtiens. Le fort gradient des courbes de résistivités se trouve NE (entre les SE. DE8 et E9, CD et 4D9, CD5 et C4). Ce qui représente un accident avec approfondissement vers le nord des calcaires

éocènes. Cet accident pourrait se prolonger au travers du bassin, vers l'ouest, le bassin des courbes suggérant également un affaissement nord du maestrichtien et du campanien.

La carte traduit ainsi l'allure des calcaires éocènes la partie Est, les zones les plus conductrices correspondent aux zones les plus profondes. L'axe du bassin éocène orienté EW dans la partie nord puis prenante ensuite une direction normale NNE - SSW.

Au sud un gradient des courbes orienté NW semble correspond à un enfoncement brusque des calcaires éocène vers le sud avec épaisseur du remplissage miocène. Cet accident probable borderait au sud les affleurements de Chéria.

D'après la carte du toit du substratum résistant. On établit calcaires éocènes à l'est, calcaires maestrichtien à l'ouest, est dans ces grandes lignes identique à la carte des résistivités. Les accidents (F1) et (F2) y sont également reportés. L'accident F1 divise le bassin en deux structures bien distinctes.

L'une au nord, ou le synclinal dit de Chéria à une direction NE - SW l'accident (F2) peut recouper transversalement ce dernier dans sa partie nord ou approfondissant les calcaires vers le nord, de sorte qu'un synclinal secondaire apparaîtrait avec une direction EW.

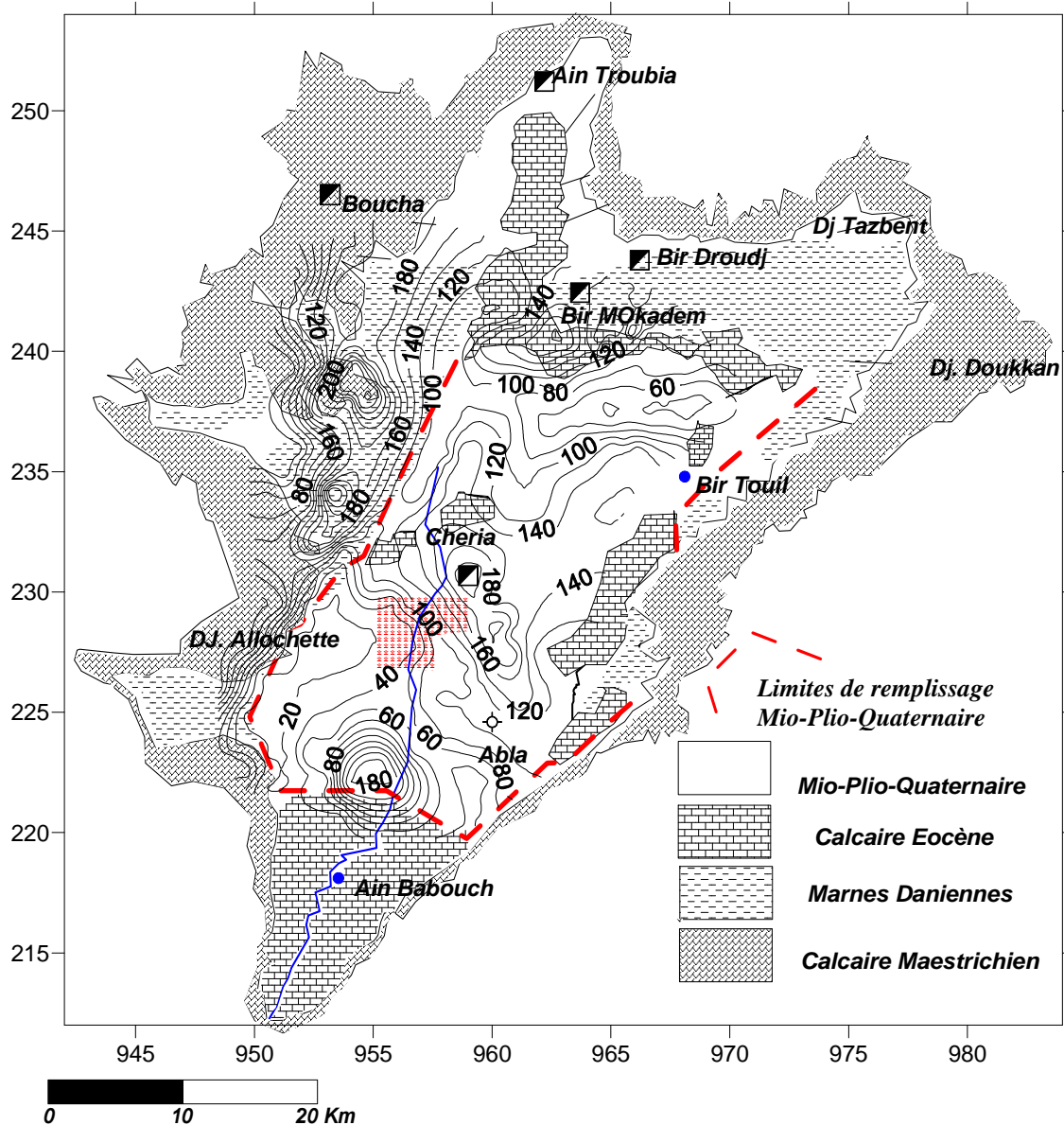
Au sud de l'accident F1, elle se décompose en deux bassins, le premier centré sur les S. E. R. S4, RS5, R6 où les calcaires atteignent 250 - 300 m de profondeur, est le prolongement du synclinal du Dj. Babouche.

Entre les deux un léger relèvement des calcaires éocène (S. E. QR3, Q4, P5, PQ5, MN9) représente le prolongement, rapidement amorti, de l'anticlinal médian d'El Outa Guideur. Dans l'ouest de cette zone les calcaires éocènes se distinguent mal des niveaux résistants du recouvrement et des calcaires maestrichtiens sous-jacents. Ce qui fait que dans cette zone leurs limites ouest est mal assurée et que leur profondeur est difficilement interprétable.

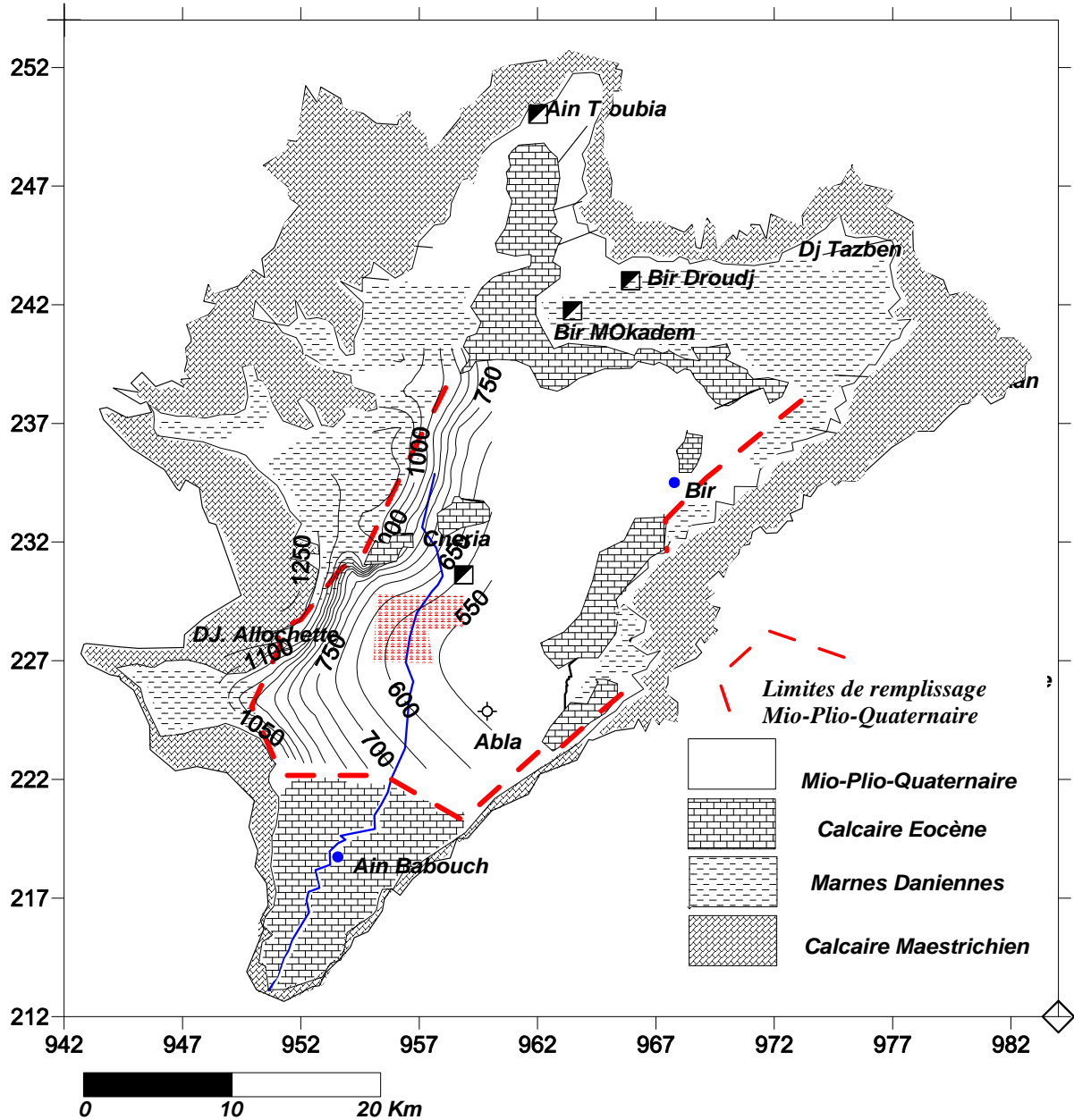
Au-delà de la limite des calcaires éocènes, dans la partie ouest, le prolongement des calcaires maestrichtiens est assez bien assuré leurs profondeurs considérées sous réserves, notamment en certains points de confusions entre les argiles miocènes et les argiles daniennes qui les recouvrent. La surface d'érosion des calcaires maestrichtien d'une faible profondeur et une grande superficie dans la partie nord - ouest ce qui rend difficile voir impossible de mettre en évidence les éventuels accidents qui peuvent affecter ces calcaires et ce n'est que l'étude du mur de cette formation qui aurait pu éventuellement nous renseigner sur ce point.

#### 4. Carte des isorésistivités (AB = 1000 m):

En général, les résistivités apparentes varient entre 15 à 200 ohm.m. Ces valeurs reflètent nettement, la nature de terrain, ce qui représente des formations de graviers, cailloutis avec présence d'argile, à l'exception de la partie N - E et S - W qui ont une résistivité inférieure à 15 ohm.m qui correspond probablement à des marnes. La partie centrale du bassin (près de la ville de Chéria) ainsi qu'au niveau des bordures, sont marqués par des résistivités supérieures à 200 ohm.m, ce qui correspond à des formations plus résistantes tel que les calcaires qui affleurent dans certaines zones de la région d'étude.



**Fig. 32:** Carte des isorésistivités (AB = 1000 m), (modifiée en 2016). (In Azizi. Y; 2011).



**Fig. 33:** Carte du toit résistant des calcaires maestrichtien (modifiée en 2016). (In Azizi, Y; 2011).

### 5. Carte en isosubstratums:

Elle est représentée suivantes les études effectuées par:

- Des cartes morphologiques en courbes d'égal niveau de la surface du substratum (carte altitude ou bien isohypse).
- Des cartes en courbes isobathes d'égal profondeur par rapport à la surface de sol ou à la surface de référence.

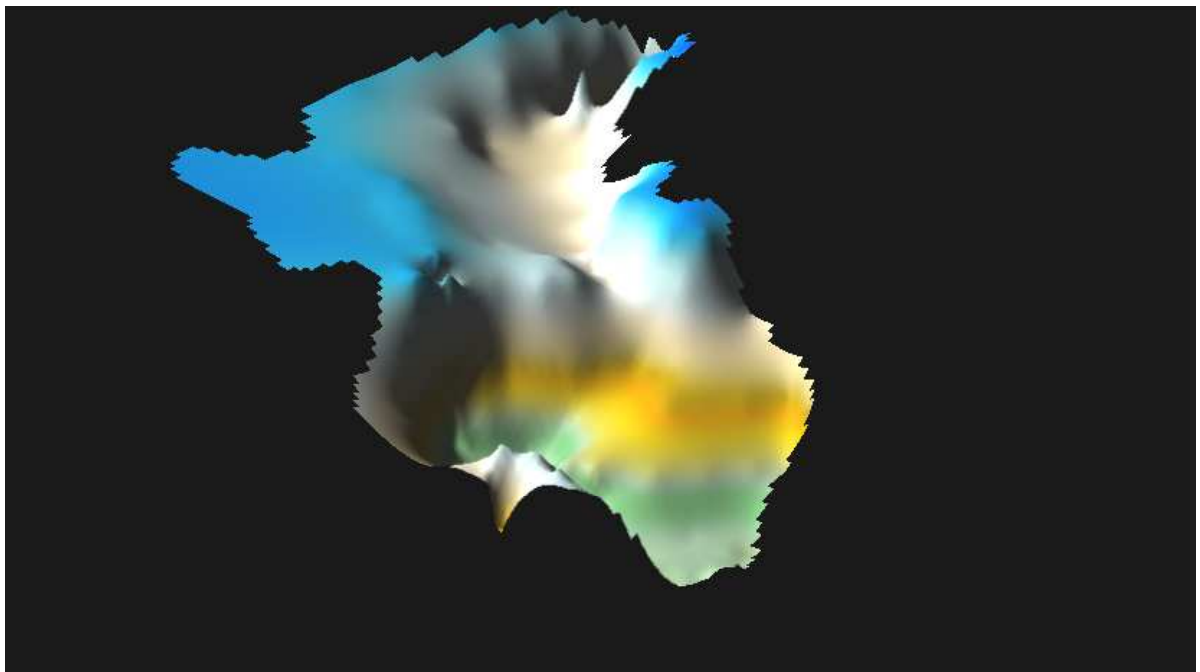
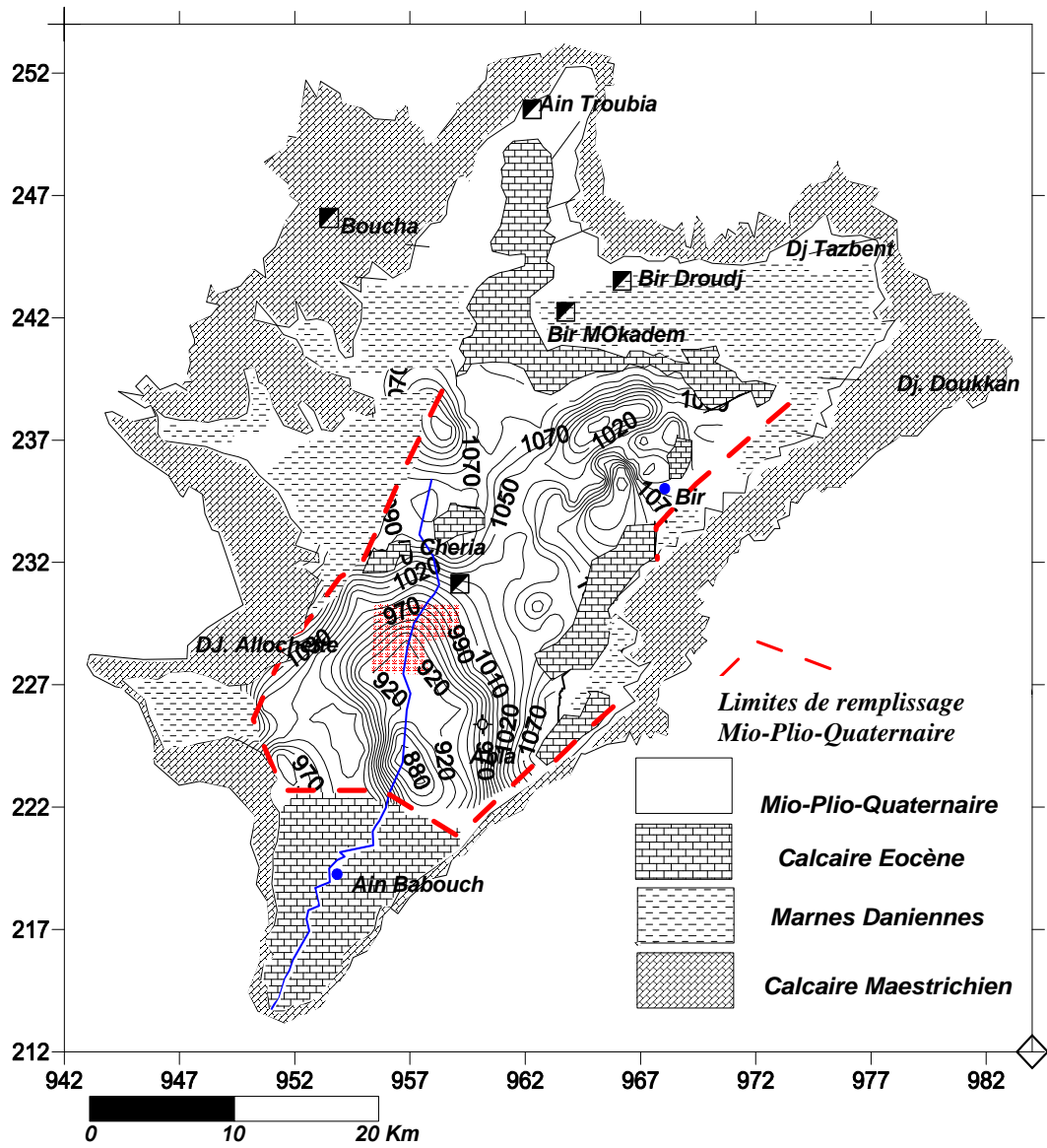
Les cartes morphologiques du substratum, sont effectuées d'après les données de base des puits et forages, des prospections géophysiques complétant l'étude géologique permettent à l'aide des cotes de la surface du substratum de dresser une carte en courbe d'égal niveau,

### **5.1. Carte en isosubstratum du remplissage alluvionnaire:**

Cette carte montre une morphologie complexe avec la présence des dépressions et des dômes, où on constate une grande dépression au nord, au niveau de forages E8 et D8, avec une différence des côtes de 1080 m jusqu'à 980 m.

Les basses sont très reperdues dans le bassin mais la plus importante est au niveau du sondage J7, avec une valeur de 1085 m.



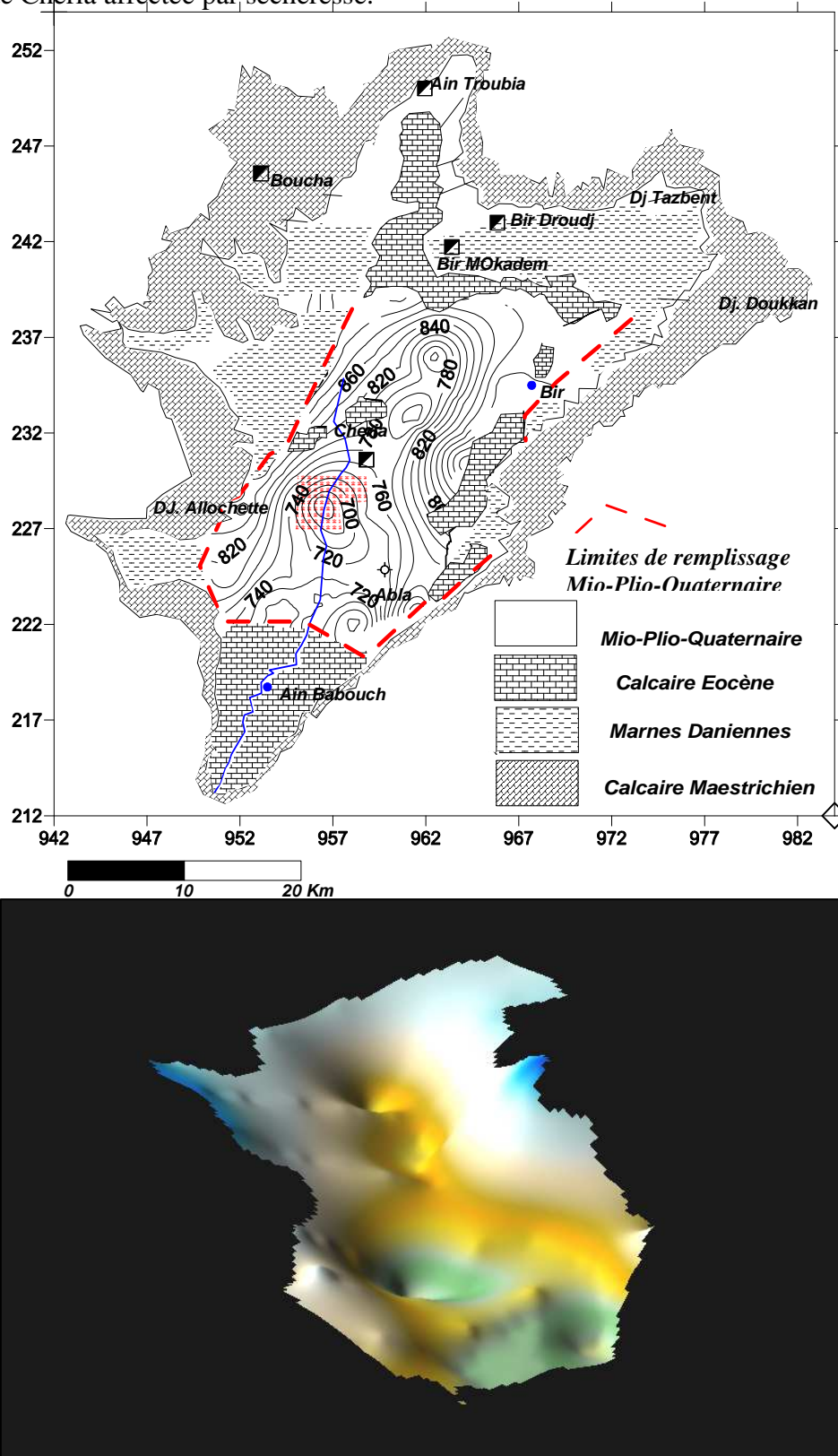


**Fig. 34:** Carte en isosubstratum (2D et 3D) du remplissage alluvionnaire (modifiée en 2016). (In Azizi, Y; 2011).



## 5.2. Carte en isosubstratum des calcaires éocènes:

Les formations d'éocène sont plus importantes surtout pendant les dernières années où la région de Chéria affectée par sécheresse.



**Fig. 35:** Carte en isosubstratum (2D et 3D) des calcaires éocènes (modifiée en 2016). (In Azizi. Y; 2011).

On remarque toujours la morphologie différente, tout en formant des cuvettes, surtout au niveau des sondages M6 avec une cote de 640 m, mais il existe aussi des dômes repartait dans les différentes zones de la région. Citons par exemple le dôme au niveau du sondage N5 avec des cotes de 800 m, on remarque l'absence du calcaire éocène au niveau de la zone nord - ouest de la région d'étude.

## 6. Cartes en isobathes:

### 6.1. Carte en isobathe du remplissage alluvionnaire:

Le remplissage alluvionnaire est caractérisé, par une variation très importante des épaisseurs. Pour localiser, les zones épaisses, il est indispensable de diviser la carte en différentes zones, selon l'épaisseur des alluvions.

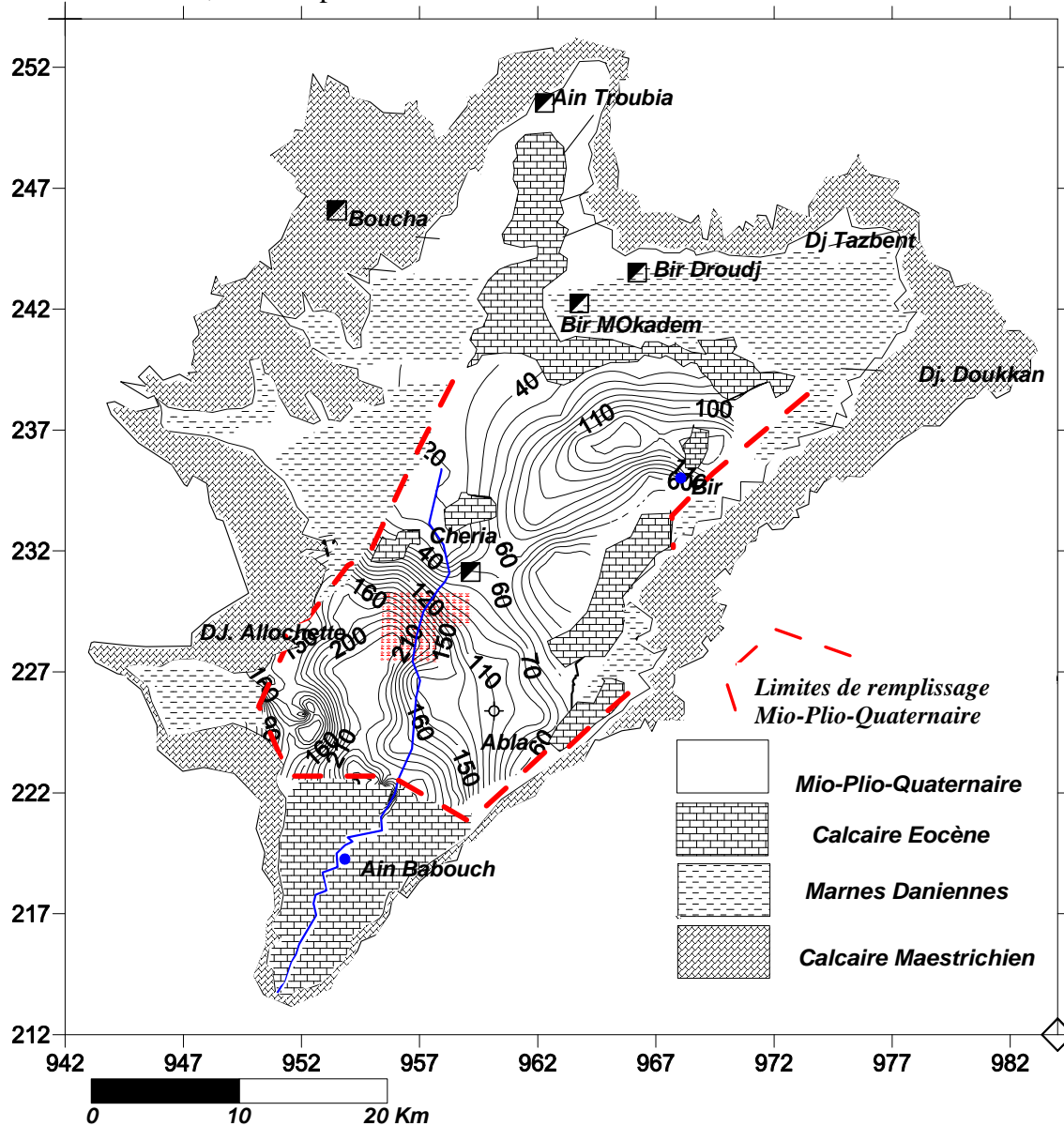
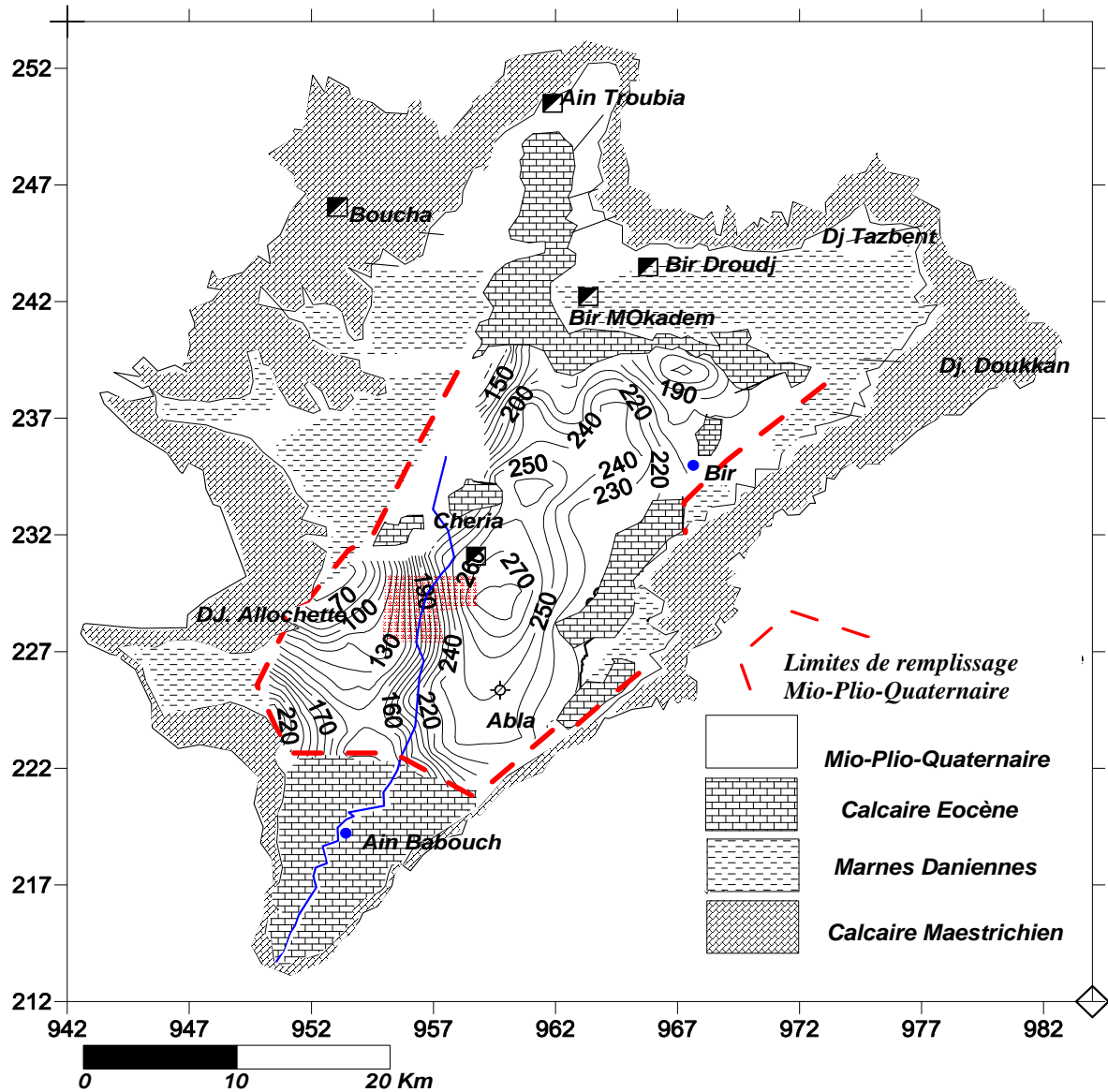


Fig. 36: Carte en isobathe de remplissage alluvionnaire; (modifiée en 2016). (In Azizi.Y; 2011).

## 6.2. Carte en isobathe au toit des calcaires éocène:

Elle est divisée en plusieurs zones; au centre du bassin versant, avec des valeurs très importantes allant jusque à 300 m d'épaisseurs:

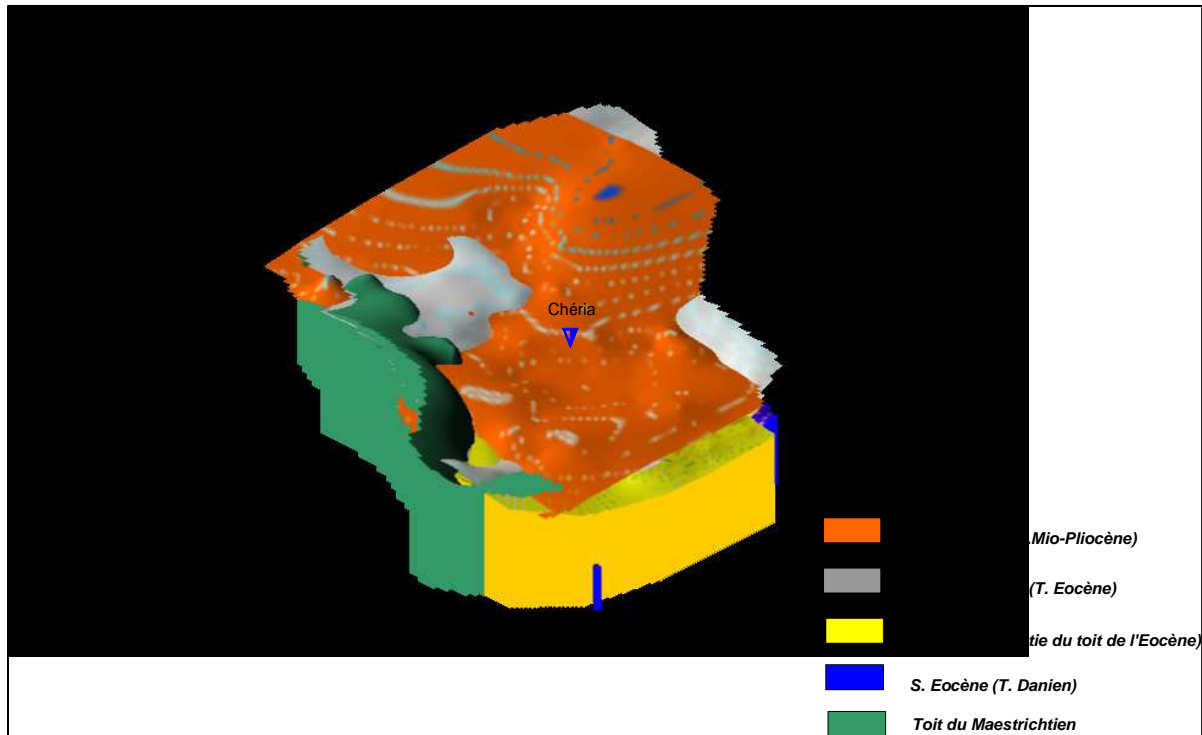
- Au nord du bassin avec des valeurs d'ordre de 200 m.
- Aux bordures du bassin avec des valeurs moyennes d'ordre de 150 m.
- Au sud - ouest de la région avec des valeurs d'ordre de 60 m.



**Fig. 37:** Carte en isobathe au toit des calcaires éocène; (modifiée en 2016). (In Azizi. Y; 2011).

## 7. Aquifères du plateau de Chéria:

Les études géophysiques permettent d'établir un schéma conceptuel des toutes les formations existes dans le plateau de Chéria de surface topographique jusqu'au le toit de maastrichtien.



**Fig. 38:** Carte en 3D des formations aquifères du plateau de Chéria. (In Azizi.Y; 2011).

## 8. conclusion:

Les études géophysiques ont permis de définir trois aquifères:

Un premier caractérisé par les calcaires de maastrichtien, perméables aux bordures et stériles au centre; il suggère les commentaires suivants:

La fissuration ne semble pas directement liée à la résistivité donnée par la géophysique de surface, puisque des résistivités très voisines (300 à 500 ohm.m) indiquent à la fois des calcaires très karstifiés ou faiblement fissurés. Un second qui est le plus important pour la région et sa périphérie; les calcaires de l'éocène, d'une épaisseur qui s'étale de quelques dizaines à une centaine de mètre. Le troisième aquifère Mio - plio - quaternaire.

Les zones fissurées se rencontrent en général dans les 100 premiers mètres de la série calcaire.

Les zones karstifiées sont encore plus localisées dans les 50 premiers mètres.

## **B. Hydrogéologie:**

### **1. Introduction:**

Dans cette partie nous avons en recours à diverses méthode d'investigation par utilité de la méthode; la capacité de celle - ci à déterminer certaines paramètres hydrodynamiques (sens d'écoulement, conditions limites, etc. ...).

Pour tout le système d'aquifère de Chéria d'une superficie moyenne de 800 Km<sup>2</sup>, le rabattement observé entre avril et aout est de l'ordre de 0.6 m, ce qui représente un volume de terrain de 480 millions de m<sup>3</sup>, il attendra les 2400, millions de m<sup>3</sup> pour rabattement de 3 m correspondant à une exploitation rationnelle de la réserve totale.

### **2. Définition des aquifères:**

#### **2.1. Aquifère des calcaires maastrichtiens:**

C'est là que la karstification semble se développer intensément, principalement dans les grandes failles Est - ouest qui affectent la région de Chéria et qui peuvent localement engendrer une fissuration, même au dessus des marnes dano - montiennes. La superficie de l'ensemble du système aquifère est d'environ 290 km<sup>2</sup>.

#### **2.2. Aquifère des calcaires éocènes:**

Le réservoir se présente comme une cuvette synclinale orientée grossièrement NNE - SSW et il est interrompu par deux failles mises en évidence par la géophysique vers le sud, cette cuvette se réduit à une étroite gouttière qui draine la nappe en direction d'Outa Oum Khaled et des sources d'El Mezeraa.

#### **2.3. Aquifère des niveaux du miocène:**

D'après les données concernant l'aquifère miocène sont peu nombreux. Deux forages l'ont traversé à savoir les F523 et F524. Le forage F523 a rencontré successivement de 0 à 16 m des argiles brunes à graviers, de 16 à 53 m des graviers plus ou moins argileux puis de 52 à 80 m des graviers et sable quartzeux. Au de là, il est rentré dans les calcaires éocènes. Le niveau

compris entre 53 et 80 m est attribué au miocène. Les argiles et graviers argileux supérieurs sont attribués au pliocène et au quaternaire, ce niveau a été crépiné et a donné un débit de 13.2 l/s pour un sa rabattement stabilisé de 15 m. Les sables constituent donc un aquifère à la possibilité très moyennes; son extension est difficile à établir, car la majeure partie est recouvert de cailloutis quaternaires.

#### **2.4. Aquifère des alluvions quaternaires et actuelles:**

Les formations quaternaires et actuelles occupent majeure partie de la plaine de Chéria et renferment une nappe exploitée par plus de 500 puits et dont l'importance est capitale pour toute l'activité agricole de la région (Chafai et Al; 2004).

De plus, cette nappe joue dans toute la partie nord le rôle de zone d'alimentation des calcaires maestrichtien et éocène par infiltration retarde des eaux d'orage.

L'étude géophysique et les forages de reconnaissance ont permis de définir avec un peu plus de précision la géométrie de ces formations.

L'épaisseur des cailloutis peut varier de 0 à 96 m. Dans l'ensemble, les débits fournis à partir de cette formation sont généralement faible (12 l/s). Le forage est une technique peu adaptée au captage des alluvions de cette région. Les nombreux puits qui captent les cailloutis sur quelques mètres d'épaisseur est à 20 m de profondeur au maximum donnent des débits d'ordre de 7 à 10 l/s au nord et au sud de la ville de Chéria. La superficie totale d'affleurements quaternaires et miocène est de 500 Km<sup>2</sup>. D'après les résultats des ouvrages, l'épaisseur moyenne est estimée à 50 m, ce qui représente un volume d'aquifère d'envions 25000 millions de m<sup>3</sup>.

### 3. Les conditions aux limites:

Les calcaires éocènes sont en contact avec les alluvions quaternaires aquifères (qui souvent drainent les calcaires maestrichtiens). Il ya donc une limite perméable d'alimentation, vers le sud on doit admettre une limite de fuite souterraine si l'on arrête le sens d'alimentation d'Outa Oum Khaled.



**Fig. 39:** Carte des conditions aux limites; (modifiée en 2016). (In Baali.F; 2006).

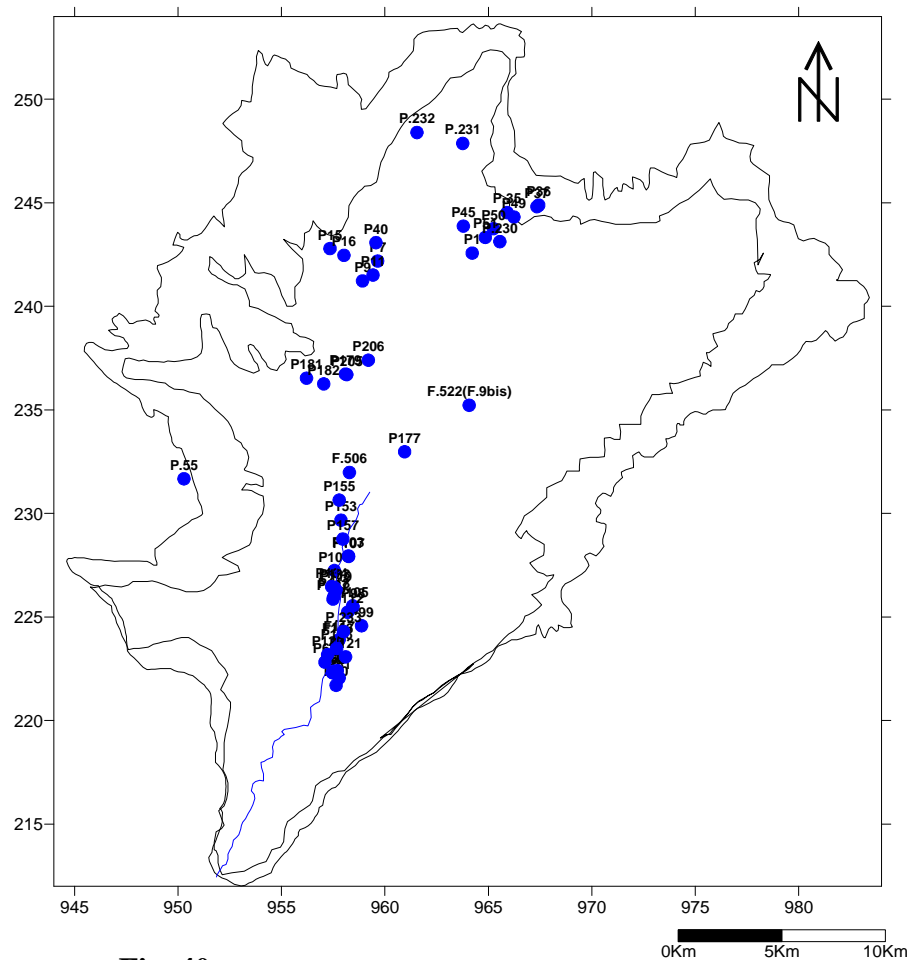
## 4. La piézométrie:

### 4.1. Inventaire des points d'eau:

Les cartes de la surface piézométrique, dite piézométrique, établies avec les données sur les niveaux piézométriques, représentés, à une date donnée, la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques. C'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique (G. Castany; 1982).

Dans la région d'étude deux type de captages. Des puits domestiques peu profonds (15 - 30 m), et d'un diamètre important (1 - 3.5 m). Des forages profonds (80 - 150 m et plus).

Nous avons choisi plus de cinquante puits pour la cartographie piézométrique et hydrochimique, puisque le plateau compte plus d'une centaine de puits irrégulièrement répartis (plus de 300 puits actuellement). Nous avons donc été conduit à choisir les puits les plus représentatifs.



**Fig. 40:** Carte d'inventaire des points d'eau (2014).



La cartographie qui suit, permet la mise à jour à de toutes les situations qu'a comme l'aquifère pendant le période d'observation et fait la comparaison entre les différentes compagnes piézométriques.

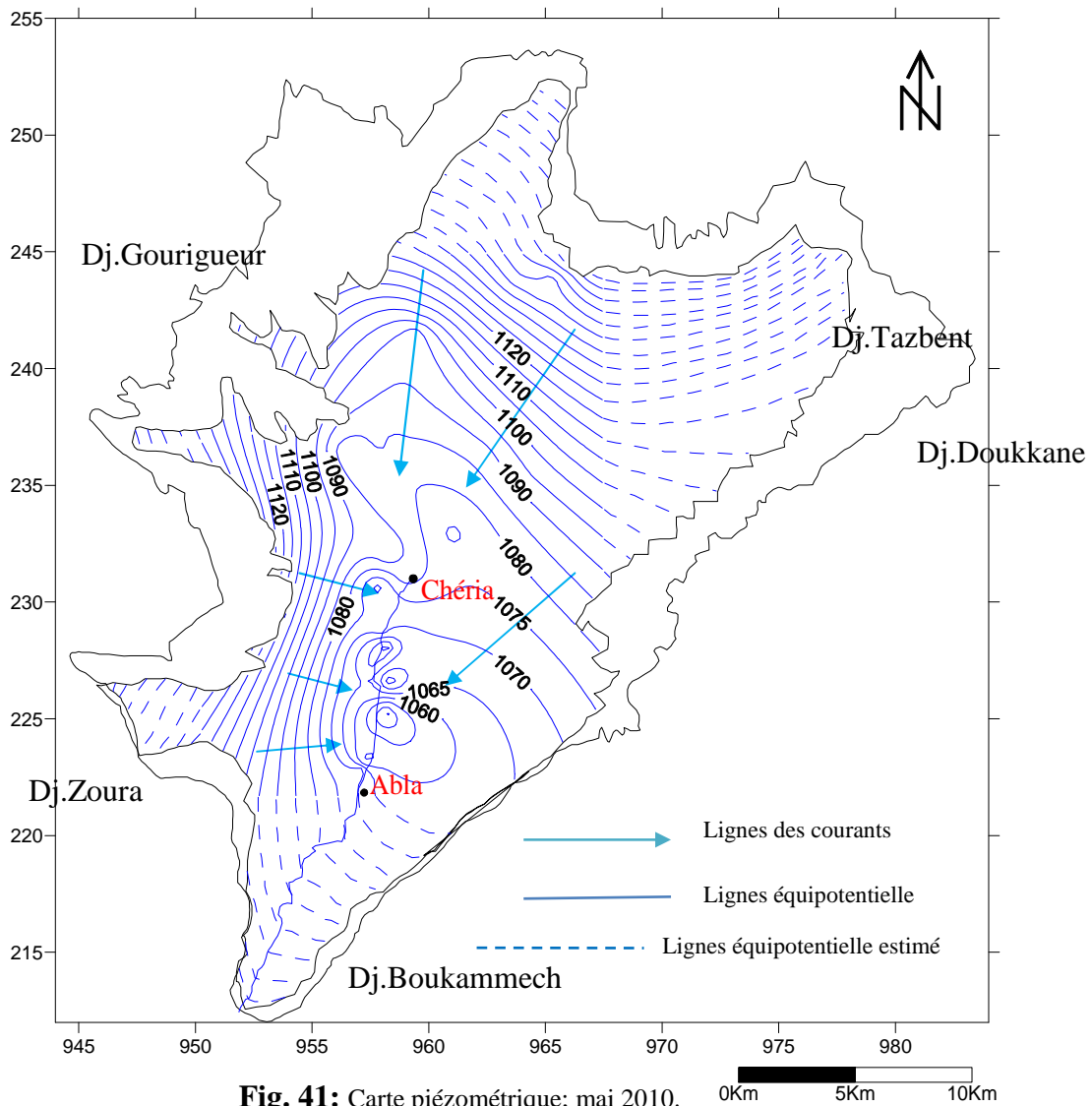
#### **4.2.Évolution de la Piézométrie:**

La carte piézométrique a été construite à partir des profondeurs mesurées des niveaux statiques, et des cotes altimétriques mesurées sur place grâce au GPS. L'équidistance des courbes piézométriques est de 5 mètres.

Les études réalisées par Dr. Baali. F de période d'observation septembre 2002 à septembre 2005; montre le même axe principal de l'écoulement nord - sud. Dans le sous bassin nord avec un gradient hydraulique de l'ordre de 0.7, avec une convergence localisée dans le secteur de Bhiret M'chentel; tan disque dans la partie sud l'écoulement se fait deux sens opposé du sud - ouest et sud - est vers l'axe de drainage (Oued Chéria).

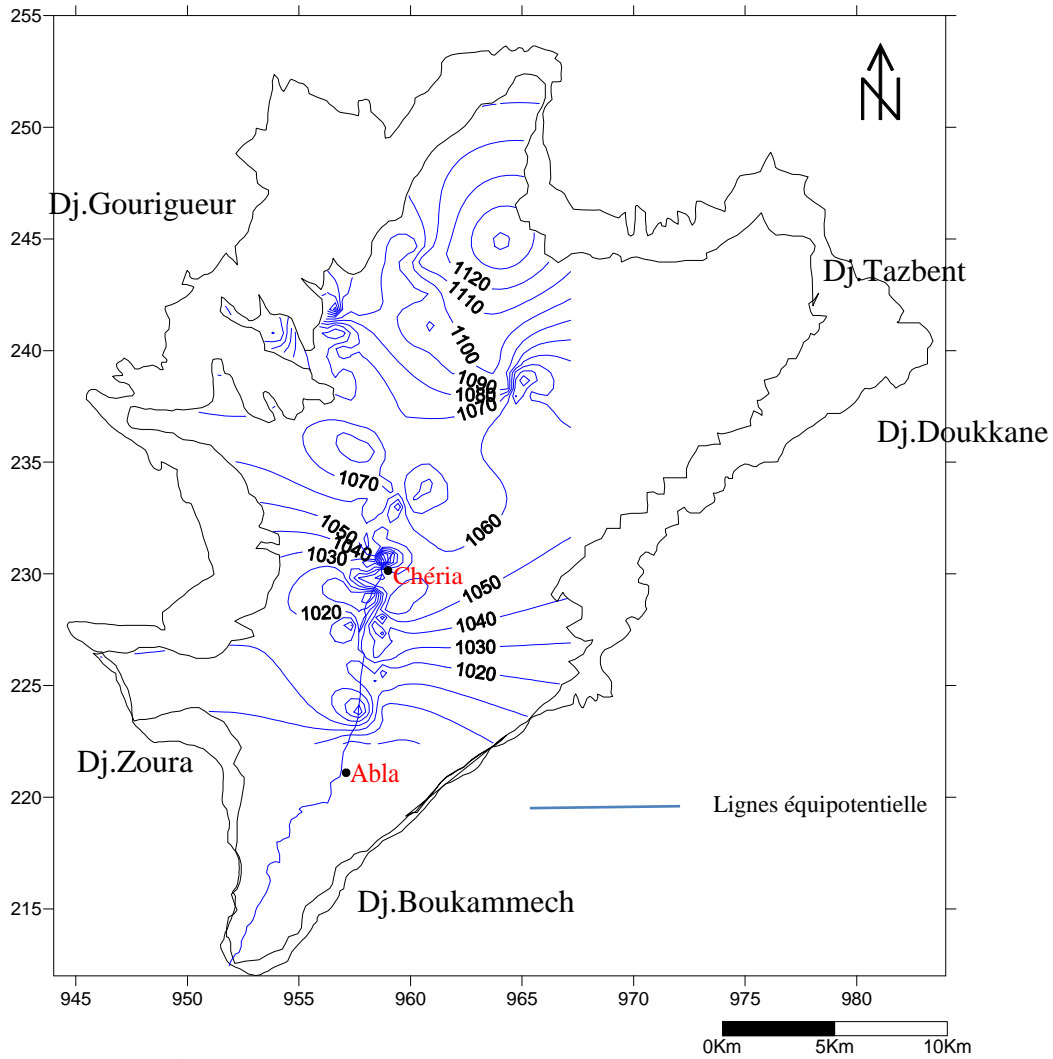
On a recensé plus de 300 points d'eau, pendant la période d'observation mai 2010 à avril 2014, dont la majorité sont des puits ils sont localisés globalement dans le sous bassin sud de Chéria (Abla). D'après les cartes piézométriques; les bordures nord et ouest de plateau de Chéria sont des sources d'alimentations de l'aquifère.

#### 4.2.1. Carte piézométrique; mai 2010:



**Fig. 41:** Carte piézométrique; mai 2010.

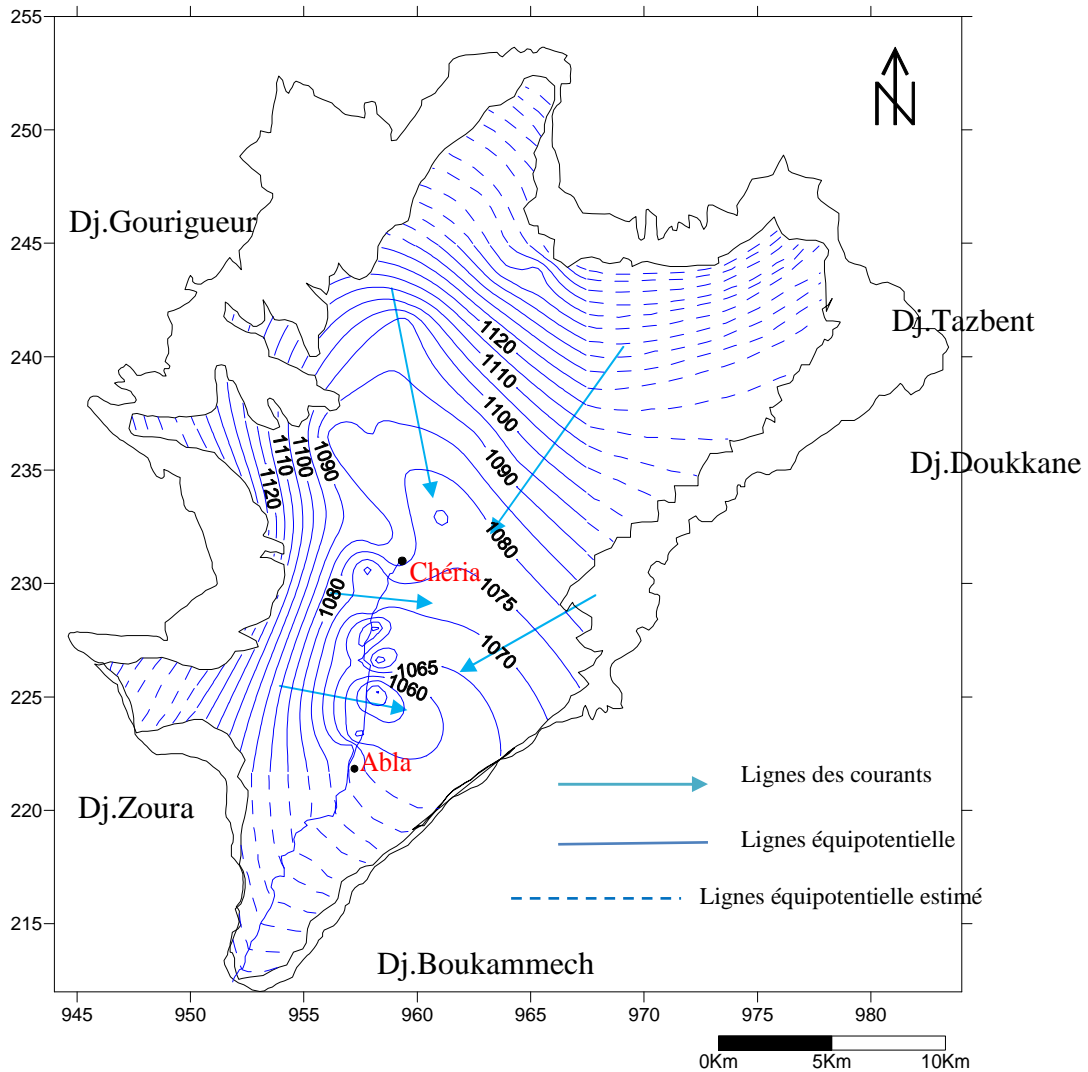
La précédente carte montre que la région d'étude caractérisée par un écoulement nord - sud. Dans sous bassin au nord et à proche de bordure nord et ouest de plateau; l'écoulement converge vers au centre avec des courbes isopièzes très serrés témoignant l'importance de la vitesse d'écoulement avec le gradient hydraulique d'ordre de 0.7, par contre bordure Est de plateau avec des courbes espacés signifiant un écoulement lent. Le rendement de la nappe est faible au nord de la ville de Chéria notamment l'épuisement de quelque forage d'état; les courbes isopièzes dans cette zones sont fortement espacés c'est-à-dire la vitesse d'écoulement est très faible. Une zone de surexploitation très remarquable au centre.



**Fig. 42:** Niveau piézométrique de l'aquifère éocène; mai 2010.

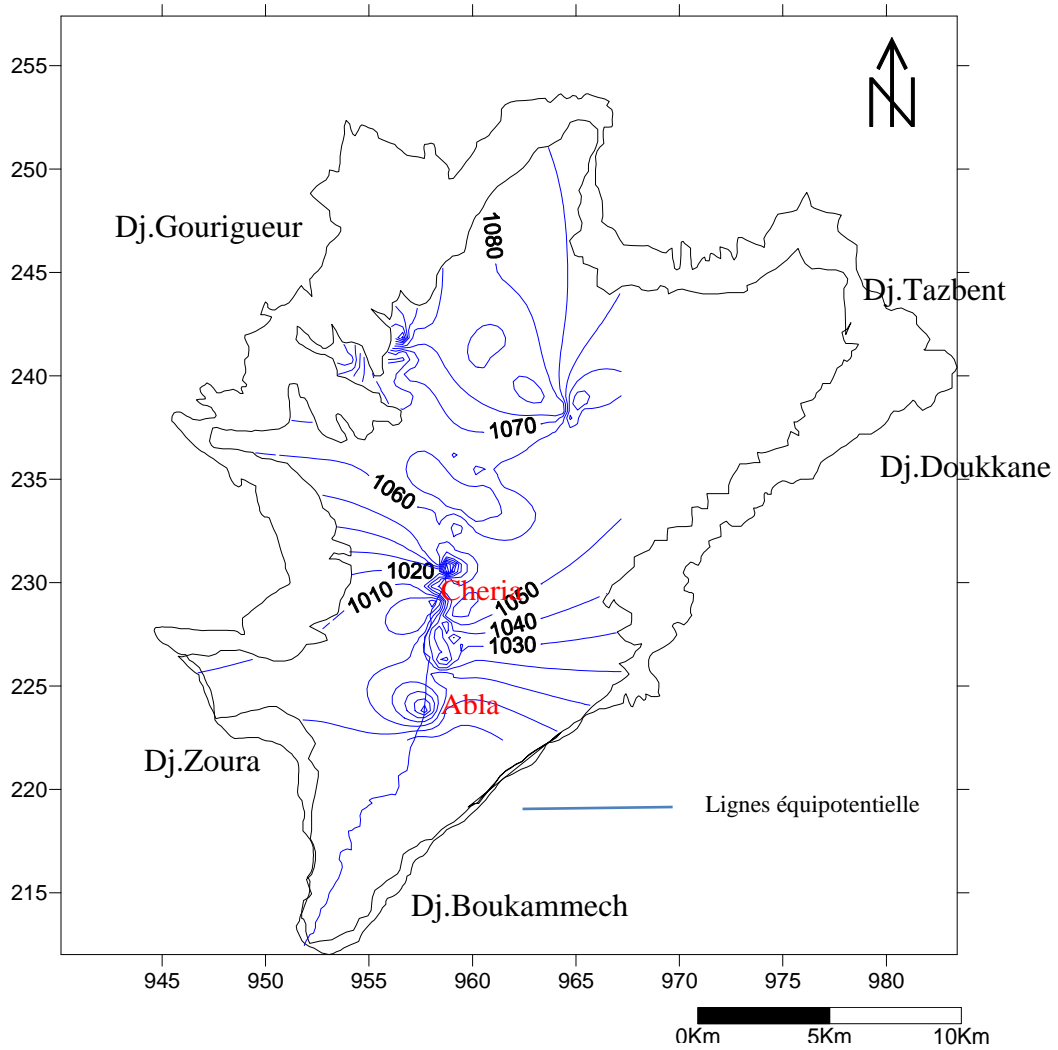
Le plan confirme le même axe principal de l'écoulement nord - sud, tant dans la partie sud l'écoulement se fait de drainage (Oued Chéria); c'est-à-dire les courbes isopièzes parallèles au oued Chéria (en aval au sud). Au point de vue de rendement de la nappe avec le gradient hydraulique de l'ordre de 0.6; l'allure des courbes isopièzes montre que l'épuisement dans l'aquifère s'explique la sécheresse qui affecte la région d'étude. Une zone de surexploitation très remarquable au centre.

## 4.2.2. Carte piézométrique; octobre 2010:



**Fig. 43:** Carte piézométrique; octobre 2010.

Les études hydrogéologiques de Gaud (1978) sur la région ont pu conclure que les calcaires éocènes alimentaient l'aquifère de Mio - plio - quaternaire spécialement dans le périphérique de Chéria vu les calcaires éocènes que dans le quaternaire. Alors que dans notre cas on a trouvé l'inverse, ce qui peut confirmer la sécheresse aiguë qui touchait la région (Baali. F; 2006).



**Fig. 44:** Niveau piézométrique de l'aquifère éocène; octobre 2010.

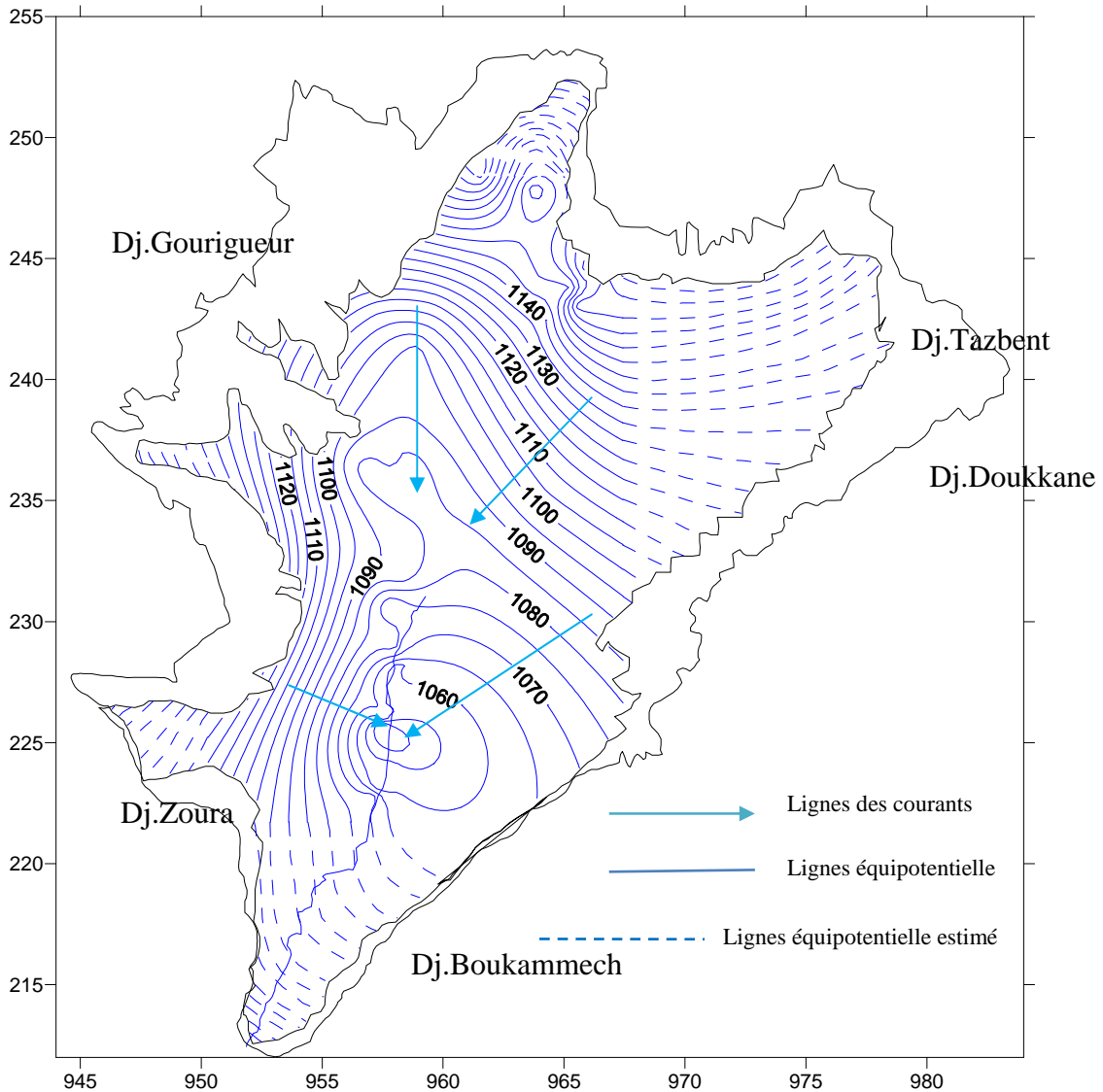
A partir des différentes cartes piézométriques, on peut ressortir les trois zones distinctes;

La première zone localisée en amont du plateau.

La deuxième zone centrale caractérisée par une surexploitation marquée par une dépression aux niveaux de la ville et ces alentours.

La troisième zone localisée en aval du plateau aussi marquée par deux dépressions de part et d'autre de l'oued Chéria. Où une partie de l'écoulement converge vers l'axe de l'oued.

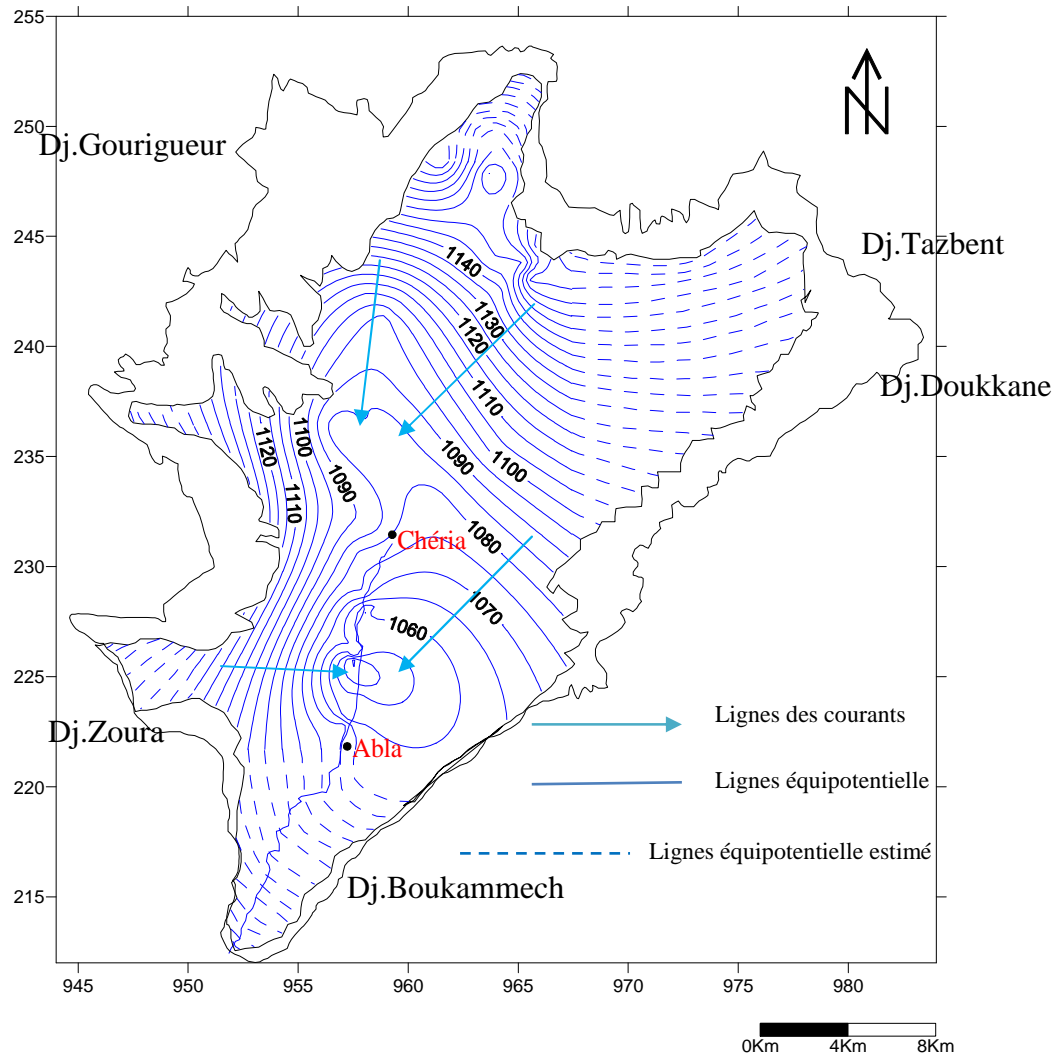
### 4.2.3. Carte piézométrique; avril 2012:



**Fig. 45:** Carte piézométrique; avril 2012.

L'examen de ces situations piézométriques, montrent le même axe principal de l'écoulement nord - sud. Dans le sous bassin nord les courbes sont étalées, témoins d'un écoulement lentes et des courbes qui sont serrées en général témoins d'un écoulement rapide et d'un gradient hydraulique variable, tandis que dans la partie sud l'écoulement se fait dans deux sens opposés du sud - ouest et sud - est vers l'axe de drainage (oued Chéria).

## 4.2.4. Carte piézométrique; septembre 2012:



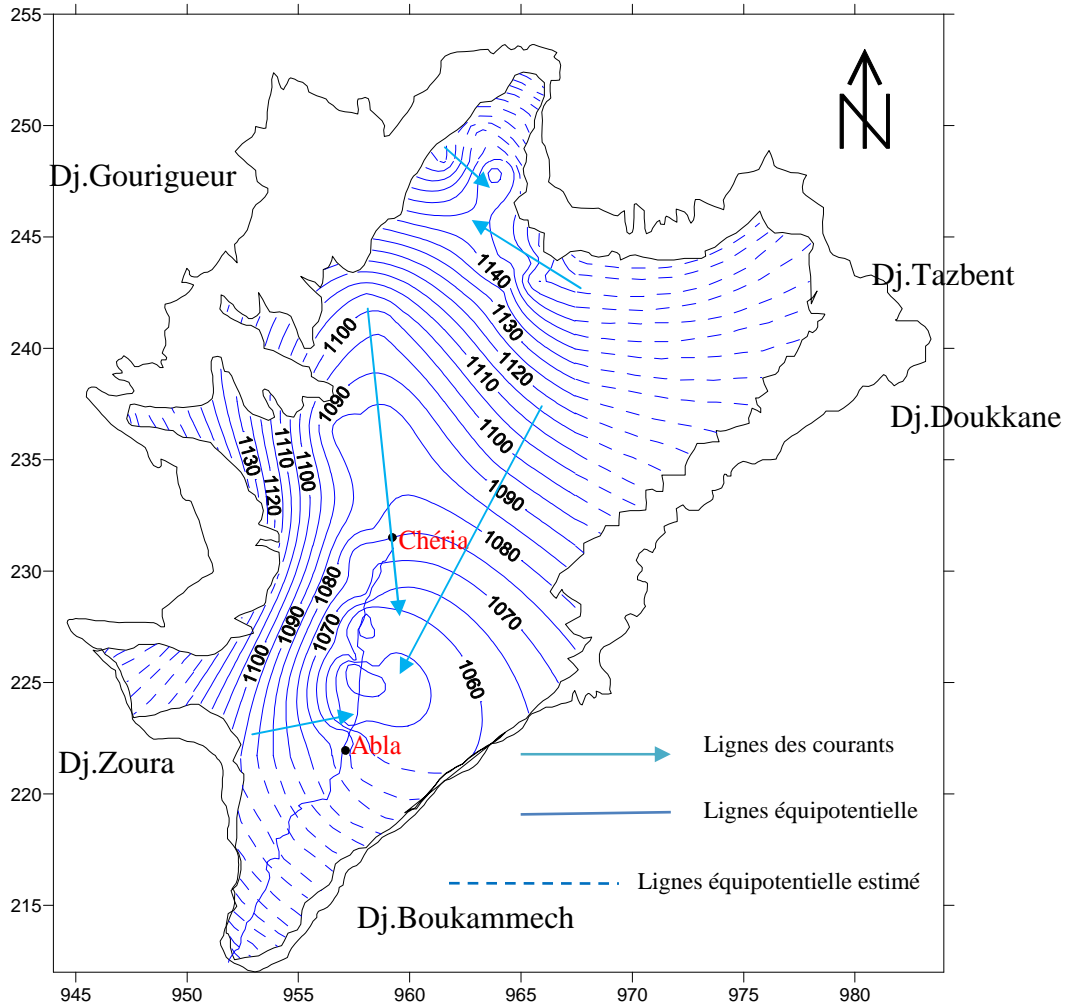
**Fig.4 6:** Carte piézométrique; septembre 2012.

En générale les trois zones caractérisées montrent le même axe principal de l'écoulement nord - sud.

Dans le sous bassin nord (zone amont) avec un gradient hydraulique de l'ordre de 0.7, avec une convergence localisée dans le secteur de Bhiret M'chental (zone centrale); tandis que dans la partie sud l'écoulement se fait deux sens opposé du sud - ouest et sud – est (zone aval).

#### 4.2.5. Carte piézométrique; avril 2013:

L'examen des cartes piézométriques de ces périodes, fait ressortir aussi des zones de dépressions similaires aux premières cartes.

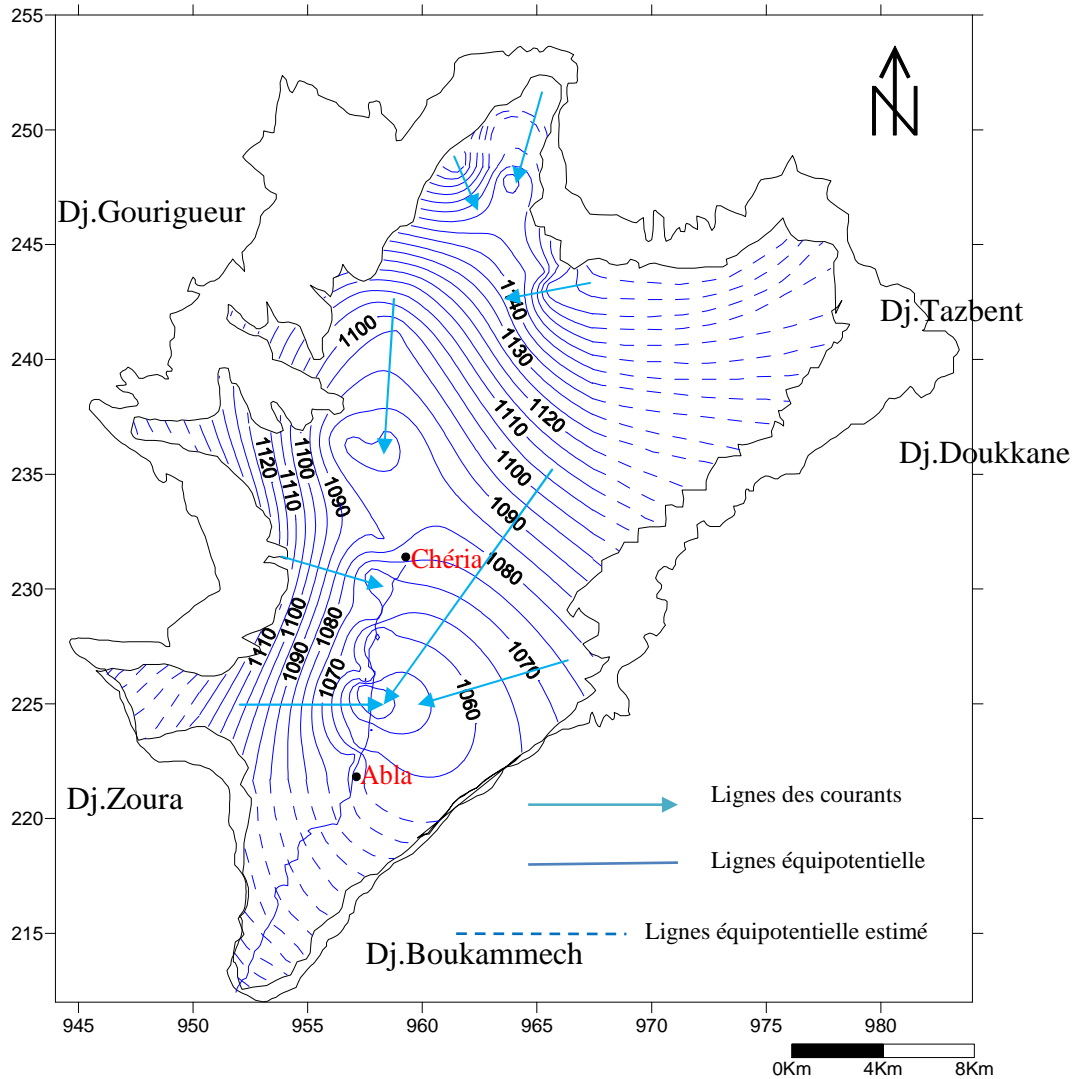


**Fig. 47:** Carte piézométrique; avril 2013. 0Km 4Km 8Km

En générale, presque reste même interprétation que les cartes précédentes (campagnes; octobre 2010, septembre et avril 2012, avril 2013), sauf que l'apparition des cercles de surexploitation au dessus de ville de Chéria.



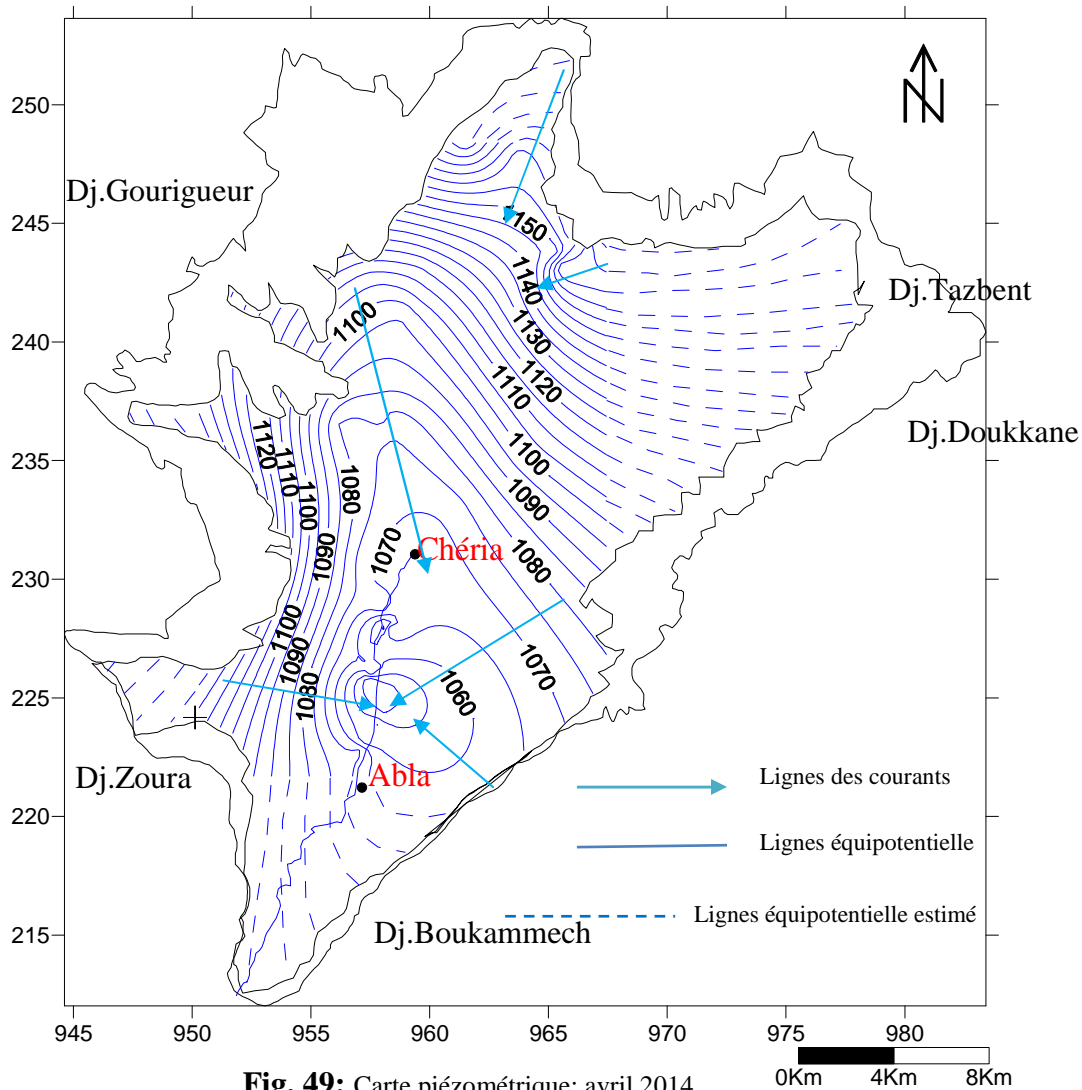
## 4.2.6. Carte piézométrique; septembre 2013:



**Fig. 48:** Carte piézométrique (estimable); septembre 2013.

Durant des années 2012 et 2013 l'apparition des cercles de surexploitation au dessus de ville de Chéria, s'explique l'implantation des plusieurs forages non autorisé par l'état, tandis que cette situation provoque un empêchement de circulation des eaux souterraines vers l'autre ouvrages de captage qui sont localisées à la suit dans même axe d'écoulement.

## 4.2.7. Carte piézométrique; avril 2014:



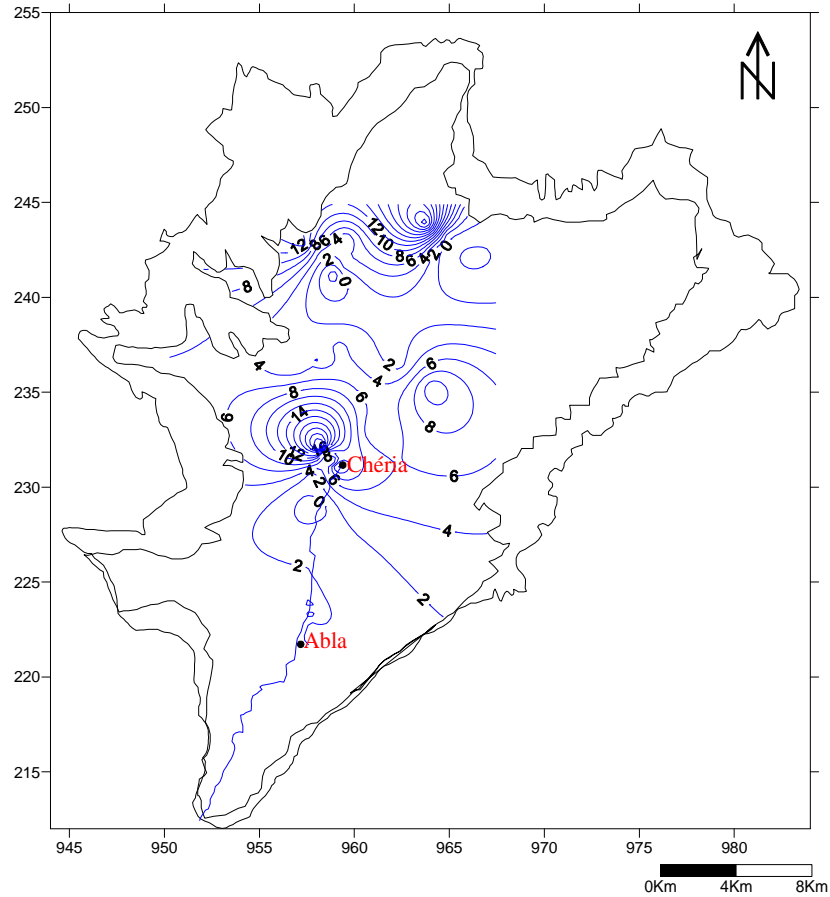
**Fig. 49:** Carte piézométrique; avril 2014.

Cette situation engendrée grande problème parmi les plus grave l'épuisement des plusieurs forages d'état dans ces zones à cause la sécheresse aigu qui à touché la région d'une parte et d'autre parte par l'implantation des ouvrages de captage (forages et puits). Ces résultats on peut argumenter par la disparition totale de cercles de surexploitation près de la ville de Chéria; notamment l'épuisement quasi-totale de forage d'état de pépinière suivant l'enquête qui nous avons fait en avril 2014.

La multiplication des forages illicites y va de sa contribution en engendrant la surexploitation. L'apparition des cercles de surexploitation au dessus de ville de Chéria est confirmée cette interprétation.

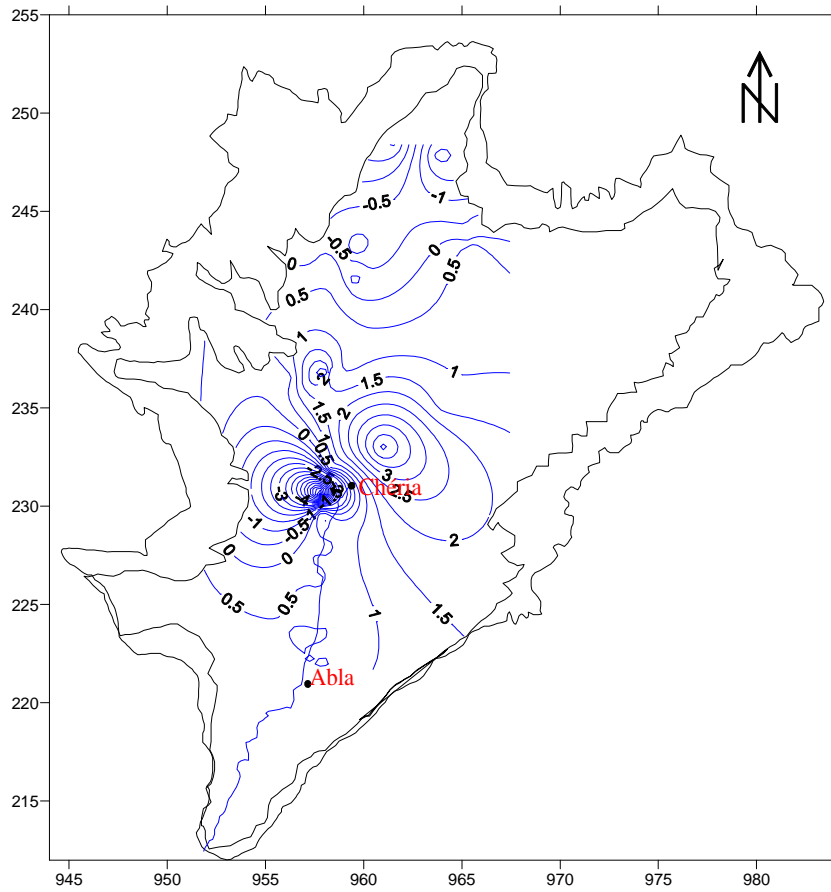
### 4.3. Carte de battement:

La carte de battement est comparaison entre deux campagnes haute et base eau, si on obtient les valeurs positives; c'est-à-dire la zone affectait par la surexploitation.

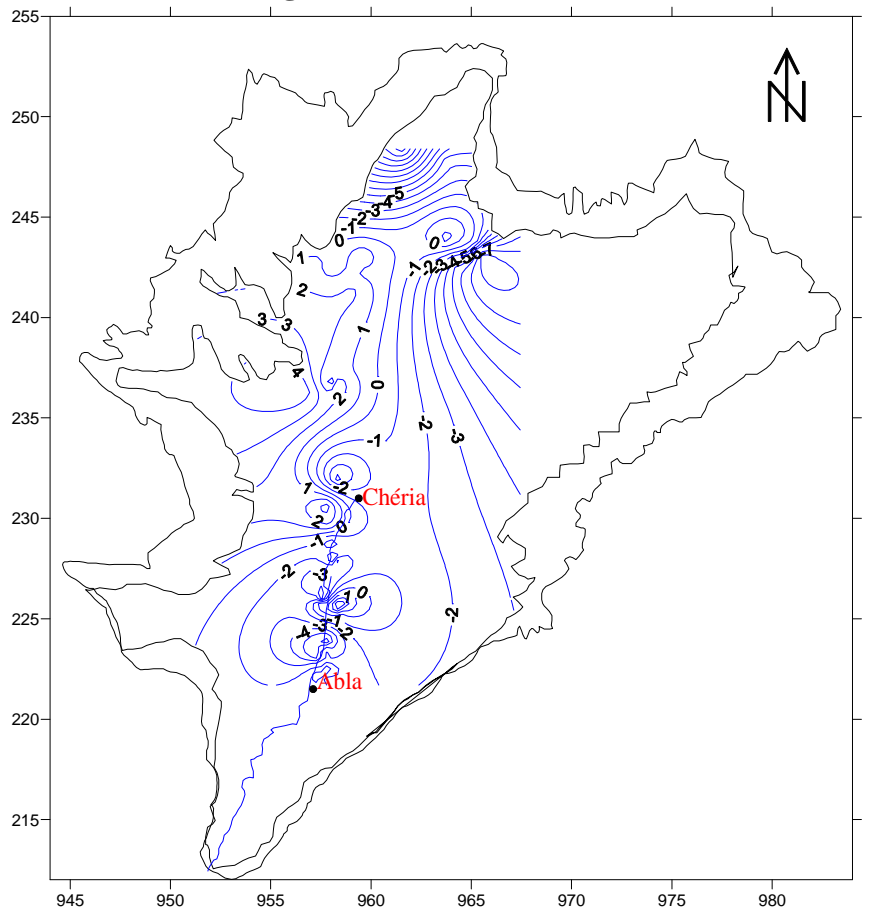


**Fig. 50:** Carte de battement de l'aquifère alluvionnaire; 2010.

La surexploitation des eaux souterraines situées près de la ville de Chéria (zone centrale), puis la région de Abla (zone aval) et petite zone d'exploitation au nord du plateau de Chéria (zone amont).

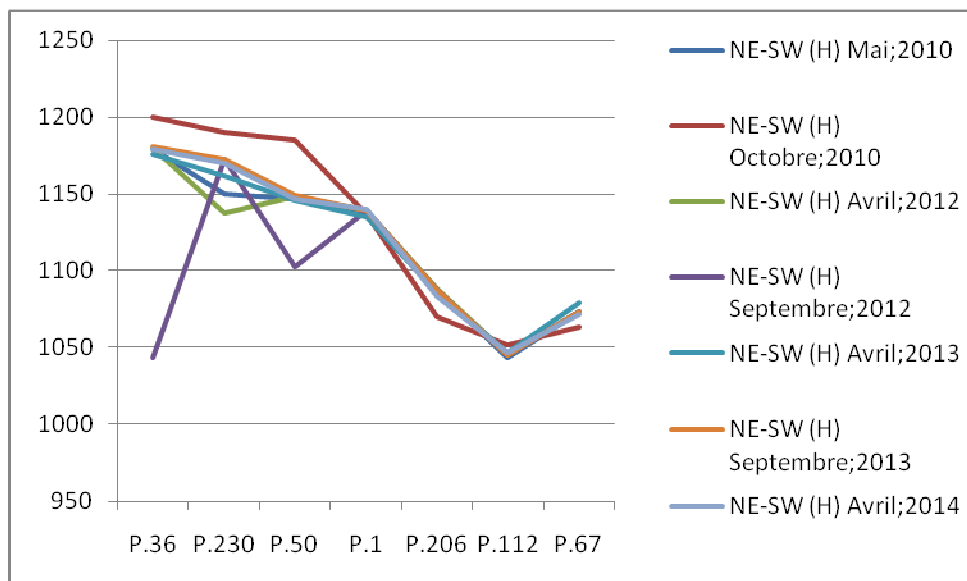


**Fig. 51:** Carte de battement; 2012.

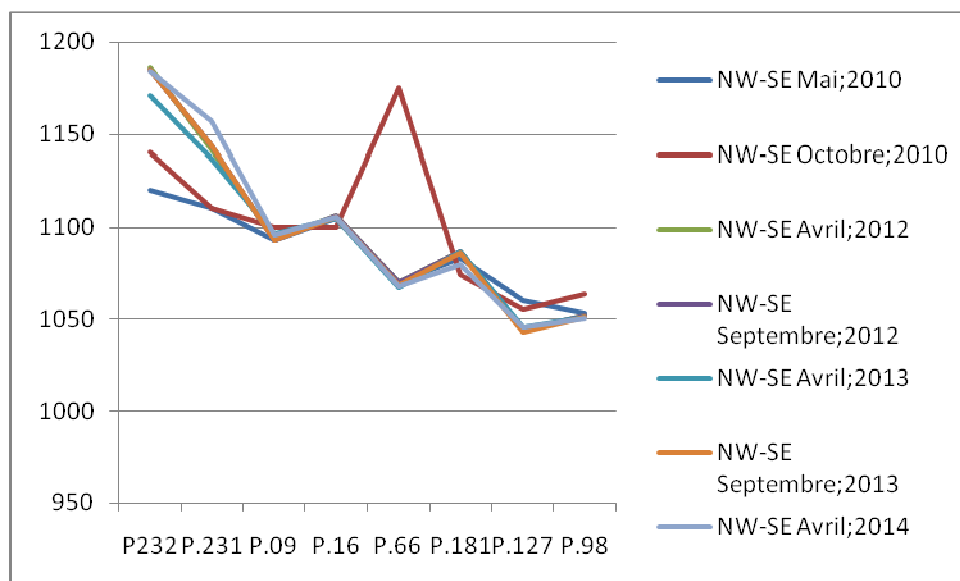


**Fig. 52:** Carte de battement; 2013. 0Km 4Km 8Km

### 5. Evolution de la profondeur du plan d'eau:



**Fig. 53:** Evolution de la profondeur du plan d'eau selon la direction NE - SW.



**Fig. 54:** Evolution de la profondeur du plan d'eau selon la direction NW - SE.

Pour l'étude de l'évolution de la charge hydraulique, nous avons dressé des courbes pour les puits et forages suivant deux directions; la première courbe pour la direction NE - SW, et la deuxième pour la direction NW - SE. L'évolution de la charge hydraulique dans les deux directions montre que le sens d'écoulement se fait de nord vers le sud au dessus de la ville de Chéria, et d'ouest vers l'est à l'ouest de la ville de Chéria.

La diminution remarquable de la charge hydraulique dans la partie sud est tributaire du rapprochement entre la cote topographique et le niveau statique de la nappe (diminution de la profondeur jusqu'au l'exutoire du plateau de Chéria).

### C. Etude de la Karstification:

#### 1. Introduction:

Karst est un tout ensemble de formes de surface et souterraine résultant de la dissolution de roches carbonatées par les eaux souterraines rendues acides par le CO<sub>2</sub> dissous qui facilement solubles comme suit:  $\text{Ca CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$

Ce principe de dissolution permettant l'élargissement des fissures et la formation des canalisations et des cavernes souterraines.

Quelques auteurs font appel dans certains cas à une érosion non plus purement chimique, mais en grand partie mécanique (P. Renault; 1967, C. Ek; 1969), la désagrégation de la roche carbonatée et l'entraînement des particules en suspension existe, certes mais restant négligeable devant la dissolution, comme le montrent les teneurs très faibles de sédiments en suspension. De plus, la majeure partie de ces sédiments transportés est insoluble, les carbonates en suspension sont rapportés souvent à la mise en mouvement de sable calcitiques de dépôts, souterrains (P. Renault; 1970) s'est attaché à montrer le rôle des sédiments souterrains dans la protection de la roche ou dans son altération ce ne peut être toutefois qu'une action locale concernant en outre une morphologie karstique souterrains déjà développée (In M. Bakalowicz; 1979).

Le système karstique peut être constitué uniquement de formation carbonatées karstifiées, il s'agit alors d'un système karstique unaire. Lorsque le système karstique comprend aussi des formations non karstiques, soumises à des écoulements de surface drainée par des pertes, il est dit binaire (Mangin; 1978).

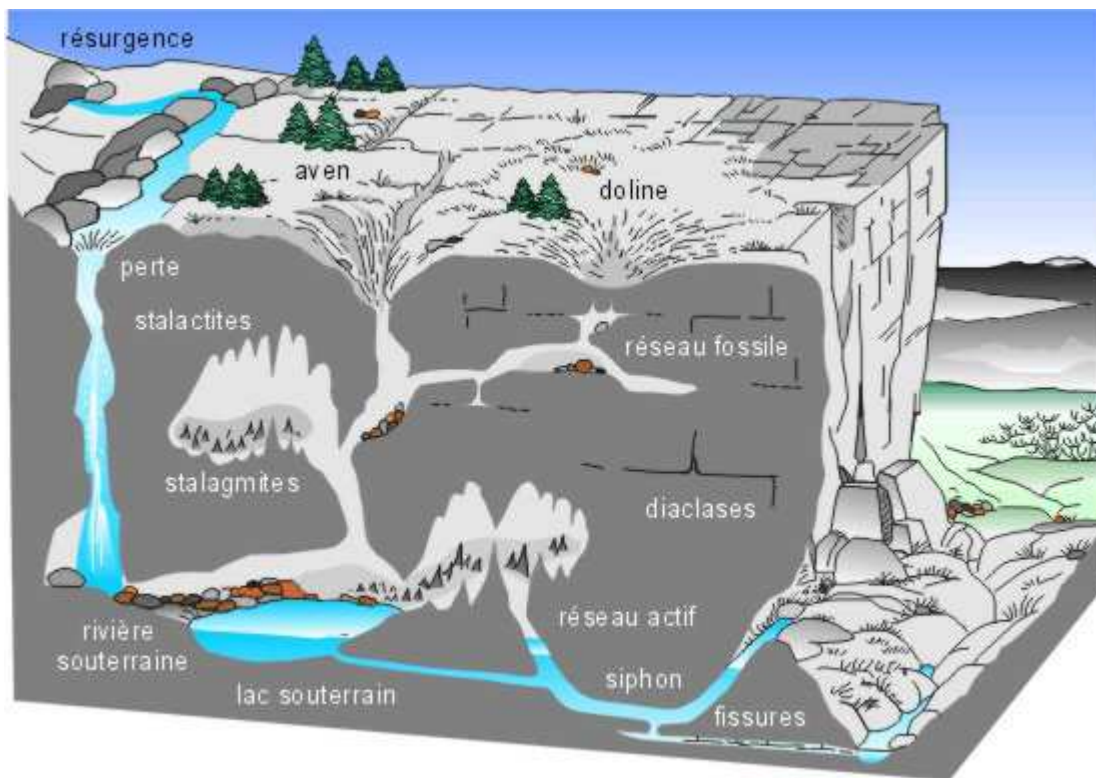
Lorsqu'une rivière traverse des terrains calcaires et subit à leur contact des pertes partielles aboutissant à une résurgence, le système karstique, défini à partir de cette dernière, ne

comprend pas le bassin versant de la rivière en amont des pertes; ces pertes sont considérées comme des entrées dans le système.

Contrairement à tous les aquifères poreux et fissurés, l'aquifère karstique est soumis à une évolution morphologique, du fait de la dissolution de la roche et l'évacuation des matières dissoutes par écoulement souterrains.

## 2. Morphologie karstique:

Les formes d'érosion qui résultent de la dissolution de roches (surtout calcaires) par les eaux douces sont très particulières: Elles reçoivent le nom de "morphologie karstique". Les différents éléments d'un paysage karstique sont illustrés dans la figure suivante.



**Fig. 55:** Morphologie du karst (M. Bakalwicz; 2002).

On distingue des morphologies souterraines et des morphologies aériennes:

- Le réseau souterrain ou "endokarst" est influencé par les discontinuités géologiques: cassures, diaclases, failles du massif calcaire qui conditionnent la direction des galeries. On distingue la partie fossile du réseau, dénoyée, de la partie active où s'écoulent les rivières souterraines. Les spéléothèmes regroupent toutes les formes de concrétionnement comme les stalactites (caractérisées par un canal central où circule l'eau), les stalagmites (pleines), les



draperies, etc. Les gours sont des barrages édifés sur le fond des cours d'eau souterrains, souvent à l'intervention d'obstacles.

- Les formes aériennes comprennent les canyons et avens, résultant de l'effondrement du toit de galeries et de salles proches de la surface, les dolines, dépressions circulaires où s'infiltrent les eaux de surface, les ouvalas, résultant de la coalescence de plusieurs dolines, les poljés, plaines karstiques endoréiques où s'observent des reliefs résiduels ou mogotes.

Sur le versant sud - est du Guerigueur, on observe le développement d'un grand nombre de dolines de dimension réduites ainsi que des Lapiez. Le faible pendage; la nature carbonatée des couches et le dense réseau de fracturation favorisent l'évolution karstique.



0 400 m



**Fig. 56:** Lapiez sur le versant SE Dj. Guerigueur.

**Fig. 57:** Champ de dolines sur le versant SE de Dj. Guerigueur.

Cette évolution modifie considérablement ses caractéristiques hydrodynamiques initiales (Mangin; 1975, Bakalowiez; 1979).

Un système karstique fonctionne au niveau de deux zones:

- La première zone d'infiltration directe des eaux à travers des terrains fissurés.
- La deuxième zone, elle contient des drains dans les quels se fait la circulation des eaux qui sortent par un ou plusieurs exutoires.



### **3. Réservoir karstique, des calcaires fissurés de la région de Chéria:**

#### **3.1. karstification des calcaires éocènes:**

Le réservoir se présente comme une cuvette synclinale orientée grossièrement NNE - SSW et elle est interrompue par deux failles mises en évidence par la géophysique vers le sud, cette cuvette se réduit à une étroite gouttière qui draine la nappe en direction d'Outa Oum Khaled et des sources d'El Mezeraa. La surface des calcaires du réservoir éocène à l'affleurement est de 70 km<sup>2</sup>. D'après les résultats obtenus à partir des forages implantés dans calcaires éocènes; on peut conclure que:

- Les zones karstifiées sont encore plus localisées dans les 50 premiers mètres.
- Les zones fissurées se rencontrent en générale dans les 100 premiers mètres des séries calcaires.
- Le carottage électrique (Log Normal) a donné des résistivités de l'ordre de 200 ohm.m pour les calcaires fissurés et 400 à 600 ohm.m pour les calcaires non fissurés.

#### **3.2. karstification des calcaires maestrichtien:**

C'est là que la karstification semble se développer intensément, principalement dans les grandes failles Est - ouest qui affectent la région de Chéria et qui peuvent localement engendrer une fissuration, même au dessus des marnes dano - montiennes. La superficie de l'ensemble du système aquifère est d'environ 290 km<sup>2</sup>.

Les cavités ne sont karstifiées que lorsque le terrain de recouvrement est quaternaire (Gaud; 1977), c'est-à-dire lorsqu'ils ont été émergés pendant une longue période et que des circulations d'eau de surface ont pu élargir les fissures par dissolution.

- Les zones fissurées se rencontrent à peu près sur toute l'épaisseur des calcaires sauf dans les forages n° 525 et n° 526 où elles se localisent plutôt en profondeur.
- La fissuration ne semble par directement liée à la résistivité donnée par la géophysique de surface, puisque des résistivités très voisines (300 à 500 ohm.m) indiquent à la fois des calcaires très karstifiés ou faiblement fissurés.

#### 4. Effondrements karstiques de calcaire éocène:

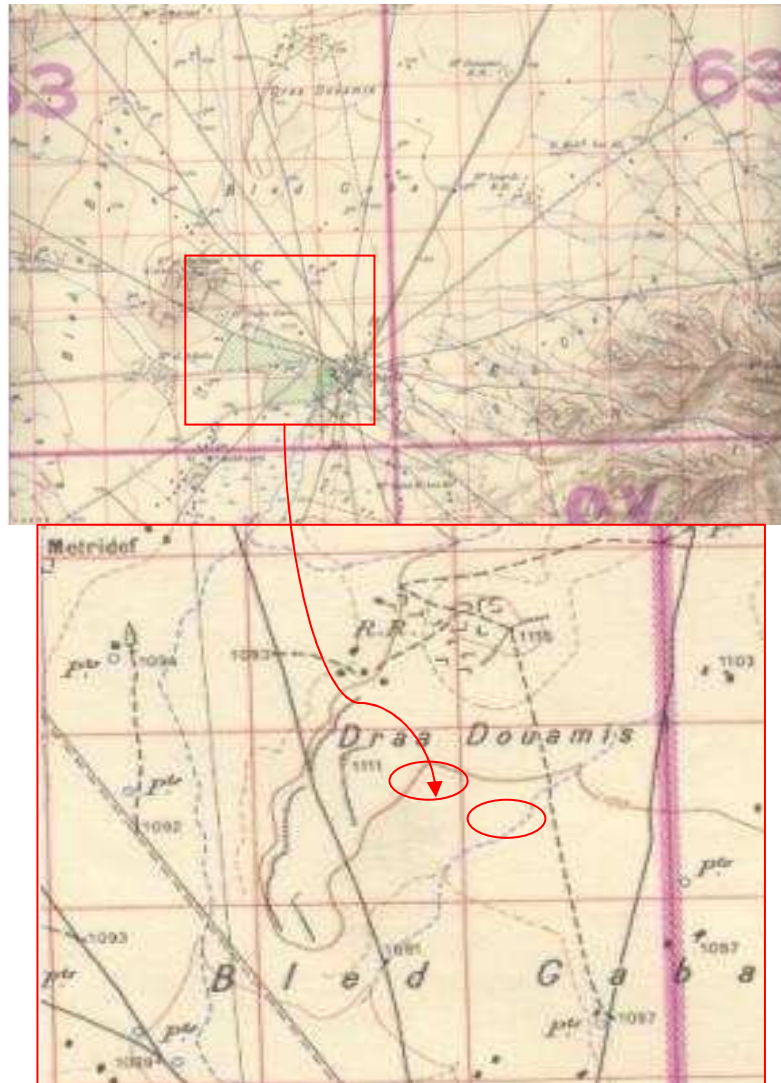
À quelques kilomètres au nord de la ville de Chéria où l'apparition de deux grands affaissement, dans le lieu dit Draa Douamis en 2001; ces affaissements résultants de surexploitation c'est-à-dire diminution brutale de la pression interstitielle, la surcharge de remplissage, et la surcharge de construction humains tous ces agents; ont entraîné ces effondrements.

Suite cette constatation sur site et sur la base des informations de reconnaissance géologique et hydrogéologique de la région déjà acquises, nous pouvons dire que cet effondrement pourrait être dû à la conjugaison de plusieurs facteurs de deux ordres:

- Conditions géologiques et hydrogéologiques de la région;
- Plan d'aménagement urbain de la ville de Chéria.

En conséquence, les facteurs possibles de cet effondrement sont:

-Développement du karst par action de corrosion: L'action de l'eau chargée de gaz carbonique entraîne, selon la réaction chimique de transformation du carbonate de calcium en bicarbonate de calcium par l'acide carbonique, la corrosion des roches calcaires surtout le long de l'axe de drainage. Les fissures attaquées par la corrosion s'élargissent et évoluent en cavités souterraines. Elles constituent de véritables réseaux hydrographiques souterrains avec chenaux et galeries souterraines.



**Fig. 58:** Localisation des affaissements. (Extrait de la carte topographique de Chéria). Echelle: 1/50000.



**Fig. 59:** Affaissements d'un toit de calcaire éocène.

-Le rabattement de la nappe par intensification des pompages: L'abaissement du stock souterrain en eau par intensification des pompages prolongés, surtout en amont et selon l'axe de drainage, a provoqué par action de la compressibilité de l'eau au niveau des cavités saturées une baisse de pression et le liquide contenu dans les vides se dilate par une détente élastique fournissant une certaine quantité. Alors, la pression hydrostatique dans le terrain diminue et les assises superposées pèsent sur la trame solide du matériau aquifère, diminuant le volume des vides des cavités, expulsant un surcroît d'eau. D'où cet effondrement de sol qui a été ainsi observé précédemment en amont dans les Douamis de Hadjra Oum Nab avec un rejet plus important.

-Diminution des apports de réalimentation: La déviation et l'évacuation des eaux de ruissellement par la mise en place de la digue de protection de la ville de Chéria contre les inondations a certainement diminué la réalimentation de cette nappe karstique laquelle a entraîné un bilan hydrique de déstockage et les cavités deviennent partiellement saturées même complètement dénoyées en sub-surface. Alors le phénomène d'influence des charges des assises superposées sur la trame solide du matériau aquifère reste en permanence et des effondrements peuvent de temps en temps apparaître dans les endroits de capacité portante faible.

### **Conclusion:**

Le plateau de Chéria est constitué essentiellement, par trois aquifères: un premier caractérisé par les calcaires du maestrichtien, perméables aux bordures et stériles aux centre. Un second qui est le plus important pour la région et sa périphérie, les calcaires de l'éocène, d'une épaisseur qui s'étale de quelques dizaines à deux centaine de mètre. Le troisième l'aquifère mio - plio - quaternaire qui devenu sans intérêt hydraulique, à cause de la sécheresse aigue des dernières décennies.

L'absence de normes et d'une réglementation précise a engendré pendant plusieurs années une anarchie dans l'implantation des ouvrages de captage (forages et puits).

L'établissement des cartes piézométriques montre que l'écoulement général des eaux souterraines se fait vers le sud avec un gradient hydraulique très variable d'une période à l'autre de l'ordre 0.7. Les dépressions piézométriques, visualisées dans ces dernières, peuvent être expliqués par la surexploitation et le pompage continu.

**V:HYDROCHIMIE, PRESENTATION ET INTERPRETATION DES  
PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES  
DU PLATEAU DE CHERIA.**

## **1. Introduction:**

Il s'agit en fait d'une méthode de prospection hydrogéologique qui permet la caractérisation des aquifères. En effet, la composition chimique des eaux souterraines dépend en grande partie du type de roche encaissante, de l'évolution hydrodynamique des écoulements de la nappe, de la profondeur de cette dernière et de la zone climatique. Elle donne de précieux renseignements sur les conditions de gisement et le mouvement des eaux souterraines.

La base de l'étude hydrochimique est la classification des eaux souterraines en faciès hydrochimiques.

La principale question est de savoir comment les eaux souterraines acquièrent leur composition chimique, puis comment celle-ci peut évoluer. La réponse à cette question nous permet sans doute, de délimiter les zones favorables à l'exploitation notamment pour l'irrigation sans aucun risque ni de dégradation de la ressource ni sur les sols.

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines sont nombreuses; la température, la conductivité et les sels dissous, se comportent fréquemment comme des marqueurs naturels, permettant d'étudier les caractéristiques hydrogéologiques de la couche aquifère et les facteurs d'écoulement souterrain.

## **2. Méthodologie de travail:**

Dans la présente partie, nous allons traiter les résultats d'analyse physico-chimiques disponibles durant la période d'étude 2010 - 2014; pour déterminer faciès chimique des eaux souterraines. Pour cela, nous avons exploité plusieurs méthodes utilisées par différents auteurs et qui ont donné des résultats satisfaisants (Droubi et al; 1976, Vallès; 1980, Bakalowicz; 1988, Barbeiro; 1992, Hsissou et al; 1996, Abdesselem et al; 2000, Debieche; 2002). Nous avons aussi exploité ces résultats pour donner un résumé sur l'utilisation de ces eaux pour l'irrigation, (méthode de Richard et celle de Wilcox).



Pts d'eau	Echant	Propriétaire	Région
F.57	1	Dhraifia Djihad 01	Abla
P.67	2	Dhraifia Djihad 02	Abla
P.65	3	Dhraifia Djihad 03	Abla
F.88	4	Jarche Hamoudi	Abla
F.138	5	Hmila Ahmed	Abla
P.136	6	Slaimia Saleh	Abla
F.139	7	Charif Ali	Abla
F.176	8	Bakouche Mouhamed	Mechantel
F.174	9	Mechri Youcef	Ver Mezraa
F.143	10	Alouafi Mouhamed	Mechantel
P.177	11	Salmi Abd Elhamide	Intersection Chéria-Thélidjane
F.230	12	Bir Touila	Bir Touila
F.180	13	Bourezgue Messoude	Mechantel
F.231	14	Djilali Mouhamed	Mechantel
F.52	15	BBR.Tebessa.Chéria	BBR.Tebessa.Chéria
P.98	16	Mehie Eddin Saleh	Abla
P.106	17	Cherfi Ahmed	Abla
P.127	18	Smaail Boudjamaa	Abla
F.74	19	Bougarra Ahmed	Abla
F.93	20	Gaba Djamale	Abla
P.36	21	Bir Drouge	Bir Drouge
P.09	22	Serradje Taher	Bir Mekadem
P.230	23	NE	Nord de Chéria
P.231	24	NN	Nord de Chéria
P.232	25	NW	Nord de Chéria

**Tab. 22:** Répartition des prélèvements hydrochimique.

Tous ces aspects seront développés dans cette partie selon le plan suivant:

-25 prélèvements des eaux souterraines de l'aquifère alluvionnaire d'âge mio - plio - quaternaire. Ces analyses concernent la qualité ainsi que la répartition spatiale dans la plaine des variables mesurées. Elles servent aussi à la détermination de l'origine des éléments chimiques et l'aptitude des eaux à l'irrigation. Ces analyses ont été effectuées au plusieurs laboratoire; laboratoire d'analyse hydrochimique de l'université de Tébessa, CRSTRA (Centre de Recherche Scientifique et Technologique des Régions Aride et semi aride) de Biskra, laboratoire de l'eau et environnement à Tébessa. Le tableau suivant, donne une récapitulation sur ces campagnes:

Campagne	Période		Nombre d'échantillons
	Mois	Année	
1	Mai	2010	15
2	Octobre	2010	20
3	Avril	2012	25
4	Septembre	2012	25
5	Avril	2013	25
6	Septembre	2013	25
7	Avril	2014	25

**Tab. 23:** Répartition et fréquence des prélèvements hydrochimiques.

L'échantillonnage des eaux souterraines a été réalisé de manière à obtenir un maillage le plus régulier possible, compte tenu de la disponibilité des puits et des forages en exploitation ainsi que l'autorisation des propriétaires. La relation d'homogénéité des points prélevés permet par simple interpolation spatiale par krigeage, d'avoir une image acceptable de la qualité physico-chimique des eaux souterraines sur le plateau de Chéria. La cartographie de chaque campagnes est représentée dans ce chapitre sauf les campagnes avril et septembre 2012, et avril 2013 sont introduites en l'annexe.

### 3. Etude des paramètres physiques:

Ces paramètres sont très importants, car ils jouent un rôle majeur dans la solubilité de l'eau et aident à la détermination de son origine, donc on a mesuré les paramètres suivants: température, PH, minéralisation et la conductivité.

#### a-Température:

Il est important de connaître la température de l'eau avec une précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous. La température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que l'origine est moins profond.



### **b- Potentiel hydrogène PH:**

Le PH exprime le module de représentation en ion  $[H^+]$  d'une solution, par définition le PH est le log décimal de l'inverse de cette concentration totale:  $\left[ \frac{1}{H^+} \right]$

L'échelle du PH varie entre 0 à 14. Dont du: 0 - 7,5; pour un milieu acide

6 - 7; pour un milieu neutre, 7,5 - 14; pour un milieu basique

### **c- Minéralisation:**

Elle représente la totalité des sels dissous dans l'eau, elle est en relation avec la conductivité.

Elle varie en fonction de la géologie des terrains traversés. L'eau de pluie est légèrement acide du fait de sa teneur en  $CO_2$  dissous. Au cours de son infiltration dans le sol et le sous sol, elle se charge en ions et acquiert des propriétés physico-chimiques qui caractérisent l'eau de la roche emmagasinant.

### **d- Conductivité électrique:**

La conductivité électrique d'une eau est l'aptitude de passage du courant caractérise la propriété à laisser passer le courant électrique. Elle augmente avec la concentration des ions dans la solution et la température. Elle correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1 \text{ cm}^2$  de surface, et séparées l'une de l'autre de  $1 \text{ cm}^2$ , exprimées en  $\mu\text{s/cm}$  à  $T = 20 \text{ C}^\circ$ .

Les résultats montrent une élévation remarquable dans la partie sud du terrain (2000 - 3100  $\mu\text{s/cm}$ ) notamment au lieu dit Abla; peut atteindre parfois même 5000  $\mu\text{s/cm}$ , pour la campagne d'octobre 2010; qui peut être expliqué par plusieurs facteurs d'ordre hydrodynamique tel que la recharge en cet endroit et les écoulements du nord vers le sud et le recharge en ions chimiques en contact avec les roches.

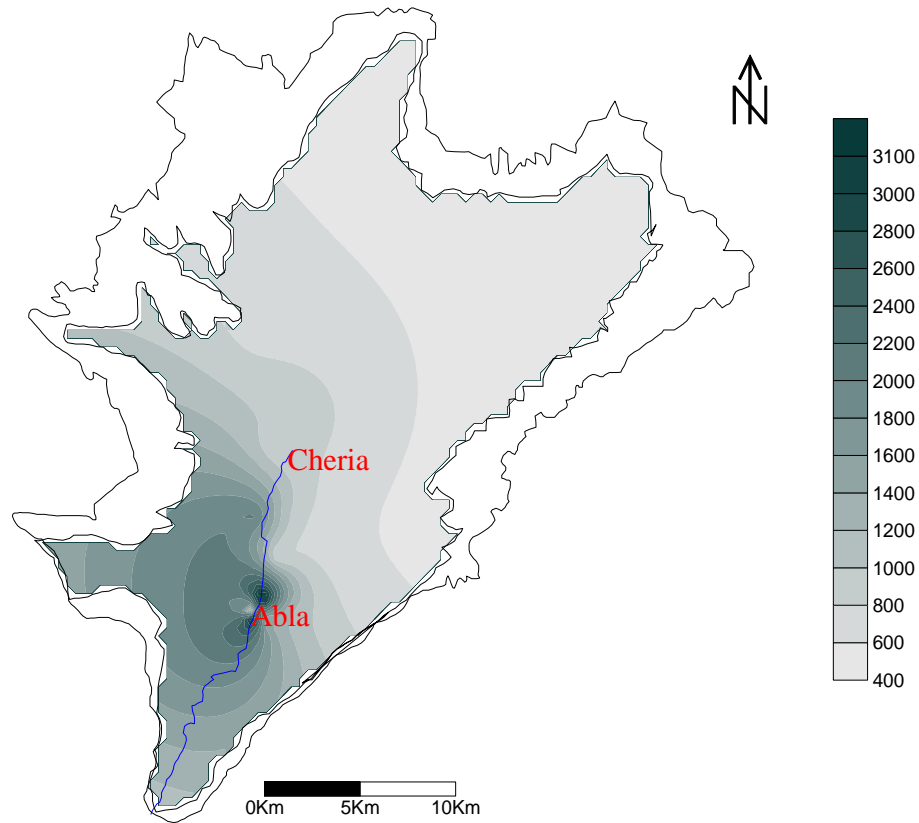


Fig. 60: Carte des conductivités (en mg/l); mai 2010.

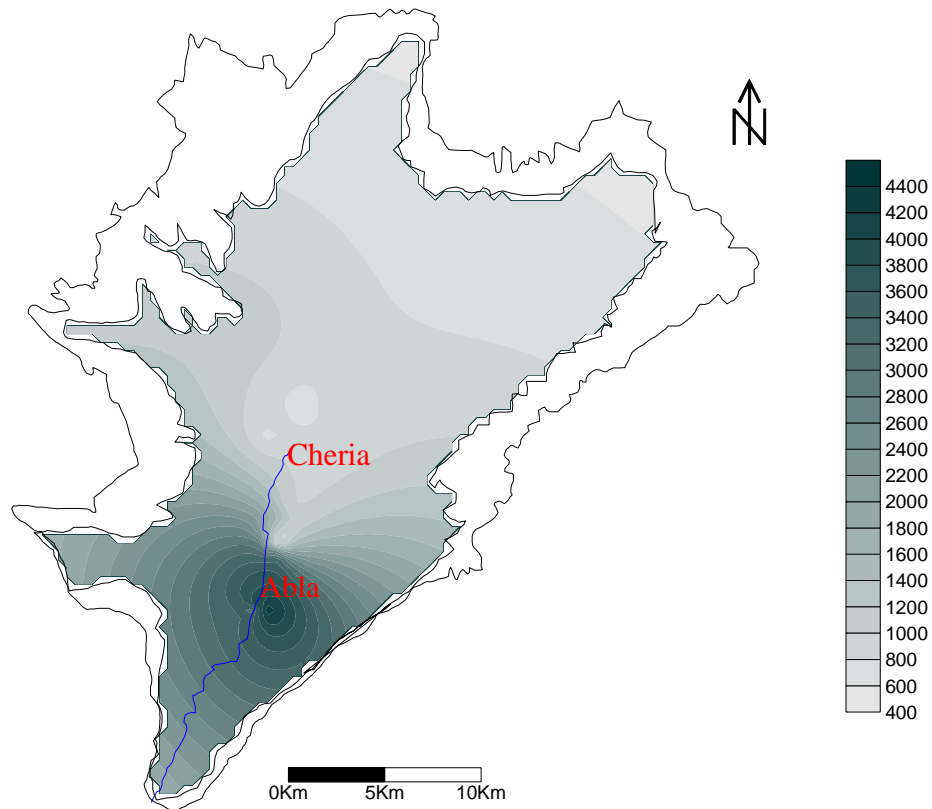


Fig. 61: Carte des conductivités (en mg/l), octobre 2010.

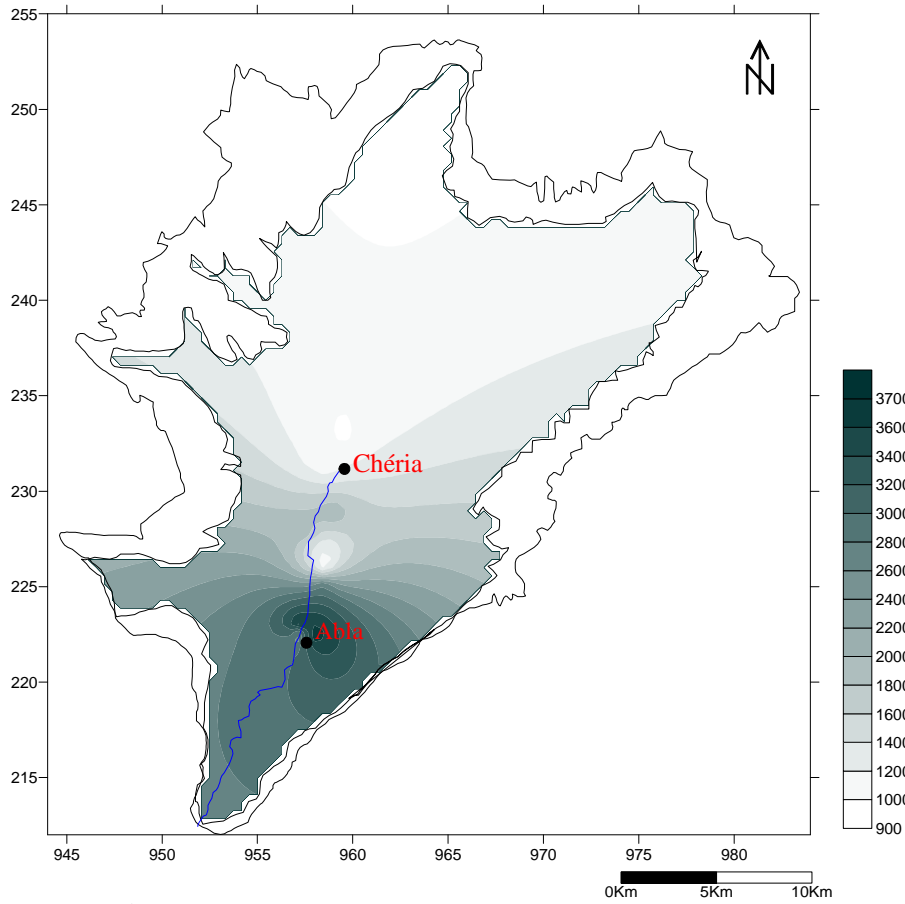


Fig. 62: Carte des conductivités(en mg/l); septembre 2013.

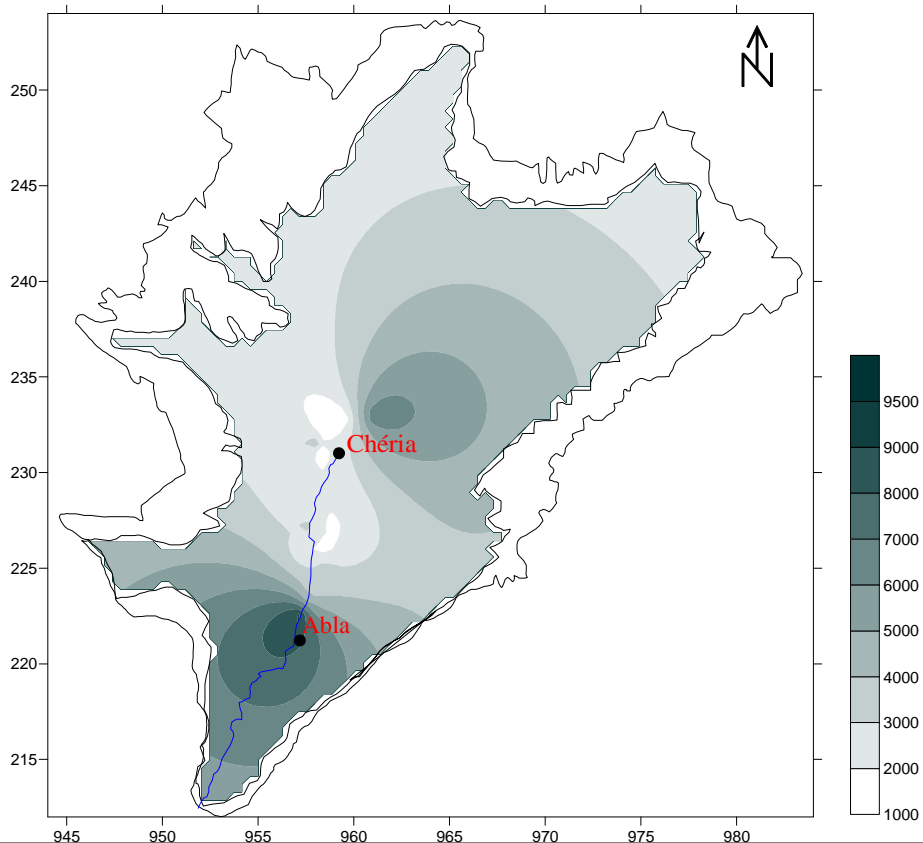


Fig. 63: Carte des conductivités (en mg/l); avril 2014.

La présentation des résultats des conductivités dans la fin de la période d'étude des deux campagnes haute et base eau (septembre 2013 et avril 2014); montre une augmentation remarquable dans la partie sud du plateau de Chéria (4000 - 7000  $\mu\text{s/cm}$ ) au voisinage de la ville de Chéria, et peut atteindre parfois même 9000  $\mu\text{s/cm}$  au Abla.

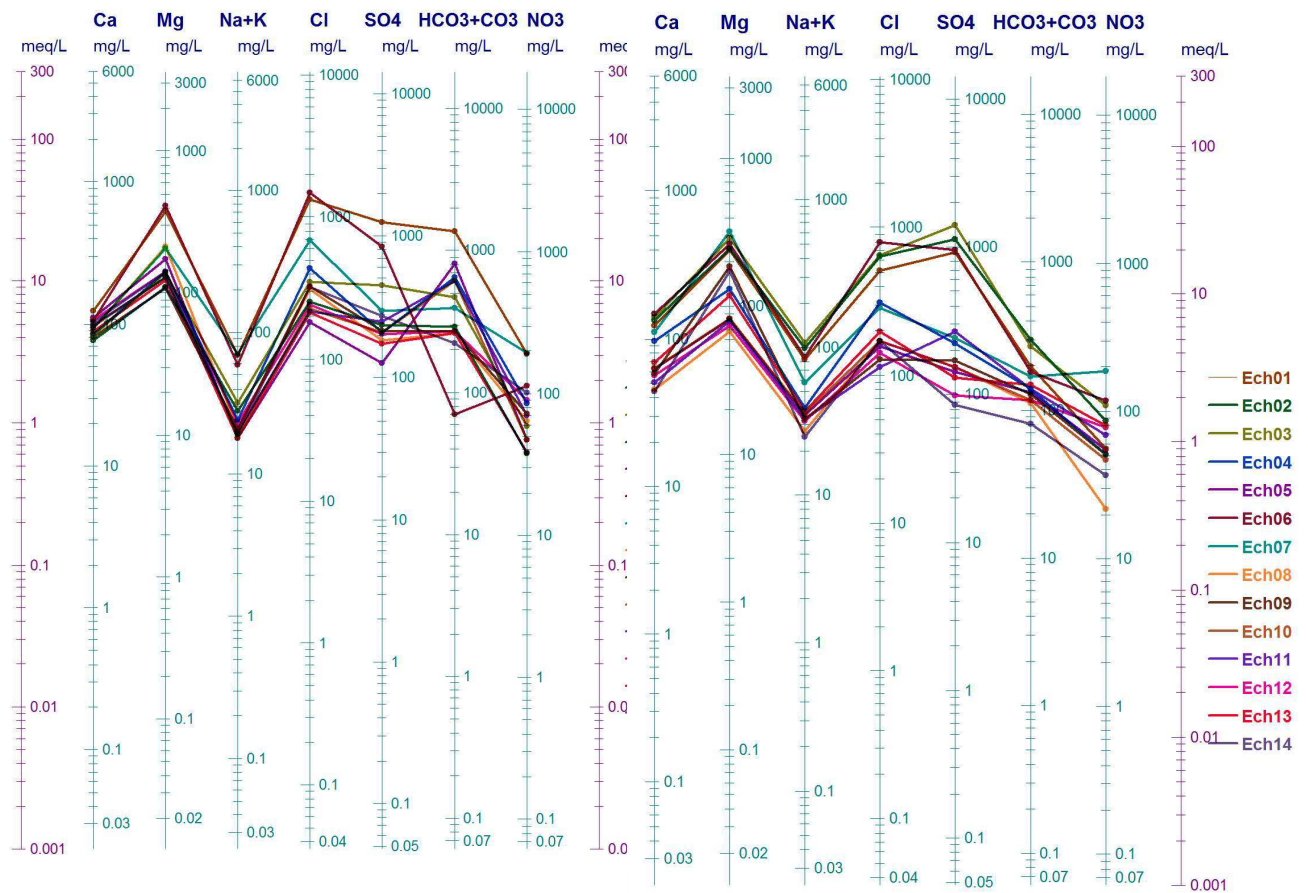
L'évolution de la conductivité au cour de la période d'étude est très remarquable au sud, notamment la ville de Chéria et au lieu dit Abla, qui peut être expliquer par plusieurs facteurs d'ordre hydrodynamique tel que la recharge en cet endroit et les écoulements du nord qui sont très chargés et qui permettent la concentration des éléments chimiques, ainsi qu'une éventuelle contamination par les eaux de l'oued Chéria qui draine les eaux usées de l'agglomération elle - même (Chéria et Abla).

#### **4. Représentation graphique et identification des faciès:**

Dans ce but, nous avons entrepris, dans notre cas cette démarche et choisi des diagrammes de représentation tels que celui de Schoeller - Berkallof et Piper, afin de mieux cerner les particularités des eaux étudiées. Ne perdons pas de vue, que de telles représentations, nous permettent une identification des faciès qui caractérisent ces eaux.

##### **4.1. Diagramme de Schoeller - Berkallof:**

Ce type de représentation, établie par Schoeller en 1932 et repris pas Berkallof en 1952; il est composé de sept échelles logarithmiques verticales correspondantes aux principaux ions, nous portons sur un papier semi - logarithmique les quantités en réactions des anions et des cations sur l'axe des ordonnées et sur les abscisses les éléments chimiques à pas régulier, et ceci pour chaque point d'eau de prélèvement.

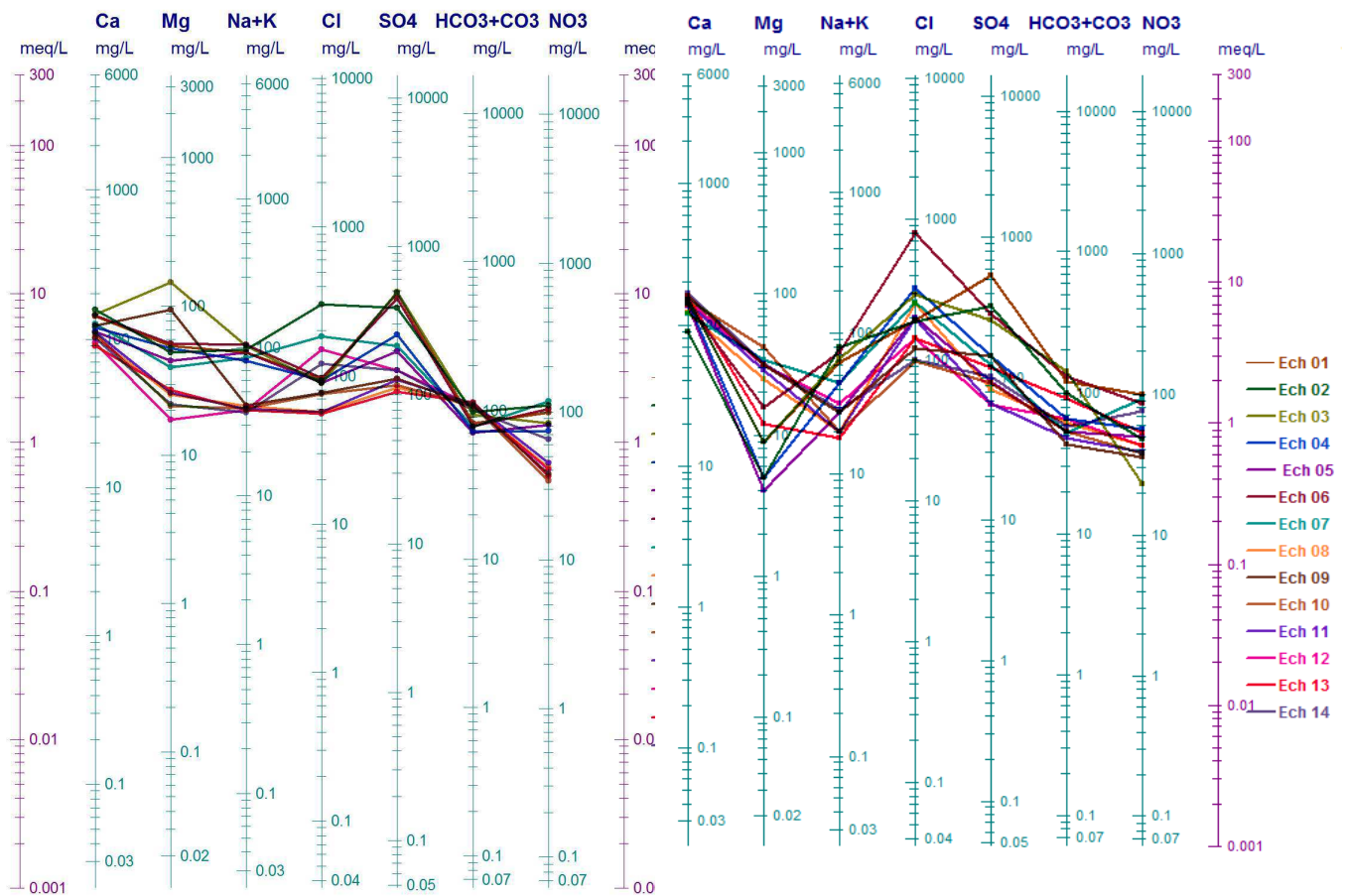


**Fig. 64:** Diagramme Schoeller - Berkaloff; mai 2010.

**Fig. 65:** Diagramme Schoeller – Berkaloff; octobre 2010.

L'analyse hydrochimique de la période mai et octobre 2010, montre que les eaux souterraines du plateau de Chéria sont bicarbonatées magnésiennes, chlorurées magnésiennes.

Pour la période octobre 2010, Les eaux gardent le même faciès chimique, avec apparition du faciès sulfaté magnésien, le changement de faciès du chloruré calcique à sulfaté calcique peut être du au phénomène de concentration.



**Fig. 66:** Diagramme Schoeller – Berkaloff; septembre 2013. **Fig. 67:** Diagramme Schoeller – Berkaloff; avril 2014.

Les groupes plus dominantes sont sulfatés calciques et chlorurés calciques, secondairement on observe un faciès calcique et chloruré; les fortes concentrations en chlorures et sulfates indique un état de pollution liée aux activités anthropiques.

Durant la période d'étude (2010 - 2014), les eaux souterraines du plateau de Chéria caractérisées par un faciès principal: chloruré calcique, sulfaté calcique.

En outre de faciès secondaire: chloruré magnésien, sulfaté magnésien, bicarbonaté magnésien.

## 4.2. Diagramme de Piper:

Ce diagramme est un autre mode de représentation graphique et de classification d'une eau analysée. De forme triangulaire, il est subdivisé en trois zones de faciès. Les nuages de points concentrés dans une zone représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques. Sur le diagramme de Piper nous allons interpréter les résultats d'analyses hydrochimiques, correspondant aux périodes d'observations, pour avoir une idée sur le faciès chimique des eaux de la région et sur son évolution temporaire, ainsi que sur le mode d'acquisition de ce faciès.

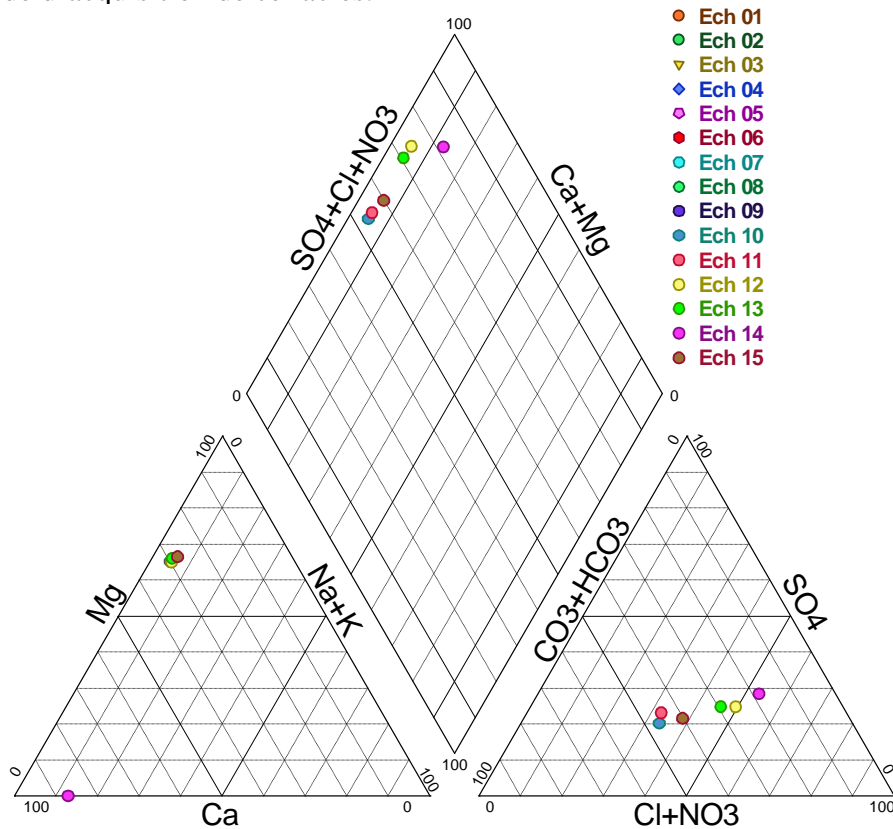
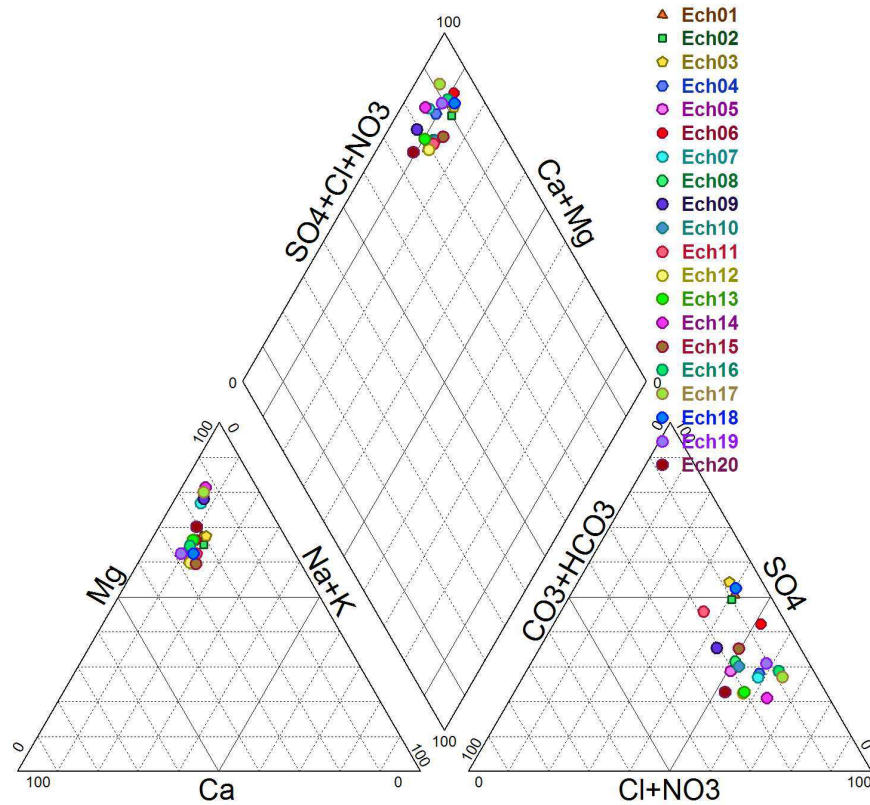
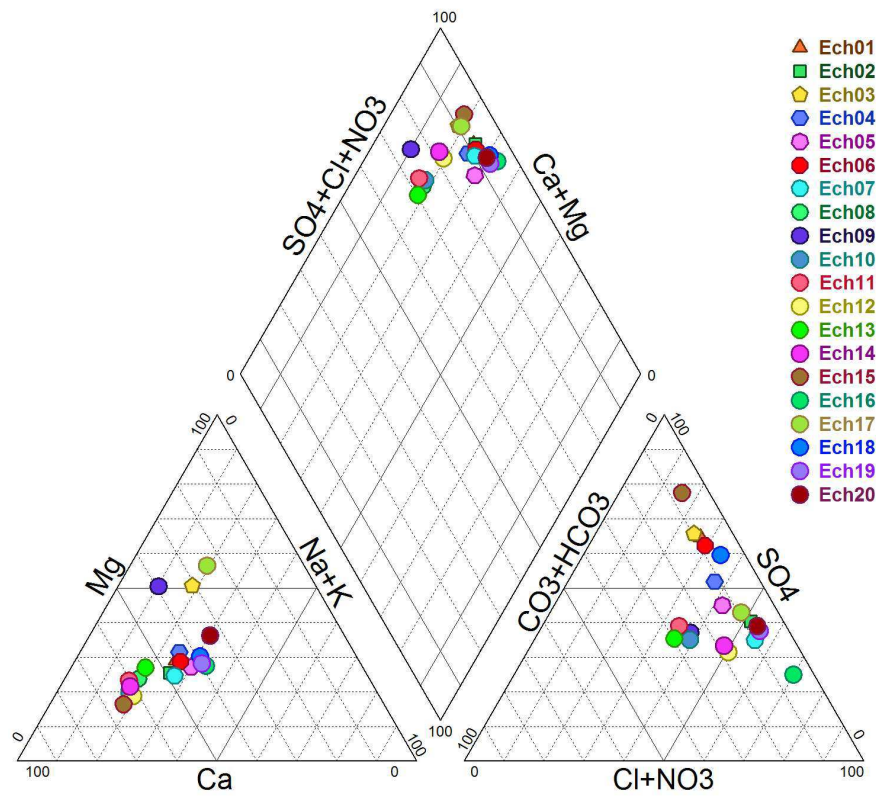


Fig. 68: Diagramme de Piper; mai 2010.



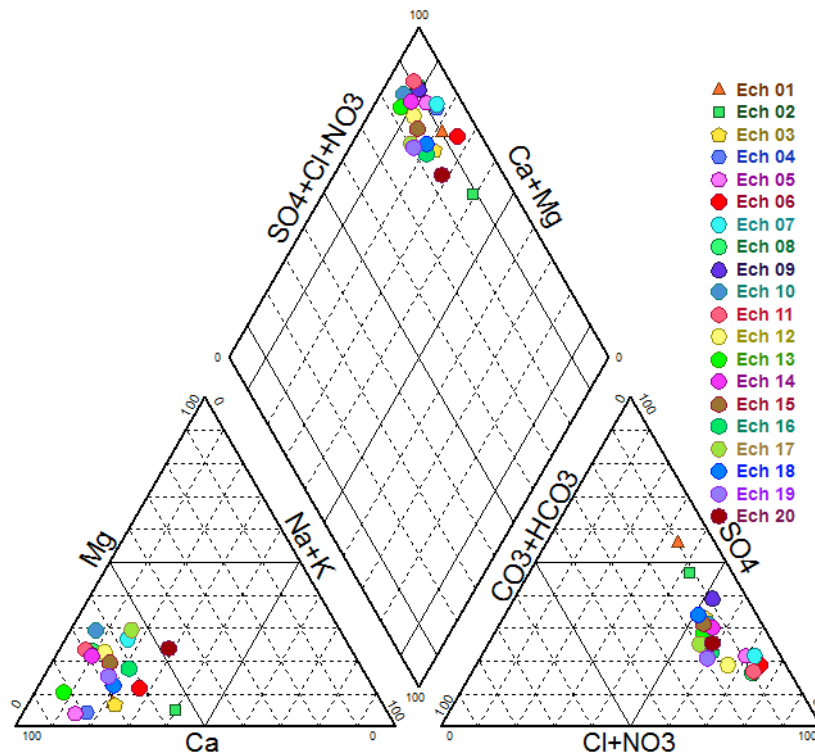


**Fig. 69:** Diagramme de Piper; octobre 2010.



**Fig. 70:** Diagramme de Piper; septembre 2013.





**Fig.71:** Diagramme de Piper; avril 2014.

Pendant la période de mai à octobre 2010, le faciès plus marquant est bicarbonaté magnésien, chloruré magnésien et sulfaté magnésien; l'enrichissement en chlorure et en sulfate est très net de la quasi - totalité des points, par ailleurs la fin de la période d'étude; c'est-à-dire les deux dernières campagnes septembre 2013 et avril 2014 présentent un scénario tout à fait différent du premier, le changement de faciès est clair, tous les points présentent des teneurs importantes en sulfate et en calcium, où le faciès des eaux souterraines du plateau de Chéria est devient respectivement sulfaté calcique et chloruré calcique de la majorité des points. L'évolution de faciès provient l'incidence de la géologie sur la qualité des eaux. Les bicarbonates tirent leur origine des formations des bordures, alors que les sulfates sont liés à la présence de rejets au sud du plateau de Chéria, contamination, conditions climatique, activités anthropique,...etc. L'évolution du faciès des eaux souterraines du plateau de Chéria est présentée dans le tableau suivant.

Campagne	Faciès dominant	En %
Mai 2010.	Chloruré magnésien /	53.33
	Bicarbonaté magnésien	20
Octobre 2010.	Chloruré magnésien	70
	Sulfaté magnésien /	25
Avril 2012.	Sulfaté calcique /	28
	Chloruré calcique	20
Septembre 2012.	Sulfaté calcique	48
Avril 2013.	Chloruré calcique	80
Septembre 2013.	Chloruré calcique /	29.16
	Sulfaté calcique	12.5
Avril 2014.	Chloruré calcique	88

**Tab. 24:** Évolution du faciès des eaux souterraines du plateau de Chéria; (2010 - 2014).

Les grandes types de faciès des eaux souterraines du plateau du Chéria pendant la période d'étude sont chloruré calcique, sulfaté calcique, calcique, chloruré magnésien; le tableau suivant présent les résultats obtenus pendant la période d'étude.

Période d'étude	Faciès dominant	En %
(2010- 2014)	Chloruré calcique	25
	Sulfaté calcique	18.8
	Chloruré magnésien	12.5
	Sulfaté magnésien	6.25
	Bicarbonaté magnésien	6.25
	Autre faciès (Sulfaté et chloruré)	12.5
Total	/	100

**Tab. 25:** Évolution du faciès des eaux souterraines du plateau de Chéria.

## 5. Cartographie hydrochimique:

L'outil cartographique, même dans l'aspect qualitatif des eaux, reste un outil très appréciable, dans la vision de l'évolution spatiale d'un constituant chimique quelconque.

### - Calcium $Ca^{2+}$ :

Cet élément est fréquent dans les roches sédimentaires, il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées à la présence du gaz carboniques. Le rapport  $\frac{Na^+}{Ca^{2+}}$  montre

une prédominance nette du calcaire sur le sodium pour tous les forages et les sources. Dans la région d'étude le  $Ca^{2+}$  provient essentiellement de la dissolution des calcaires.

**- Magnésium  $Mg^{2+}$  :**

C'est un élément qui accompagne souvent le calcium, et provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques, des minéraux ferromagnésiens.

Les rapports  $\frac{rMg^{2+}}{Ca^{2+}}$  et  $\frac{rMg^{2+}}{Na^+}$ , mettent en valeur la prédominance des ions de  $Ca^{2+}$  sur  $Mg^{2+}$  et la prédominance du  $Mg^{2+}$  sur  $Na^+$ .

**- Sodium et potassium ( $Na^+$  et  $K^+$ ):**

Leurs concentration est généralement faible dans les eaux karstiques, ils sont proviennent des formations riches en NaCl.

**- Chlorure ( $Cl^-$ ):**

Le rapport,  $\frac{Cl^-}{HCO_3^-}$ , est considéré comme marqueur de l'eau stockée près de surface et subissant l'ETR et même indicateur des sources de pollution (Schoeller; 1959).

Le rapport  $\frac{rSO_4^{2-}}{Cl^-}$  montre une prédominance des sulfates sur les chlorures pour la totalité des points.

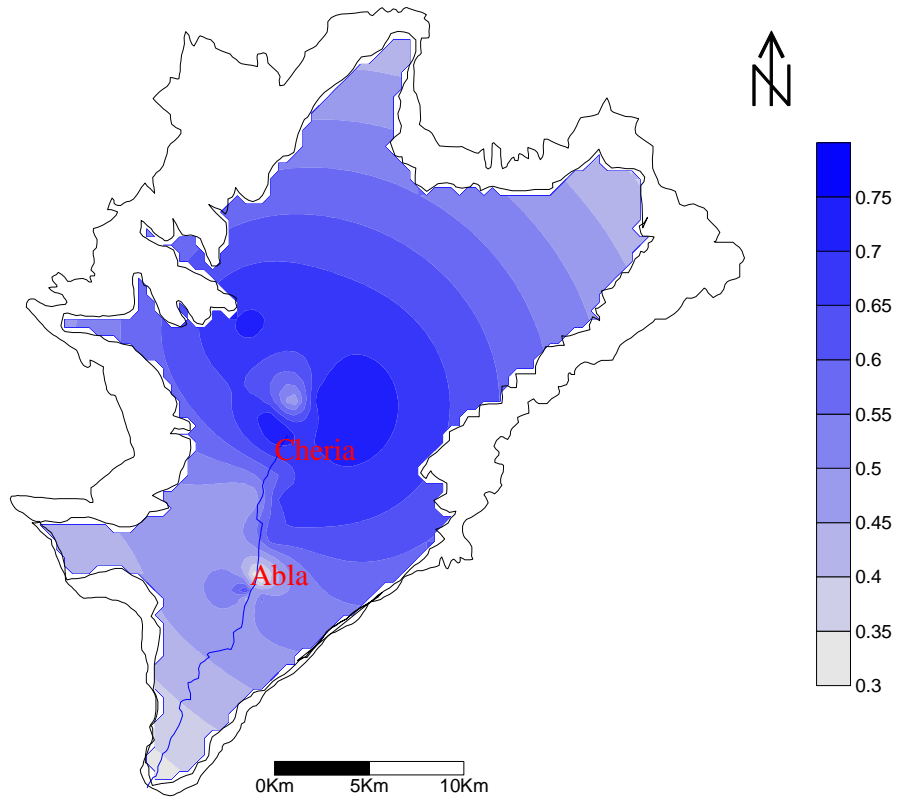
**- Bicarbonates:**

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, donc sa concentration dans l'eau est fonction des paramètres suivants:

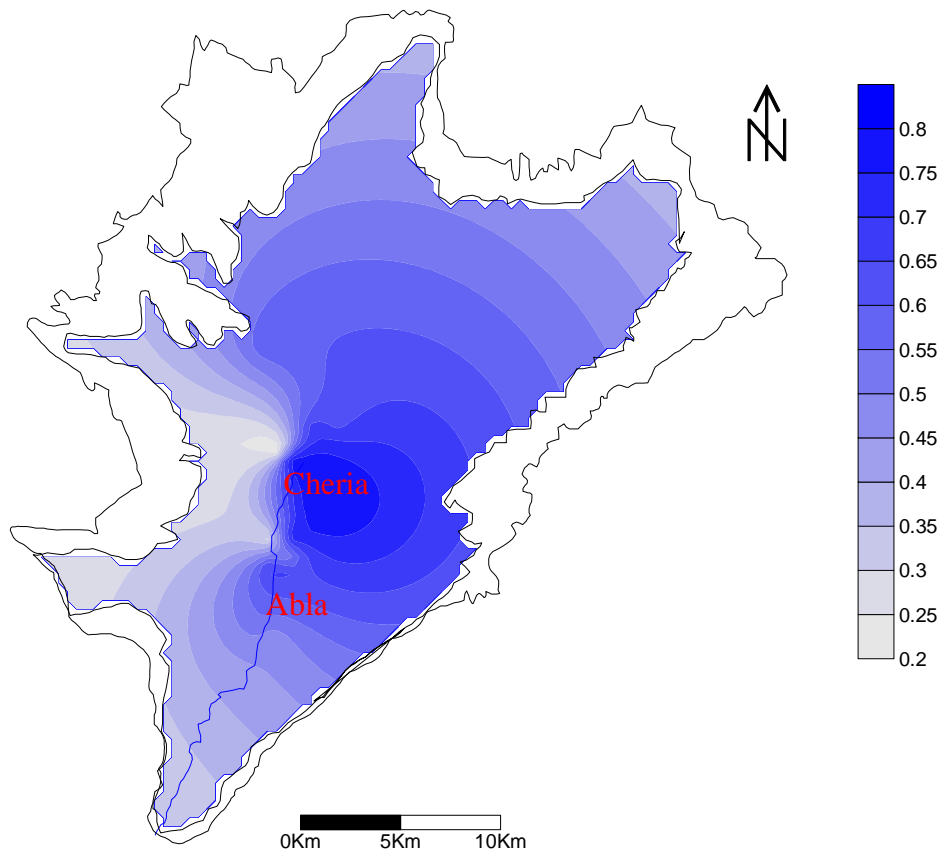
- Concentration du  $CO_2$  dissous, -Température de l'eau, PH de l'eau.

**5.1. Carte du rapport  $Ca^{2+} / Mg^{2+}$  :**

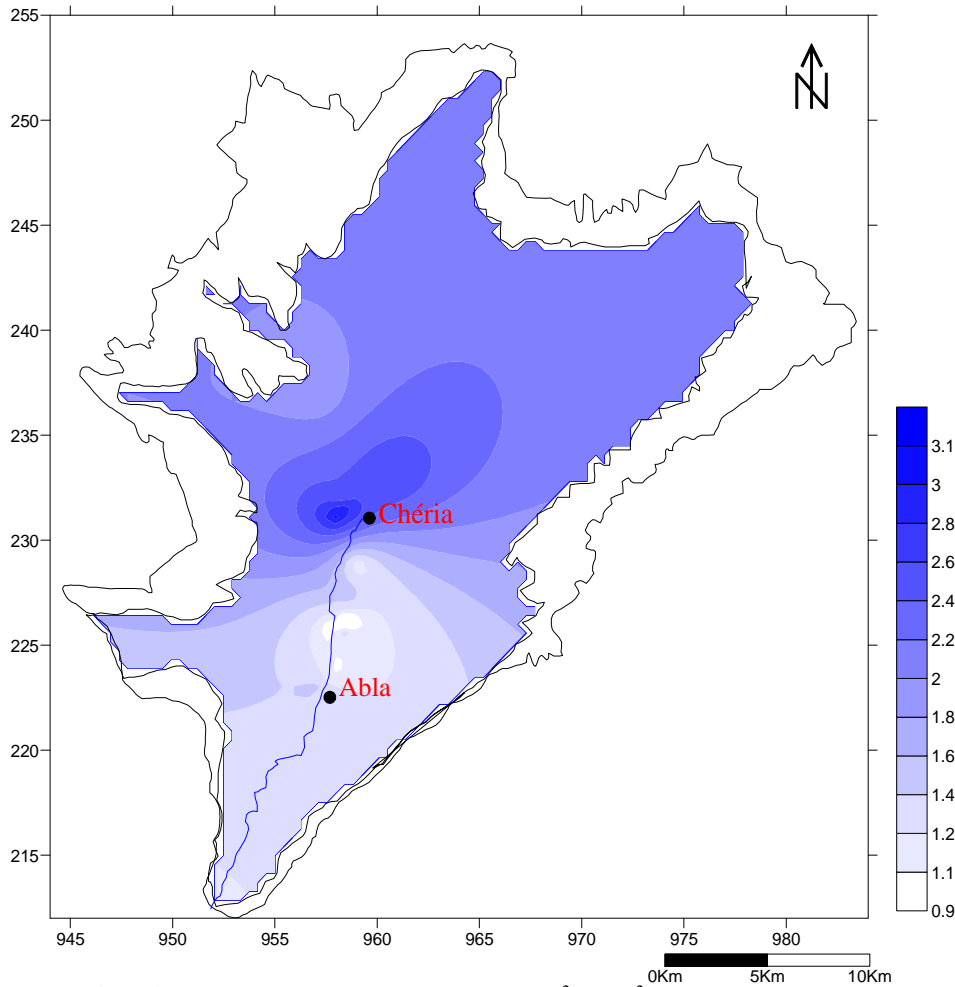
Le rapport  $\frac{Ca^{2+}}{Mg^{2+}}$ , présente différents états au cours de la période d'observation, il est inférieur à l'unité en mai 2010; ce qui montre une dominance du magnésium.



**Fig.72:** Carte du rapport caractéristique:  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ ; mai 2010.



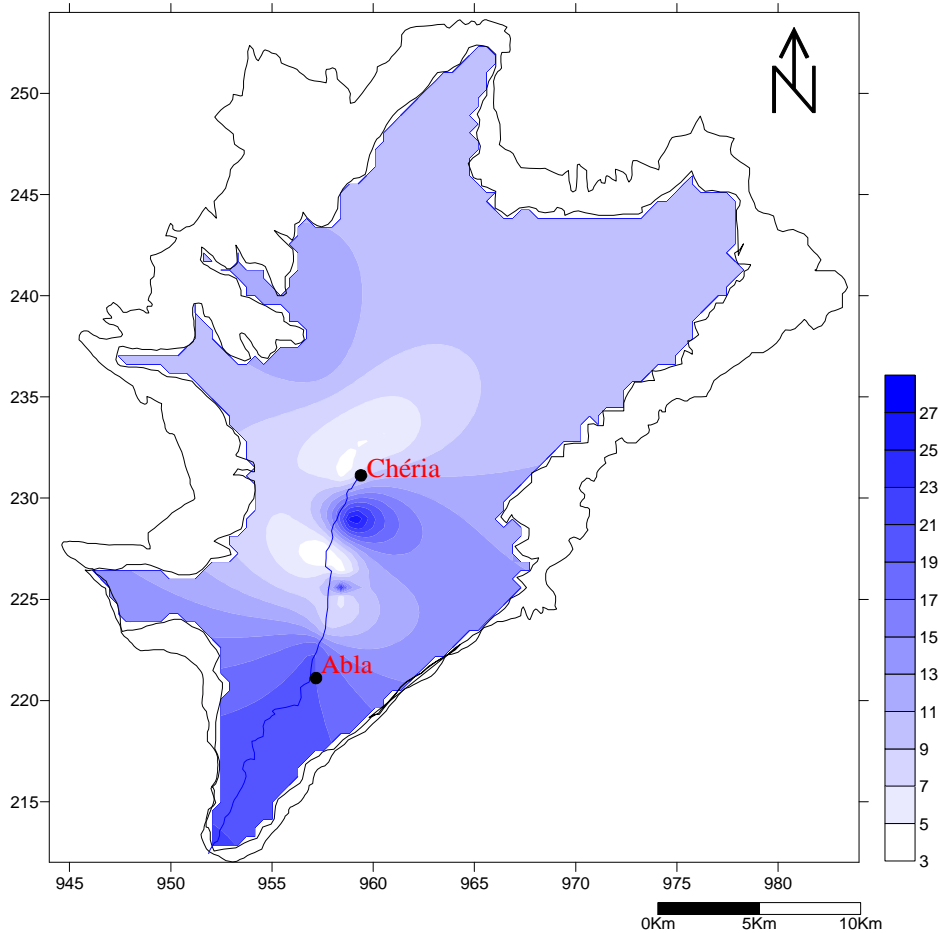
**Fig.73:** Carte du rapport caractéristique:  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ ; octobre 2010.



**Fig.74:** Carte du rapport caractéristique:  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ ; septembre 2013.

Le rapport  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$  prend des valeurs maximale près à la ville de Chéria, leur répartition irrégulière pendant la période d'étude;

Pour la période mai - octobre 2010, le rapport  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$  est inférieur à l'unité ce qui confirme la dominance de magnésium, les résultats d'analyse montre que le rapport  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$  est de 0.3 à 0.8; la dégradation des valeurs se fait de centre ville de Chéria ver toutes les bordures carbonatées, le calcium est masqué par la dominance de magnésium.

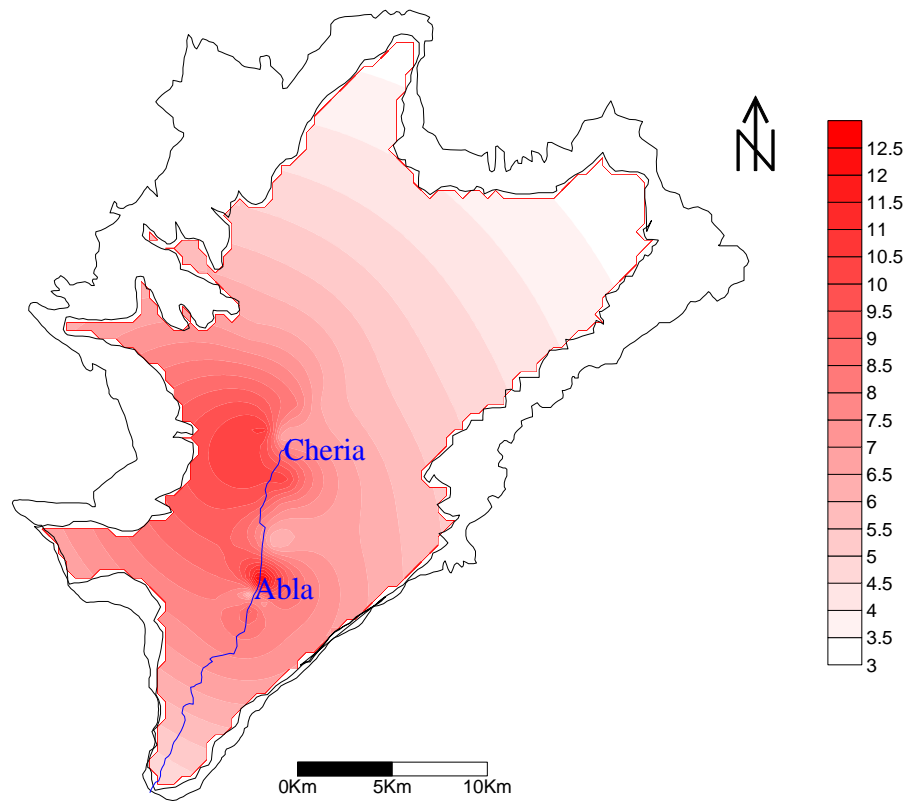


**Fig.75:** Carte du rapport caractéristique:  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ ; avril 2014.

Cette situation résulte à plusieurs causes; pollution anthropique, précipitation considérable qui affectée le lessivage intense des formations carbonatées ce que explique la dominance de calcium que le magnésium pendant la période septembre 2013 et avril 2014; la concentration de rapport  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$  est plus élevée au nord du plateau de Chéria atteindre jusqu'à la valeur 3.1, par ailleurs, la dernier campagne (avril 2014); la concentration de rapport  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$  est plus élevée au sud du plateau de Chéria (atteindre jusqu'à 27) s'explique que la répartition de rapport  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$  tributaire à autre facteurs plus que des facteurs déjà cités au dessus.

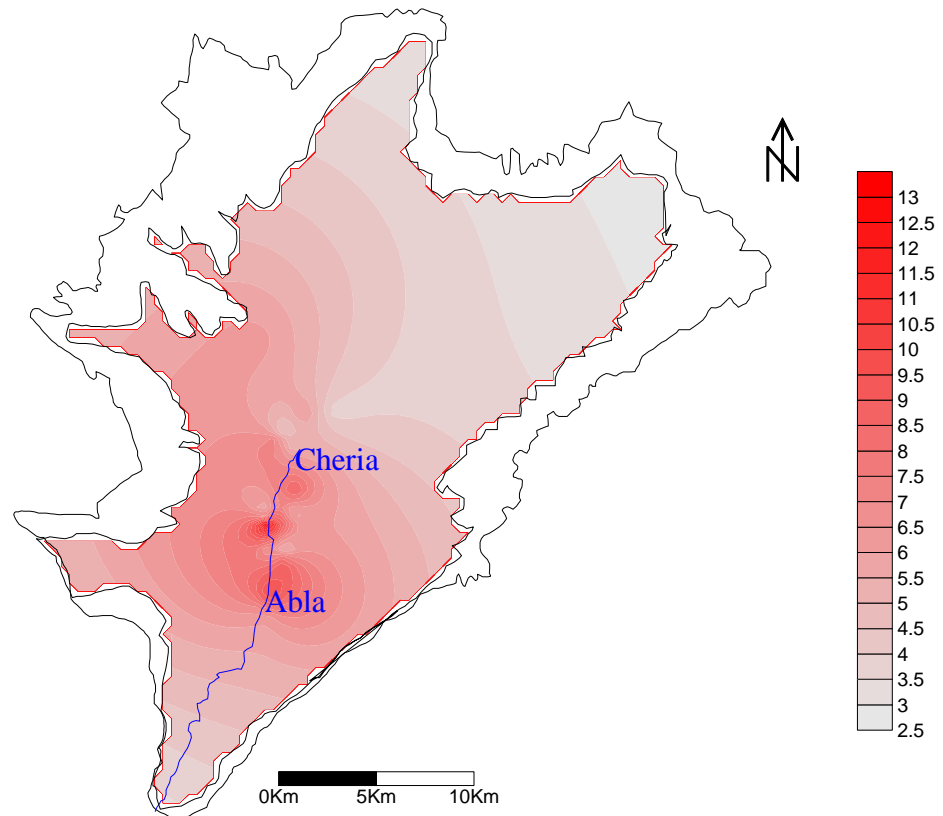
## 5.2. Carte du rapport $\text{Cl}^- / \text{Na}^+$ :

La cartographie du rapport  $\frac{\text{Cl}^-}{\text{Na}^+}$ , montre que les valeurs entre l'intervalle (3 - 12.5 mg/l) se situent au nord pour la période de mai 2010, et à l'extrême NE du plateau du Chéria pour la période octobre 2010. Signifiant une dominance du chlorure.

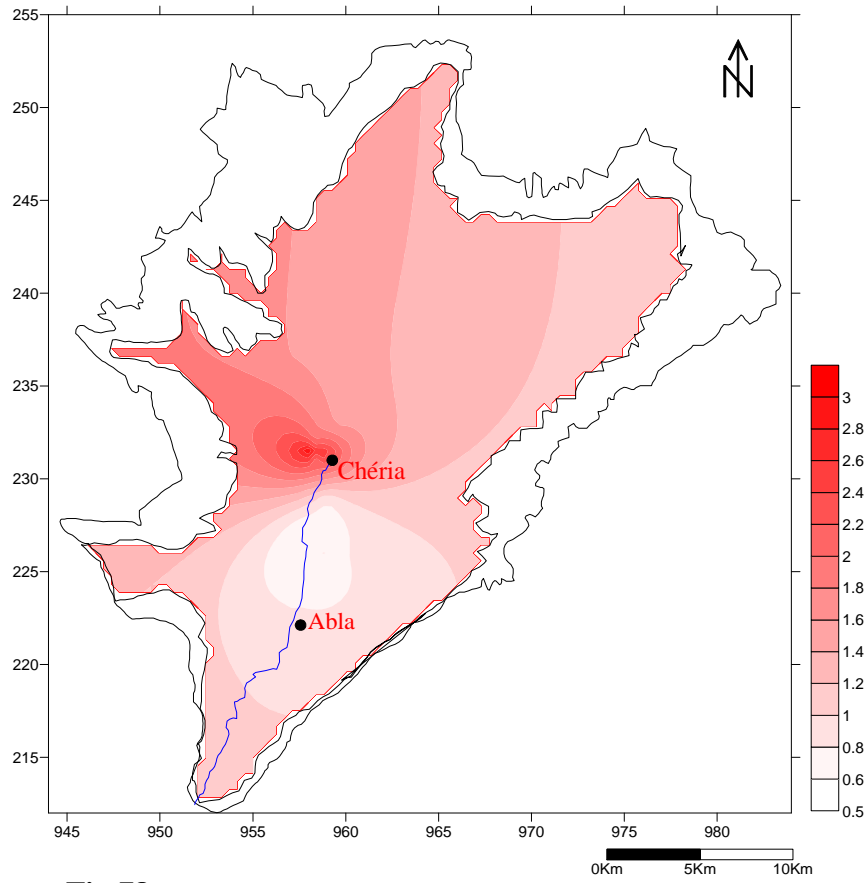


**Fig.76:** Carte du rapport caractéristique:  $Cl^- / Na^+$ ; mai 2010.

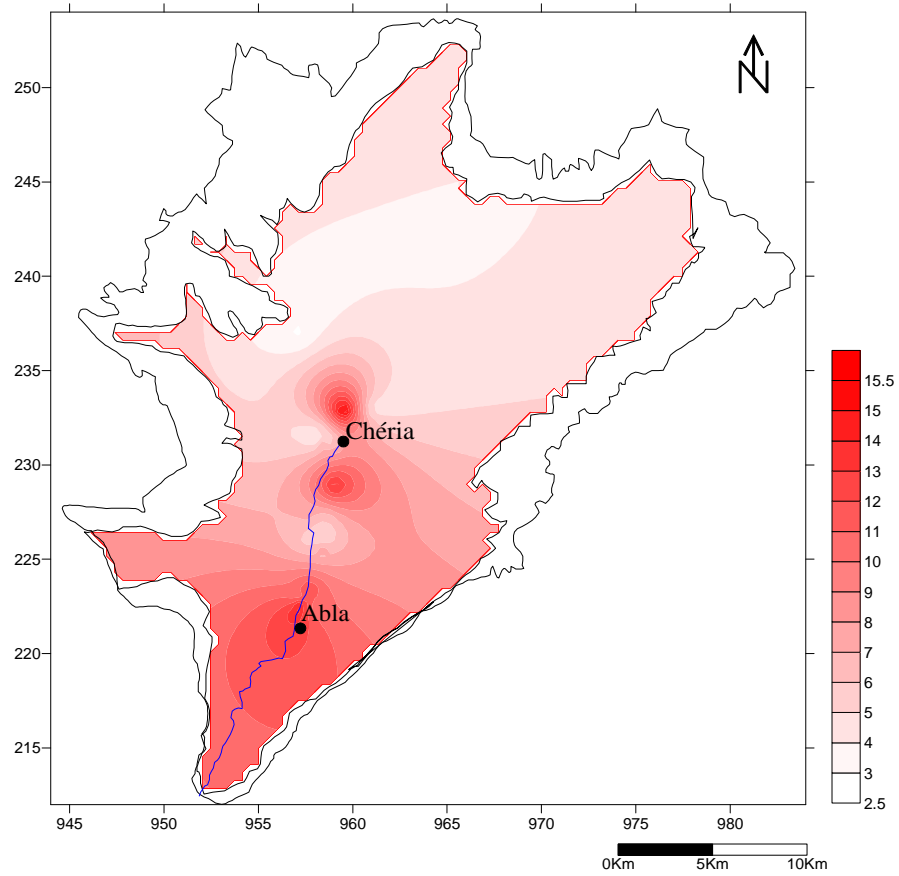
Alors que la dominance du chlorure est liée à la présence de rejets au sud du plateau de Chéria, conditions climatique, activités anthropique notamment près du centre ville de Chéria (12.5).



**Fig.77:** Carte du rapport caractéristique:  $Cl^- / Na^+$ ; octobre 2010.



**Fig.78:** Carte du rapport caractéristique:  $Cl^- / Na^+$ ; septembre 2013.



**Fig. 79:** Carte du rapport caractéristique:  $Cl^- / Na^+$ ; avril 2014.



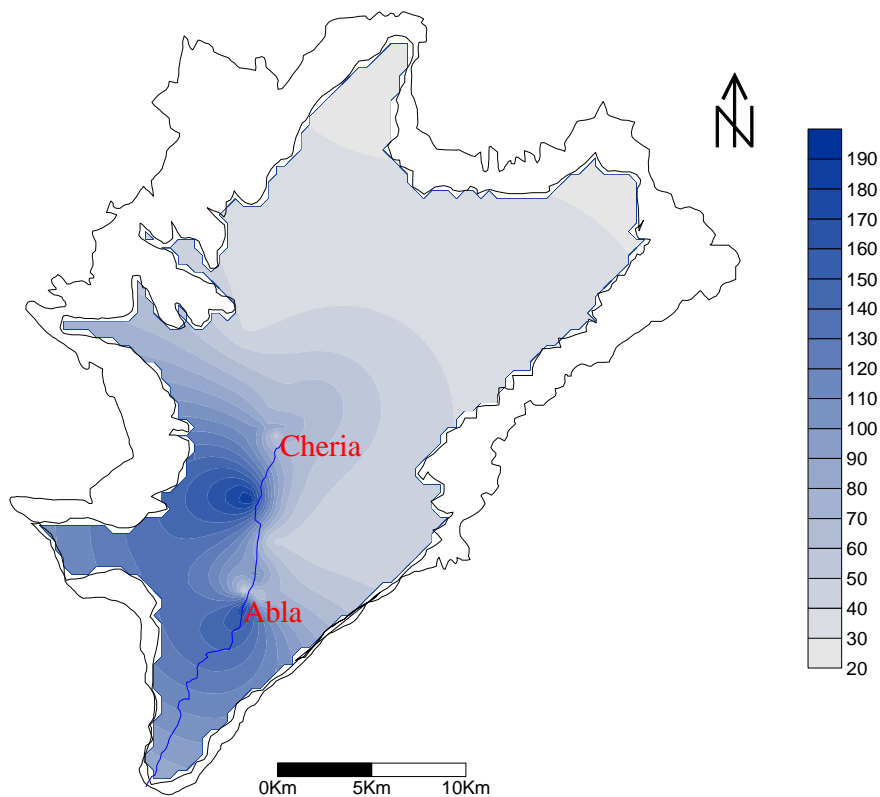
Les cartes précédentes présentent des valeurs maximales dans la partie sud du plateau de Chéria, notamment près de la ville de Chéria où l'activité anthropique augmente d'une façon très rapide au cours de temps confirme que concentration de rapport est atteint au niveau de itinéraire de l'axe Chéria - Abla.

### 5.3. Répartition des nitrates:

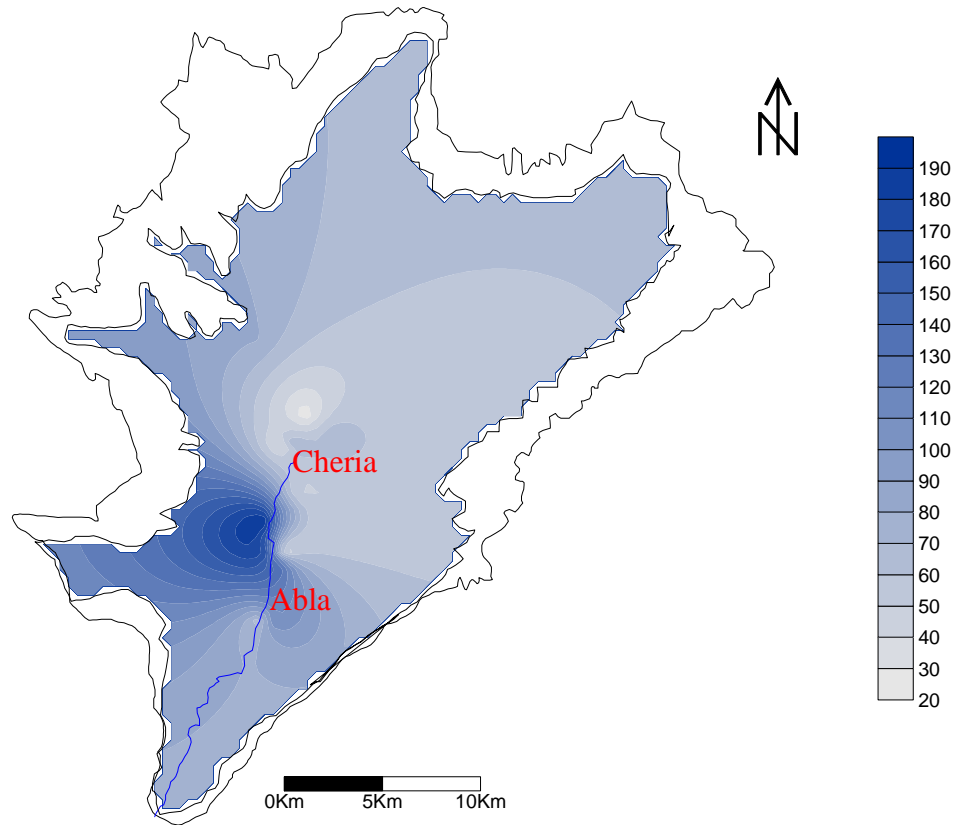
En cette période des concentrations en nitrates dépassent généralement 50 mg/l et notamment dans la partie sud, qui peuvent atteindre plus de 190 mg/l, seuls le secteur nord les concentrations représentent les normes, car les captages sont plus profonds (plus 100 m de profondeur), par contre le secteur sud les captages sont plus proche à la surface.

Les concentrations sont trop faibles alors que dans les secteurs où le gradient hydraulique est faible on remarque une augmentation dans les teneurs qui ne dépassent pas les normes (secteur nord), et une diminution des teneurs dans sous secteur sud - est dans cette campagne.

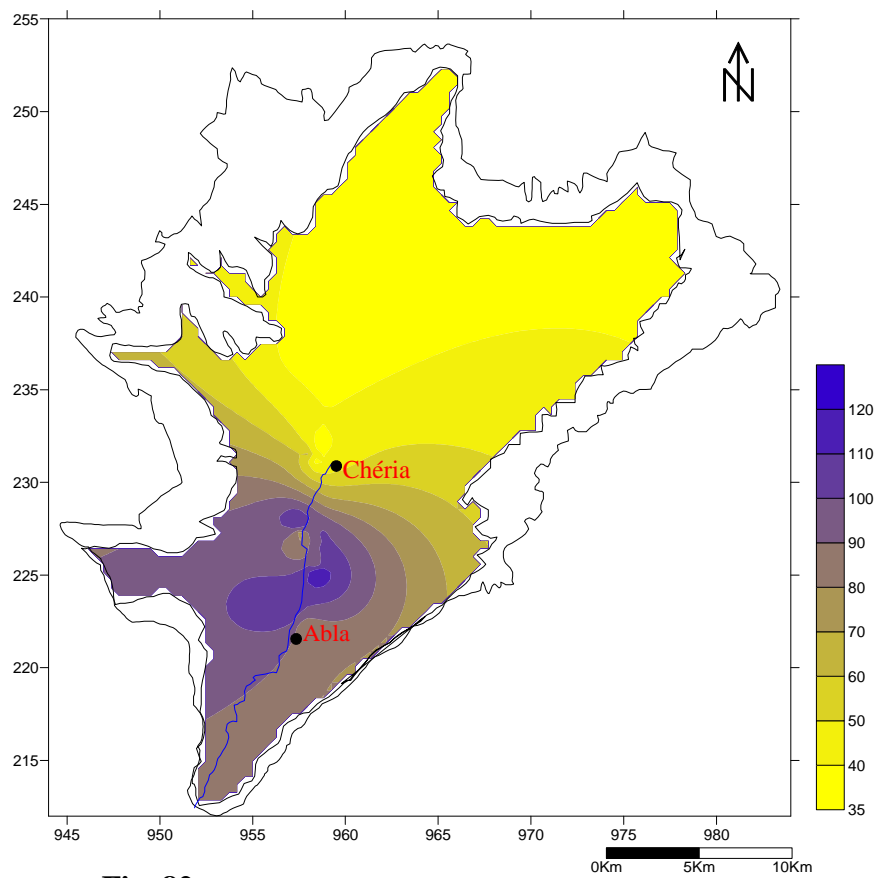
L'analyse chimique montre que la minéralisation dans sous bassin sud est trop élevée par contre dans sous bassin nord de plateau de Chéria.



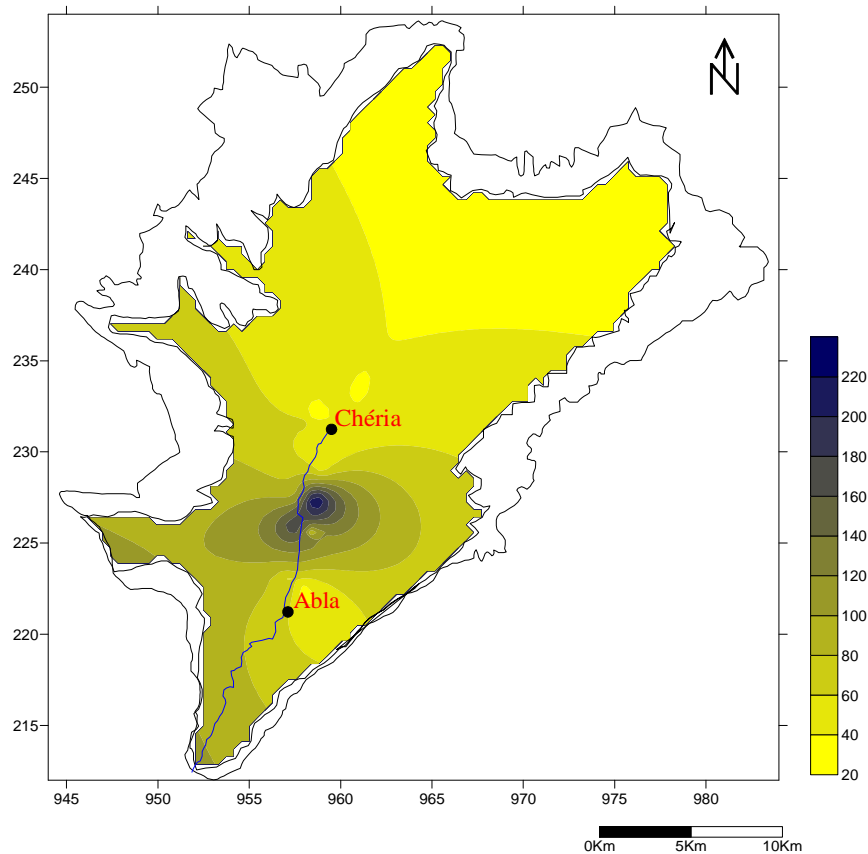
**Fig. 80:** Carte des nitrates (en mg/l); mai 2010.



**Fig. 81:** Carte des nitrates (en mg/l); octobre 2010.



**Fig. 82:** Carte des nitrates (en mg/l); septembre 2013.



**Fig. 83:** Carte des nitrates (en mg/l); avril 2014.

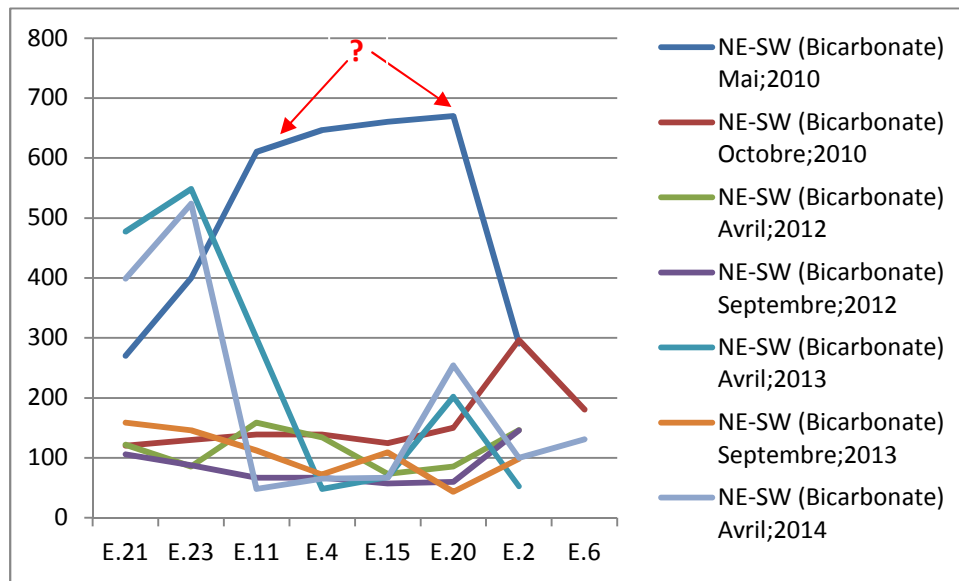
## 6. Représentation graphique et statistique des éléments chimiques:

La recherche de contrastes de ces paramètres entre différents points de mesures facilite d'une part, la détection des anomalies hydrochimiques (salinité élevée) et d'autre part, la mise en évidence des zones d'alimentation, de pollution ou de contamination.

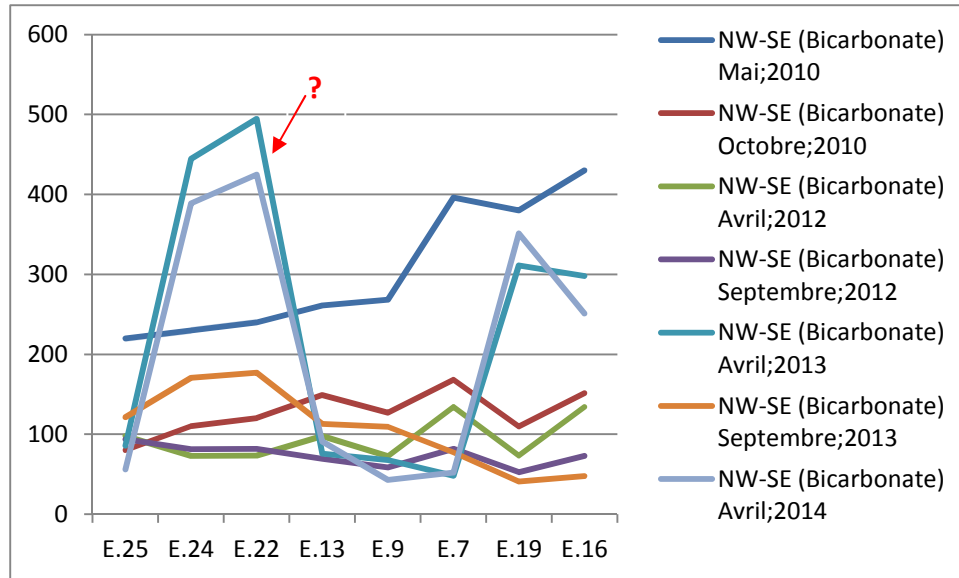
Les paramètres physiques (conductivité, PH) et des paramètres chimiques; notamment de concentration des éléments chimiques majeurs (Ca, Mg, Na, K,  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ) ont été dosés aux différents laboratoires. Le contrôle de la validité de ces résultats d'analyse chimique est effectué à l'aide de la balance ionique;

Variable	Unité	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart - type	% Ecart de la moyenne	Normes Algérienne (en mg/l)	Valeur guide OMS ou CEE (en mg/l)
Ca	mg/l	39	229.7	122.83	73.56	59.88	75 - 200	100
Mg	mg/l	13	129.84	67.82	39.37	58.05	150	30
Na	mg/l	17	57	33.5	14.87	44.39	200	200
K	mg/l	3	21	10.23	7.13	69.71	20	10
HCO <sub>3</sub>	mg/l	106	610	268.86	217.69	80.97	/	/
SO <sub>4</sub>	mg/l	99.2	268.64	195.55	70.11	35.85	200 - 400	250
Cl	mg/l	39.05	216.55	129.58	70.67	54.54	200 - 500	250
NO <sub>3</sub>	mg/l	68.66	123.42	89.46	21.09	23.57	50	50
Cond	μs/cm	454	851	646.45	179.20	27.72	28000	400
Salinité	/	0	1.8	0.78	0.82	104.51	/	/
TDS	mg/l	477	715.5	553	110.79	20.04	/	/
PH	/	7.1	8.75	7.83	0.78	9.97	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5

**Fig. 26:** Statistique des variables physico - chimiques des eaux souterraines.

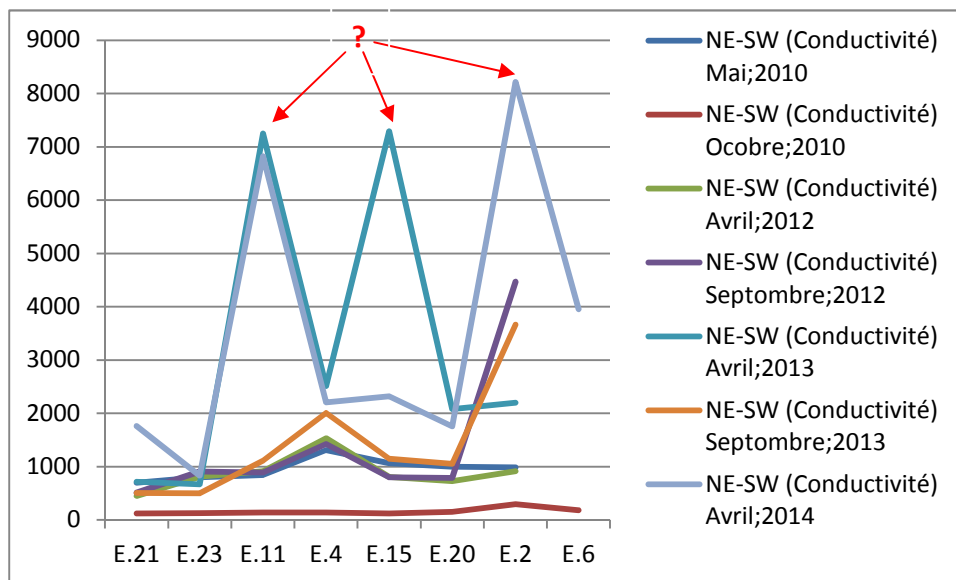


**Fig. 84:** Evolution de bicarbonate pour toutes les campagnes suivant la direction NE - SW. (2010 - 2014).

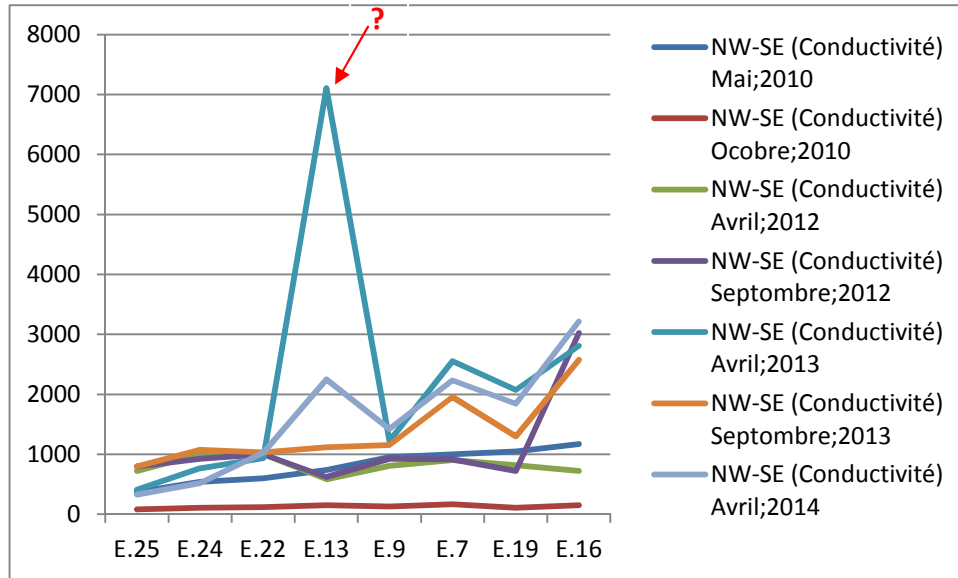


**Fig. 85:** Evolution de bicarbonate pour toutes les campagnes suivant la direction NW - SE. (2010 - 2014).

La concentration de bicarbonate diminue dans le secteur sud du plateau de Chéria; c'est toute à fait normale, la dissolution des roches carbonatées au nord du Chéria provoquée l'augmentation des bicarbonates; sauf quelque puits exceptionnel sont posent plusieurs points interrogation.

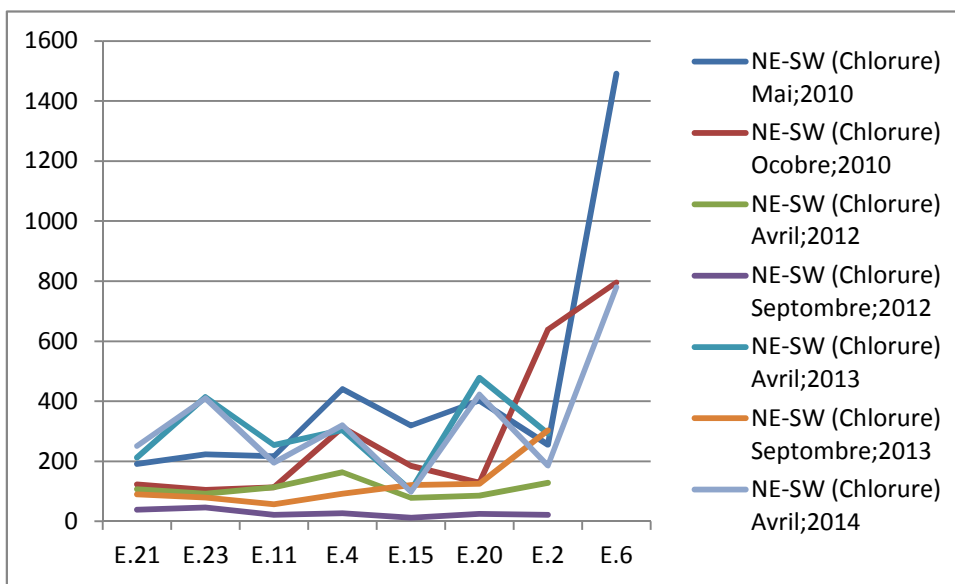


**Fig. 86:** Evolution de conductivité pour toutes les campagnes suivant la direction NE - SW. (2010 - 2014).

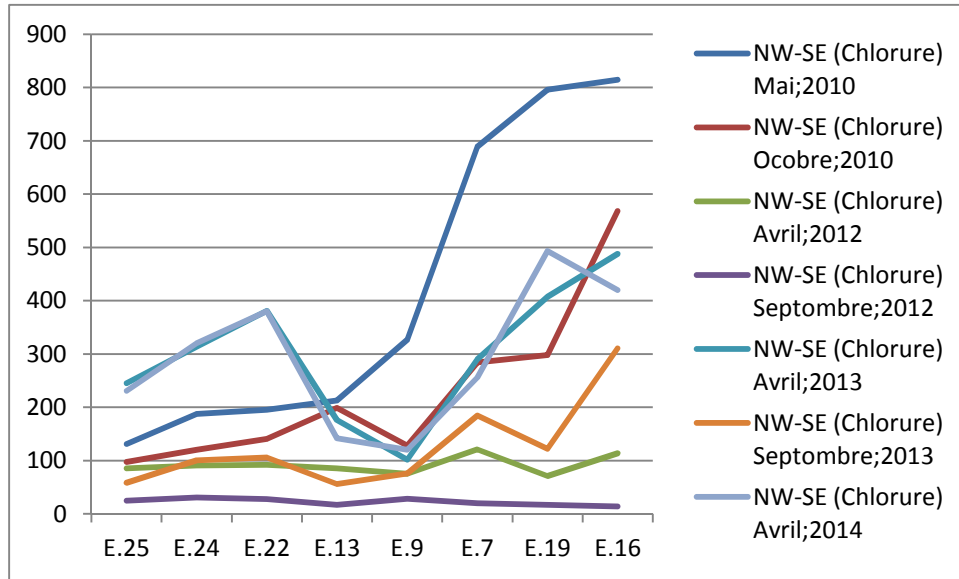


**Fig. 87:** Evolution de conductivité pour toutes les campagnes suivant la direction NW - SE. (2010 - 2014).

Le changement brutal des concentrations de conductivité de nord au sud de Chéria tributaire à la dégradation de la qualité des eaux souterraines au sud de Chéria

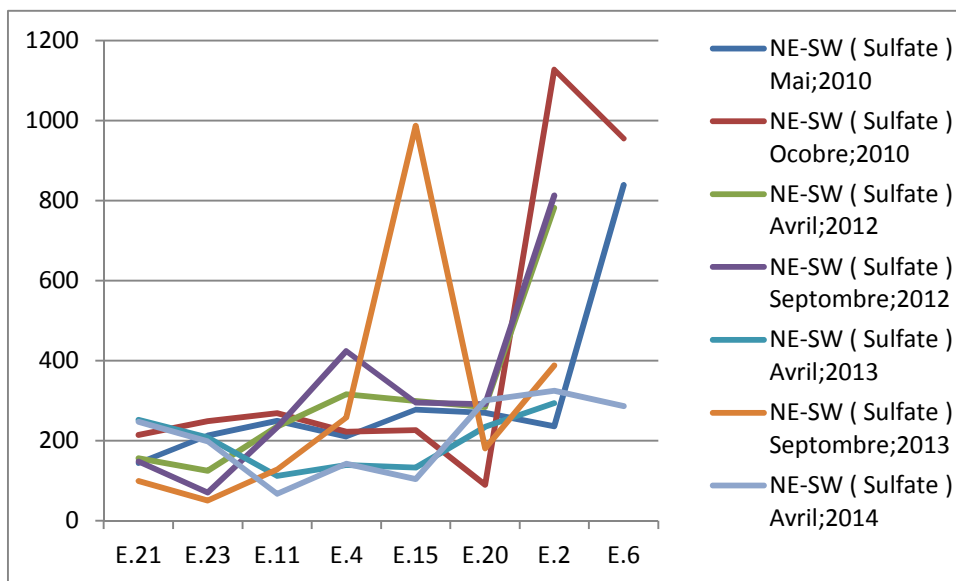


**Fig. 88:** Evolution de chlorure pour toutes les campagnes suivant la direction NE - SW. (2010 - 2014).

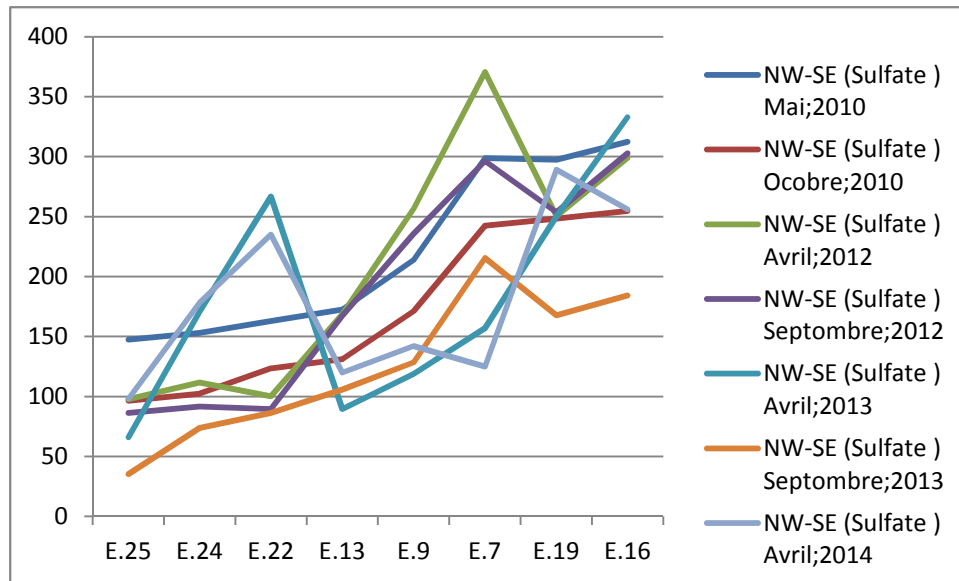


**Fig. 89:** Evolution de chlorure pour toutes les campagnes suivant la direction NW - SE. (2010 - 2014).

L'augmentation de chlorure d'une façon rapide à cause des facteurs qu'ils sont déjà cités précédemment

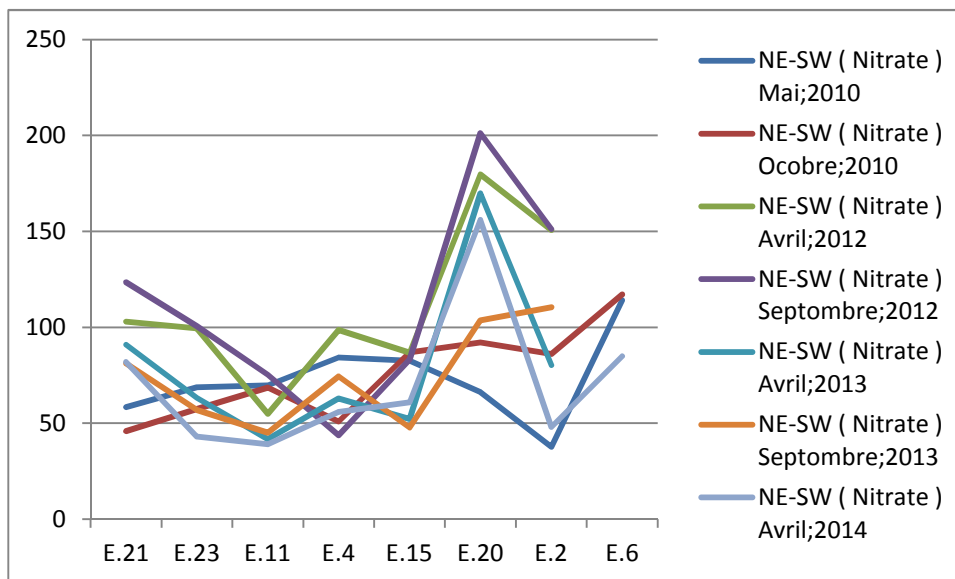


**Fig. 90:** Evolution de sulfates pour toute les campagnes suivant la direction NE - SW. (2010 - 2014).



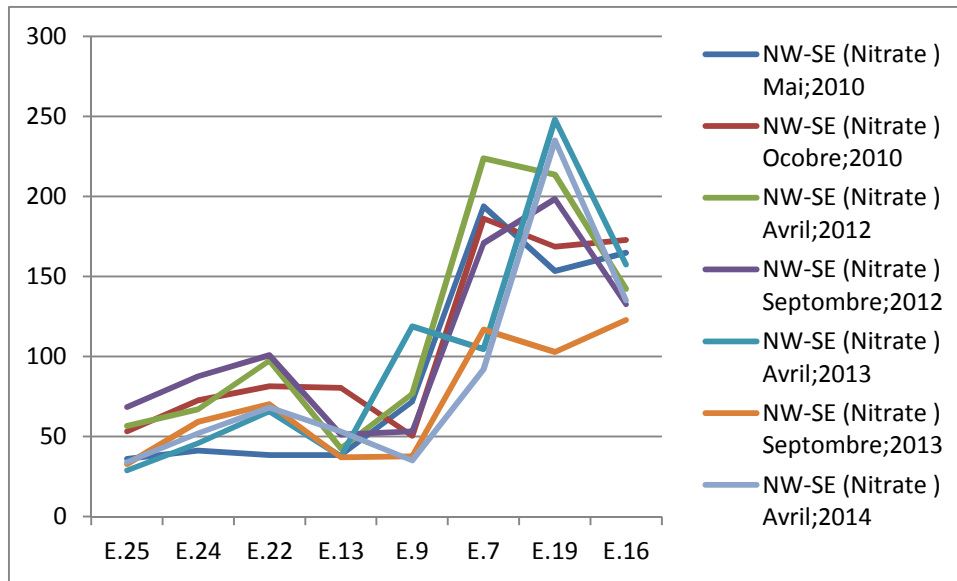
**Fig. 91:** Evolution de sulfate pour toutes les campagnes suivant la direction NW - SE. (2010 - 2014).

Ces fortes teneurs sont liées, en plus de la présence de formations gypsifères comme dans la partie sud, à l'augmentation de l'évapotranspiration en cette période d'été, ce qui augmente la concentration des sels dissous dans l'eau, notamment les sulfates, dont la teneur peut varier du simple au double entre les périodes de haute et de base eaux.



**Fig. 92:** Evolution de nitrate pour toutes les campagnes suivant la direction NE - SW. (2010 - 2014).





**Fig. 93:** Evolution de nitrate pour toutes campagnes suivant la direction NW - SE. (2010 - 2014).

Les fortes concentrations des éléments chimiques dans les eaux souterraines de la région de Abia au sud du plateau de Chéria est peut être interpréter par une importante contamination par les eaux usées drainées par Oued Chéria

### 7. Les faciès chimiques:

La présentation des analyses chimiques des différentes campagnes sur ce type de diagramme permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux souterraines.

D'après les résultats analytiques obtenus pendant la période d'étude de mai 2010 jusqu'au avril 2014; la projection des points d'eaux sur le diagramme de Piper montre une dominance du faciès chloruré magnésien ou chloruré calcique, qui masque le faciès bicarbonaté calcique des eaux de la région, qui est tributaire de la roche carbonaté.

### 8. Origine du chimisme des eaux du système aquifère:

A partir des résultats des analyses chimiques, des graphiques et des cartes, on peut, en se basant sur les précédents chapitres, déduire l'origine du chimisme du système aquifère.

L'alimentation du système est tributaire de la pluviométrie, donc de l'infiltration, notamment dans la zone nord - est où les calcaires fissurés affleurent ou encore sous faible couverture alluviale.

L'influence des formations géologiques sur la nature de faciès est nettement remarquable: Les calcaires ont donné le faciès bicarbonaté calcique confirmant ainsi l'alimentation de la nappe latéralement.

Les argiles et les marnes ainsi que les formations triasiques ont donné les faciès chloruré calcique et chloruré – sodique; ce - la se fait par lessivage, par évaporation et par échange de base.

La piézométrie a favorisé la naissance de ces faciès, car les eaux souterraines s'écoulent suivant la direction nord - sud et se chargent progressivement au fur et à mesure qu'on se déplace vers le centre de la plaine, constituant une zone d'accumulation. Ceci explique les fortes concentrations observées dans ce secteur qui engendrent la prédominance des faciès chlorurés calciques.

La variation des éléments chimiques et leur influence sur la prédominance des faciès, ainsi que les corrélations inter - éléments, nécessitent une étude statistique dont les caractéristiques s'adaptent mieux avec l'évolution des éléments analysés.

### 9. Indice d'échange de base (i.e.b):

L'indice d'échange de base proposé par Schoeller en 1934 et qui est défini comme le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau.

Il est obtenu comme suit: 
$$i.e.b = rCl^- - \frac{r(Na^+ + K^+)}{rCl^-}$$

Cette capacité d'échange est particulièrement élevée pour les argiles.

→Si i.e.b est négatif, les ions  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  de l'eau sont échangés contre les ions  $K^+$  et  $Na^+$  des formations encaissantes.

→Par contre si i.e.b est positif, les ions  $Na^+$  et  $K^+$  de l'eau sont remplacés par les ions  $Mg^{2+}$  et  $Ca^{2+}$  des formations encaissantes.

→Si i.e.b = 0, il y a un équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et celle du terrain encaissant.

L'utilisation de cet indice est importante car il met en évidence les modifications du chimisme

de l'eau au cours de son trajet souterrain.

L'interprétation des données des i.e.b calculés montre que la majorité des eaux souterraines du plateau de Chéria sont positives varient de 0.70 à 0.96 donc les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  de l'eau sont remplacés par les ions  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$  des formations encaissantes.

#### 10. Normes selon le degré hydrométrique total (D.H.T):

Le degré hydrométrique ou la dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium.

$$D.H.T = rCa^{2+} + rMg^{2+}; \text{ (En méq/L).}$$

Une eau dite très dure si  $D.H.T > 54$  °F. Degré Français

D.H.T (en °F)	0 - 7	7 - 22	22 - 32	32 - 54	> 54
Qualification de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
Pourcentage des points	00	0	4	72	24

**Tab. 27:** Dureté des eaux (W. Theobald et A. Gama; 1969).

D'après les résultats de la campagne avril 2014, obtenues; plus de 72 % des eaux prélevées au niveau du plateau de Chéria sont dures avec à 24 % très dure, dont le D.H.T est inférieur à 52 °F.

#### 11. Aptitude des eaux à l'irrigation:

Deux paramètres peuvent nous indiquer si une eau est bonne pour l'irrigation: le pourcentage de sodium et S.A.R.

L'abondance de sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et une destruction de la structure du sol, supérieure à celle du calcium (R.S Ayers et D.W Estcot; 1988). Dans de telles conditions, il peut devenir extrêmement difficile de satisfaire les besoin en eau de la culture. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ration); (S.A.R). Pour une même conductivité, le risque est plus élevé,

le S.A.R est donnée par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau. L'usage agricole d'une eau exige un pourcentage en sodium inférieur à 60 % seuil maximal admissible. Ce pourcentage en  $Na^+$  est donné par la relation

$$\text{suivante: } Na = \frac{[(Na^+ + K^+) \times 100]}{[(Ca^{2+} + Mg^{2+}) + (Na^+ + K^+)]}; \text{ en méq/l.}$$

L'analyse des résultats obtenus montre que les points d'eau de la région ont un pourcentage de  $Na^+$ . Ce qui les rend apte à l'irrigation.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}}. \text{ Où tous les éléments sont exprimés en méq/l.}$$

L'aptitude à l'irrigation déterminée à partir de la valeur du sodium absorbable (SAR). Pour une même conductivité le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé.

On a représenté l'eau pendant la période d'étude, sur le diagramme de Wilcox, qui nous a permis de déduire que les eaux de la région appartiennent généralement à la troisième et quatrième classe.

En générale ces eaux sont soit convenable à l'irrigation de culture tolérante aux sels sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit être contrôlée soit par fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaine espèce bien tolérante aux sels, bien drainée et bien lessivée.

## 12. Aperçu sur la pollution:

La pollution détériore la qualité de l'environnement en provoquant aussi de grands dangers pour les eaux souterraines et superficielles. Dans notre étude à partir de l'étude physico-chimique sur la région montre une contamination des eaux souterraines de la région, particulièrement superficielle. Dans la région étudiée, il y a trois sources principales de la pollution:

### 12.1. Pollution d'origine domestique et urbaine:

Due à l'usage de l'eau par les foyers domestiques, ce type de pollution remarquable dans la partie sud.

## 12.2. Pollution d'origine agricole:

Due à l'usage excessif des engrais chimiques pour la fertilité des sols. Cette forme de pollution est également très limitée.

## 12.3. Pollution Naturelle:

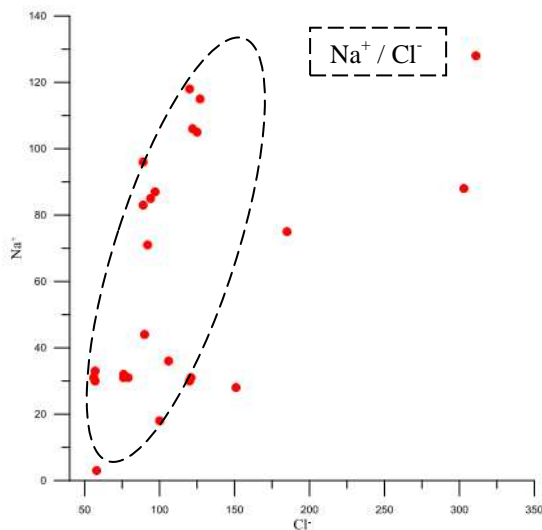
Elle est le résultat de lessivage des formations géologiques qui existent dans la région.

## 13. Les couples des différents éléments chimiques:

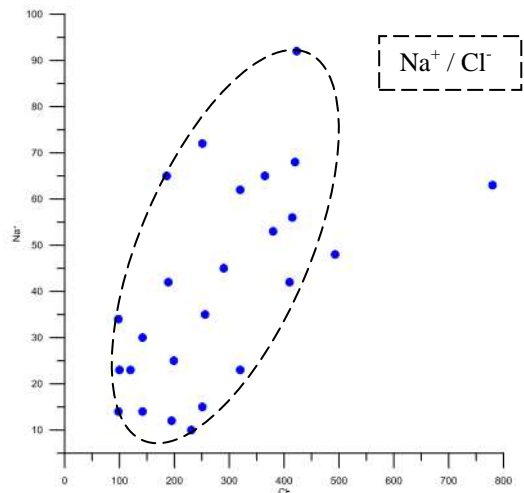
### 13.1. Couple $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$ :

On note un alignement des point, cette tendance indique que les deux éléments peuvent avoir la même origine ou bien subissent l'influence des mêmes facteurs géologiques.

Les profils liants les chlorures et sodiums; pour les périodes de septembre 2013 et avril 2014 présentent sur deux figures suivantes (95. a - b).



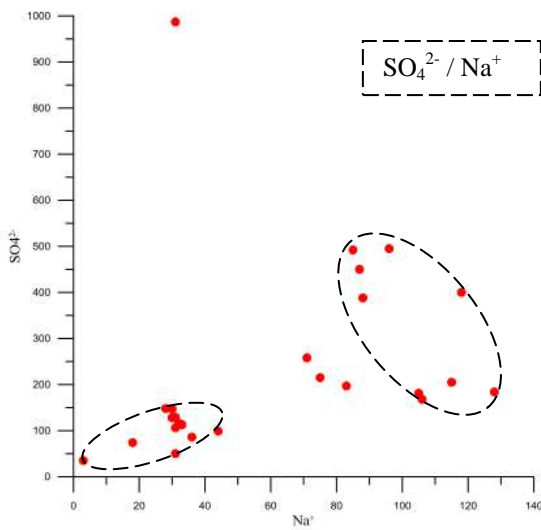
**Fig. 94 a:** Couple  $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$ ; septembre 2013.



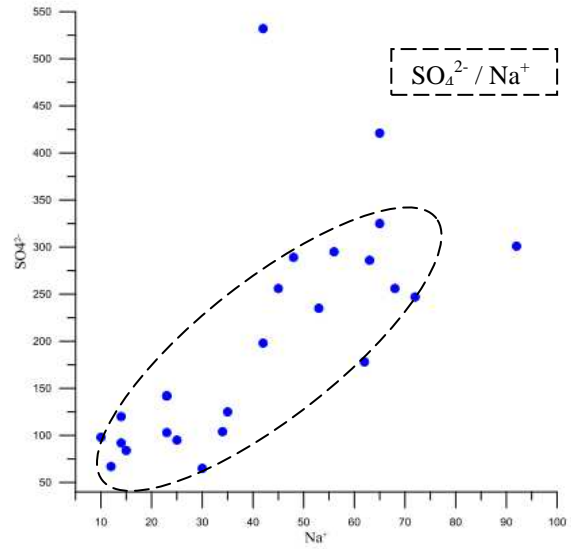
**Fig. 94 b:** Couple  $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$ ; avril 2014.

### 13.2. Couple $\text{SO}_4^{2-} / \text{Na}^+$ :

Une tendance à l'alignement des points semble exister pour deux périodes septembre 2013 et avril 2014, cependant quelques points montrent un enrichissement des eaux en sodium notamment dans la période septembre 2013.



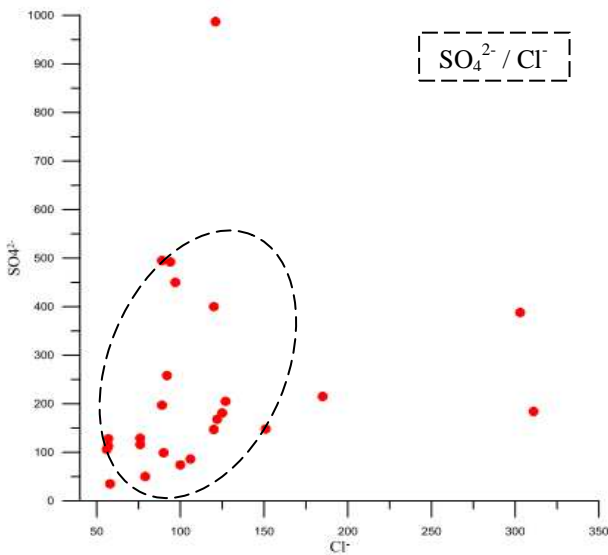
**Fig. 95 a:** Couple  $\text{SO}_4^{2-} / \text{Na}^+$ ; septembre 2013.



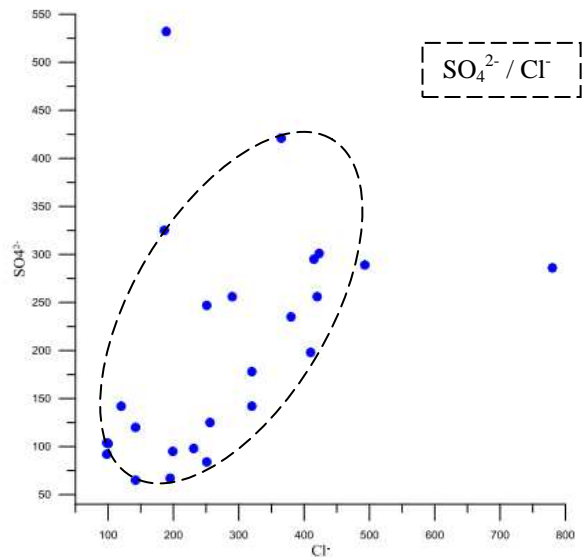
**Fig. 95 b:** Couple  $\text{SO}_4^{2-} / \text{Na}^+$ ; avril 2014.

### 13.3. Couple $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$ :

Le présent graphe pour les deux périodes septembre 2013 et avril 2014, peut être présenté un domaine mixte, c'est-à-dire, aucun élément ne domine.



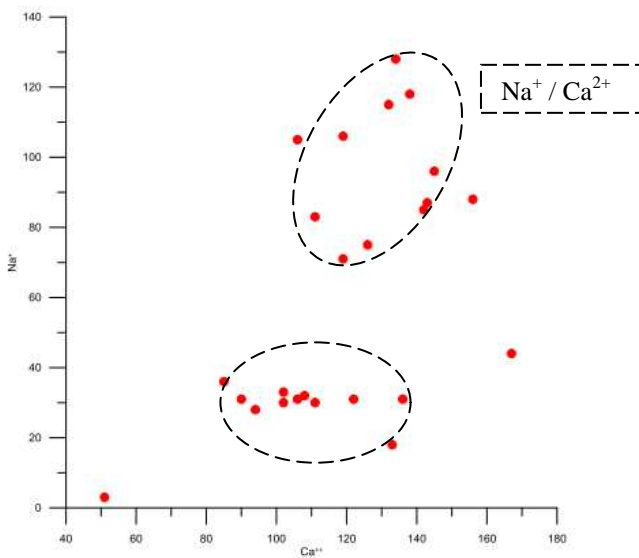
**Fig. 96 a:** Couple  $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$ ; septembre 2013.



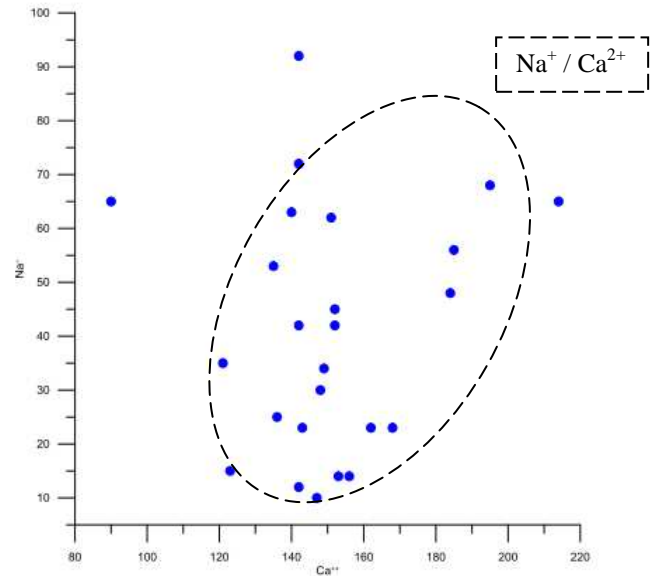
**Fig. 96 b:** Couple  $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$ ; avril 2014.

### 13.4. Couple Na - Ca:

L'observation du graphe pour la période septembre 2013 montre deux tendances: Une première montrant un alignement des échantillons indiquant aucun élément ne domine, une deuxième montrant un excès en calcium, ce dernier peut atteindre à 150 mg/l. Pour la période avril 2014. La représentation des points présente un alignement des échantillons indique une évolution simultanée.



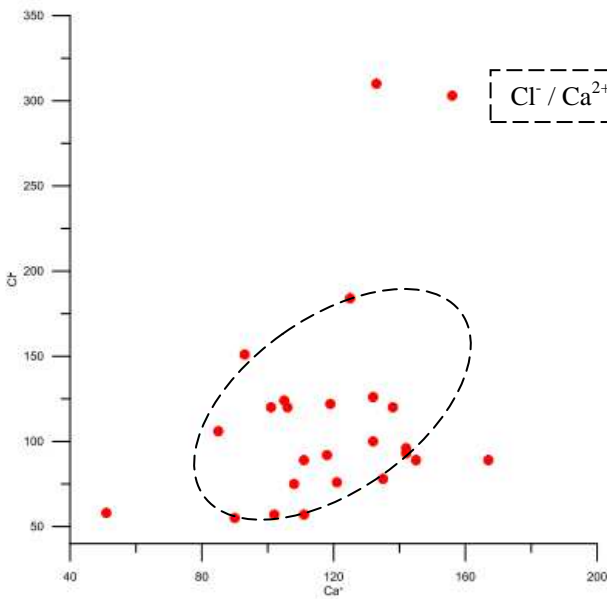
**Fig. 97 a:** Couple  $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$ ; septembre 2013.



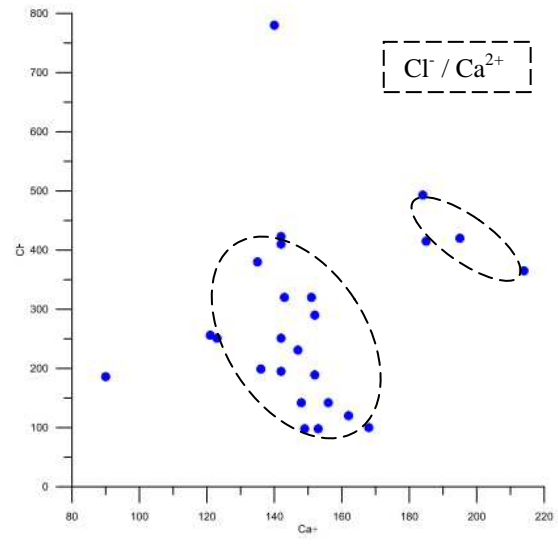
**Fig. 97 b:** Couple  $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$ ; avril 2014.

### 13.5. Couple $\text{Cl}^- / \text{Ca}^{2+}$ :

Pour la période de septembre 2013, montrant un alignement des échantillons indiquant une évolution simultanée des concentrations. Ainsi que la période de avril 2014; le lien direct entre les deux éléments n'est pas établi, on note que nous avons observé une richesse en chlorure, ainsi la cartographie des chlorure des eaux souterraines de la région montre des concentrations élevées dépassantes parfois largement les limites de potabilité particulièrement au sud. Sachant que les concentrations excessives des chlorures peuvent être d'origines anthropiques, géologiques.



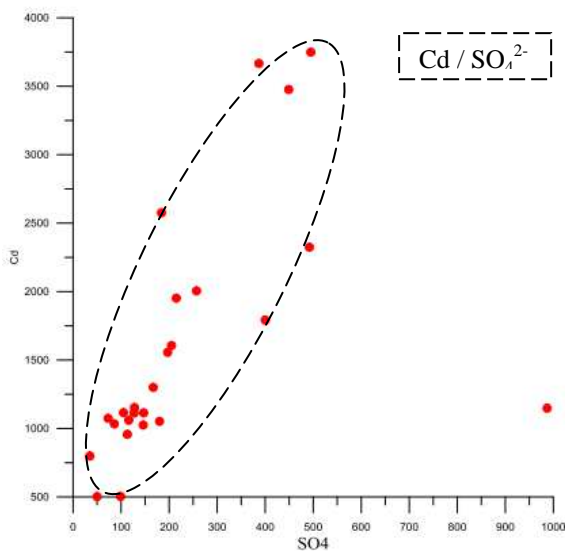
**Fig. 98 a:** Couple  $\text{Cl}^- / \text{Ca}^{2+}$ ; septembre 2013.



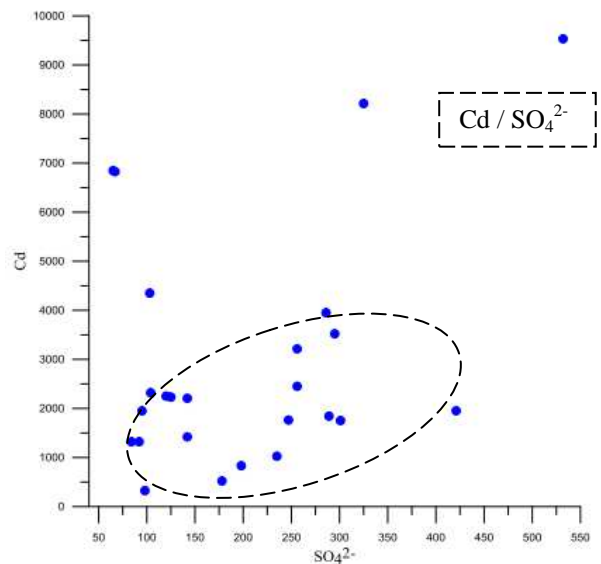
**Fig. 98 b:** Couple  $\text{Cl}^- / \text{Ca}^{2+}$ ; avril 2014.

### 13.6. Couple $\text{Cd} / \text{SO}_4^{2-}$ :

D'une manière générale les points s'alignent. Mettant en évidence un lien entre la conductivité et les sulfates, ceci indique que les sulfates influence la conductivité. Quelques points s'écartent de la droite mettant en évidence une autre origine de la conductivité.



**Fig. 99 a:** Couple  $\text{Cd} / \text{SO}_4^{2-}$ ; septembre 2013.

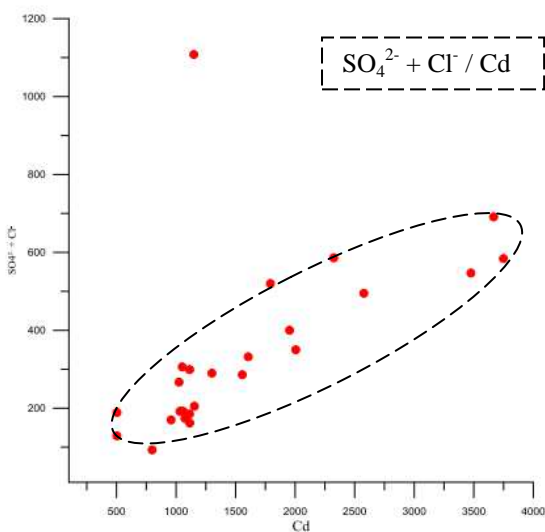


**Fig. 99 b:** Couple  $\text{Cd} / \text{SO}_4^{2-}$ ; avril 2014.

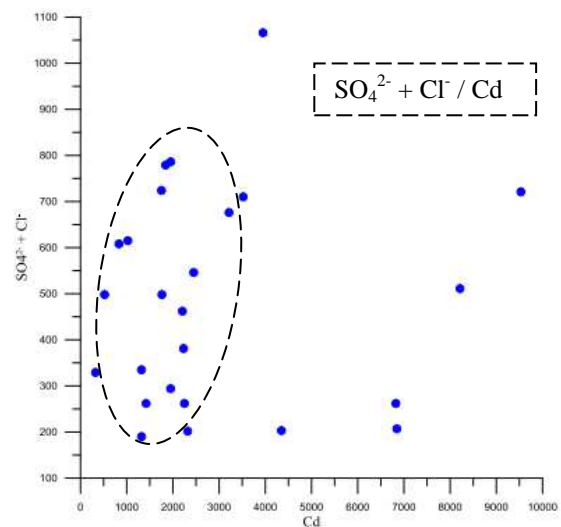


### 13.7. Couple $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- / \text{Cd}$ :

On peut dire que la conductivité est très influencée du point de vue anionique par ces deux éléments. La partie consacrée à l'observation des rapports, nous a permis de mettre en évidence les liens qui semblent exister entre les éléments chimiques. Ces liens sont régité par plusieurs facteurs parmi lesquels nous montrons la géologie, le climat et le rabattement de la nappe. Cependant dans les points regroupent au contact à l'axe d'abscisse indiquent l'abondance des sulfates et chlorures.



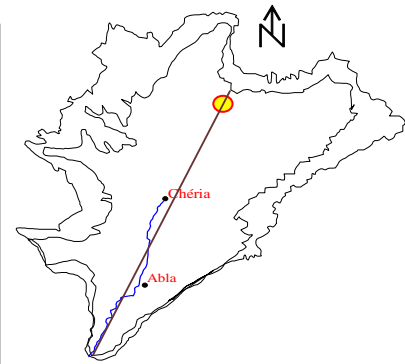
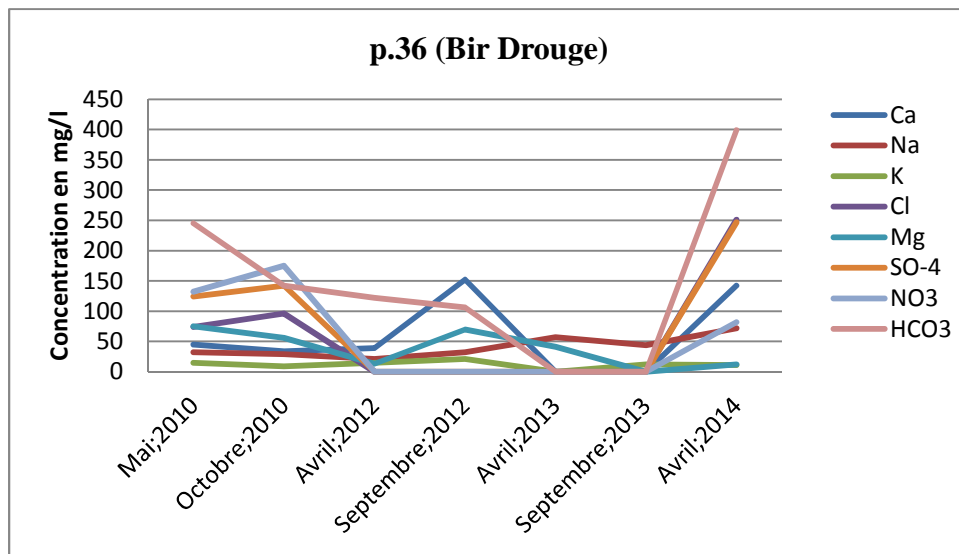
**Fig. 100 a:** Couple  $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- / \text{C}$ ; septembre 2013.



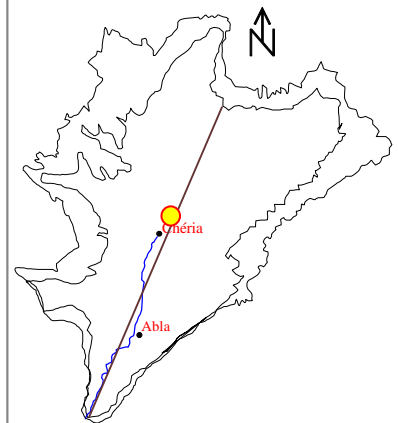
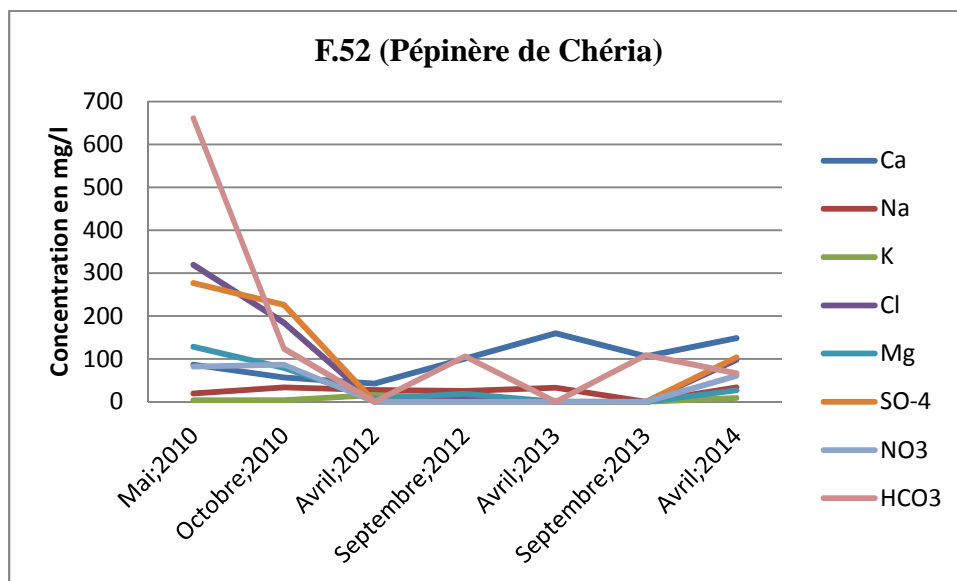
**Fig. 100 b:** Couple  $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- / \text{Cd}$ ; avril 2014.

### 14. Evolution du chimisme (cations et anions):

Nous allons suivre l'évolution des cations et anions de certains puits dans le plateau de Chéria pendant la période d'étude selon la direction NE - SW; le choix de cette direction est basé sur la direction préférentielle des écoulements des eaux souterraines. Les figures A, B, C et D englobent l'évolution des cations et anions de mai 2010 jusqu'au avril 2014.

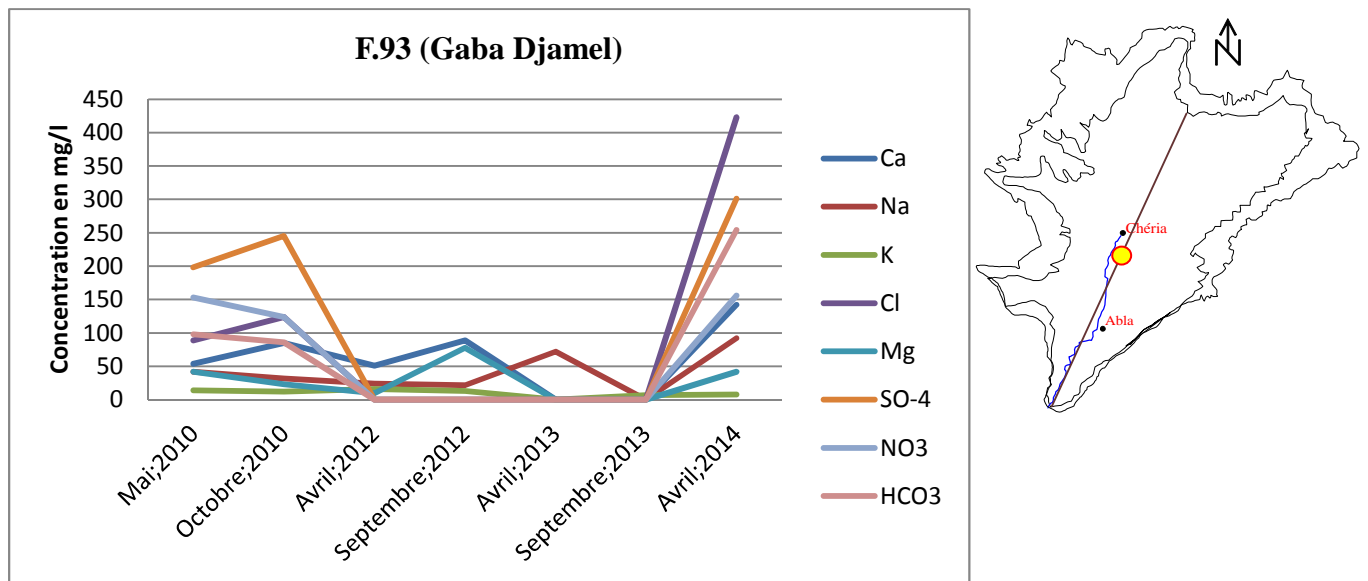


**A:** Chimisme de puits de Bir Drouge



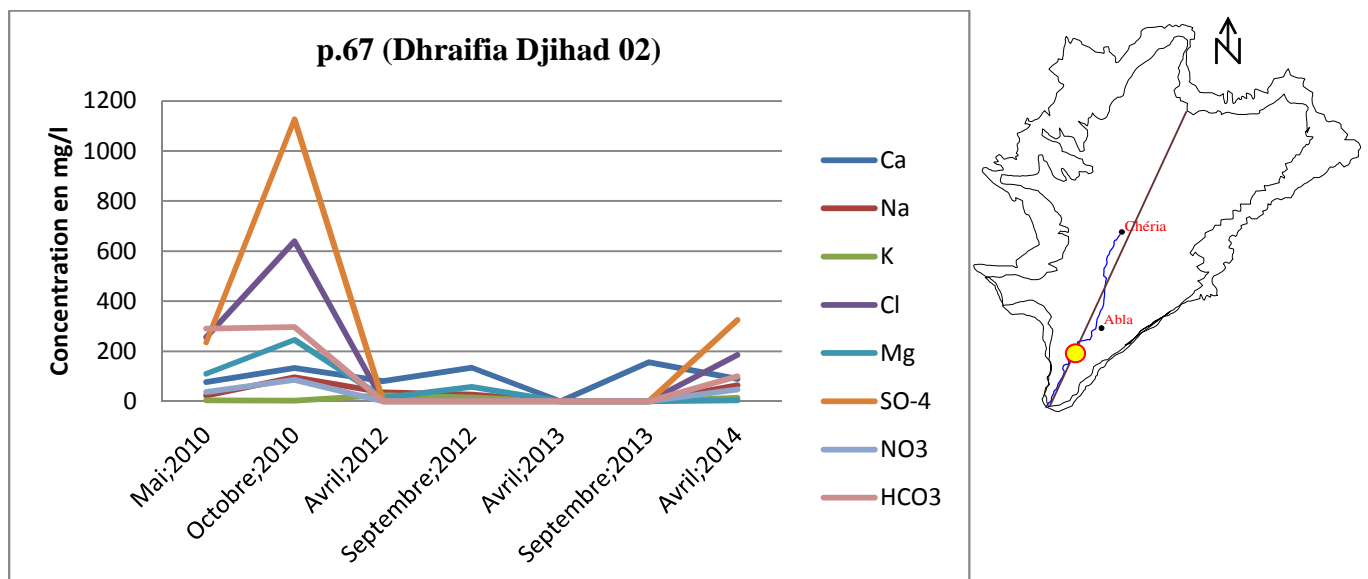
**B.** Chimisme de forage de pépinière de Chéria

On constate la dominance des bicarbonates dans les deux premiers puits, cette dominance est due à l'influence de la dissolution des calcaires au nord du plateau de Chéria.



C. Chimisme de forage de propriétaire Gaba Djamel

Les concentrations de sulfates, nitrates et chlorures notamment dans les deux derniers puits sont plus élevées à cause de pollution des eaux souterraines par les rejets des eaux usées, par ailleurs les conditions climatiques sont influencées aussi sur l'augmentation de certains éléments chimique.



D. Chimisme de puits de propriétaire Dhraifia Djihad

**Fig. 101 (A - B - C - D):** Evolution du chimisme des puits dans le temps suite à la direction NE - SW Pendant la période (2010 - 2014).

L'analyse générale montre que la concentration de sub - totalité des éléments chimique au septembre 2013 à avril 2014 est augmentée d'une façon rapide, l'enrichissement des eaux par des anions et cations peut provenir du lessivage puis de l'infiltration à partir de la surface vers l'aquifère, cette situation est favorisée par la pluie importante qui affecte la région à la fin de la période d'étude.

## 15. Conclusion:

Le faciès chimique des eaux souterraines des aquifères (moi – plio – quaternaire et éocène) du plateau de Chéria, qui est Chloruré calcique, sulfaté calcique, chloruré magnésien.

La forte minéralisation observée particulièrement au sud, qui n'est pas due uniquement à l'origine naturelle, mais elle est attribuée aussi aux activités anthropiques.

Des concentrations élevées pour la quasi - totalité des éléments chimiques, particulièrement dans la partie sud.

La conductivité électrique présente des variations importantes d'une zone à l'autre qu'elle est oscillée entre  $400 \mu.S.cm^{-1}$  et  $4500 \mu.S.cm^{-1}$  avec une moyenne de  $2500 \mu.S.cm^{-1}$

La salinité est contrôlée par les chlorures, les sulfates et les sodiums. La combinaison entre la conductivité, d'une part, les chlorures et les sulfates, d'autre part, dans le même diagramme montre que ces deux variables influencent fortement à la conductivité.

La comparaison des paramètres physico-chimiques aux normes algériennes spécifiques aux eaux de boisson pré-emballée; montre que la majorité des points d'eau dépassent le seuil fixé par cette norme et ne s'y prêtent pas à la consommation humaine exception faite aux points de la zone d'extrême Est de la plaine.

La détermination de l'origine de la salinité a pris la majorité de cette partie. Cette salinité est sans doute liée à l'origine des éléments chimiques dans les eaux. Par conséquent, la détermination de la provenance de ces éléments a fait l'objet d'utilisation de plusieurs méthodes.

Concernant l'aptitude de ces eaux à l'irrigation, nous constatons que:

-Les eaux de la zone nord de la plaine peuvent être utilisées sans risque sur le sol. Ces eaux sont classées de qualité bonne à médiocre selon la méthode utilisée.

-Ces eaux ne représentent pas un risque sur la perméabilité du sol de la plaine; l'utilisation des eaux de la partie sud, centrale pour l'irrigation est relativement dangereuse. Les eaux sont de qualité médiocre à mauvaise. Elles présentent un risque sur la perméabilité du sol.

La contamination du système aquifère par les nitrates résulte à la fois de l'élevage ovin, bovin et les eaux usées drainées par l'oued Chéria qui draine les eaux usées de la ville du même nom, les décharges incontrôlées constituent également une autre source de contamination.

**VI: RELATION FRACTURATION-MORPHOLOGIE**  
**IMPLICATIONS HYDROGEOLOGIQUES**

## 1. Introduction:

L'étude de surface est basée sur l'étude des photos aériennes, images satellites et cartes géologiques, le grand manque est observable de moyen et de documentation (carte géologique détaillé, couverture par photos aérienne complète) a rendu notre tâche plus difficile. Les zones où préexistent des réseaux de fracture d'origine tectonique permettent la circulation de l'eau. En effet l'addition de la facturation tectonique, et de l'altération conduisaient à la formation de couloirs de fractures et des fissures qui vont constituer des drains privilégiés pour l'eau souterraine et par conséquence des cavités souterraines. Il est donc essentiel de saisir la distribution de la fracturation dans la zone étudiée, le déchiffrement des linéaments à partir des photographies aériennes de la région s'avère très utile.

## 2. Analyse régionale:

### 2.1. Les études sur les phases de déformations du Crétacé et Tertiaire:

L'importance de la tectonique syn-sédimentaire de la série crétacée de la région d'étude, à l'échelle régionale, par des variations d'épaisseurs et de faciès et par des lacunes de dépôts.

La phase compressive atlasique (éocène supérieur) a donné des plis de direction générale NE - SW, des décrochements conjugués dextres de direction NW - SE et senestres de direction NE - SW avec un déplacement important. Toutes ces structures géologiques sont liées à une déformation compressive de direction de raccourcissement maximal N - S à NNW - SSE (R. Guiraud et al; 1987, B. Addoum; 1995). L'analyse détaillée des micro - faille réalisée par J.L. Blès 1969 dans la région de Tébessa étayait cette direction. Pour Addoum, la contrainte

Les phases tectoniques	Direction de raccourcissement (NE d'Algérie).	La chronologie des phases compressives
C5	NNW - SSE à N - S	Le début du quaternaire (~1,5 - 1,6 Ma).
C 4	N 140° E	Tortonien (~8,5 Ma).
C 3	N 40° - 50° E	Aquitaniens - burdigaliens (21-18 Ma).
C 2	N 155° - 160° E	Le début du miocène supérieur (~37Ma).
C 1	N 130° - 135° E	Maastrichtien (68-65 Ma).

**Tab. 28:** Syntopique des phases compressives organisées au mole constantinois et les régions voisines (R. Marmi, R. Guiraud; 2006).







La faille de Gafsa a été discutée par Addoum; cette faille est souvent cartographiée en pointillés. Cette faille ne décale rien au niveau d'un col situé au NW d'El Oglâ.

Afin de faire ressortir les structures majeures de la région, nous avons procédé selon trois étapes principales:

- Report systématique des linéaments avec l'élaboration d'une carte et le traitement des données présentées sous forme d'un tableau.
- Réalisation de rosaces directionnelles.
- Description des linéaments et de leurs répartitions.

### **2.3. Interprétation des cartes linéamentaires à partir des images satellites et des photos aériennes:**

Quatre familles de linéaments différents avec des directions principales distinctes sont établies:

#### **2.3.1. La famille 1: NW - SE**

La plupart de ces linéaments sont alignées pour former le grand couloir décrochant subparallèle aux grands accidents Morsot - Tébessa. La direction NW - SE correspond à la direction des fossés d'effondrements soulignés par failles normales en relation avec une phase de distension.

#### **2.3.2. La famille 2: E - W**

Cette direction (E - W) est bien marquée dans la région, en particulier, dans la partie Est du bassin constantinois, les linéaments de direction E - W sont parallèles à l'accident sud atlasique.

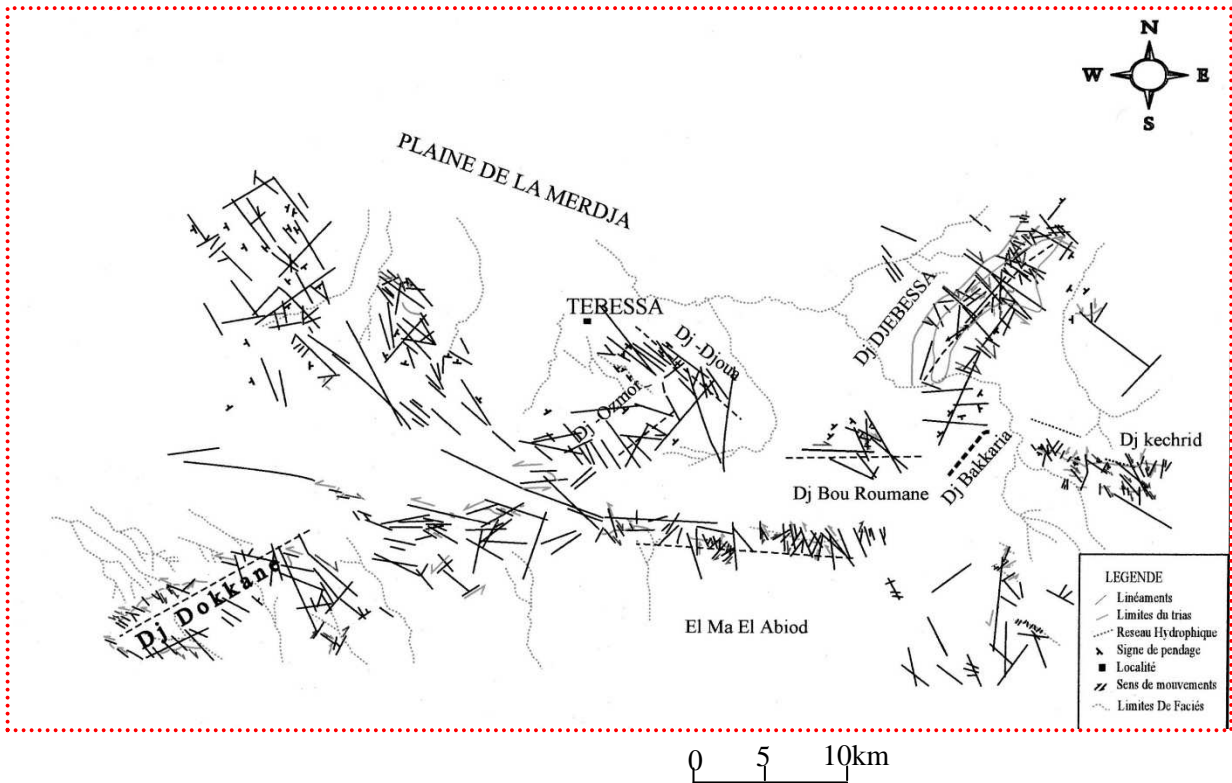
#### **2.3.3. La famille 3: N - S**

Parfaitement visible sur les cartes linéamentaires, cette famille présente une direction N - S des linéaments avec un décrochement senestre.

#### **2.3.4. La famille 4: NE - SW**

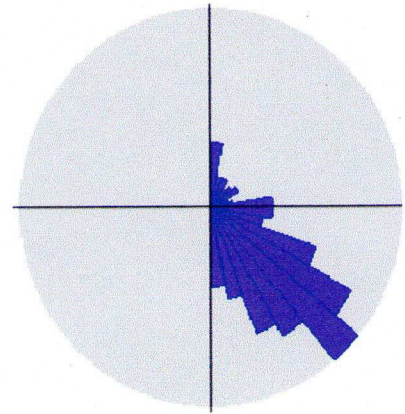
(Ex: Dj- Dokkane, Dj- Djébissa, les anticlinaux des trois Hammimat) s'expriment par une géométrie en échelon, ils sont le résultat de la phase atlasique.

Alors, l'analyse des linéaments basées sur l'interprétation des cartes et des rosaces établies à partir du traitement des photos aériennes et des images satellites confirme la direction prédominante NW - SE, avec un décrochement dextre, des accidents principaux, ainsi donc, de direction parallèle aux grands accident du bassin sud - Est constantinois résultants de la phase atlasique et de la post - pliocène. Les linéaments à la compression subméridienne d'âge quaternaire. Les linéaments de direction NE - SW et N - S sont d'âge albo - aptien.

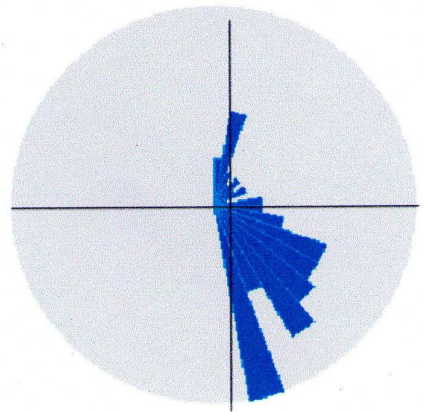


**Fig. 104:** Carte linéamentaires des monts de Tébessa à partir des photos aériennes.

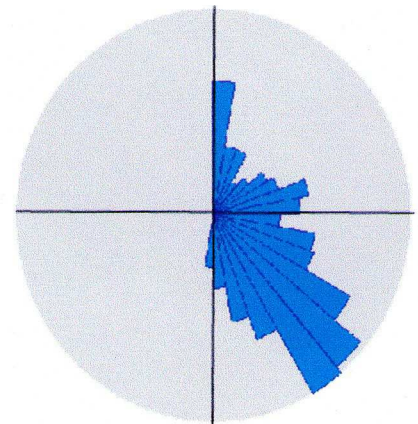
**Fig. 105:** Rosace de la carte linéamentaires à partir de la photo satellite de la partie Est de l'Atlas saharien.



**Fig. 106:** Rosace de la carte linéamentaires à partir de la photo satellite des monts de Tébessa.



**Fig. 107:** Rosace de la carte linéamentaires à partir des photos aériennes des monts de Tébessa.



### 3. Analyse du secteur d'étude:

Les zones où préexistaient des réseaux de fracture d'origine tectonique permettent la circulation de l'eau. En effet l'addition de la fracturation tectonique et de l'altération, conduit à la formation de couloirs fracturés et fissurés qui vont constituer des drains privilégiés pour l'eau souterraine.

Le réseau utile étant constitué par toutes les fractures ouvertes (failles et diaclases), et non minéralisés, connectés entre elles, et assurant les circulations au sein du réservoir fracturés.

Nous nous sommes aperçus que l'origine et l'évolution d'une fracture ont une forte influence sur son comportement hydrodynamique. L'étude du couple mécanique / écoulement est par conséquent indispensable aux études de circulations de fluide en milieu fracturé.

Il est donc essentiel de saisir la distribution de la fracturation dans la zone étudiée, le déchiffrement des linéaments à partir des photographies aériennes de la région s'avère très utile.

Parallèlement aux techniques classiques de relevés et de traitement des données structurales en tectonique cassante (F. Arthaud et P. Choukroune; 1972) on peut, lorsque les conditions d'affleurement le permettent, analyser la fracturation d'un milieu à différentes échelles:

- A l'échelle ponctuelle dans les stations de mesures où l'on comptabilise les discontinuités le long de profils de cheminement, donnent l'expression de l'intensité de fracturation, de la distribution directionnelle, et de la maille élémentaire des joints de rupture appartenant à des familles distinctes (L. Kiraly; 1969).
- A l'échelle régionale à partir de l'exploitation des clichés aériens (relevé des champs de fractures) et du traitement des informations recueillies selon des techniques basées soit sur des propriétés physiques (C. Drogue et al; 1975) soit sur le calcul numérique (M. Razack; 1979, G. Brière et M. Razack; 1980).

Notre travail s'est basé sur l'examen des photographies aériennes en noir et blanc à l'échelle 1/20000, des feuilles de Hammamet et de Chéria, (N° 205, et N° 234 respectivement).

#### **4. Inventaire des linéaments:**

L'inventaire, mesure des microstructures et finalement le traitement statistique des données permettant de reconstituer les champs de contraintes. L'analyse de ces photographies aériennes a pu mettre en évidence, un réseau complexe de linéaments, qui sont souvent discontinus, parfois dissimulés par la végétation.

#### **5. Approche de la photo interprétation:**

L'analyse structurale permet une approche dont le chaque d'étude de l'affleurement sur le terrain à la photographie aérienne.

##### **5.1. Analyse linéamentaire:**

Le géologue concentre son attention sur tous les alignements de nature diverse qui apparaissent dans le relief ou le modèle. La ligne droite étant quelque chose de rare dans la nature, de tels alignements ont beaucoup de chance de traduire une influence tectonique: cassure, zone de broyage, filon minéralisé.

La notion de linéament a été introduite par Hobbs. W. H 1904 pour la première fois dans un article intitulé « Lineament of the Atlentic border region ».

Pour Hobbs; les linéaments correspondent à des structures morphologiques, généralement rectilignes, « crêtes, rides ou limites de relief, lignes de partage des eaux, ou des rivages, limites linéaires de formations géologiques ou d'ensembles pétrographiques, lignes d'affleurement..... ».

##### **5.2. Démarche photo interprétative:**

Les photographies aériennes ayant servi à cette étude ont été exploitées systématiquement en relief de la manière suivante:

Un cliché, sur lequel on pose un carré de papier calque, et avec le stéréoscope à miroir, on trace à l'aide d'une gamme de signes conventionnels au crayon d'abord les éléments morphologique: oueds, ravins, ravies, glacis, terrasses, éboulis, corniches, chevrons, puis les éléments géologiques: pendage, axes de plis, terminaisons périclinales, failles et diaclases.

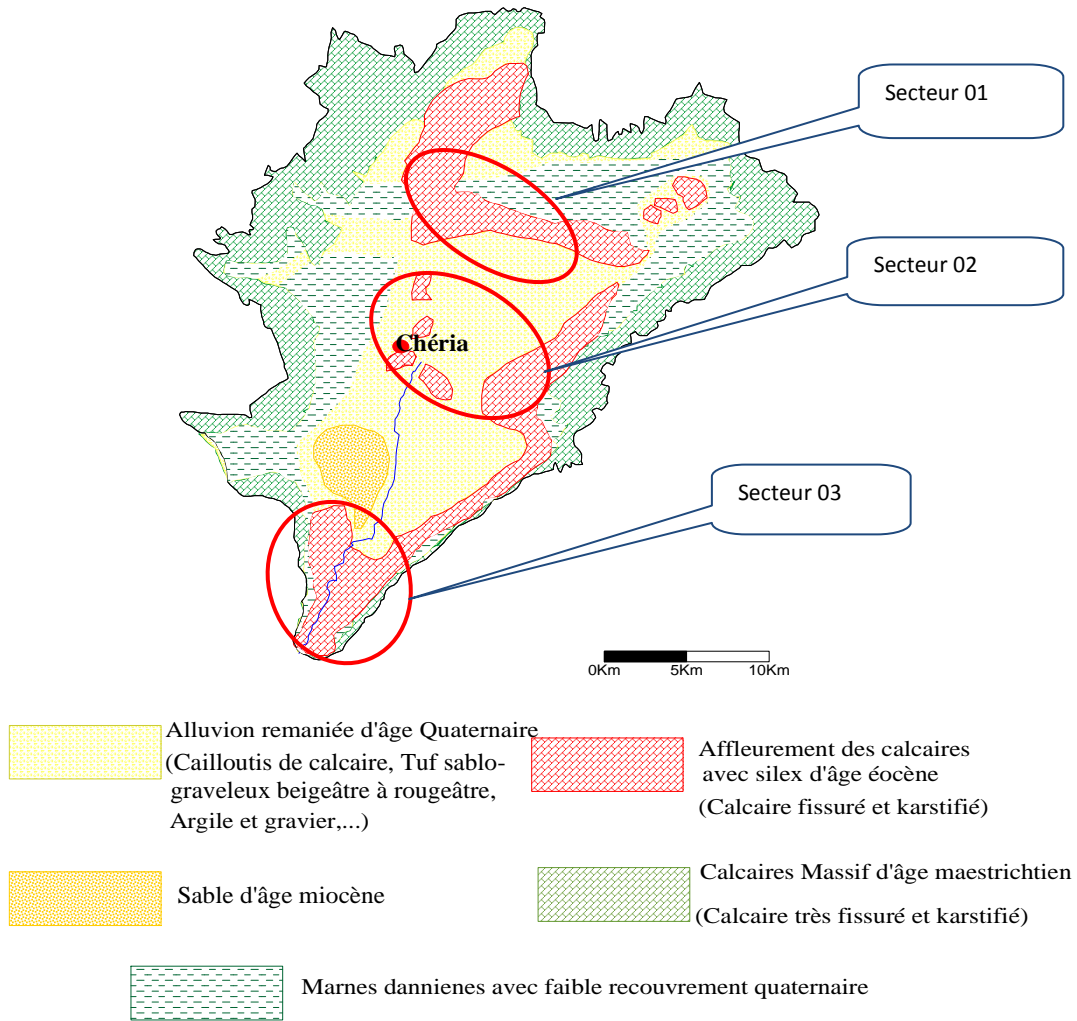
Lorsque la série de photographies aériennes déchiffrée est achevée, on procède à l'opération de report synthèse.

Cette opération consiste à reprendre détail par l'information géologique et morphologique portée sur le carré de papier calque, superposé à la carte topographique correspondante.

## **6. Description des linéaments:**

Les linéaments identifiés nous ont permis de dresser une carte linéamentaires du secteur étudié dans la région de Hammamet- Chéria et illustrer leurs variations dans deux diagrammes statistiques, pour cela on a essayé interprété les résultats obtenus par Dr. F. Baali; 2006, et aussi élaboré les rosaces par méthode de fréquence cumulée à partir des photos aériennes qui recouvrent les affleurements au niveau des calcaires éocènes.

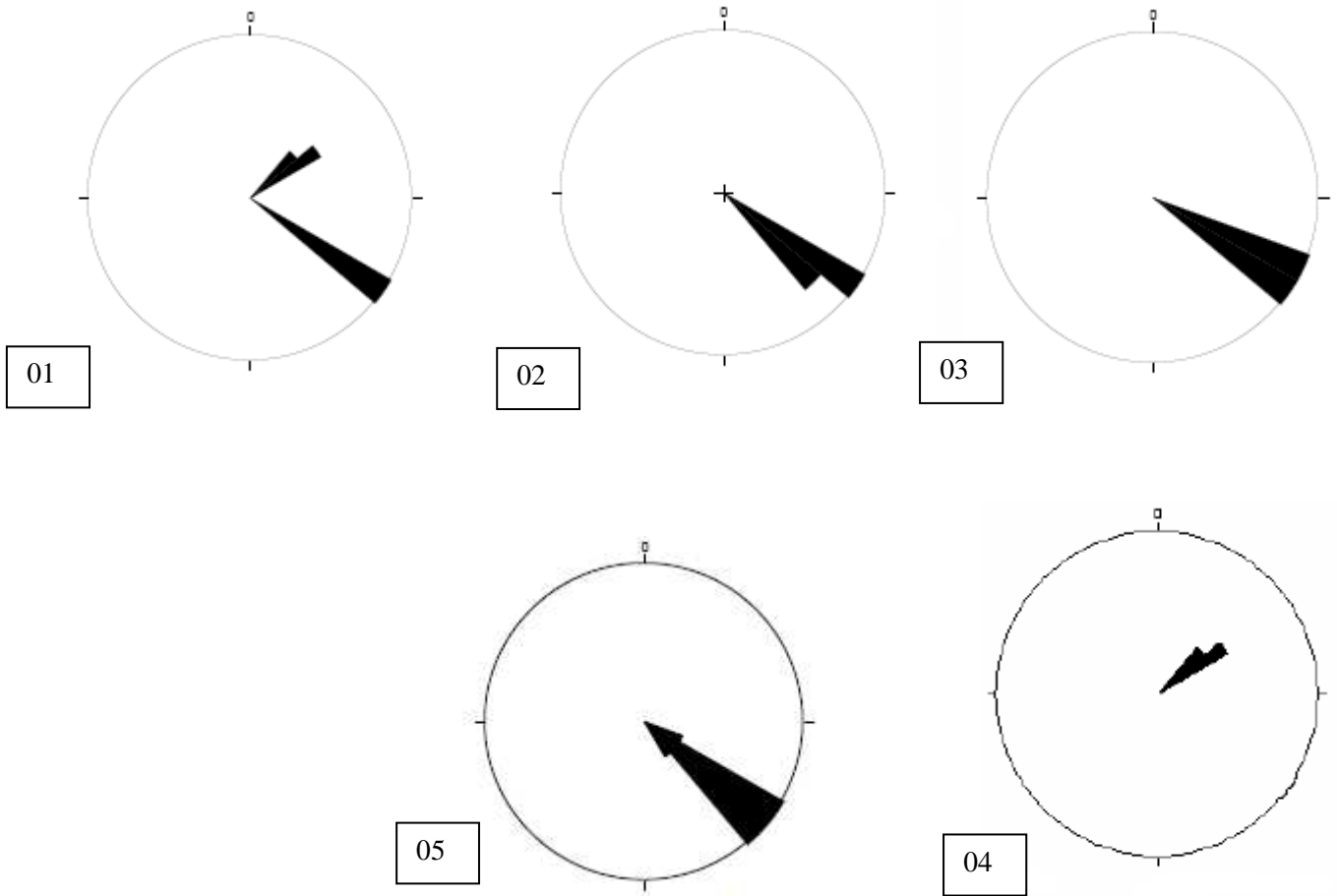
Le réseau de linéaments d'orientations multiples déchiffré à partir des photographies aériennes des régions nettes en valeur des failles en majorité linéaires et rarement incurvées. Au nord de la région étudiée, la trace des traits structuraux est nette, des linéaments NW - SE à N - S, sont fréquents et dont le nombre et les longueurs correspondantes s'accroissent se dirigeant vers le NE. Dans la bande septentrionale et méridionale du terrain des linéaments à direction NE - SW avec des longueurs assez importantes ont également été déchiffrés. Pour expliquer la méthode linéamentaires, on a mesuré les longueurs en (Km) des linéaments suivant toutes les directions, pour chaque feuille de ces derniers, puis nous avons calculé la fréquence cumulée de longueurs correspondants avec un secteur unitaire. Le traitement statistique des linéaments des deux régions a été traité séparément. La représentation a été faite par une représentation sectorielle (chaque secteur a part) suivant l'apparition de calcaire d'éocène sur plateau de Chérai, il ya trois zone d'apparition; au nord de plateau (secteur 01), au milieu de plateau (secteur 02), et au sud de plateau (secteur 03).



**Fig. 108:** Localisation des calcaires d'écène pour l'étude de la fracturation.

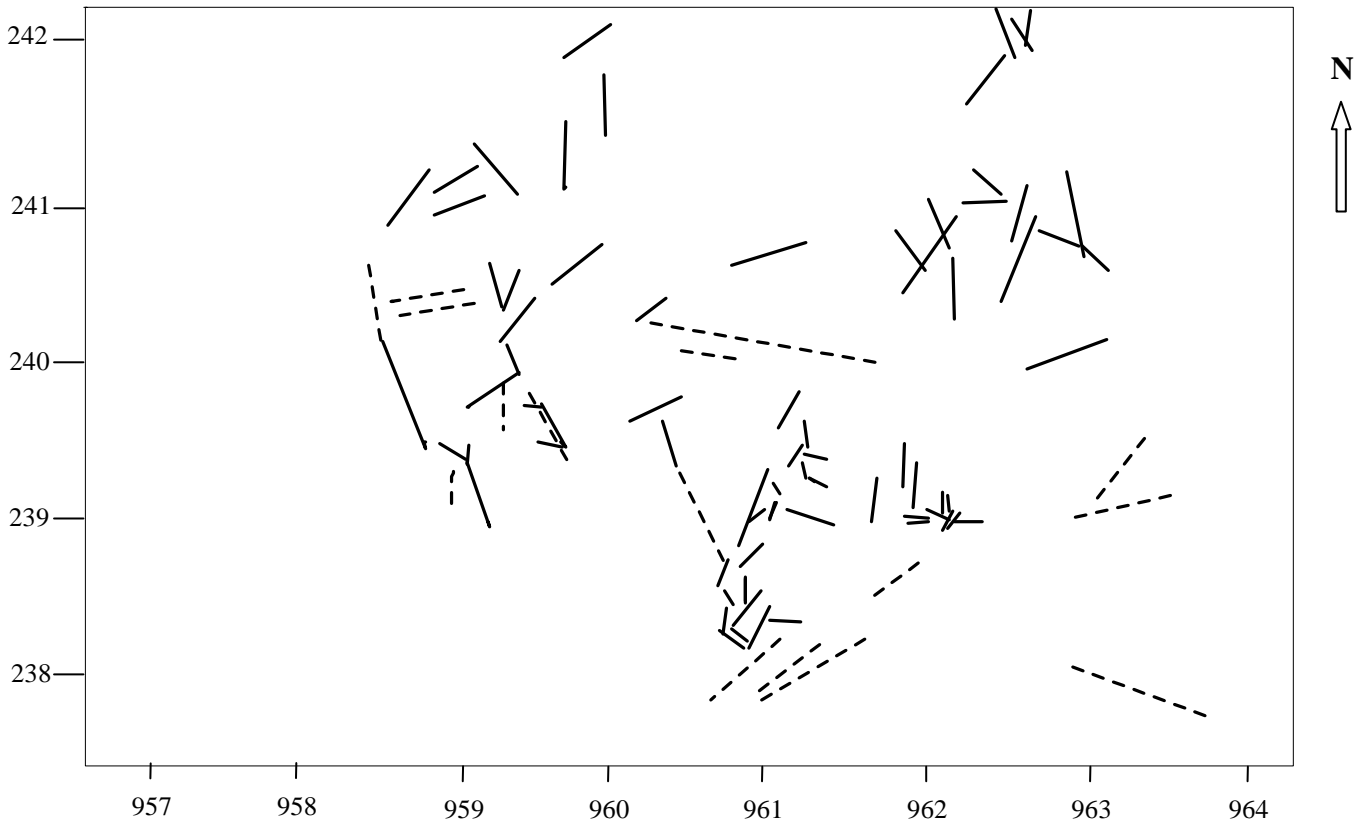
### 6.1. Analyse des linéaments à partir des photos aériennes dans le secteur 01:

Les mesures de la fracturation ont été faites dans les affleurements les plus importants des calcaires éocènes dans le secteur 01 (Bir Touil, Ain Troubia).

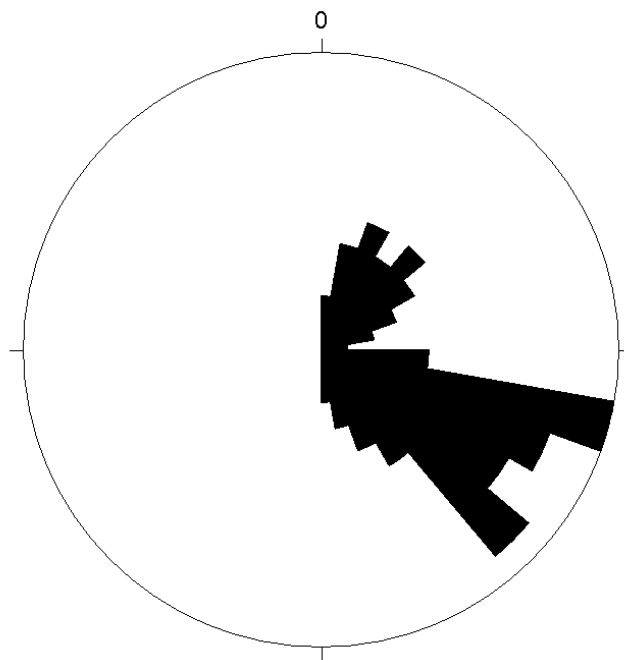


**Fig. 109:** Les projections stéréographiques des plans de failles (mesures in situ). (Baali. F; 2006).



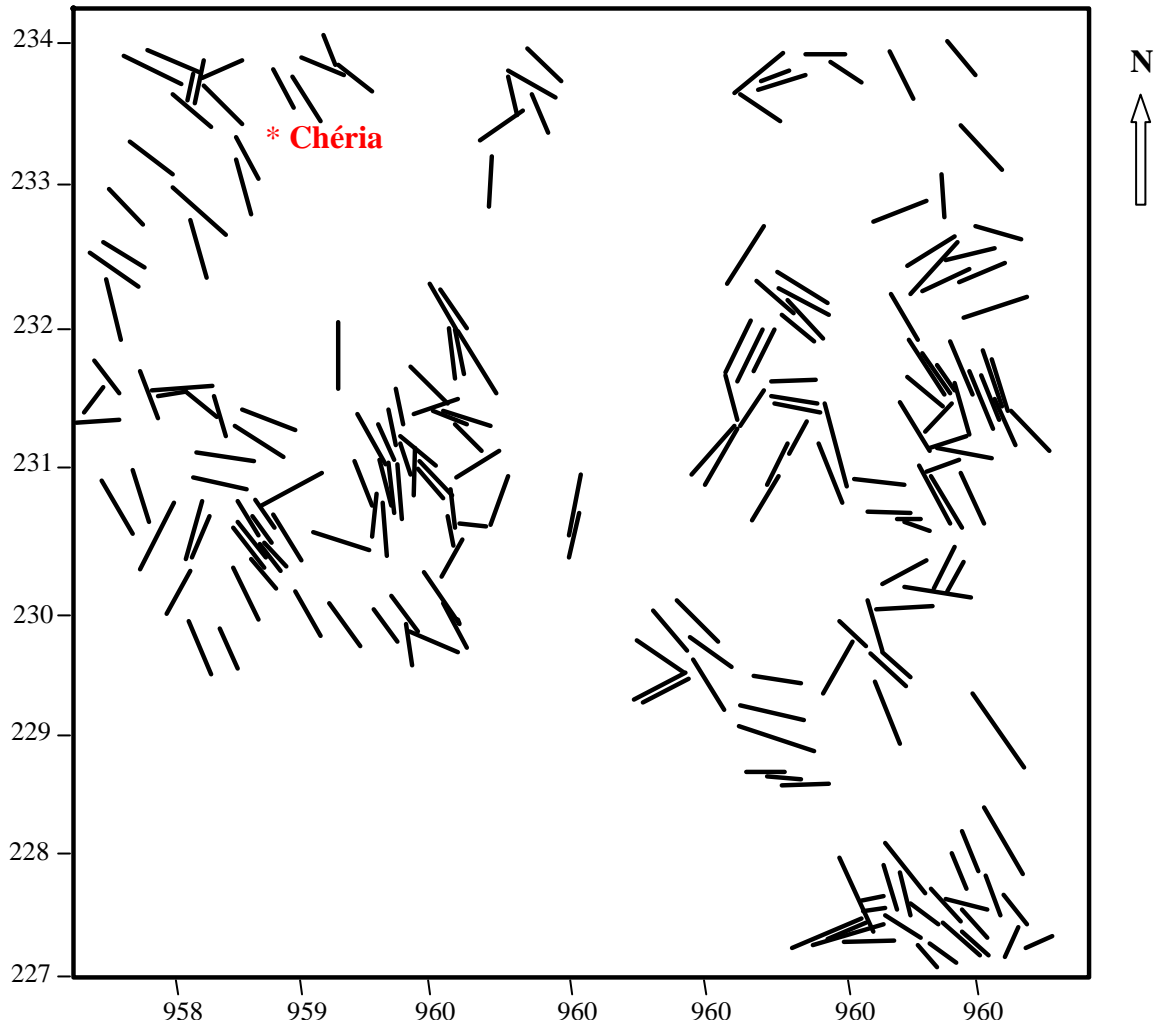


**Fig. 110:** Carte linéaire de secteur 01 à partir des photos aériennes (Nord du plateau de Chéria).  
Echelle: 1/20000.

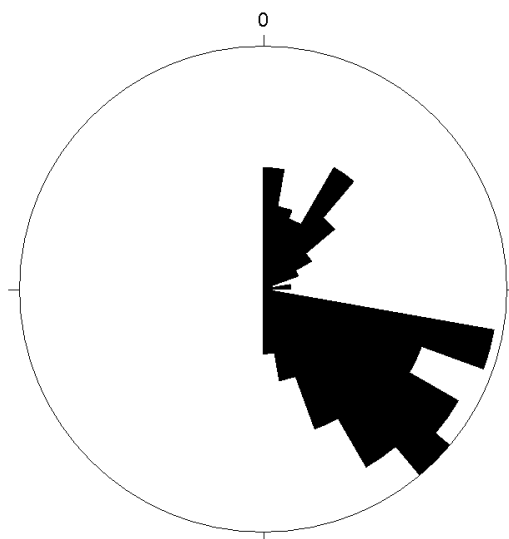


**Fig. 111:** Rosace des linéaments du secteur 01.

6.2. Analyse des linéaments à partir des photos aériennes dans le secteur 02:

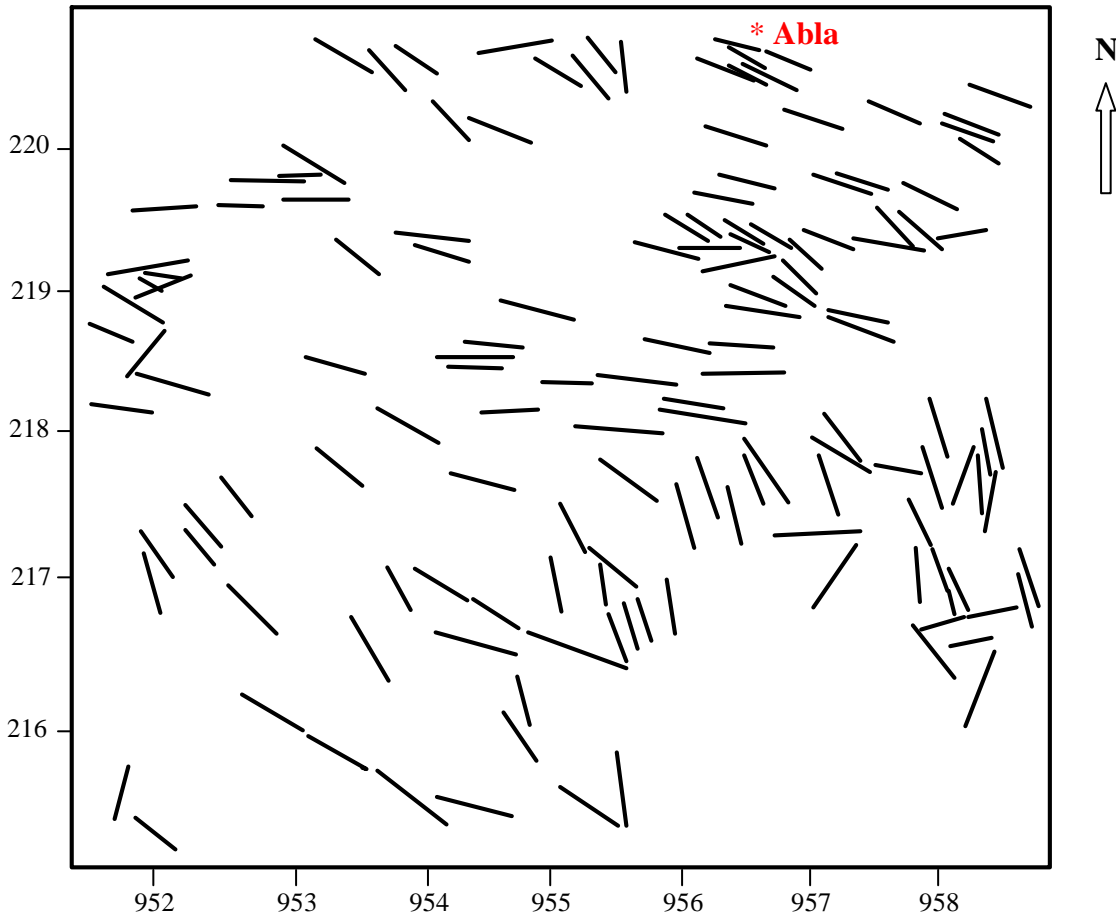


**Fig. 112:** Carte linéamentaire de secteur 02 à partir des photos aériennes (Centre du plateau de Chéria).  
Echelle: 1/20000.

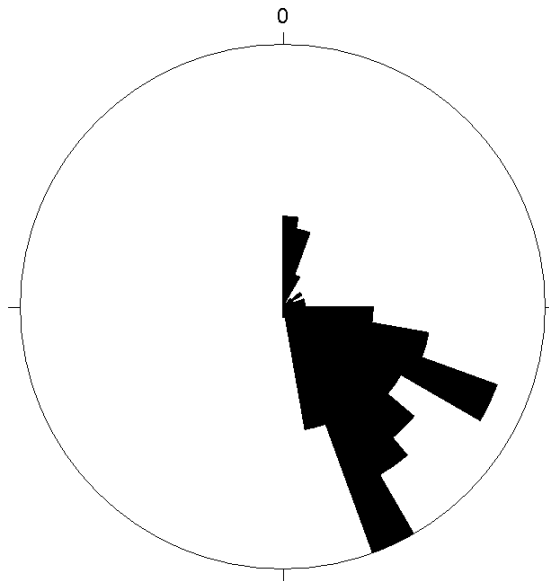


**Fig. 113:** Rosace des linéaments du secteur 02.

6.3. Analyse des linéaments à partir des photos aériennes dans le secteur 03:



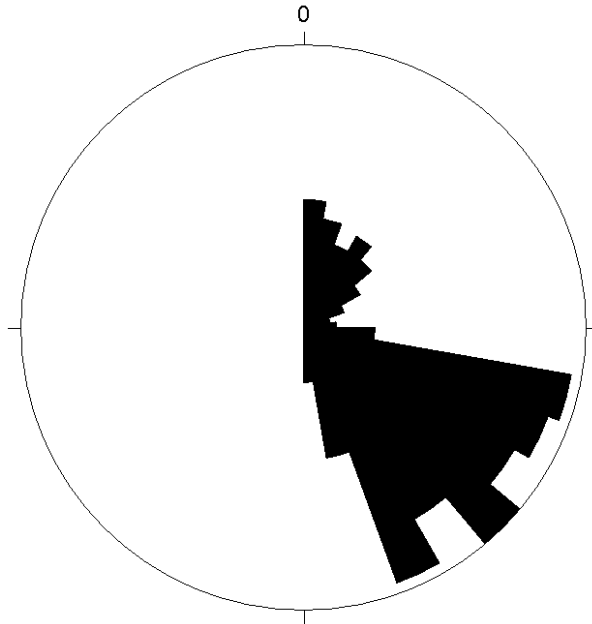
**Fig. 114:** Carte linéamentaire de secteur 03 à partir des photos aériennes (Sud du plateau de Chéria)  
Echelle: 1/20000.



**Fig. 115:** Rosace des linéaments du secteur 03.

## 7. Analyse des linéaments des calcaires d'éocène du plateau de Chéria:

A partir des études linéamentaires détaillées des trois secteurs, on peut conclure une étude linéamentaire générale pour déduire la direction dominante des fracturations qu'ils affectaient des calcaires d'éocène dans le plateau de Chéria.



**Fig. 116:** Rosace des linéaments des calcaires d'éocène du plateau de Chéria.

## 8. Description des rosaces:

Après l'élaboration des rosaces précédentes on distingue les familles de direction de linéaments significatifs de chaque secteur, nous avons classé selon l'ordre d'importance comme suivant:

### -Secteur 1 (Nord du plateau de Chéria):

- La famille 1: N130 - 140 (NW - SE)
- La famille 2: N110 - 120 (ESE - WNW)
- La famille 3: N40 - 50 (NE - SW)

**-Secteur 2 (Centre du plateau de Chéria):**

-La famille 1: N100 - 110 (ESE - WNW)

-La famille 2: N130 - 140 (NW - SE)

-La famille 3: N40 - 50 (NE - SW)

-La famille 4: N0 (N - S)

**-Secteur 3 (Sud du plateau de Chéria):**

-La famille 1: N150 - 160 (SES - NWN)

-La famille 2: N130 - 140 (NW - SE)

-La famille 3: N0 (N - S)

**-Secteur globale de calcaire d'écène du plateau de Chéria:**

-La famille 1: N130 - 140 (NW - SE)

-La famille 2: N30 - 40 (NE - SW)

-La famille 1: N150 - 160 (SES - NWN)

La famille 1: N100 - 110 (ESE - WNW)

-La famille 3: N0 (N - S)

**9. Analyse et significations structurales:**

**-La famille 1-A: N130 - 140 (NW - SE):** La direction N 130 - 140 (NW - SE) est une direction dominante dans le plateau de Chéria, est un trait structurale très important peut correspond aux accidents normaux, liés à la phase atlasique d'âge écène. Elle est responsable à des structures plissées de direction NE - SW. La direction N130° - 150°, dont les mesures effectuées aux affleurements de Bir Touil, on peut permis celle produites à partir des mouvements tangentiels (NW - SE) de compression s'accroissent et déterminent le plissement général d'intensité moyenne. (M. Hamimed; 2005).

**-La famille 2: N100 - 110 (ESE - WNW):** Cette famille peut correspondre aux accidents (failles) normaux liés à la phase atlasique d'âge éocène terminale (lutétien), qui affecte la région.

**-La famille 3: N40 - 50 (NE - SW):** Cette famille peut correspondre aux failles post - miocène (pontien); les travaux réalisés par Dr.Baali. F 2006 au niveau d'affleurements des calcaires d'Ain Troubia confirment cette direction. La direction  $N40^{\circ} - 50^{\circ}$  (NE - SW), est représentée par la rosace précédentes dont les mesures effectuées aux affleurements des calcaires de Ain Troubia ces direction ont comme origine failles Post - Miocène, (Baali. F; 2006).

**-La famille 4: N0 (N - S):** Parfaitement visible sur les cartes linéamentaires, cette famille présente une direction N-S des linéaments avec un décrochement senestre.

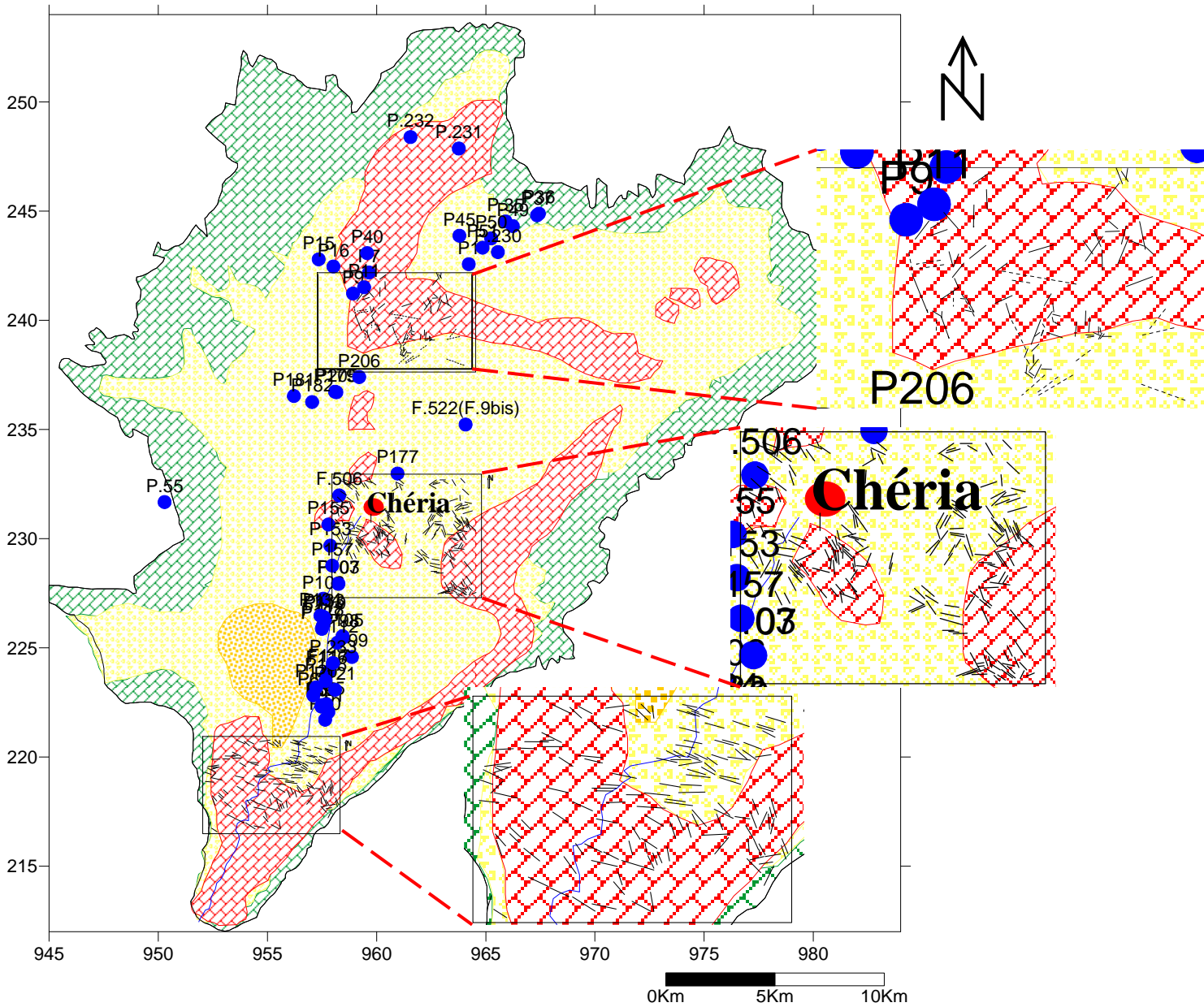
A partir des images satellites ainsi cartes linéamentaires réalisées et des photos aériennes de la région étudiées a permis de mettre en évidence l'ensemble des éléments structuraux résultant de différentes phases tectoniques ayant affectés la région. Et, à partir des rosaces réalisées sur ces cartes linéamentaires, quatre directions principales sont évidence: NW - SE, NE - SW, E - W et N - S.

## **10. Méthode caractérisation de l'état actuel des aquifères et des circulations aux différentes échelles:**

Ainsi il faut comprendre l'utilité de la capacité de celle-ci à déterminer certains paramètres hydrodynamiques (ex: axes de circulation, barrières, reconnaissance de fracturation ouverte, etc.)

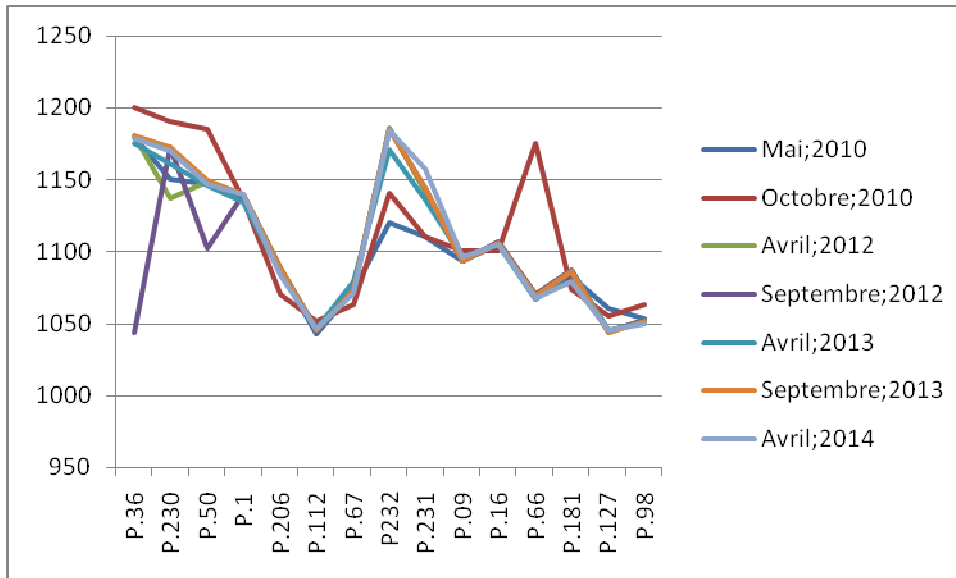
### **10.1. Les relevés piézométriques:**

Les relevés piézométriques servent à établir la surface piézométrique de la nappe à des dates données. Les cartes établies montrent des courbes d'égal niveau piézométrique. Les lignes de plus grandes pentes (perpendiculaires aux précédentes) montrent le sens d'écoulement de la nappe. Ces lignes peuvent converger et indiquent ainsi la présence d'axes drainants, ou diverger et indiquer alors des seuils (Castagny; 1982). Habituellement on établit que la surface piézométrique maximale moyenne correspond à la réserve totale de l'aquifère, la surface minimale moyenne correspond à la réserve permanente et la différence entre celles-ci à la réserve régulatrice.



**Fig. 117:** Carte montrant les points d'inventaire piézométrique superposés aux cartes linéamentaires.

Le but initial de ces relevés étant d'établir des cartes de la surface piézométrique de la nappe. Son évolution dans le temps devrait permettre de voir des variations des lignes de plus grande pente faisant ressortir axes drainants et axes barrières.



**Fig.118:** Evolution de la profondeur du plan d'eau dans le temps.

L'observation analytique de ce graphe dans façon globale; montre que le niveau de plan d'eau diminué dans tous les puits; depuis mai 2010 jusqu'au avril 2014. Cette situation de la majorité des puits du plateau de Chéria se faite à plusieurs causes; la sécheresse qui affecte la région, surexploitation sans prendre en considération la gestion raisonnable des eaux souterraines, absence les stratégies à long terme sur la gestion des eaux karstique.

## 10.2. La chimie des eaux:

L'utilité de cette méthode est établissement possible d'une compartimentation géochimique des eaux que l'on peut sans doute mettre en liaison avec la compartimentation tectonique.

Les différents paramètres chimiques ont permis la réalisation des cartes du teneur des différents éléments chimiques. Cette méthode de caractérisation de l'aquifère confirme et complète les méthodes précédentes; mais par l'aspect plus de mise en équilibre des eaux avec les milieux traversés et de résidence.

Cependant que l'examen de la courbe de conductivité des deux directions montre une élévation remarquable dans la partie sud du plateau, qui peut être expliqué par plusieurs facteurs d'ordre hydrodynamique tel que la recharge en cet endroit et les écoulements du nord vers le sud et la recharge en ions chimiques en contact avec les roches. L'augmentation des bicarbonates de NE vers SW et NW vers SE est tributaire l'écoulement des eaux qui se fait de nord vers sud.

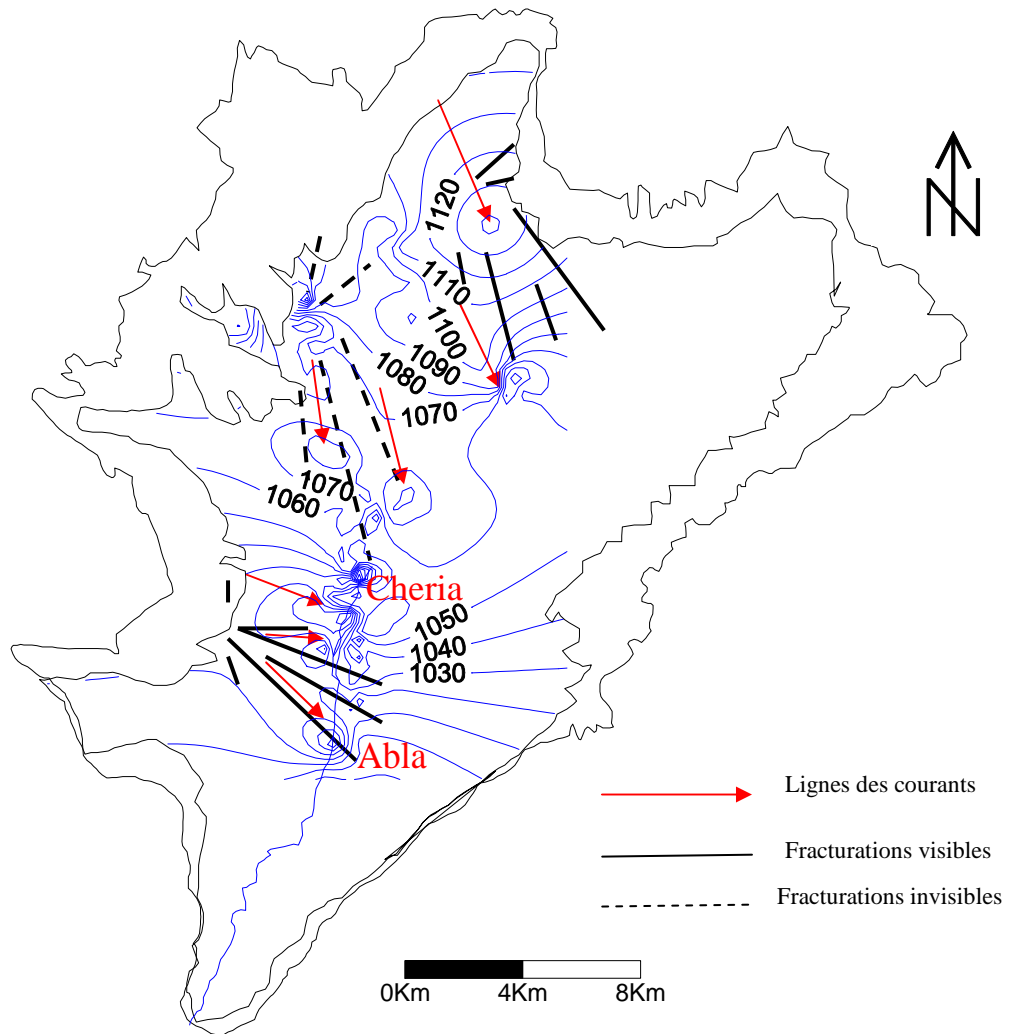


### 10.3. Recherche des axes circulants:

La manière la plus simple d'identifier des axes barrières ou drainant, que l'on peut mettre en parallèle avec les failles identifiées. Quand aux fractures drainantes, on distingue deux types: les principales sont représentées par les familles N130 - 140 (NW - SE), et les secondaires par les familles N30 - 40 (NE - SW) de l'ensemble du réseau de diaclases. Les unes alimentantes les autres en fonction de la pluviométrie (après une pluie les failles alimentaient le réseau de diaclases et inversement). Les cartes piézométriques des différentes campagnes montre que la plupart des directions d'écoulements de NW vers SE où la direction des grandes fractures.

La carte piézométrique montre que les lignes des courants au niveau de l'aquifère d'éocène sont parallèles aux directions des fractures de calcaire d'éocène.

Les lignes des courants de l'aquifère alluvionnaire s'adapte bien ici à la direction des lignes des courants au niveau de l'aquifère d'éocène; lorsque la nappe mio - plio- quaternaire est alimentée directement par l'aquifère de l'éocène. Enfin les fractures des calcaires éocène sont guidées la direction des réseaux d'écoulement sous terraines au niveau des ces deux aquifère.



**Fig. 119:** Plan d'eau de l'aquifère éocène avec le champ de fracturation.

### 11. Relations hydrographie - structure:

Les ravines sont souvent associées à des fractures (en particulier, celles qui sont profondes), elles en sont de même pour les vallées et les portions de rivières, surtout lorsque plusieurs sections de ce type appartenant à des cours différents s'alignent entre elle après un changement brutal de directions d'écoulement (J.W. Normain; 1976, J.Y. Scanvi; 1983). Par ailleurs, l'analyse linéamentaire a permis d'apporter des indications nouvelles; sur le type, la répartition, la signification de l'orientation des systèmes majeurs des fractures.

Pour la direction NE - SW, le réseau hydrographique s'adapte bien ici à la structure géologique. On entend par direction des axes de plis la direction atlasique. En effet, oued principal (oued Chéria), et oued secondaire (oued Troubia) du plateau de Chéria prennent naissance et coulent parallèlement à l'axe du plateau de Chéria, cette direction probablement

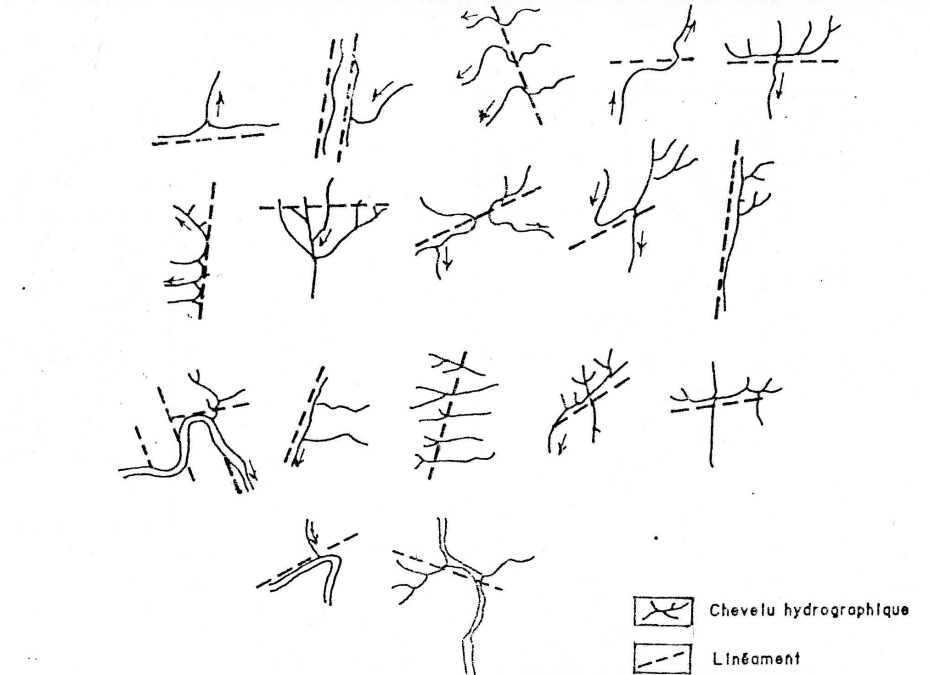
liées par la phase poste miocène. Enfin la direction de oued principale de plateau de Chéria; probablement engendrée par la phase tectonique plus récent (phase poste miocène)

Cet avis n'est pas partagé, l'on pense qu'il n'ya point désorganisation des réseaux mais un changement de direction (N - S) imposée par les mouvements tectoniques (Benabas. C; 2006). Cependant les quelque perturbation pour la plupart aux zones de passage d'accidents E - W (oued Tazbent,...).

**11.1. Linéaments et hydrographie:**

Dans l'aire d'étude, les ressource en eaux sont essentiellement sont tributaires des écoulements superficiels et sont conditionnées en partie par la fracturation.

Les photographie aériennes montrent les linéarités du réseau hydrographique aux niveaux des ravines et des oueds.



**Fig. 120:** Exemples de fractures déchiffrées à partir de l'allure hydrographique. (Rasskatov. G.P).

Les ravines sont pratiquement associées à de fractures, en particulier celles qui sont profondes. Il en est ainsi des vallées et des segments d'oueds linéaire, surtout quand plusieurs sections de cette nature apparemment a différents cours s'alignent entre elles suite à un changement brutal des directions d'écoulement.

## 11.2. Les différents couloirs des fracturations:

-1<sup>ère</sup> couloir caractérisé par une largeur moyenne de 2 km. Il semble limiter et perturber le synclinal de Troubia.

-2<sup>ème</sup> couloir caractérisé par une largeur moyenne de 2 km. Ce deuxième couloir est très intéressant. En effet, il présente des accidents en relais de direction différentes NW - SE (famille N 130 - 140) ver Djebel Gurigueur NE - SW (famille N 30 - 40) ver Djebel Essen, on remarque aussi la présence d'un ravinement intense.

-3<sup>ème</sup> couloir caractérisé par une largeur moyenne de 2.25 km: Au niveau de Djebel Guergueuer, ce couloir se distingue par un grand développement de formes karstique.

Dans la région de Djebel Gaaga, on note le relèvement du pendage ainsi qu'une grande densité de fracturation de différentes directions (NW - SE, NE - SW).

## 12. Conclusion:

L'analyse des photos aériennes du plateau de Chéria montre les glacis, les mouvements de masses, l'orientation de leurs évolutions; formes et positions, l'apparition de phénomènes karstiques qui engendré l'affaissement de Draa Douamis, et l'effondrement des maisons au niveau de la ville de Chéria, s'explique l'intensité de réseaux de fracturation, ainsi que leur relation avec l'environnement lithologique et structural.

L'organisation hydrographique est conditionnée en fait par le jeu de la nature lithologie et de la tectonique cassante.

La fracturation en général et la néotectonique en particulière combinées aux facteurs lithologiques et morpo - structurale ont en un rôle déterminant dans la distribution actuelle des ressource hydriques. Des contraintes tectoniques compressives se poursuivent actuellement. Elles influencent l'orientation des principaux oueds, guident leur écoulement et déterminent aussi la distribution spatiale des sources.

Tous ces éléments et autres, amenant à penser qu'il faudrait tenir compte des effets de la néotectonique dans les perspectives de recherche concernant l'évaluation et l'aménagement des ressources hydriques dans la région.

Le développement de processus de karstification est fait sur un axe de fissuration N - S à cause de l'écoulement souterrain à grande vitesse le long des fissures.

**VII: INFLUENCE DE LA FRACTURATION SUR  
L'EVOLUTION DE RESERVOIR KARSTIQUE**

## **1. Introduction:**

Ce chapitre est consacré aux problèmes liés à la détermination des caractères géométrique des fissures dans les aquifères karstiques, en particulier à la détermination indirecte du champ des fracturations dans plusieurs station du mesure. Par conséquent nous cherchons, à préciser les relations représentées symboliquement dans le champ de fracturation et géométrie de réservoir karstique et, en particulier, nous examinons si les relations analysées sont, oui ou non, utilisables comme fonctions d'interpolation pour l'estimation indirecte du champ des fracturations. Dans ce travaille nous présentons un schéma conceptuel des relations entre facteurs géologiques (champ de la fissuration), caractères physiques des roches karstiques et évolutions de réservoir karstique, la connaissance de ces derniers étant le but final de notre étude.

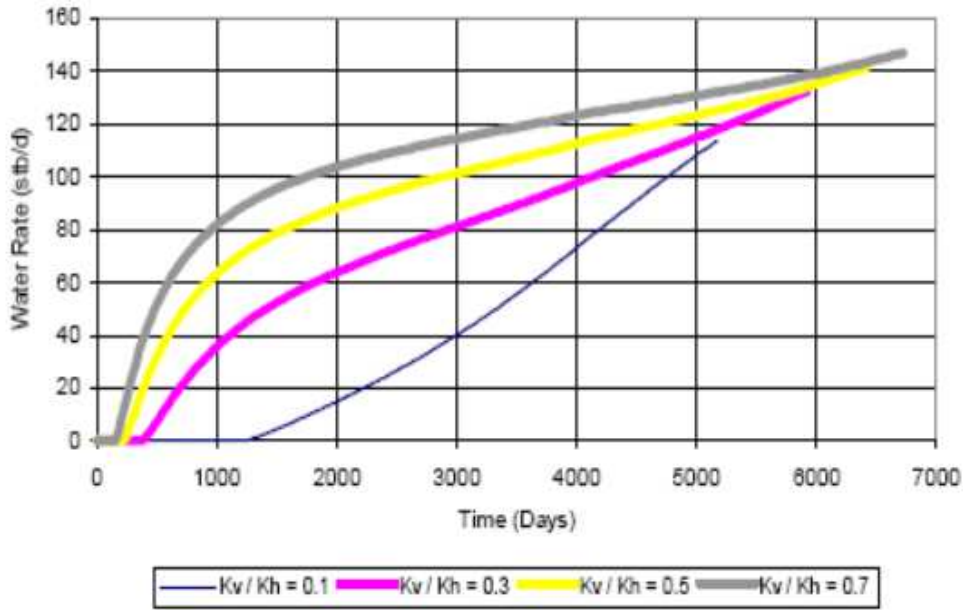
## **2. Paramètres augmentant les venues d'eau au fond des puits:**

Des paramètres spécifiques favorisent l'accroissement de la production d'eau (donc du water coning), ils peuvent être résumés comme suit:

- Perméabilité verticale;
- Dimension de l'aquifère;
- Effet de la pression différentielle

### **2.1. Effet de la perméabilité verticale sur la formation du coning:**

La constatation faite pour ce paramètre (Beattle & Roberts; 1996) est qu'une forte  $K_v$  génère tôt une production d'eau;  $K_v$  accélère le water - coning car elle réduit le temps nécessaire pour sa stabilité. L'analyse de l'effet de l'augmentation de la perméabilité verticale en variant quatre sensibilités de  $K_v$  pour une seule de  $K_h$  a donné l'évolution suivante.

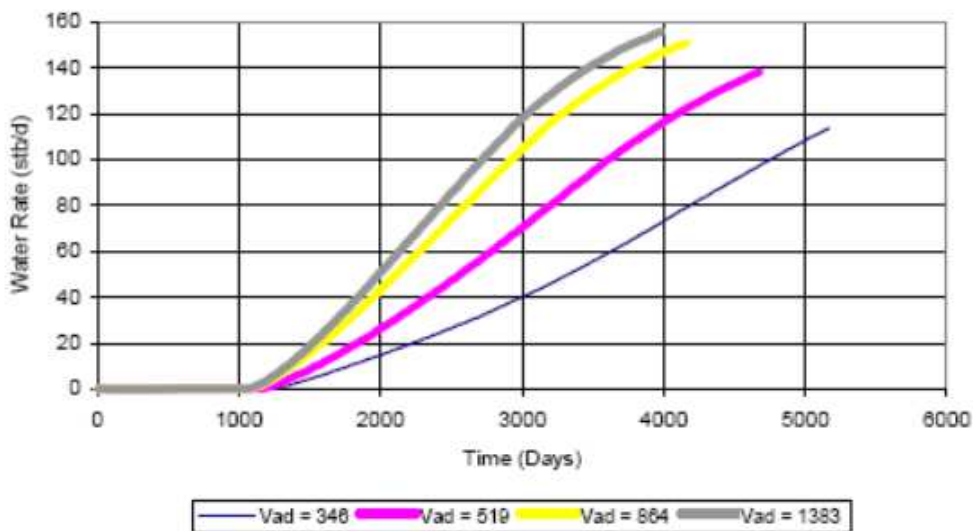


**Fig. 121:** Effet de la perméabilité verticale sur le débit d'eau (In document de Sonatrach).

Cette figure montre que le temps de percée d'eau et le débit augmentent avec l'augmentation de la perméabilité verticale. Donc: autant que  $K_v$  est élevée, autant que la production d'eau est grande.

## 2.2. Effet de la dimension de l'aquifère:

Les corrélations utilisées pour le calcul par bilan matière des entrées d'eau assument que les quantités d'eau envahissant le réservoir sont reliées à la dimension de l'aquifère. La figure suivante montre la variation du débit d'eau en fonction de la dimension de l'aquifère. On voit que  $Q_w$  évolue en même allure que celle de l'aquifère.



**Fig. 122:** Evolution du débit d'eau en fonction de la dimension de l'aquifère (In document de Sonatrach).

### **3. Relation entre la fissuration et la direction préférentielle de karstification:**

Il est largement admis dans les communautés hydrogéologiques que la tectonique cassante influence d'une manière considérable sur la distribution des perméabilités dans le milieu karstique, et ce, depuis les travaux de L. Kiraly; 1969. Les fissures qui sont des chemins préférentiels d'écoulement à vitesse relativement élevée, seront exposées à l'attaque des eaux agressives chargées en  $\text{CO}_2$  atmosphérique. Les réactions eaux / carbonates élargissent les fissures façonnent même des galeries de grandes dimensions. L'orientation général de ces galeries suit ce lui des fissures originales préexistant (R. Guerin; 1973). Cela même a partir du levé du réseau linéaire d'avoir une idée même fragmentaire sur les directions possibles du réseau karstique (en cas ce dernier impénétrable). Il est même possible de définir le degré de karstification à partir des comparaisons entre le réseau de fissures et celui des vides karstiques (C. Drogue et J. C. Grillot; 1976).

Dans la région de Chéria, les données actuelles sur les systèmes karstiques ne sont que très fragmentaires (analyse hydrodynamique par pompages insuffisante; absence de réseau souterrain accessible, bien que les magasins karstiques présentent en surface et en subsurface (fronts de carrières, l'effondrement karstiques).

### **4. Les problèmes liés à la détermination indirecte du réseau très perméable:**

Cette étude tente de conformer les relations entre la morphologie et la fracturation dans les calcaires et les confronter aux écoulements des nappes de ces derniers.

Nous analysons, plus spécialement, deux groupes de relations:

- Les relations qui montrent l'influence des facteurs géologiques (lithologie, structure, etc.) sur l'orientation, la fréquence et, surtout, l'ouverture des fractures.
- Les relations qui montrent l'influence des caractères géométriques des fractures (orientation, la fréquence et, surtout, l'ouverture des fractures, etc.) sur l'évolution de réservoir karstique.

La détermination directe de la densité et de l'organisation du réseau karstique dans un aquifère carbonaté est impossible dans l'état actuel de nos connaissances.

Certaines méthodes indirectes (géologiques, géomorphologiques, géophysiques) permettent parfois de localiser, sur une courte distance et à faible profondeur, quelques segments du réseau karstique, mais les renseignements ainsi obtenus sont beaucoup trop fragmentaires pour pouvoir les utiliser dans les modèles de simulation.



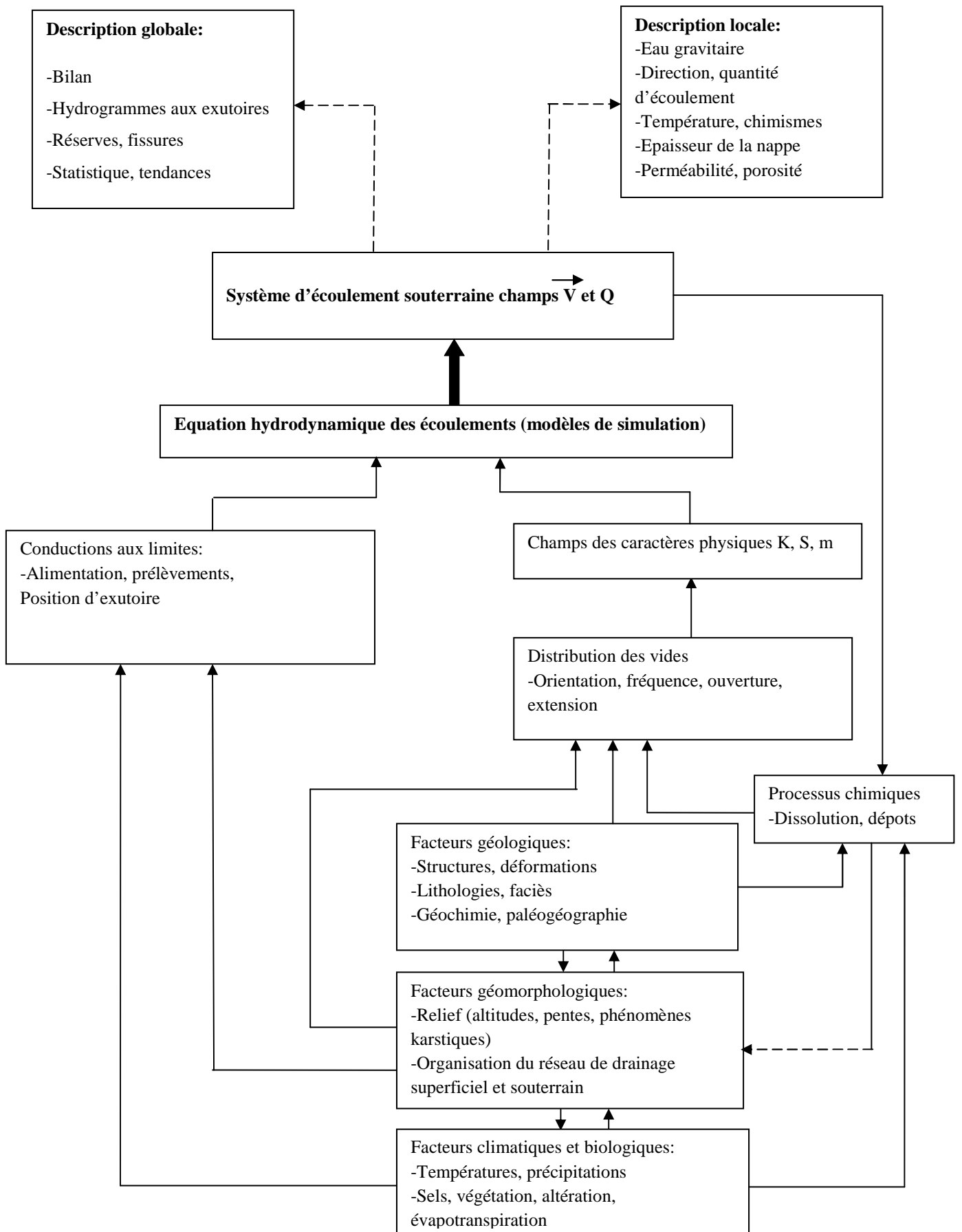
### **5. Autorégulation partielle entre systèmes d'écoulement et caractères physiques des aquifères dans le karst:**

Le comportement des nappes ne dépend que du champ des caractères physiques de l'aquifère (principalement des perméabilités  $K$ ) et des conditions aux limites imposées naturellement ou artificiellement (en particulier de l'altitude des exutoires, de l'alimentation et du débit des prélèvements).

Autrement dit, les facteurs géologiques, morphologiques et climatiques exercent leur influence sur les écoulements souterrains uniquement par, l'intermédiaire des champs de la perméabilité ( $K$ ), de la porosité ( $m$ ), du coefficient d'emmagasinement spécifique ( $S$ ) et des conditions aux limites. Si nous connaissions, par exemple, la distribution de la perméabilité et de la porosité dans le sous sol, nous n'aurions pas besoin de la géologie pour la recherche d'eau et pour la détermination des systèmes d'écoulement.

Ainsi, si nous voulons donner une signification hydrogéologique ou hydraulique aux facteurs géologiques, morphologiques et climatiques, si nous voulons examiner leur influence sur l'évolution des systèmes d'écoulement, nous devons les traduire en termes de conditions aux limites et en termes de caractères physiques des aquifères (perméabilité, porosité).

Nous pouvons considérer le système partiellement autorégulateur de la figure suivante comme la représentation schématique d'une théorie sur le développement de la perméabilité et de la porosité dans les roches carbonatées karstifiées et fissurées.



**Fig. 123:** Schéma des relations entre facteurs hydrologiques, propriétés physiques de l'aquifère et caractères géologiques dans le karst.

## **6. Moyen et méthode:**

La structure géométrique des aquifères en roches fissurées s'édifie à la faveur de la fracturation; fracturation visible en surface et géométrie de ce type d'aquifère présentent de ce fait une étroite relation. C'est pourquoi l'analyse de la fracturation est devenue un élément majeur de l'étude hydrogéologique de ces milieux (Baali. F; 2001).

### **6.1. Caractéristique et paramètre des fractures:**

Sont assemblés ici tant les caractéristiques physiques, géométriques que les paramètres liés à la fracturation et pouvant influencer le réservoir karstique du milieu.

#### **-Localisation (station géographique) et orientation (direction et pendage):**

Les orientations se regroupent généralement autour de quelques directions privilégiées de plans (Feuga; 1983 - 1984).

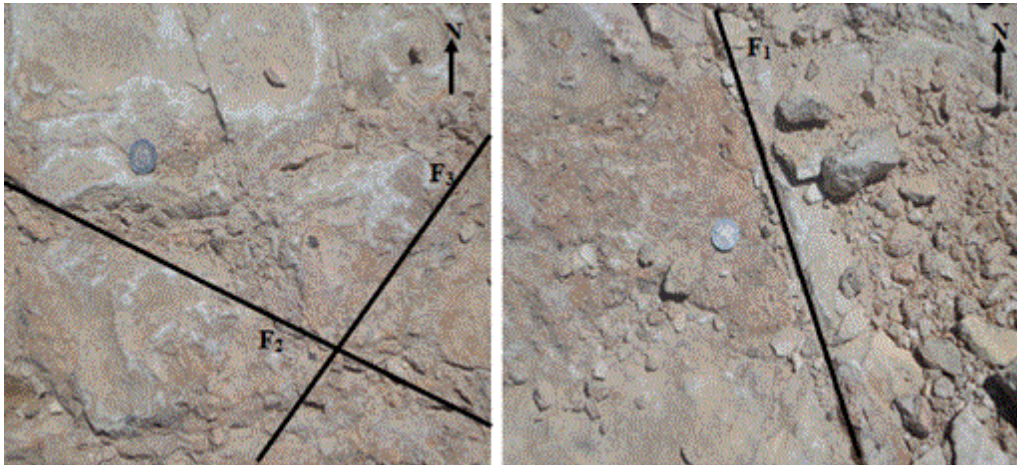
Le principe du levé de la fissuration aux stations de mesure et le calcul de la valeur moyenne des paramètres sont décrits ailleurs (Kiraly. L; 1969 a), nous ne reprenons ici que les principaux points. Soit un affleurement où l'on choisit M lignes de levé caractérisées par leur longueur (si possible, supérieure à 3 m) et par leur orientation. Chaque ligne de levé est représentée par un vecteur L. On mesure l'orientation et l'ouverture (d). de tous les plans interceptés par les lignes de levé.

#### **-Familles de fractures:**

L'existence de différentes familles de fractures entraîne une anisotropie de la masse rocheuse et des interconnexions entre fractures (Carlsson - Olsson; 1980).

La famille est également une notion de statistique. L'étude statistique des fractures nécessite la création de populations. A cet effet, Razack en 1980 caractérise une famille de fractures par:

- Une intensité de la fracturation; en nombre de fracturation, en longueur cumulée de fractures.
- Une longueur moyenne de fractures.
- Une distance interfracturale.



**Fig. 124:** Familles des fracturations (Nord ouest du plateau de Chéria).

**-Extension, continuité des fractures:**

L'extension d'une fracture est caractérisée par une longueur (en deux dimension) ou par une surface (en trois dimensions) (Feuga; 1983).

Sur le terrain, il est démontré que les fractures ont toujours une extension finie (Long et al; 1982).

On sait que l'élargissement des fissures par dissolution est proportionnel au débit qui s'écoule parallèlement à ces fissures, pour autant que la direction générale des écoulements reste la même pendant assez longtemps. Sur la base des valeurs empiriques citées ci-après, nous admettons que la perméabilité d'interstices de la matrice rocheuse est négligeable par rapport à la perméabilité de fissures et de chenaux.

**-Fréquence et densité de fracturation:**

**-Densité:** \*En dimension, c'est le nombre de fractures par unité de longueur

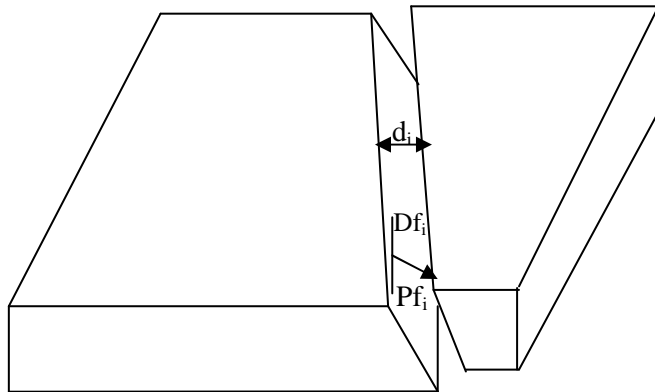
\*En deux dimensions, c'est la longueur cumulée de fractures par unité de surface

\*En trois dimensions, c'est la surface cumulée par unité de volume (Feuga; 1984).

**-La fréquence:** varie d'une famille est l'inverse de l'espacement moyen des fractures de cette famille.

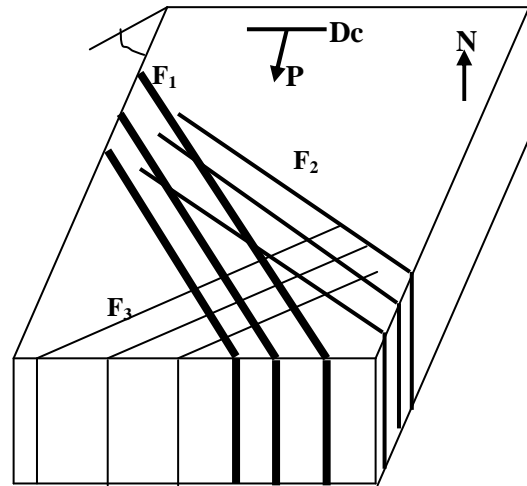
**-Dimension de fracture - longueur de trace:**

Constate que, sauf exception, l'observation ne permet pas de déterminer toutes les dimensions d'une fracture. Seule est mesurable, dans le meilleur cas, la longueur de sa trace sur la surface d'observation qui constitue une limite inférieure de sa plus grande dimension (taille limitée de la surface d'observation, surface qui recoupe rarement la fracture suivant sa plus grande dimension).



$d_i$  Ouverture de fracture     $pf_i$  Pendage de fracture  
 $Df_i$  Direction de fracture

**Fig. 125:** Géométrie de la fracture.



$F_1$  Famille N°01                       $Dc$  Direction de couche  
 $F_2$  Famille N°02                       $Pc$  Pendage de couche  
 $F_3$  Famille N°03

**Fig. 126:** Familles de la fracturation.

## 6.2. Influence de la profondeur:

La distance séparant ces fissures horizontales augmente avec la profondeur (Jahns; 1943).

La fréquence des fissures décroît rapidement avec la profondeur (Crosby; 1881). Il existe une grande concentration des systèmes de fissures horizontales dans la partie superficielle du milieu rocheux.

## 7. Définition mathématique de la fracturation:

**a-** Il est possible d'établir des lois reliant:

- Intensités de fracturation en longueur cumulées
- Intensités de fracturation en nombre de fractures
- Distances interfractionnelles (Rzack; 1980).

Chaque groupe de deux facteurs permettant de définir le troisième, on aboutit à l'hypothèse selon laquelle le processus de fracturation obéit à des lois de nature déterministe. **Alors la fracturation est un phénomène déterministe.**

**b-** L'analyse de la distribution des longueurs de fracture aboutit à une loi de type log - normale.

**Alors la fracturation est un phénomène aléatoire.**

**c-** L'analyse structurale par variogramme semblerait montrer que le phénomène est continu, régulier, et qu'il présente une certaine anisotropie. **Alors fracturation est un phénomène régionalisé.**

## 8. Détermination la relation entre RMR (Rock Mass Rating) et les facteurs géologiques:

Le RMR (*Rock Mass Rating System*) a été développé par Bieniawski dans les années 1970. Le système initial a reçu de nombreuses modifications et extensions depuis. Ce système repose sur l'attribution d'une note à six paramètres:

- Résistance à la compression simple de la roche saine  $\sigma_c$ ;
- Indice RQD (*Rock Quality Designation*) du massif rocheux;
- Espacement moyen des discontinuités;
- État général des discontinuités (ouverture, persistance, rugosité...);
- Conditions hydrogéologiques du massif rocheux;
- Orientation des discontinuités par rapport aux directions représentatives du problème traité.

Les études statistiques des variations spatiales des certaines facteurs géologiques dans dix stations de mesure; montre que RMR dépende aux plusieurs paramètres indépendants entre elles. Traitements des données de trois familles de fracturation indiquent que RMR est donné par la relation suivante:

$$RMR = 0.08218R_c + 0.3311RQD - 11.003E_j + 0.3843D_{10mL} - 2.5911C_{Dij} \dots \dots \dots (01).$$

Où  $R_c$ : Résistance à la compression simple de la roche saine  $\sigma_c$  (Mpa)

$E_j$ : Espacements des joints (m)

$D_{10mL}$ : Débit sur 10m de longueur (l/min)

$C_{D-Ij}$ : Coefficient liée à la direction et inclinaisons des joints, et l'indice RQD du massif rocheux.

Les résultats obtenus peuvent être utilisés comme des fonctions d'interpolation qualitatives, mais somme toute utiles, pour la répartition spatiale des chenaux karstiques:

Dans le cas des aquifères réels; l'évolution du système karstique autorégulateur est, généralement, plus complexe; pour simplifier cette complexité, il faut basée sur l'étude géologique, géomorphologique et climatique de la région, pour comprendre les changements des conditions aux limites (vitesses et durées) et d'évaluer, qualitativement et grossièrement,

l'effet de ces changements sur les systèmes d'écoulement et sur l'élargissement des fissures et des chenaux par dissolution.

**9. Comportement mécanique des calcaires fissurés du plateau de Chéria:**

Tous les ouvertures dans les calcaires karstiques sont interconnectés par l'intermédiaire de fissures étroites, des passages plus au moins larges formant les éléments d'un système de grotte. L'emplacement de ces grottes karstique reste un problème majeur devant toute tentative d'aménagement, cependant leur localisation, caractérisation devient impératif.

**9.1. Détermination des contraintes principale:**

Le critère de Hoek et Brown déterminé pour le massif rocheux est conditionné par la valeur de la résistance à la compression adoptée. Comme le calcul prévu consistait en une vérification de l'état de stabilité des cavités souterraines, nous avons choisi de nous placer dans des cas défavorables et nous avons sélectionné pour l'ensemble du matériau calcaire deux valeurs de résistances prises dans le matériau tendre, à savoir la valeur moyenne: 45.48 MPa.

	c	φ	E
Échantillons prélevés dans les bancs les plus durs	995 kPa	30.83°	2.71 GPa
Échantillons prélevés dans les bancs les plus tendres	445 kPa	33°	0.94 GPa

**Tab. 29:** Caractéristiques mécaniques des calcaires fissurés.

**9.2. Estimation des caractéristiques mécaniques à partir du RMR:**

Plusieurs auteurs ont proposé des relations entre les paramètres mécaniques du massif rocheux et la valeur du RMR. Nous avons retenu les relations suivantes qui permettent d'estimer une cohésion et un angle de frottement, ainsi qu'un module d'Young pour un RMR moyenne ≈ 40:

$$C_{eq} (KPa) \approx 5RMR.....(Beniawski,1979).$$

$$\Phi_{eq} (°) \approx 0.5RMR + 8.3 \pm 7.2.....(Trunck – Homish,1989).$$

$$E_{eq} (GPa) \approx 10^{(RMR-10)/40}.....(Serafim – Pereira,1983)..$$



C MPa	$\Phi^\circ$	E MPa	Rc estimée au laboratoire MPa
0.2	35.5	5620	45.48 - 98.40

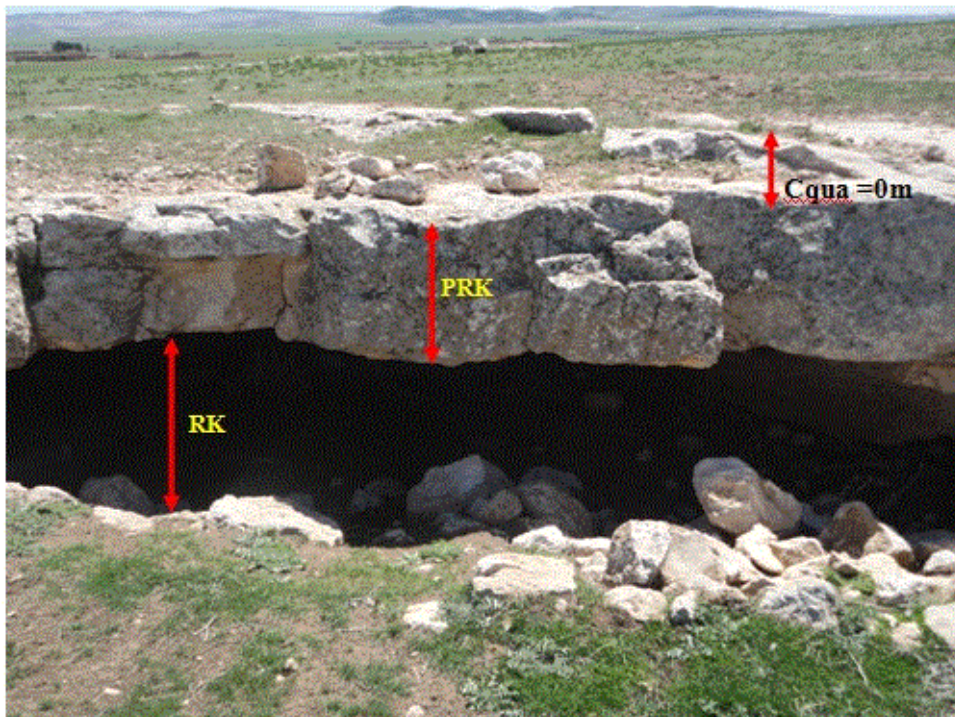
**Tab. 30:** Caractéristiques mécaniques à partir du RMR des calcaires fissurés.

### 10. Estimation de la profondeur de réservoir karstique (PRK):

Nous créerons la relation entre les facteurs géologiques, besoins, pour la résolution de problèmes pratiques et théoriques. Cela veut dire que l'interprétation concrète et l'extension de l'évolution de réservoir karstique; il semble évident que les facteurs géologiques influençaient ou déterminaient la profondeur et l'évolution de réservoir karstique, la fréquence, l'ouverture et la connexité (extension) des fractures.

Dans ce travail seules les fissures d'extension décimétrique ou métrique seront prises en considération, celles que l'on observe aisément à l'échelle des effleurements. La détermination du champ des paramètres de la fissuration implique un travail à deux niveaux:

- a) détermination directe de la valeur moyenne des paramètres à des stations de mesure isolées
- b) estimation indirecte de la valeur du champ des fractures entre les stations de mesure à l'aide de fonctions d'interpolation.



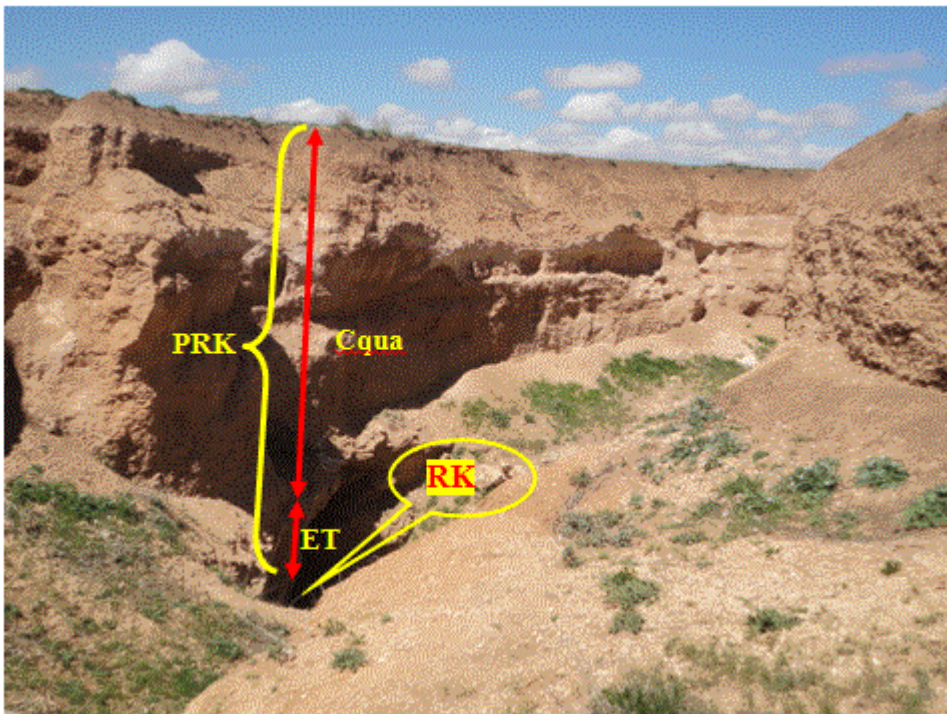
**Cqua:** Couverture de remplissage quaternaire. **PRK:** Profondeur de réservoir karstique.

**RK:** Réservoir karstique.

**Fig. 127:** Affleurement de toit de réservoir karstique (Nord du plateau de Chéria).



L'ouverture des vides devrait être plus grande près de la surface de la nappe que dans les zones profondes de l'aquifère. Signalons que d'autres considérations théoriques renforcent cette hypothèse, notamment l'agressivité théoriquement plus élevée des eaux souterraines près de la surface de la nappe et une certaine augmentation de l'ouverture des fissures (même en l'absence de la dissolution) dans la zone de décompression des roches, par la suite de la diminution des contraintes effectives vers la surface topographique (Borelli et Pavlin; 196, Louis; 1974). La diminution rapide de la perméabilité avec la profondeur dans les blocs peu perméables tous ces résultats provoqués un développement de réservoir karstique près de la surface topographie.



Cqua: Couverture de remplissage quaternaire. PRK: Profondeur de réservoir karstique.

RK: Réservoir karstique. ET: Epaisseur de toit de réservoir karstique.

**Fig. 128:** Remplissage des formations quaternaires au - dessus de réservoir karstique (Effondrement de Draa Douamiss).

D'après l'étude statistique des données expérimentales, la profondeur de réservoir karstique (PRK) définie comme la formule empirique suivante:

$$PRK = -1.4246RMR - 0.5926Pc - 0.0892 \sum_{i=1} PF_i + 210.99150 \sum_{i=1} d_i - 6.5439 \sum_{i=1} F_i + 127.3546 \dots \dots \dots (02).$$

Où;

RMR: Système de masse d'estimation de roche; (Rock Mass Rating System)

Pc: Pendage de couche (°)

Pf<sub>i</sub>: Pendage moyenne du groupe i (°)

d<sub>i</sub>: Ouverture moyenne du groupe i (m)

f<sub>i</sub>: Fréquence moyenne du groupe i (fissures/m)

En remplaçant la valeur empirique de RMR sur la formule (02), la simulation expérimentale de profondeur de réservoir karstique (PRK) sera écrite par la formule suivante:

$$PRK = -1.17Rc - 0.47RQD + 15.67E_J - 0.55D_{10ml} + 3.69C_{D-iJ} - 0.5926PC - 0.0892 \sum_{i=1} PF_i + 210.99150 \sum_{i=1} d_i - 6.5439 \sum_{i=1} F_i + 127.3546 \dots \dots \dots (03).$$

Les formules (01), (02) et (03) ne sont, en effet, valables que pour toutes fractures sont participées à la perméabilité du réservoir karstique c'est-à-dire toutes les familles des fractures sont conductrices (Chamekh K; 2013), et pour nombre des familles supérieur ou égale à trois ( $i \geq 3$ ), couverture des alluvions d'âge mio - plio - quaternaire dont l'épaisseur relative est inférieurs ou égale à 9 m ( $Ep_A \leq 9$  m).

**11. Lien entre perméabilité et microstructure:**

La perméabilité d'une roche est entièrement déterminée par la géométrie de son réseau de porosité. La relation entre les deux est cependant loin d'être évidente, et nombre de modèles ont été développés pour estimer la perméabilité à partir des propriétés microstructurales des roches. Dans tous ces modèles, le problème clé consiste à déterminer une longueur caractéristique pour les processus de transport de fluide: En effet une telle échelle de longueur doit exister, puisque la perméabilité. Comment à partir de la connaissance (même approximative) des propriétés géométriques du milieu poreux peut - on prédire la valeur de la perméabilité de ce milieu?. Quels sont les paramètres microstructuraux qui contrôlent les propriétés de transport dans les roches?. La physique des roches essayait de répondre à ces questions depuis très longtemps déjà.

Le problème posé consiste à établir une passerelle entre l'échelle microscopique (celle des pores et des grains) et l'échelle macroscopique (celle à laquelle est définie la perméabilité).

Dans le modèle de milieu équivalent, la longueur caractéristique est définie à partir de grandeurs macroscopiques très simples, à savoir le volume de porosité  $V_v$  et l'aire  $A_p$  de l'interface pore - solide. La relation classique de Kozeny - Carman donne l'expression de la perméabilité dans l'approche du milieu équivalent:

$$K = \frac{R_h^2 n}{\beta t^2}$$

Où le paramètre  $R_h = V_v/A_p$ , appelé rayon hydraulique, constitue la longueur caractéristique recherchée. Les autres paramètres sont la porosité ( $n$ ) et la tortuosité ( $t$ ), alors que deux sont facteurs qu'ils dépendaient de la géométrie des pores, et qui présentaient une variabilité très faible (approximativement entre 2 et 3). Le point faible du modèle réside dans le paramètre de tortuosité, qui quantifie l'accroissement de la distance parcourue par le fluide, difficile à estimer en raison de la complexité topologique du milieu poreux.

Une approche différente est possible. Au lieu d'utiliser des grandeurs macroscopiques, on peut s'attacher à décrire les processus d'écoulement à l'échelle des composants élémentaires (les pores, les fissures), puis par différentes techniques remonter à la propriété macroscopique, la perméabilité. A l'échelle locale, l'écoulement dans les pores et les fissures considérés comme des entités propres est régi par la loi de poiseuille. Ces pores et ces fissures interagissent entre eux du fait de l'existence de connexions multiples dans les milieux poreux. L'information essentielle à fournir concerne la distribution statistique des propriétés dimensionnelles des pores ou des fissures, représentés par des canaux d'écoulement individuels. On peut considérer une distribution aléatoire de tubes ou s'attacher à décrire de manière plus détaillée la topologie complexe des milieux poreux par une approche de type réseau.

### 11.1. Propriétés acoustiques:

La caractérisation des matériaux rocheux par des méthodes ultrasoniques est couramment utilisée. L'étude de la propagation des ondes de compression et de cisaillement dans un matériau à l'état sec et saturé permet d'évaluer les propriétés physiques du matériau telles que sa porosité, son état de fissuration et ses propriétés élastiques (module de Young, coefficient de Poisson). L'analyse des signaux ultrasoniques en terme d'atténuation a été surtout exploitée en physique des roches pétrolière. Ce paramètre est particulièrement intéressant pour l'analyse de l'anisotropie d'un matériau, soit structurale, soit liée à une microfissuration.

La physique des roches classique s'intéresse à la propagation des ondes de volume P et S, caractérisées par leurs vitesses (premières et secondes, d'après l'ordre de leur réception) et leur atténuation. Les équations de propagation des ondes dans un milieu élastique et viscoélastique sont indiquées en annexe du présent chapitre. Pour une onde P, le mouvement vibratoire a lieu suivant la direction de propagation et affecte le volume de la roche  $V_p$  est donc la vitesse d'une onde de compression (ou onde longitudinale)  $V_s$  est la vitesse d'une onde de cisaillement (ou onde transversale), dont le mouvement vibratoire a lieu dans un plan normal à la direction de propagation. Elles sont plus lentes que les ondes P et ne se propagent pas dans l'eau.

$V_p$  et  $V_s$  étant exprimées en fonction des coefficients de Lamé, la mesure du temps de propagation d'une onde ultrasonique dans une roche permet de remonter aux modules élastiques. Dans le cas d'un matériau isotrope, le calcul du coefficient de Poisson ( $\nu$ ) et du module de Young (E) est le suivant:

$$\nu = \frac{1/2 - (V_s / V_p)^2}{1 - (V_s / V_p)^2}$$

$$E = \rho \frac{V_p^2 (1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

Il est donc indispensable de mesurer  $V_p$  et  $V_s$  pour calculer E et  $\nu$ ; trop souvent  $V_p$  est seul mesuré, E est déduit en supposant  $\nu = 0,25$ .

### 11.2. Détermination du degré de fissuration:

La lithologie est un facteur déterminant en ce qui concerne les vitesses  $V_p$  et  $V_s$  dans la mesure où les caractéristiques élastiques des minéraux constitutifs sont différentes. Les valeurs indiquées dans le tableau suivant, sont des moyennes calculées à partir des vitesses des ondes suivant différentes directions mesurées sur des cristaux non altérés.

Le rapport  $V_p/V_s$  s'est intéressant à utiliser et permet de différencier nettement grès et calcaire, car le coefficient de Poisson de la calcite est très différent de celui du quartz.

Minéraux	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	E (GPa)	$\nu$	Vp (m/s)
Quartz	2,65	96,4	0,08	6 050
Olivine	3,2-3,6	216	0,24	8 770
Augite	3,2-3,6	143	0,24	7 330
Amphibole	2,9-3,2	110	0,29	6 800
Muscovite	2,7-3	80	0,25	5 880
Biotite	2,8-3,1	67	0,30	5 360
Orthose	2,5-2,6	63	0,29	5 680
Plagioclase	2,6-2,8	77	0,29	6 220
Magnétite	4,4-5,2	218	0,19	7 410
Calcite	2,7	84	0,28	6 320
Dolomie	2,8-3,1			7 900
Halite	2,1-2,6	36		4 320
Gypse	2,3-2,4			5 200

**Tab. 31:** Propriétés physiques et mécaniques des principaux minéraux (Belikov; 1967).

La vitesse des ondes P varie à lithologie constante avec la porosité de pores, mais diminue plus fortement encore avec la porosité de fissures. Pour estimer la part relative de porosité de pore ou de fissure dans des roches de lithologie différente on utilise l'indice de continuité (IC) défini comme le rapport de la vitesse des ondes P mesurée dans l'échantillon à la vitesse des ondes calculée  $V_p^*$  à partir de la composition minéralogique.  $V_p^*$  est la moyenne arithmétique pondérée des vitesses des ondes  $V_i$ , de chaque minéral constitutif de la roche, les coefficients de pondération étant les teneurs  $c_i$ , de la roche en chaque minéral:

$$IC(\%) = 100 \frac{V_p}{V_p^*}, \text{ avec } V_p^* = \sum c_i \times V_i$$

Ce rapport des vitesses varie comme le rapport  $K/K^*$  des compressibilités globale (bulk modulus) de la roche (K) et de la matrice (minéraux constitutifs de la roche) ( $K^*$ ) en fonction de la porosité de pores ( $n_p$ ) et de la porosité de fissures ( $n_f$ ), mais la sensibilité à la présence de fissures est beaucoup plus marquée. On peut écrire:

$$IC(\%) = 100(1 - An_p - Bn_f), \dots \text{ avec } n_f + n_p = n \text{ totale, et } n_f \ll n_p$$

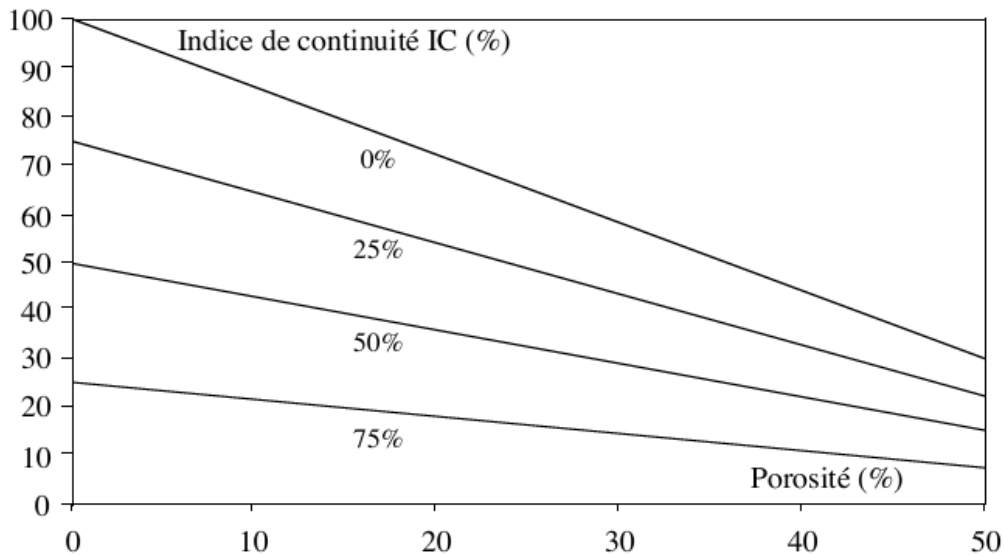
Dans le cas des roches exclusivement poreuses ( $n \text{ totale} = n_p$ ), il y a une relation expérimentale entre l'indice de continuité  $IC = IC_p$  et la porosité  $n$ :

$$IC_p = 100 * (1 - 1.4n_p).$$

Dans le cas le plus courant d'une roche poreuse et fissurée, la porosité totale (n) est égale approximativement à  $n_p$ , ce qui permet d'évaluer ce que serait la valeur de l'indice de continuité (ICp) du milieu poreux correspondant à la roche si elle n'était affectée que de pores:

$$IC_p = 100 * (1 - 1.4n).$$

La différence entre la valeur de l'indice de continuité mesuré (IC) et cette valeur ICp correspond à l'existence des fissures; elle est exprimée de manière relative par le degré de Fissuration DF, où;  $DF = 1 - \frac{IC}{IC_p}$



**Fig. 129:** Détermination du degré de fissuration avec l'indice de continuité.

Donc toute roche, quelle que soit sa porosité n, peut être affectée d'un degré de fissuration variant entre 0 et 100 %, avec DF exprimé en %. Dans le plan (IC-Porosité), les droites d'égale valeur du degré de fissuration forment un faisceau.

**-Application:**

S'il s'agit d'un réseau de fissures continues, mutuellement perpendiculaires et également développées, la porosité se calcule par formule suivante:

$$m = 3 * f * d$$

Paramètre Station	Famille (01)				Famille (02)				Famille (03)			
	d (m)	f (f/m)	X (m/f)	m <sub>1</sub>	d (m)	f (f/m)	X (m/f)	m <sub>2</sub>	d (m)	f (f/m)	X (m/f)	m <sub>3</sub>
1	0,003	3	0,33	0.027	0,004	2	0,5	0.024	0,05	0,75	1,33	0.11
2	0,002	2,5	0,4	0.015	0,03	1,75	0,57	0.15	0,025	1,25	0,8	0.093
3	0,02	2,5	0,4	0.15	0,035	1,25	0,8	0.13	0,03	1	1	0.09
4	0,003	2	0,5	0.018	0,004	1	1	0.012	0,05	0,5	2	0.075
5	0,003	4,5	0,22	0.0405	0,004	1	1	0.012	0,05	0,5	2	0.075
6	0,003	2,57	0,36	0.023	0,004	1	1	0.012	0,05	0,5	2	0.075
7	0,015	1,25	0,8	0.056	0,02	1	1	0.06	0,005	0,5	2	0.0075
8	0,004	1,25	0,8	0.015	0,005	1,5	0,66	0.022	0,003	0,5	2	0.0045
9	0,1	1,25	0,8	0.375	0,005	0,75	1,33	0.011	0,01	1	1	0.03
10	0,02	2	0,5	0.12	0,005	1,25	0,8	0.018	0,007	0,75	1,33	0.015

**Tab. 32:** Fréquence, ouverture et porosité des fractures.

Où;

d: Ouverture des fissures en m

f: Fréquence des fissures en f/m

x: Fréquence des fissures en m/f

m: Porosité des fissures

Par la sommation de porosité des trois familles on obtient la porosité totale d'une chaque station de mesure qui atteindrent jusqu'au 41%.

On peut donc, à partir de la mesure de la porosité, de la vitesse des ondes  $V_p$ , et du calcul de l'indice de continuité IC, estimer la densité de fissuration d'une roche.

La vitesse des ondes P est sensible à l'état de saturation des roches. Le modèle classique explicatif est celui de Wyllie donnant la vitesse de propagation des ondes à travers un milieu biphasique (phase 1 et 2):

$$\frac{1}{V} = \frac{n}{V_1} + \frac{1-n}{V_2}$$

Où  $V_1$ ,  $V_2$  sont les vitesses de propagation dans les milieux 1 et 2,  $n$  et  $(1-n)$  sont les proportions volumiques du milieu 1 et 2.

Cette approche donne des résultats satisfaisants pour des milieux consolidés saturés (calcaires et grès); dans ce cas, le milieu 1 c'est le fluide, le milieu 2 c'est la matrice, et  $n$  la porosité.



## 12. Calcul du tenseur de perméabilité dans le milieu anisotrope:

### 12.1. Détermination indirecte du champ des perméabilités K:

Nous nous intéressons particulièrement à la simulation par modèles mathématiques des écoulements dans le karst et à la détermination du champ des caractères physiques dans les aquifères karstiques, en particulier à la détermination indirecte du champ des perméabilités K, Nous utiliserons ce raisonnement pour examiner la possibilité de la détermination indirecte du champ des perméabilités à l'aide des facteurs géologiques. Par la suite nous examinerons, entre autres, dans quelle mesure on peut utiliser les relations ainsi structurées pour la détermination indirecte des champs hydrologiques et de certains champs géologiques (par exemple: champ de la fissuration). Le comportement des nappes ne dépend que du champ des caractères physiques de l'aquifère (principalement des perméabilités K) et des conditions aux limites imposées naturellement ou artificiellement (en particulier de l'altitude des exutoires, de l'alimentation et du débit des prélèvements).

La perméabilité K est fortement influencée par l'ouverture des fissures karstifiées;

Nous analysons, plus spécialement, deux groupes de relations:

- a) Les relations entre perméabilité et certaines variables caractérisant la distribution des vides (principalement l'orientation, la fréquence, l'ouverture et l'extension latérale des fractures).
- b) Les relations qui montrent l'influence des écoulements et des facteurs géologiques (lithologie, structure, etc) sur l'orientation, la fréquence et, surtout, l'ouverture des fractures.

Etant donné que dans les roches fissurées la conductivité hydraulique est généralement anisotrope il faut préciser, en quelques mots, la nature du tenseur de perméabilité.

En remplaçant le milieu poreux discontinu par un milieu continu fictif et en remplaçant la vitesse réelle du liquide dans les pores par le vecteur vitesse de filtration fictif  $q$  (Hubbert; 1940 - 1957). Dans ce cas les lignes d'écoulement ne sont, généralement, pas perpendiculaires aux lignes équipotentielles.

### 12.2. Relations entre caractères physiques et fissuration:

Sur la base des valeurs empiriques nous n'admettons que la perméabilité d'interstices de la matrice rocheuse est négligeable par rapport à la perméabilité de fissures et de chenaux. Nous pouvons calculer le tenseur de perméabilité à partir de la fissuration (Sndw; 1969, Kiraly; 1969) si nous admettons certaines hypothèses simplificatrices qui remplacent le milieu fissuré réel par un milieu fissuré idéalisé:



-L'eau souterraine circule dans des fissures qui sont planes et continues à l'intérieur d'un volume élémentaire représentatif de l'aquifère

- La conductivité hydraulique est isotrope dans le plan des fissures

- La vitesse moyenne de l'écoulement varie linéairement avec la projection de fissure.

(Wittke et Louis ; 1968) ont confirmé que dans une seule fissure l'écoulement se fait dans la direction J avec la vitesse moyenne;

$$v_m = \frac{g}{12u} \cdot d^2 \cdot \overrightarrow{Jp}$$

g: Accélération due à la gravité (9.81 m/s<sup>2</sup>)

v: Viscosité cinématique de l'eau (10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>/s)

d: Ouverture de la fissure (m)

JP: Projection du gradient général J dans le plan de la fissure (sans dimensions).

Si nous avons f fissures parallèles par mètre, la section d'écoulement effective par m<sup>2</sup> de surface perpendiculaire à J<sub>p</sub> est f \* d et le vecteur vitesse de filtration fictif sera:

$$\vec{q} = f \cdot d \cdot \vec{v}_m = \frac{q}{12v} \cdot f \cdot d^3 \cdot \overrightarrow{Jp}$$

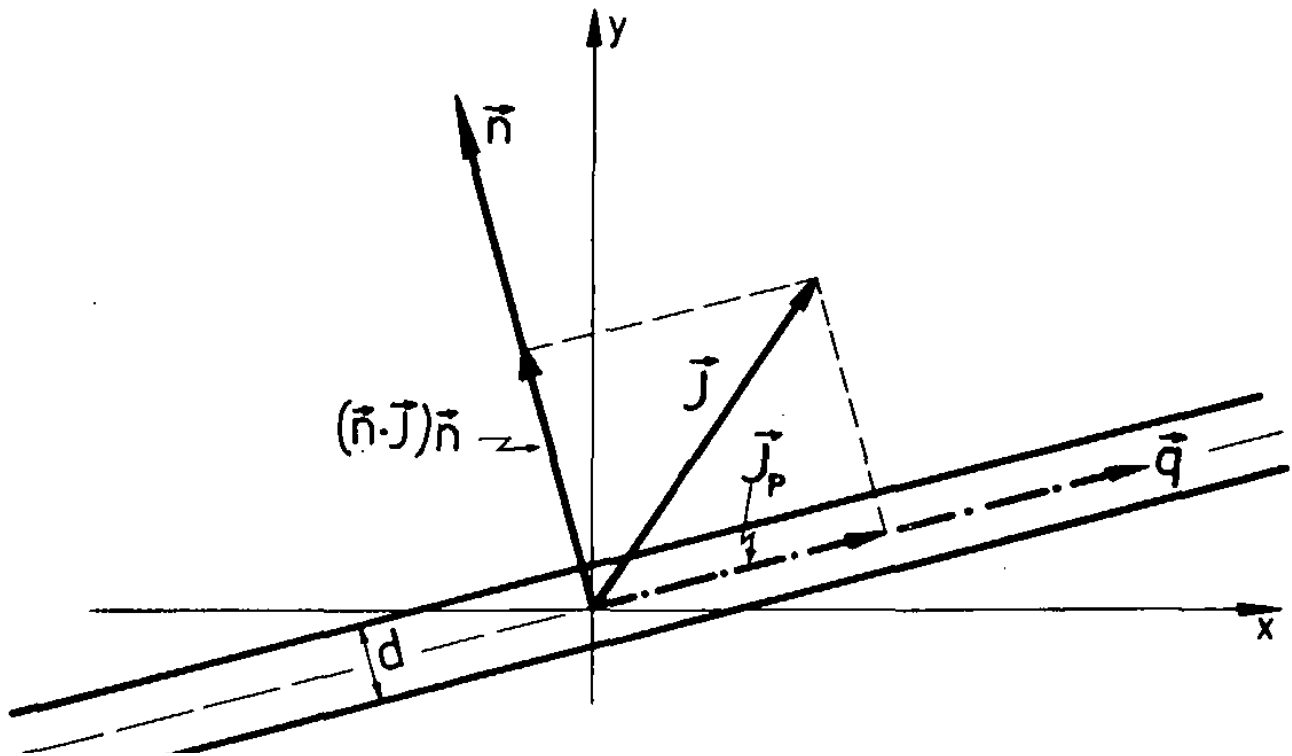


Fig. 130: Schéma explicative pour le calcul de tenseur de perméabilité en milieu fissuré.

Si nous avons N système de fissures, le tenseur de perméabilité globale se calcule par simple sommation des N matrice  $[K]_i$

$$[K] = \frac{g}{12u} \cdot \sum_{i=1}^N f_i \cdot d_i^3 [I - \vec{n}_i \times \vec{n}_i]$$

$f_i$ : Fréquence moyenne du groupe i (fissures/m)

$d_i$ : Ouverture moyenne du groupe i (m)

$n_i$ : Normale moyenne du groupe i (sans dimensions)

La figure précédente montre que la composante  $J$  peut être exprimée en fonction du gradient général ( $\vec{J}$ ) et de la normale  $\vec{n}$  des fissures parallèles ( $\vec{n}$  est un vecteur unitaire, de composantes (x, y, z):

$$\vec{J}_p = \vec{J} - (\vec{J} \cdot \vec{n}) \vec{n} = [I - \vec{n} \times \vec{n}] \cdot \vec{J}$$

Où  $[I]$  = Matrice unité

$[\vec{n} \times \vec{n}]$  = Produit tensoriel de la normale par elle-même, plus explicitement:

$$[I - \vec{n} \times \vec{n}] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x^2 & xy & xz \\ yx & y^2 & yz \\ zx & zy & z^2 \end{pmatrix}$$

En substituant  $J_p$  nous avons pour q:

$$\vec{q} = [K] \cdot \vec{J} = \frac{q}{12\nu} \cdot f \cdot d^3 \cdot [I - \vec{n} \times \vec{n}] \cdot \vec{J}$$

Et le teneur de perméabilité tridimensionnel devient pour un système de fissures parallèles:

$$[K] = \frac{q}{12\nu} \cdot f \cdot d^3 \cdot [I - \vec{n} \times \vec{n}]$$

En effet, les observations sur le terrain montrent que l'extension latérale des fissures est généralement supérieure à leur distance mutuelle et la présence simultanée de plusieurs systèmes de plans différemment orientés détermineront forcément un réseau d'intersection connexes même si les fissures, elles-mêmes, ne sont pas continues. En plus, les observations (venue d'eau dans les galeries, traces de karstification) laissent supposer que très souvent la circulation des eaux se fait principalement dans l'intersection des fissures (Király - Simeoni; 1971).

### 12.3. Résultats et discussion:

Dans la plupart des cas on peut admettre que  $g$  et  $\gamma$  sont constants, donc le tenseur de perméabilité ne dépend que des trois paramètres orientations ( $n$ ), fréquence ( $f$ ) et ouverture ( $d$ ) de la fissuration.

On a:

$$[K] = \frac{q}{12\nu} \cdot \sum_{i=1}^N f_i \cdot d_i^3 \cdot [I - \vec{n}_i \times \vec{n}_i]$$

-Les normales  $\vec{n}_i$  des plans moyens des fractures sont données par les vecteurs suivants:

$$\vec{n}_1(-0.6427, -0.7660, -0.3420) \quad ; \quad \vec{n}_2(-0.1736, -0.9884, -0.2588);$$

$$\vec{n}_3(0.7660, -0.6427, 0.4226)$$

Ces données obtenues selon la projection stéréographique du plan de chaque fracture. Les résultats réels des terrains à partir de chaque station de la mesure sont résumés dans le tableau précédent.

- Les fréquences moyennes sont (en f/m):  $f_1= 0.725$ ;  $f_2=2.282$ ;  $f_3= 1.25$ .

-Les ouvertures moyennes sont (en m):  $d_1= 0.028$ ;  $d_2= 0.0173$  ;  $d_3=0.0116$ .

-Enfin, les constantes physiques sont:  $g=9.81$  (m/s<sup>2</sup>) et  $v=10^{-6}$  (m<sup>2</sup>/s).

-Pour la famille 01 (i=1);

$$[I - n_1 * n_1] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,41 & 0,49 & 0,22 \\ 0,49 & 0,58 & 0,26 \\ 0,22 & 0,26 & 0,11 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,59 & -0,49 & -0,22 \\ -0,49 & 0,42 & -0,26 \\ -0,22 & -0,26 & 0,89 \end{pmatrix}$$

$$\text{Donc; } f_1 d_1^3 [I - n_1 * n_1] = 15,91 * 10^{-6} \begin{pmatrix} 0,59 & -0,49 & -0,22 \\ -0,49 & 0,42 & -0,26 \\ -0,22 & -0,26 & 0,89 \end{pmatrix}$$

-Pour la famille 02 (i=2);

$$[I - n_2 * n_2] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,03 & 0,17 & 0,044 \\ -0,17 & 0,97 & 0,25 \\ 0,044 & 0,25 & 0,067 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,97 & -0,17 & -0,044 \\ -0,17 & 0,03 & -0,25 \\ -0,044 & -0,25 & 0,93 \end{pmatrix}$$

$$\text{Donc; } f_2 d_2^3 [I - n_2 * n_2] = 11,82 * 10^{-6} \begin{pmatrix} 0,97 & -0,17 & -0,044 \\ -0,17 & 0,03 & -0,25 \\ -0,044 & -0,25 & 0,93 \end{pmatrix}$$

-Pour la famille 03 (i=3);

$$[I - n_3 * n_3] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,58 & -0,49 & 0,32 \\ -0,49 & 0,41 & -0,27 \\ 0,32 & -0,27 & 0,17 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,42 & 0,49 & -0,32 \\ 0,49 & 0,59 & 0,27 \\ -0,32 & 0,27 & 0,83 \end{pmatrix}$$

$$\text{Donc; } f_3 d_3^3 [I - n_3 * n_3] = 1,95 * 10^{-6} \begin{pmatrix} 0,42 & 0,49 & -0,32 \\ 0,49 & 0,59 & 0,27 \\ -0,32 & 0,27 & 0,83 \end{pmatrix} . \text{ Alors;}$$

$$\sum_{i=1}^3 f_i d_i^3 [I - n_i * n_i] = 10^{-6} \begin{pmatrix} 12,66 & -8,85 & -4,64 \\ -8,85 & 8,18 & -6,56 \\ -4,64 & -6,56 & 26,75 \end{pmatrix}$$

D'après ces données nous avons le tenseur de perméabilité tridimensionnel (en m/s):

$$[K] = 10^{-4} \begin{pmatrix} 0.1025 & -0.0716 & -0.0375 \\ -0.0716 & 0.062 & -0.0537 \\ -0.0375 & -0.0537 & 0.2166 \end{pmatrix}$$

Les perméabilités principales sont:  $K_1 = 0,235357913 \cdot 10^{-4} = 2,35 \cdot 10^{-5}$  m/s (dans la direction x)

$K_2 = 0,156598696 \cdot 10^{-4} = 1,5 \cdot 10^{-5}$  m/s (dans la direction y);  $K_3 = 0,01085661 \cdot 10^{-4} = 1,11 \cdot 10^{-5}$  m/s (dans la direction z).

### 13.Évolution de perméabilité de réservoir karstique du plateau de Chéria:

L'étude structurale et l'estimation des paramètres hydrogéologiques des formations calcaires fissurés facilitent la quantification sous-estimée des eaux souterraines; ils permettent une meilleure compréhension de la répartition des écoulements en milieu anisotrope et de la distribution des réseaux karstiques. Le problème de l'estimation des eaux souterraines dans l'aquifère karstifié et fracturé est un approche expliqué par le diagramme conceptuel de la relation entre l'écoulement souterraines, paramètres hydraulique (propriétés aquifère et conditions au limites), distribution des vides et facteurs géologique. Cette étude fournir la compréhension l'évolution de la perméabilité de réservoir karstique, l'utilisation du système international de géographie (SIG) est très important pour ressortir des cartes représentant l'évolution de la perméabilité dans l'espace.

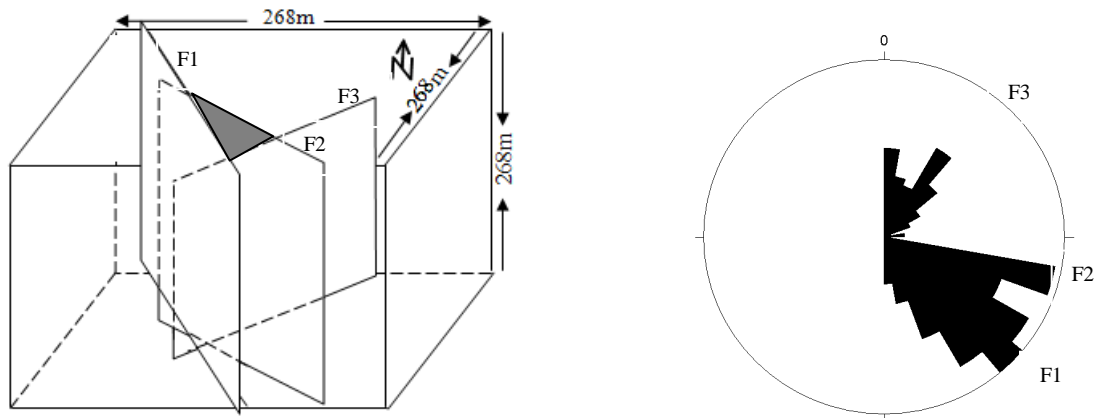
Les calcaires fissurés constituent des milieux aquifères anisotropes et hétérogènes, où la circulation de l'eau se fait dans les fissures et le long de leurs intersections, l'anisotropie est due aux caractères géométriques de la fissuration (orientation et ouvertures etc....).

Le coefficient de perméabilité K, dans les milieux anisotropes, est un tenseur symétrique du deuxième ordre. Il transforme linéairement la valeur gradient (J) en une valeur vitesse de filtration (q) qui, en général, n'est pas parallèle au premier.

#### 13.1. Paramètres géométriques des fissures:

Les valeurs de  $n_i$  et  $f_i$ , caractérisantes respectivement l'orientation de la normale moyenne et la fréquence d'un groupe i, connaissent par l'analyse structurale. L'ouverture des fissures dépend du degré de la karstification. Cette dernière étant anisotrope, les réseaux de fissures très

karstifiées délimitent des blocs; on prend en considération la longueur de coté de chaque bloc est 268 m, à l'intérieur de chaque bloc desquelles l'écartement des fissures, la perméabilité calculée et représentée par une carte; cette représentation simplifiée l'interprétation de l'évolution de la perméabilité dans le plateau de Chéria.



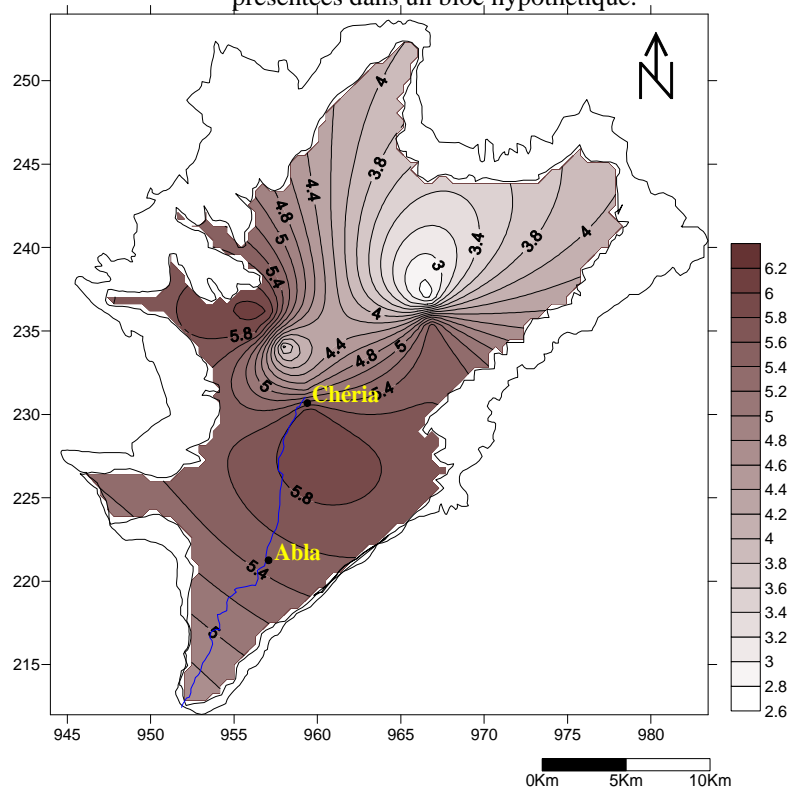
$KT=K1+K2+K3$  (perméabilité totale d'un bloc)

K1: Perméabilité de la famille 1

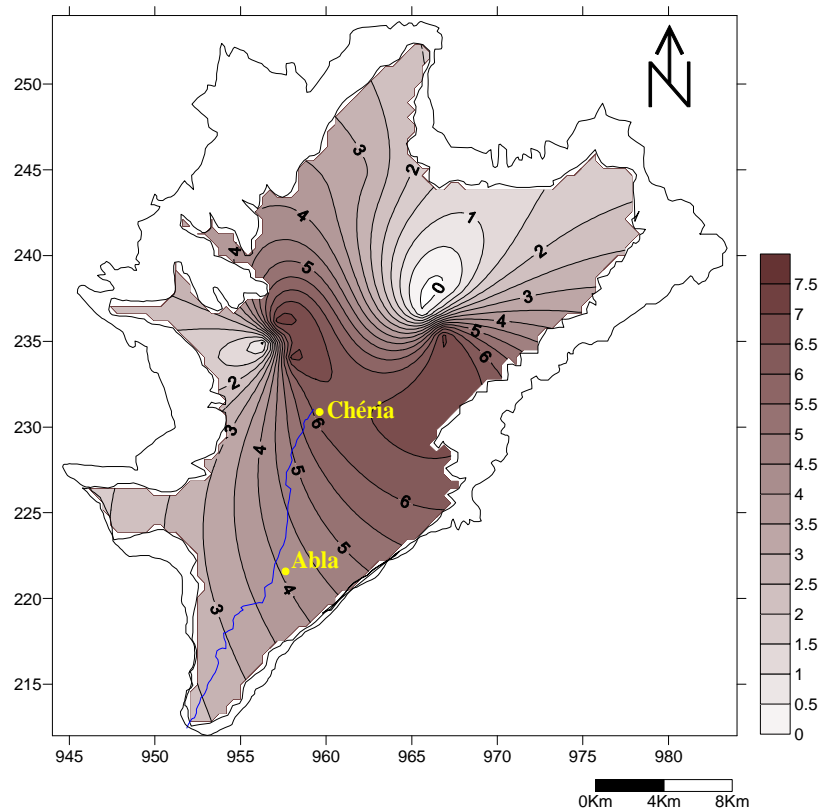
K2: Perméabilité de la famille 2

K3: Perméabilité de la famille 3

**Figure. 131:** Schémas conceptuel des familles principales de la fracturation du plateau de Chéria présentées dans un bloc hypothétique.



**Figure. 132:** Fréquence des fissures de trois groupes à la fois (en f/m); (Va corriger sur la version finale).



**Figure. 133:** Perméabilité de réservoir karstique de calcaire éocène du plateau de Chéria (en  $10^{-5}$  m/s);  
(Va corriger sur la version finale).

### 13.2. Estimation des vitesses de filtration dans les fissures:

Dans le plateau de Chéria, la fracturation naturelle de réservoir karstique, régionalement très développée, ne descend pas très profondément.

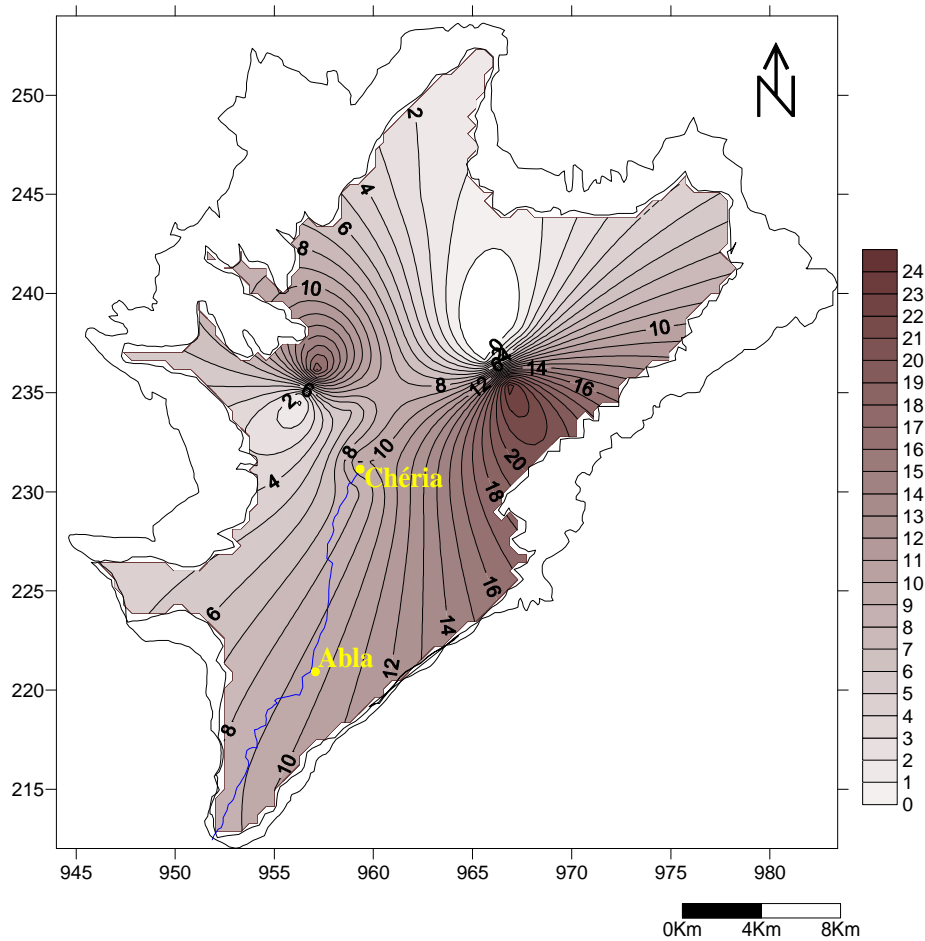
Les valeurs absolues des valeurs vitesse de filtration ( $v$ ) calculées pour chacune des familles de fissures (pour station 3) seraient en m/j:

\*Famille 01:  $v_1=9.36$

\*Famille 02:  $v_2=3.07$

\*Famille 03:  $v_3=2.29$

La vitesse d'écoulement dépend à la géométrie de chaque famille de fissuration, les valeurs moyenne de vitesse de filtration de fissure sont présentées au niveau de la station de mesure numéro trois, dans cette calcule on prend en considération que la valeur de gradient hydraulique est variable d'une station à l'autre suivant la charge hydraulique dans chaque station de mesure.



**Figure. 134:** Vitesse totale des trois familles de fracturation de réservoir karstique des calcaires fissurés d'éocène (en m/j); (Va corriger sur la version finale).

#### 14. Interprétation des résultats:

D'après les résultats présentés aux cartes précédentes, la perméabilité plus élevée au centre de cuvette synclinale du plateau de Chéria dans les directions NE - SW et NW - SE où la fréquence de la fracturation plus élevée. Les familles 1 et 2 de la fracturation jouaient un rôle prépondérant dans le drainage des eaux souterraines, ceci étant facilité par leur grande extension spatiale. En admettant que la karstification est proportionnelle au débit de fissures (Bedinger, 1966), les systèmes des fracturations de famille 1 et 2 devraient être plus karstifiés que les autres. Le drainage de ces eaux s'effectue alors par les failles et les fissures subparallèles aux structures géologiques.

Ceci explique l'orientation d'écoulement ainsi que la présence d'une karstification parallèle aux deux phases tectonique l'un éocène terminale (lutétien) et l'autre post - miocène (pontien).



Dans le sous cuvette nord, la fréquence de la fracturation est négligeable lorsque calcaire d'éocène pas fortement déformé par la tectonique cassante qui affecte la région de Chéria durant l'éocène terminale, ainsi que poste miocène; c'est-à-dire les contraintes maximales des deux contraintes affectées dans la partie centrale et sud du plateau de Chéria, plus que la partie nord (sous cuvette nord).

## 15. Conclusion:

En guise de conclusion et après les considérations contenues dans ce travail nous pouvons affirmer que les relations quantitatives, représentées par les formules (01), (02) et (03). Entre les facteurs géologiques, champ de fracturation et la profondeur de réservoir karstique sont utilisables comme, fonctions d'interpolation pour l'estimation indirecte de l'évolution réservoir karstique dans les roches fissurées et karstifiées du Chéria.

La principale difficulté ne réside pas dans le calcul de la profondeur de réservoir karstique à partir de la fissuration, mais dans la détermination des champs de l'orientation, de la fréquence, de l'ouverture, pendage et de l'extension des fractures. Les erreurs que l'on commet dans la détermination de ces champs peuvent être beaucoup plus importantes que l'erreur que l'on commet en utilisant des formules simplifiées pour le calcul la profondeur de réservoir karstique.

Cependant le problème du développement des cavités souterraines en se basant, pour l'instant, sur l'organisation fissurale des affleurements, les différents stades d'ouverture des fractures et les observations karstologiques faites en surface. Cette démarche est confrontée à des problèmes d'ordre pratique pour les raisons suivantes:

-Elle doit permettre la représentativité des stations de mesures structurales (recherche de secteurs présentant des fractures d'orientation précise), montrant ainsi que cette prospection n'est pas aléatoire à l'inverse de ce que l'on croit habituellement;

-Elle doit être utilisée avec précaution par les gestionnaires comme outil de travail dans la mesure où elle précise les zones et les axes à grandes risque d'effondrement.

Les erreurs que l'on commet dans la détermination de ces champs peuvent être beaucoup plus importantes que l'erreur que l'on commet en utilisant des formules simplifiées pour le calcul

des perméabilités. En effet, les formules précédentes ne sont valables que pour des écoulements laminaires et pour des fissures et chenaux dont la rugosité relative est inférieure à 0.033.

L'étude approfondie des fissurations montre que le plateau de Chéria caractérisé par trois familles principales de fracturation, ainsi que les autres familles considérées que des familles secondaires lorsque leur influence est négligeable sur l'écoulement souterrain.

L'analyse structurale des calcaires éocène dans la région de Chéria, a permis de différencier les systèmes de fissures et de les caractériser par leur nature tectonique.

L'évaluation du vecteur vitesse de filtration, montre que ses composantes sont plus élevées dans les directions des plans de fissures subparallèles au gradient hydraulique et dépendent aussi de leur perméabilité géométrique.

Le développement de perméabilité se fait vers le centre du plateau de Chéria où l'intensité de réseau de fracturation est bien élevée.

## **CONCLUSION GENERALE**

Les présents travaux de recherche ont constitué à évaluer certains apports des informations hydrochimiques hydrogéologiques géologiques notamment la karstification et fissuration pour la reconnaissance et la protection de ressource en eau dans un milieu karstique.

Le plateau de Chéria, c'est un vaste plateau de forme triangulaire, couvrant une superficie moyenne de 800 km<sup>2</sup> et présentant des altitudes variantes entre 1050 et 1500 mètres. Il est constitué essentiellement par une succession des formations sédimentaires dont la superposition de bas en haut des marnes du campanien, les calcaires du maestrichtien, ainsi que les calcaires de l'éocène et le recouvrement mio – plio - quaternaire, sont séparées par une couche des marnes d'âge danienne.

Les ressources d'eaux souterraines du plateau de Chéria présentées par trois aquifères:

-Un premier caractérisé par les calcaires de maestrichtien fissurés et karstifiés, perméables aux bordures et stériles au centre. En vue tectonique de la structure du plaine de Chéria on ne note que deux accidents importants de direction est - ouest. S'ils peuvent engendrer localement une fissuration, ils ne sauraient donner à l'ensemble des calcaires maestrichtiens à une porosité de fissure importante. La karstification semble se développer intensément, principalement dans les 50 mètres supérieurs du calcaire. On fera une exception pour les grandes failles est - ouest qui affectent la région de Chéria et qui peuvent localement engendrer une fissuration, même au-dessous des marnes danomontiennes.

-Un second qui est le plus important pour la région et sa périphérie, les calcaires de l'éocène sont fissurés et karstifiés, Les calcaires éocènes représentent l'aquifère principal de Chéria. Il a été reconnu par de nombreux forages spécialement autour de la ville de Chéria et fait l'objet d'une exploitation importante en eau, des mines de phosphate de Dj. Onk et pour l'irrigation. D'une épaisseur qui s'étale de quelques dizaines à une centaine de mètre, la perméabilité est celle d'un karst bien développée dans la périphérie de Chéria. Le réservoir karstifié se présente comme une cuvette synclinale orientée grossièrement NNE - SSW et il est interrompu par deux failles mises en évidence par la géophysique. Vers le sud, cette cuvette se réduit à une étroite gouttière qui draine la nappe en direction d'Outa Oum Khaled et des sources d'El Mezeraa.

-Un troisième aquifère mio - plio - quaternaire qui devenu sans intérêt hydrogéologique, occupe la majeure partie de la plaine de Chéria; il joue le rôle de zone d'alimentation des calcaires maestrichtiens et éocènes par infiltration retardée des eaux d'orage; dans toute la partie nord.

L'écoulement général des eaux souterraines se fait vers le sud avec un gradient hydraulique très variable d'une période à l'autre. Dans le sous bassin nord l'écoulement est de direction nord - sud, alors que dans le sous bassin sud l'écoulement convergeant vers un axe de drainage qui coïncide clairement avec l'oued de Chéria de provenance E - W.

D'après l'interprétation des cartes piézométrique durant la période d'étude (2010 - 2014), on peut ressortir les trois zones distinctes; la première zone localisée en amont du plateau,

La deuxième zone centrale caractérisée par une surexploitation marquée par une dépression aux niveaux de la ville de Chéria, et ces alentours, et la troisième zone localisée en aval du plateau aussi marquée par deux dépressions de part et d'autre de l'oued Chéria; où une partie de l'écoulement converge vers l'axe de l'oued.

Les eaux souterraines caractérisées par un faciès chimique chloruré - calcique, Chloruré - magnésien, qui ont probablement masqué le faciès bicarbonaté; caractérisant les eaux des bordures qui alimentent le système aquifère.

La forte minéralisation observée, particulièrement au sud, qui n'est pas due uniquement à l'origine naturelle, mais elle est attribuée aussi aux activités anthropiques.

Le plateau de Chéria a été étudiée avec une grande particularité, qui a pris en considération la natures des eaux des formations bicarbonatées, généralement de bonne qualité et ceux de l'aquifère alluvionnaire qui reçoit les eaux d'infiltration où se produit un mélange entre les eaux usées et eaux souterraines qui donnent au sud une mauvaise qualité. Cette dernière est due aux principaux facteurs d'influence qui sont; la minéralisation, l'oxydoréduction et la pollution par les nitrates.

L'étude de la fissuration et la karstification a permis de localiser la fissuration dans les cents premiers mètres et en allant jusqu'à l'exutoire, cependant la karstification dans les cinquante premières mètres au centre de la région et en allant jusqu'à l'exutoire.

Nous pouvons affirmer que les relations quantitatives, représentées par les formules citées dans ce travail; perméabilité et fissuration sont utilisables comme fonctions d'interprétations pour l'estimation indirecte du champ des perméabilités dans les roches fissurées et karstifiées

du plateau de Chéria. Les erreurs que l'on comment dans la détermination de ces champs peuvent être beaucoup plus importantes que l'erreur que l'on comment en utilisant des formules simplifiées pour le calcul des perméabilités. En effet, ces formules ne sont valables que pour des écoulements laminaires et pour des fissures et chenaux dont la rugosité relative est inférieure à 0.033.

L'évolution de réservoir karstique dépende à l'intensité et organisation des fissures; pour ce là; la proposition des formules empiriques avec plusieurs paramètres représentant les facteurs géologiques et géométrie des fissures sont nécessaires surtout dans le cas absence les méthodes directes pour estimer la profondeur de réservoir karstique notamment la détermination bien détaillée de la géométrie de réservoir karstique.

Les formules empiriques, qui sont illustrées dans ce travail; sont utilisables comme fonctions d'interpolation pour l'estimation indirecte d'évolution de réservoir karstique dans les roches fissurées et karstifiées du plateau de Chéria.

La principale difficulté ne réside pas dans l'application numérique des ces formules pour calculer la profondeur de réservoir karstique, mais dans la détermination des paramètres géométrique des fissures (orientation, fréquence, ouverture, pendage et de l'extension des fractures, etc).

Ces caractères physiques; la distribution des vides (orientation, ouverture, fréquence, extension, etc.) et les facteurs géologiques (lithofaciès, structure, tectonique, paléogéographie, etc) sont reliés entre eux dans un système partiellement autorégulateur tel que l'illustre précédemment. Dans ce cadre, les caractères physiques peuvent être reliés aussi bien à l'histoire géomorphologique et climatique d'une région.

Les relations entre distribution des vides et facteurs géologiques restent, pour le moment, surtout qualitatives. La détermination de l'influence relative des paramètres physiques demande des analyses statistiques très sérieuses.

Toutes les méthodes d'estimation décrite, ou indirecte, sont nécessaires, car elles entrent en jeu, à un moment ou à un autre, au fur et à mesure que notre connaissance sur les champs physiques d'une région progresse.

**-Recommandations:**

Pour donner les remèdes plus au moins efficace nous suivons les recommandations suivantes:

-Réhabiliter le réseau de surveillance piézométrique en instaurant une «police» de contrôle pour empêcher le développement des forages illicites ou profonds.

-Instaurer une méthode d'irrigation plus économique de l'eau notamment le goutte à goutte tout en introduisant de nouvelles cultures moins consommatrices d'eau.

-Penser à la recharge artificielle qui consiste à injecter de l'eau à la nappe pour provoquer sa recharge.

-Installation de retenue collinaire au l'exutoire de plateau de Chéria. Pour permettre à la nappe de se recharger.

-Surveillance saisonniers de la qualité chimique des eaux pour pouvoir éviter tout type de pollution naturelle ou accidentelle.

-Nous incite de penser à dresser une carte de risque d'effondrements sachant que toute la région centrale est caractérisée par une karstification dans les cinquante premiers metre des calcaires éocènes.

-Réalisation des cartes détaillées de la géomorphologie de réservoir karstique à l'aide d'une étude approfondie sur la fracturation et les accidents tectoniques (géo - radar, ... etc).

Enfin, utiliser les méthodes directe et indirecte pour détection des karsts souterrains, à l'aide géophysique approfondie, simulation numérique des réseaux de fissuration, ...etc.

## BIBLIOGRAPHIE



**BIBLIOGRAPHIE**

- [1] A. Carlsson, T. Olsson, Caractéristique de fracture et propriétés hydraulique d'une région au sous-sol cristallin en Suède. Bulltine BRGM (2) III, n° 3, 1980, pp 215 - 233.
- [2] A. Devos, O. Lejeune, Font de karstification et modalités de vidange aquifère en milieu crayeux; l'exemple du bassin de la Vesl en amont de Reims (Marne/France), pp 1 - 24.
- [3] A. Klimchouk, D. Ford, A. Palmer, W. Dreybrodt, Speleogenesis, evolution of karst aquifers. Nat. Spel. Soc, Huntsville, Alabama, USA 2000.
- [4] A. Liakopoulos, On the tensor concept of the hydraulic conductivity. Université de Beirut: N°4, 1961, pp 35 - 42.
- [5] A. Liakopoulos, Variation of the permeability tensor ellipsoide in homogeneous anisotropic soils. Water Re - source Res, 1/1, 1965, pp 135 - 141.
- [6] A. Mangin, Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse de Doctorat, Université de Dijon, 1975.
- [7] A. Marre, Etude géomorphologique de Tell oriental Algérien de Collo à la frontière tunisienne. Thèse d'état, Aix-Marseille II. 1987.
- [8] A. Mebarki, Apport des cours d'eau et cartographie du bilan hydrologique: cas des bassins de l'Algérie orientale. Revue Sécheresse n° 4, Vol. 21, 2010.
- [9] A. Rouabhia, Vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod Nord-Est Algerien, Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 2006.
- [10] A. Rouabhia, F. BAALI, N. Kherici, L. Djabri, Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El MA EL Abiod (Algérie). Revue Sécheresse n°4, Vol.15, 2004.
- [11] A. Rouabhia, F. BAALI, N. Kherici, L. Djabri, Vulnérabilité et impacts des activités anthropiques sur les eaux souterraines de la région d'El MA EL Abiod. Revue vecteur environnement, Vol.37, N°3, 2004.
- [12] A. Rouleau, Statistical characterization and numerical simulation of a fracture system. Application to groundwater flow in the Stripa granite. Ph.D. Thesis, University of Waterloo. 1985
- [13] A. Rihani, Etude hydrogéologique du Bassin de Bouzina (sous bassin versant de l'ouede Abdi. Massif des Aurése). Thèse de Magistère, Université de Hadj Lakhder Batna, 2008.
- [14] A. Scheidegger, On the stistics of the orientation of bedding planes, grain axes and simmlar sedimentological data. U.S. Geol. Survey prof. Paper 525 - C, 1965.

- [15] A. Walid, Analysis of the krst aquifer structure of the Lamalou area (Hérault, France) with ground penetrating radar, 2002.
- [16] B. Albert, Karstification souterraine en milieu saturé, 1985, pp 251 - 254.
- [17] B. Ferdianand, Précis de Télédétection volume 2. Applications Thématiques, 1996.
- [18] B. Feuga, Caractérisation du milieu poreux équivalent à un milieu rocheux fracturé, par essais à l'eau in situ. Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur n°26-27. Paris, 1983.
- [19] B. Feuga, Eléments d'approche des milieux rocheux fracturés du point de vue de l'hydraulique souterrain. Rapport du BRGM 84 SGN 128 GEG, 1984.
- [20] B. Gaud, J. Richard, Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région karstique de Chéria. Rapport interne, DEMRH, 1978.
- [21] B. Marsaud, Structure et fonctionnement de la zone noyée des karste à partir des résultats expérimentaux, 1997.
- [22] B. Thierry, G. Roland, Contribution de l'hydrogéochimie aux problèmes de la struration des eaux dans des aquifères fracturés (compartimentés par des failles).
- [23] BRGM / RP – 54596 - FR, Surveillance des eaux souterraines au droit des installations classés en milieu karstique, 2005. [12] C. Benabas, Evaluation Mio-Plio-Quaternaire des bassin continentaux de l'Algérie nord orientale; apport de la photo géologie et analyse morphostructurale, Thèse de Doctorat, Université de Mantouri Constantine, 2006.
- [24] C. Fehdi et al, Detection of sinkholes using 2D electrical resistivity imaging in the Cheria Basin (north-east of Algeria). Arab J Geosci 4: 181 - 187. doi: 10.1007 / S12517 - 009 - 0117 - 2, 2010.
- [25] C. Louis, Etude des écoulements d'eau dans les roches fissuées et leur influence sur la stabilité des massifs rocheux. Bull, étude et recherche, série A, 1968.
- [26] C. Louis, Introduction à l'hydraulique des roches. Bulltine BRGM (2), III, n°3, 1974, pp 283 - 356.
- [27] C. Radia, Etude géologique de la feuille de morsott (Approche sédimentologique, morphostructurale et linéamentaire). Mémoire d'ingénieur d'état en géologie structurale, Université de Constantine, 1996.
- [28] C. Renshaw, On the relationship between mechanical and hydraulic apertures in rough - walled fractures. Journal of Geophysical Research 100: DOI: 10. 1029 / 95 JB 02159. ISSN: 0148 - 02271995.

- [29] D. Belhai, Guide de cartographie coupes topographique et géologique, 1992, pp...- 123.
- [30] D. Ford, P. Williams, Karst geomorphology and hydrology: London, Unwin Hyman, 1989.
- [31] D. Jamier, Etude de fissuration de l'hydrogéologie et de la géochimie des eaux profondes des massifs de l'Arpille et du Mont-Blanc. Thèse d'état, Université de Neuchâtel. 1974.
- [32] D. Jamier, G. Simeoni, Considérations sur les rapports entre la structure géologique et les écoulements souterrains dans les formations calcaires des « Sieben Hengste, 1974.
- [33] D. Snow, Anisotropic permeability of fractured media. Water. Res. Research 5 (6), 1969.
- [34] E. Cloos, Experimental analysis of fracture. Bull. Geol. Soc, 1955, pp 241 - 256.
- [35] E. Fourcad, J. Raoult, Dictionnaire de géologie 3<sup>ème</sup> édition, 1971.
- [36] E. Smekhov, Méthode de la fissuration dans les montagnes et des réservoirs de pétrole et de gaz Trudy, 1969.
- [37] F. Alain, Dictionnaire de géologie, 2<sup>ème</sup> édition, Ed Masson, 1984, pp 347.
- [38] F. Baali, Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région karstique de Chéria W.Tébessa, Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 2001.
- [39] F. Baali, Underground water quality and contamination risk. The case of the basin of Cheria (NE Algeria). Estudios Geológicos, 63 (2). P 127 - 133. ISSN: 0367 - 0449, 2007.
- [40] F. Baali, C. Fehdi, A. Rouabhia, R. Mouici, E. Carlier, Hydrochemistry and isotopic exploration for a karstic aquifer in a semi-arid region: case of Cheria Plain, Eastern Algeria. Carbonates Evaporites, ISSN 0891 - 2556, DOI 10.1007 / S13146 - 014 - 0214 - 5, 2014.
- [41] F. Georges, La pratique des sols et fondations. Ed du Monteur, 1981.
- [42] F. Gutiérrez, A. Cooper, K. Johnson, Identification, prediction, and mitigation of sinkhole hazards in evaporite karst areas. Environmental Geology, 53 (5), 2008, pp 1007 - 1022.
- [43] F. Jouly, Glossaire de géomorphologie pour la cartographie. Ed Armand Colin, 1997.
- [44] G. Jean - Louis, Le karst superficiel; étude des écoulements hypodermiques sur un site expérimental Conconne (Gard), 1985, pp 15 - 20.
- [45] G. Simeoni, Analyse statistique des perméabilités ponctuelles des calcaires aquifères du Jura neuchatelois, 1974.

- [46] K. Assia, Evolution structurale mésozoïque et cénozoïque des monts de Tébessa. Sud Est constantinois sur la migration et le piège des hydrocarbures. Thèses de Magistère. USTHB, 2008.
- [47] K. Chamekh, Calculer du tenseur de perméabilité dans le milieu anisotrope. Exemple de l'aquifère karstique de la région de Chéria. (Nord -est Algérien). Deuxième conférence internationale sur eau (CIEAU2013), Laboratoire de Recherches Sciences de l'Eau (LRS-Eau). École Nationale Polytechnique (ENP) –Alger, 2013.
- [48] K. Chamekh, Influence de la fracturation sur l'évolution de réservoir karstique. Exemple des calcaires fissures de la région de Chéria. (Nord -Est Algérien), L'Association Marocaine des Jeunes Géomaticiens AMJG, Rabat. Maroc, 2013.
- [49] K. Chamekh, Relation fracturation - morphologie implications hydrogéologiques. Exemple des calcaires fissures de la région de Chéria (NE Algérien), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°18, Juin 2014.
- [50] K. Chamekh, D. Kerboub, F. Baali, Relation entre fracturation et morphologie et leurs implications hydrogéologiques. Exemple des calcaires fissurés de la région de Chéria, (NE Algérien). Afrique SCIENCE 11 (1) (2015) 252 - 259 252, ISSN 1813 – 548 X, 2015.
- [51] H. Bonin, Contribution à la connaissance des réservoirs aquifères karstiques, un exemple: Le causse de l'Hortus, un site expérimental: la source du Lamalou, Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, 1980.
- [52] H. Chaffai, Evaluation des ressources en eaux de la plaine de Chéria (NE Algérie). Synthèse et analyse des données. Thèse de Doctorat 3ème cycle, USTL, Montpellier II, 2003.
- [53] H. Chaffai, Les formations karstiques du plateau de Chéria (Algérie), Identification et évaluation des ressources en eau. Larhyss journal, ISSN1112 - 3680, n°05. 2006.
- [54] H. Lahoucine, Structure et du fonctionnement d'un aquifère multicouche carbonaté. Exemple du bassin d'Essaouira. Thèse de doctorat, Université de Cadiaya Marrakech.
- [55] H. Viorel, L'influence de la géologie sur la karstification, Etude comparative entre le massif d'Obarsia Closani-Piatra Mare et le massif d'Arbs. 2001.
- [56] J. Daniel, P. Gian, Considération sur les rapports entre la structure géologique et les écoulements souterrains dans les formations calcaires des Sieben Hengste. Actes du 5<sup>e</sup> congrès suisse de Spéléologie, Interlaken 1975.
- [57] J. Grillot, C. Almeida, Tectonique cassante posthercynienne dans l'Algarve (Sud du Portugal). Incidence sur l'hydrogéologie karstique. Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique, vol. 23 (2), 1982.

- [58] J. November, Karst geological investigation in the area of Son La and Thuan Chau (NW-Vietnam) [in Dutch]. KULeuven, Lic.-dissertation, 1999, pp...- 135.
- [59] J. Talobre, La mécanique des roches. Ed. Dunod, 1967, pp ...- 442.
- [60] J. Vila, Carte de l'Algérie au 1/200000. Feuille de constantine. Carte géol, Algérie / Sonatrach, 1977.
- [61] J. Vila, La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro - Tunisiens. Thèse SC. Université de paris. VI. 1980.
- [62] L. Kiraly, Eléments structuraux et alignements de phénomène karstique. Bull, Soc, neuchâteloise, 1968, pp 127 - 146.
- [63] L. Kiraly, Anisotropie et hétérogénéité de la perméabilité dans les calcaires fissurés. *Eclogae Geol. Helv.* 62 (2); 1969.
- [64] L. Kiraly, B. Mathey, J. Tripet, Fissuration et orientation des cavités souterraines. Rgio de la Grotte de Milandre (Jura tabulaire). *Bull.Soc. Neuch.Sci.Nat*, 1971, pp 95 - 114.
- [65] L. Kiraly, Groundwater flow in heterogeneous, anisotropic fractured media: a simple tow-dimensional, 1971.
- [66] L. Kiraly, Notice explicative de la carte hydrogéologique du canton de Neuchâtel (+ carte). Supplément du Bulletin de la Société neuchâteloise des sciences naturelles, Tome 1973, pp 16 - 96.
- [67] L. Kiraly, Rapport sur l'état actuel des connaissances dans le domaines des caractères physiques des roches karstiques. In: Burger A. and Dubertret L. (Eds), *Hydrogeology of karstic terrains*, Int. Union of Geol. Sciences, B, 3, 1975, pp 53 - 67.
- [68] L. Kiraly, La notion d'unité hydrogéologique essai de définition. Extrait du Bulletin du Centre d'Hydrogéologie, n°2, 1978, pp 151 - 205.
- [69] L. Kiraly, Remarques sur la simulation des failles et du réseau karstique par éléments finis dans les modèles d'écoulement. *Bulletin du centre d'hydrogéologie* 3, 1979, pp 155 - 167.
- [70] L. Kiraly, Régularisation de l'Areuse (Jura suisse) simulée par modèle mathématique. In: Burger A. and Dubertret L. (Eds), *Hydrogeology of karstic terrains*, Int. Union of Geol. Sciences, B, 3, 1984, pp 94 - 99.
- [71] L. Kiraly, A three dimensional model for groundwater flow simulation. NAGRA Technical Report 1985, pp 84 - 96.

- [72] L. Kiraly, Large scale 3-D groundwater flow modelling in highly heterogeneous geologic medium. In: Custodio E. et al. (Eds.), Groundwater flow and quality modelling, NATO ASI series Vol.224, 1988, pp 761 - 775.
- [73] L. Kiraly, Groundwater flow in fractures rocks: models and reality. 14. Mintrop Seminar über Interpretations strategien in Exploration and Production, Ruhr Universität Bochum 1994.
- [74] L. Kiraly, G. Morel, Etude de régularisation de l'Areuse par modèle mathématique. Bulletin du centre d'hydrogéologie 1, 1976, pp 19 - 36.
- [75] L. Kiraly, G. Morel, Remarques sur l'hydrogramme des sources karstiques simulé par modèles mathématiques. Bulletin du centre d'hydrogéologie 1, 1976, pp 37 - 60.
- [76] L. Kiraly, I. Mueller, Hétérogénéité de la perméabilité et de l'alimentation dans le karst: effet sur la variation du chimisme des sources karstiques. Bulletin du Centre d'Hydrogéologie 3, 1979, pp 237 - 285.
- [77] L. Kiraly, P. Perrochet, Y. Rossier, Effect of the epikarst on the hydrograph of karst springs: a numerical approach. Bulletin du Centre d'Hydrogéologie 14, 1995, pp 199 - 220.
- [78] L. Lattman, R. Parizek, Relationship between fracture traces and the occurrence of ground water in carbonate rocks. Journal of hydrogeology 2/3: 1964.
- [79] Ladiera, Rock fractures and fluid flow: Contemporary understanding and applications. Washington, DC: The national academies Press, 1981.
- [80] Lambert et Durozoy, Compte rendu la tournée effectuée dans la région de Tébessa (plateau de Chéria) A.N.R.H de Tébessa. 1947.
- [81] Larsson et al, Les eaux souterraines des roches dures du socle. Etudes et rapports d'hydrologie 33 UNESCO, Paris, 1987.
- [82] Long et al, Porous media equivalents for networks of discontinuous fractures. Water Resources Research, vol.18, n°3, 1982.
- [83] M. Athamena, Etude de ressources thermales de l'ensemble allochtone sud Sétifien, Thèse de Magistère. Université de Hadj Lakhder Batna, 2006.
- [84] M. Bakalowicz, Aquifères karstiques, ressources en eau et gestion durable, 2005, pp ...- 234.
- [85] M. Bedinger, Electric-Analog study of cave formation. Bull, national speleological. Soc.28, M.3, 1966.

- [86] M. Belloula, Modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre les risques d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda.(confins Algéro-Tunisiens). Thème de Magistère, Université de Hadj Lakhder Batna, 2003.
- [87] M. Hammimad, Etude sédimentologique et paléogéographique de la région d'El Ma El Abiod (N-E Algérie), Thèse d'état, université de Constantine, 2005.
- [88] M. Jacques Henery, Méthodes modernes de géologie de terrain, Ed TECHNIP, 1976.
- [89] M. Kalla, Etude géomorphologique de la région de Hammamet. Piémont nord des Nememchas (essai de cartographie géomorphologique).Thèse de Magistère, Université d'Alger 1990.
- [90] M. Razak, Contribution à l'étude de la structure des aquifères en roches fissurés. Numération et analyse quantitative de la fracturation relevée sur photographie aériennes. Thèse 3ème cycle, USTL-Montpellier, 1980.
- [91] N. Brinis, La salinité des eaux souterraines de la zone Est de la plaine d'El-Outaya (Région de Biskra, Algérie). Publication au Bulletin du Service Géologique National. /Vol.20, N°1, 2009.
- [100] N. Brinis, Evolution des facies chimiques des eaux souterraines dans la plaine d'El - Outaya, Biskra, Algérie. Publication au Journal International Environmental Conflict Management, Santa Catarina – Brazil, 1(1), 2010.
- [101] N. Brinis, Caractérisation de la salinité d'un complexe aquifère en zone aride cas de l'aquifère d'El - Outaya région nord-ouest de Biskra. Algérie. Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Mohamed Kheider Biskra, 2011.
- [102] N. Brinis, Classification statistique et hydrochimique des eaux souterraines de la plaine d'El-Outaya. (W) de Biskra. Algérie. Publication au courrier du savoir N°11, 2011.
- [103] N. Rabahi, La série néritique du Constantinois central (Massif du Chettabah, Dj.Belfelten); lithostratigraphie, sédimentologie et caractérisation hydrogéologique (région de Constantine). Thèse de Magistère, Université de Hadj Lakhder Batna, 2008.
- [104] P. Charles, Eléments de géologie. Ed Dunod; 3e édition, 2005.
- [105] P. Jeannin, La problématique du karst lors du creusement d'un tunnel, 2007, pp 27 - 38.
- [106] Price, Cosgrove, Analysis of Geological. University Press - Science – 1990.
- [107] OFEFP, Guid pratique, cartographie de la vulnérabilité en régions karstiques (EPIK), 1998.
- [108] R. Laffite, Carte d'étude géologique de l'Aurès au 1/200000, 1939.

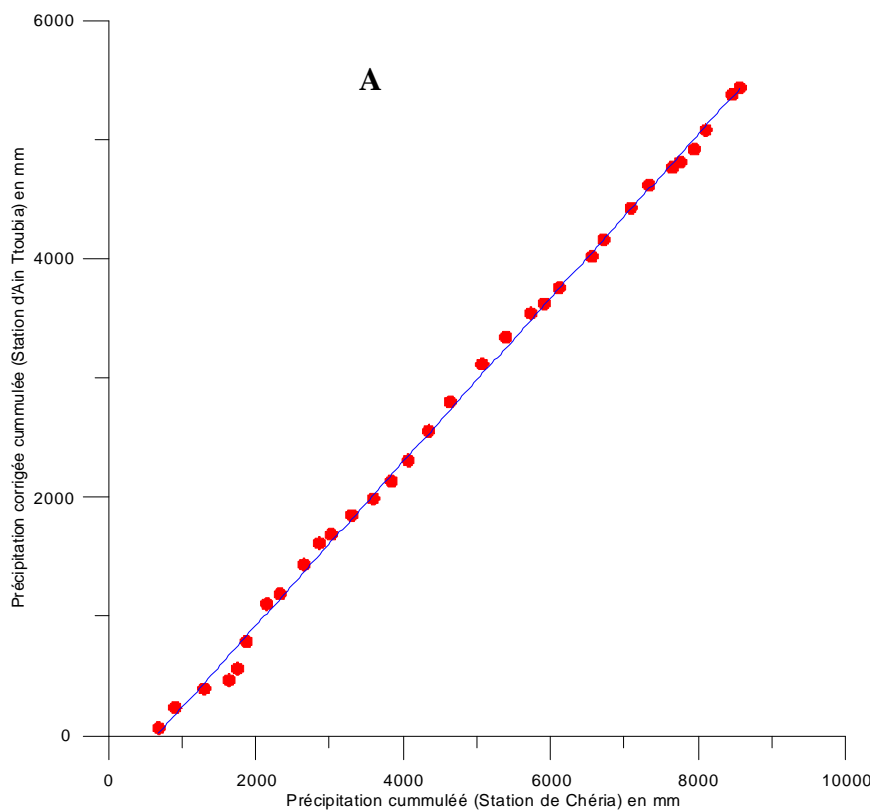


- [109] R. Laffitte, Etude géologique de l'Aurès. Thèse Sciences., Paris. B.S.G.A. 1<sup>o</sup> série. n<sup>o</sup> 11, 484 p., 26 fig., 35 cartes, 1 carte au 1/200 000è. 1939.
- [110] R. Marmi, Les bassins continentaux de l'avant pays de la chaîne alpine d'Algérie nord oriental. Etude stratigraphiques, sédimentaires, structurales et géochimiques. Thèse de Doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy 1, 1995.
- [111] S. Benmansour, Etude de tectono-sédimentaire du crétacé Terminal de l'Atlas saharien oriental, Thèse de Magistère, Université de Tébessa, 2008.
- [112] S. Stéphane, Caractérisation de l'évolution géomorphologique de la basse vallée de la Romanche (contraintes et géochronologiques), 2009.
- [113] T. Streltsova, Hydrdynamics of ground water flow in fractured formation. 1976.
- [114] V. Bélousov, Géologie structurale, Ed Mir, pp 1974 - 237.
- [115] V. Tam, B. Okke, A multi analysis remote-sensing approach for mapping groundwater resources in the karstic Meo Vac Valley Hydrogeology Journal, Vietnam, 2011.
- [116] W. White, Analysis of karst aquifers, in Alley, W.M, ed. Regional ground-water quality: New York, Van Nostrand Reinhold, 1993, pp 471 - 489.
- [117] W. White, Conceptual models for karstic aquifers, in Palmer, A.N, Palmer, M.V, and Sasowsky, I.D, eds, Karst modeling: Leesburg, Va, Karst Waters Institute Special Publication 5, 1999.
- [118] Y. Azizi et al, Karst sinkholes stability assesment in Cheria Area, NE Algeria. Geotech Geo Eng, 2014, DOI 10. 1007 / S10706 - 013 - 9719 - 2.
- [119] Y. Dubois, Relation entre la fracturation, l'organisation des écoulements et la morphologie des conduits, à mont Godinne (Belgique), 2001, pp 231 - 239.
- [120] Y. Gubler, Essai de nomenclature et caractérisation des principales structures sédimentaires. Ed TECHNIP, 1966.
- [121] Z. Bieniawski, Engineering classification of jointed rock masses, Transaction South African Institute Civil Engineers, 15, 1973, pp 335 - 343.
- [122] Z. Bieniawski, Rock mass classification in rock engineering. Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering, Vol.1, 1976, pp 97 - 106.

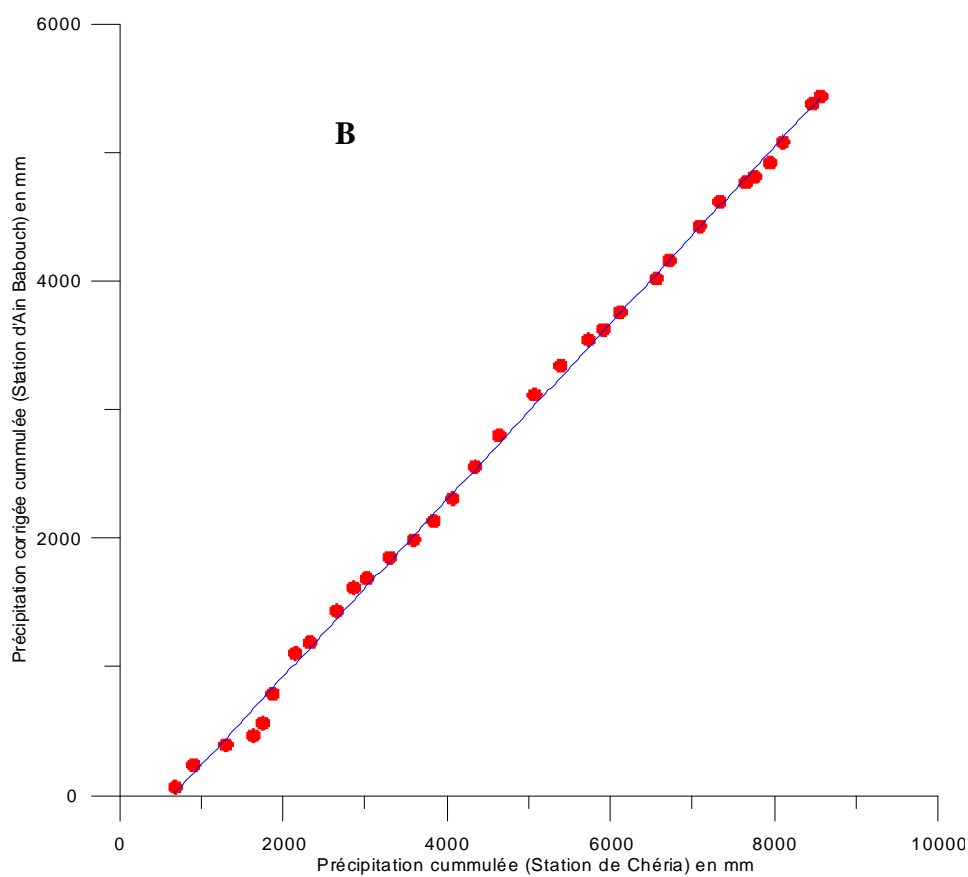


## **ANNEXES**

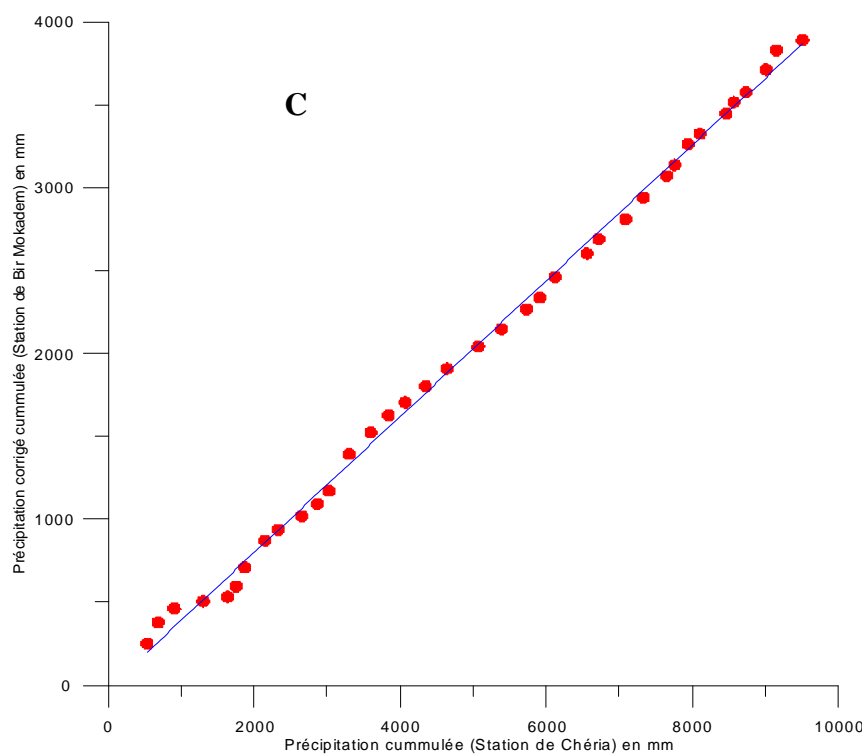
## Annexe I:



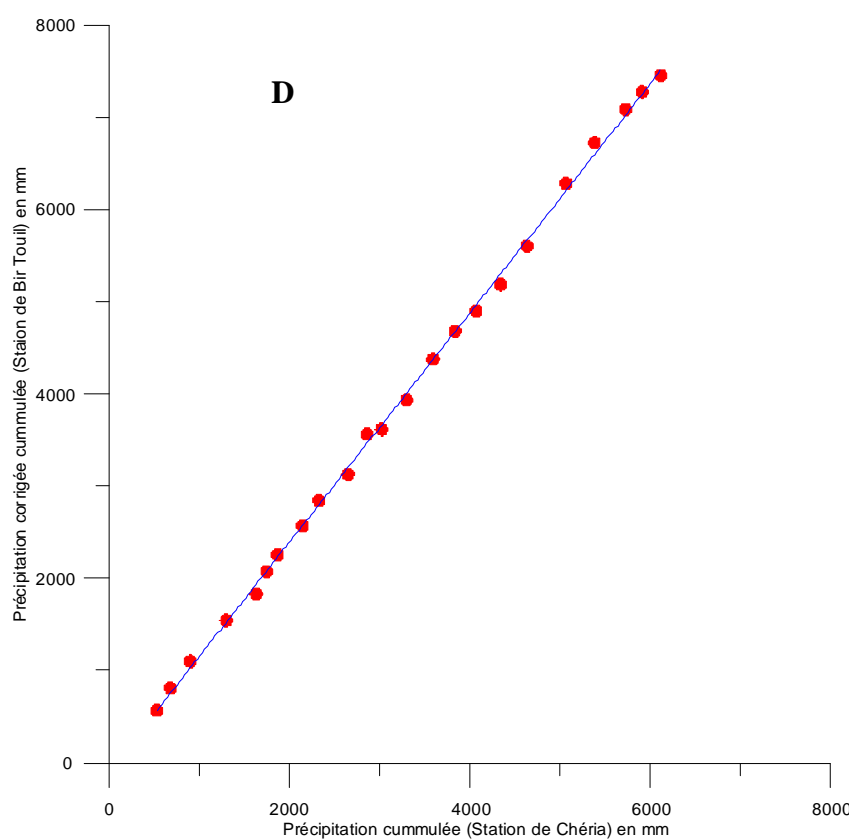
$$\text{Equation } Y = 0.66 * X + 297.47$$



$$\text{Equation } Y = 0.68 * X - 450.13$$



$$\text{Equation } Y = 0.40 * X - 18.63$$



$$\text{Equation } Y = 1.24 * X -$$

**Fig. (A-B-C-D) 01:** Homogénéisation des données pluviométriques des stations avec la station de Chéria.

Annexe II:

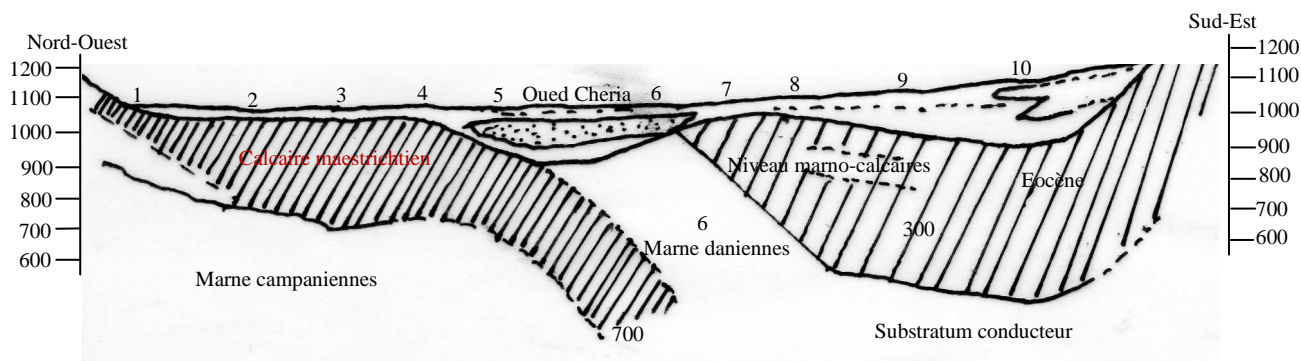


Fig.02: Coupe géoélectrique. Profil H.

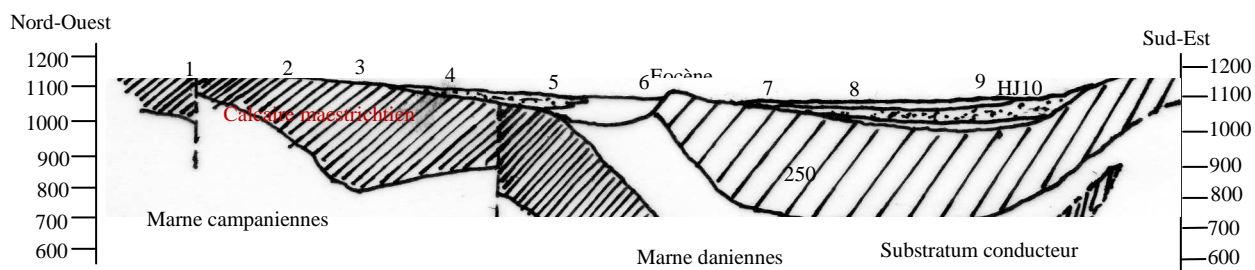


Fig.03: Coupe géoélectriques. Profil J.

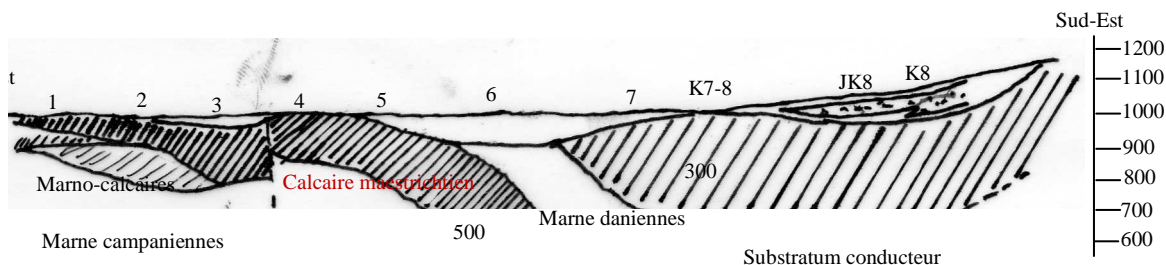


Fig.04: Coupe géoélectriques. Profil K.

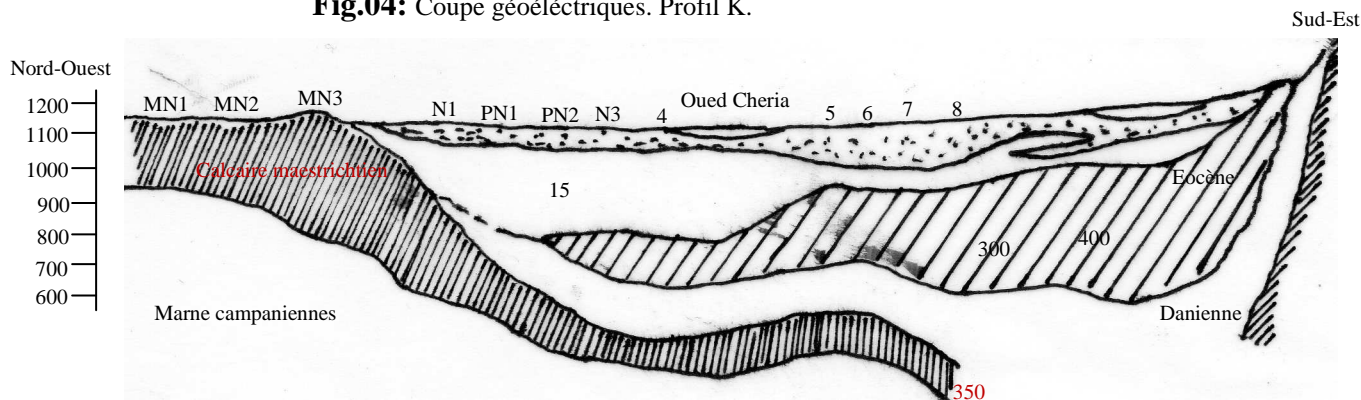
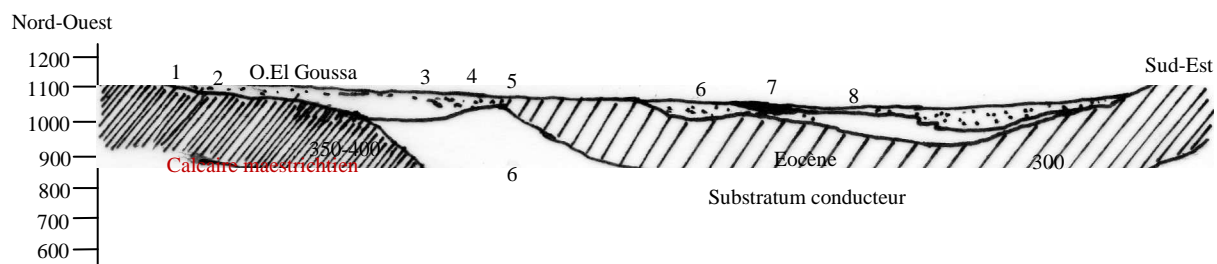
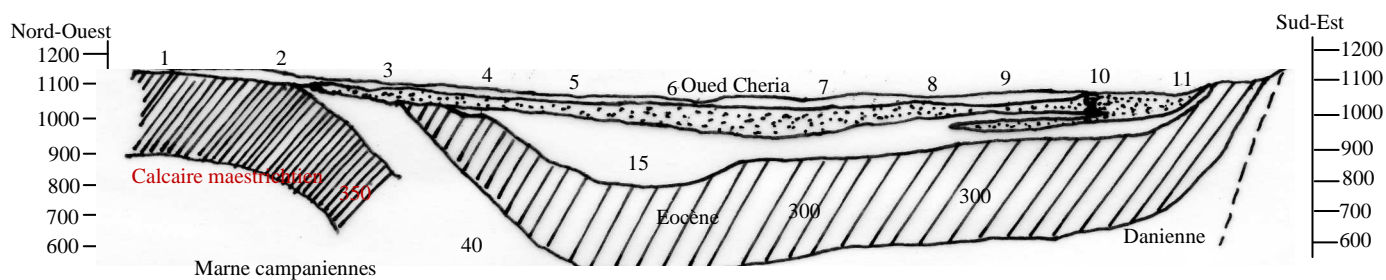


Fig.05: Coupes géoélectriques. Profil N.



**Fig.06:** Coupes géoélectriques. Profil F.



**Fig.07:** Coupes géoélectriques. Profil M.

## Annexe III:

Echantillons	Ca	Na	K	Cl	Mg	T.A.T.A.C	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>
01	124	66	3	662	375	1377	1247	191	1377
02	77	23	5	128	111	290	236	38	290
03	83	27	5	117	139	473	445	59	473
04	85	21	3	220	141	647	210	84	647
05	111	16	2	91	173	806	127	47	806
06	105	54	5	746	411	70	839	114	70
07	94	36	7	344	208	396	299	194	396
08	93	19	2	156	214	262	184	64	262
09	81	18	3	163	109	268	214	72	268
10	97	17	2	114	129	608	208	47	608
11	98	17	3	108	130	610	250	70	610
12	107	19	4	122	142	269	202	91	269
13	89	16	2	107	123	261	172	39	261
14	102	15	4	160	142	223	273	101	223
15	87	20	4	160	128	661	277	83	661

Tab.01.a: Analyses chimiques (Mai 2010).

Echantillons	Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>1-</sup> /Na <sup>1+</sup>	Conductivités
01	124	10	4090
02	77	6	987
03	83	7	1302
04	85	10	1309
05	111	6	770
06	105	14	3630
07	94	10	2050
08	93	8	965
09	81	9	954
10	97	7	771
11	98	6	841
12	107	6	934
13	89	7	738
14	102	11	892
15	87	8	1065

Tab.01.b: Analyses chimiques (Mai 2010).

Echantillons	Ca	Na	K	Cl	Mg	T.A.T.A.C	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>
01	122	78	5	511	242	198	915	55	198
02	133	96	3	639	246	296	1127	86	296
03	139	105	3	653	291	271	1397	108	271
04	96	35	4	312	131	139	222	51	139
05	62	30	5	156	82	132	144	55	132
06	148	82	4	795	265	181	955	117	181
07	110	53	5	284	319	168	242	186	168
08	45	25	2	170	68	112	154	22	112
09	58	30	3	128	186	127	172	50	127
10	63	32	4	170	84	117	154	46	117
11	51	30	3	114	80	139	269	69	139
12	56	28	4	142	74	117	99	78	117
13	69	32	5	199	119	149	131	80	149
14	44	23	2	170	174	81	86	37	81
15	57	34	4	185	79	124	226	87	124
16	134	64	3	568	212	151	398	126	151
17	114	56	5	753	402	195	489	177	195
18	122	67	6	440	184	173	949	167	173
19	97	36	3	298	131	110	252	93	110
20	48	24	2	128	100	124	90	43	124

**Tab.02.a:** Analyses chimiques (Octobre 2010).

Echantillons	Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>1-</sup> /Na <sup>1+</sup>	Conductivités
01	0.50	7	3140
02	0.5	7	3830
03	0.5	6	4400
04	0.7	9	1593
05	0.8	5	1023
06	0.5	10	3840
07	0.5	5	1946
08	0.7	6	681
09	0.5	4	936
10	0.8	5	991
11	0.7	4	851
12	0.8	5	916
13	0.7	6	1123
14	0.5	7	655
15	0.7	5	1046
16	0.7	9	3110
17	0.5	13	2120
18	0.7	7	2820
19	0.7	8	1582
20	0.5	5	766

**Tab.02.b:** Analyses chimiques (Octobre 2010).

Avril, 2012									
Echantillons	Ca	Na	K	Cl	Mg	T,A,C	So4	No3	Hco3
1	74	34	22	99	12	110	1181	254	110
2	81	36	25	128	15	146	781	151	146
3	105	66	54	327	25	281	1021	66	281
4	86	41	59	163	16	134	316	99	134
5	69	32	21	85	11	98	235	58	98
6	117	82	63	305	36	415	997	124	415
7	83	35	25	121	18	134	371	224	134
8	41	27	16	77	8	73	192	75	73
9	39	25	14	75	7	73	256	77	73
10	64	27	18	78	10	73	206	56	73
11	61	30	21	114	13	159	235	55	159
12	54	29	17	71	11	85	296	88	85
13	49	19	15	85	9	98	169	43	98
14	41	26	15	78	8	73	296	121	73
15	43	28	16	78	8	73	299	87	73
16	135	69	45	114	14	134	299	142	134
17	129	67	42	227	40	354	345	114	354
18	95	39	25	107	13	146	932	165	146
19	77	33	21	71	11	73	250	214	73
20	51	24	16	85	10	85	284	180	85
21	39	21	15	107	13	122	156	103	122
22	89	41	33	92	11	73	100	97	73
23	62	33	22	92	12	85	124	99	85
24	88	40	32	91	11	73	111,5	67,12	73
25	58	28	19	85	10	98	98	57	98

**Tab.03.a:** Analyses chimiques (Avril 2012).



Avril 2012						
Echantillons	Ca/Mg	Cl/Na	Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	Salinité	TDS	PH
1	6	3	833	0,2	865	6,98
2	5	4	913	0,3	952	7,34
3	4	5	3764	2,2	>>	8,14
4	5	4	1532	0,7	1591	7,12
5	6	3	812	0,2	874	6,64
6	3	4	3791	2,3	>>	8,87
7	5	3	901	0,3	937	7,22
8	5	3	807	0,2	840	7,09
9	6	3	809	0,18	839	7,08
10	6	3	664	0,1	692	6,82
11	5	4	913	0,3	952	7,35
12	5	2	835	0,2	869	7,1
13	5	4	585	0,1	607	6,78
14	5	3	805	0,21	840	7,07
15	5	3	809	0,2	841	7,09
16	10	2	3332	1,9	>>	7,36
17	3	3	2218	1,1	>>	8,67
18	7	3	1046	0,4	1088	7,52
19	7	2	816	0,2	851	7,21
20	5	4	729	0,2	758	6,96
21	3	5	454	0	477	7,27
22	8	2	1002	0,3	1043	7,32
23	5	3	810	0,2	844	7,16
24	8	2	1001	0,3	1042	7,31
25	6	3	724	0,2	754	7,26

**Tab.03.b:** Analyses chimiques (Avril 2012).

Septembre 2012									
Echantillons	Ca	Na	K	Cl	Mg	T,A,C	So4	No3	Hco3
1	105	23	14	32	74	96	1127	115	96
2	135	27	16	21	58	146	813	151	146
3	97	19	12	18	54	133	1136	72	133
4	60	33	22	27	66	67	424	44	67
5	72	29	19	18	39	63	242	65	63
6	80	70	42	40	77	88	999	131	88
7	67	30	21	20	26	82	296	171	82
8	101	21	14	21	46	51	190	65	51
9	147	35	21	28	70	58	236	53	58
10	102	22	11	27	34	56	198	42	56
11	122	25	17	21	48	67	234	75	67
12	65	19	19	11	22	54	293	62	54
13	82	17	11	17	52	69	167	51	69
14	101	21	12	10	36	35	291	135	35
15	101	26	9	12	19	57	295	83	57
16	87	18	11	14	42	73	303	133	73
17	103	59	30	30	33	95	365	110	95
18	112	28	22	11	65	84	951	153	84
19	80	27	10	17	24	52	254	198	52
20	89	22	13	25	78	60	291	201	60
21	152	32	21	39	70	106	148	123	106
22	95	32	21	28	32	82	89	101	82
23	77	19	12	46	68	88	71	101	88
24	73	32	25	31	15	82	92	88	81
25	33	24	15	25	62	94	86	68	94

**Tab.04.a:** Analyses chimiques (Septembre 2012).

Septembre 2012						
Echantillons	Ca/Mg	Cl/Na	Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	Salinité	TDS	PH
1	1	1	1133	0,4	1181	8,46
2	2	1	4470	2,6	>>	8,59
3	2	1	4148	2,4	>>	8,16
4	1	1	1423	1,2	1623	7,23
5	2	1	645	1,1	946	7,45
6	1	1	3589	2	>>	8,12
7	3	1	912	0,6	1230	8,65
8	2	1	592	0,1	613	8,43
9	2	1	925	0,3	965	8,79
10	3	1	589	0,5	725	7,12
11	3	1	888	0,3	921	8,55
12	3	1	826	0,7	812	8,24
13	2	1	623	0,2	456	6,96
14	3	0,5	820	0,1	912	7,56
15	5	0,5	800	0,23	834	7,75
16	2	1	3020	1,8	>>	8,11
17	3	0,5	1099	1,6	>>	8,86
18	2	0,5	956	0,5	1065	7,42
19	3	1	720	0,2	946	7,12
20	1	1	791	0,2	820	8,06
21	2	1	511	1,8	531	8,75
22	3	1	1000	0,2	1187	7,42
23	1	2	908	0,3	943	7,74
24	5	1	923	0,2	986	8,26
25	1	1	797	0,2	827	7,84

**Tab.04.b:** Analyses chimiques (Septembre 2012).

Avril 2013									
Echantillons	Ca	Na	K	Cl	Mg	T,A,C	So4	No3	Hco3
1	149	5	9	283	7	40	427	115	40
2	136	53	11	293	8	52	294	80	52
3	146	46	20	359	12	97	374	52	97
4	139	41	21	305	9	48	139	63	48
5	140	56	8	278	7	36	112	49	36
6	15	53	23	849	15	142	366	71	142
7	142	44	11	290	46	48	157	105	48
8	161	18	7	242	43	68	98	48	68
9	157	18	6	102	42	68	119	49	68
10	170	19	7	103	43	68	102	42	69
11	170	19	9	255	44	300	112	42	300
12	170	16	8	100	44	72	132	53	72
13	163	17	6	176	6	76	90	38	76
14	164	18	7	103	43	68	133	64	68
15	160	33	7	103	43	68	133	52	68
16	245	86	18	488	108	298	333	157	298
17	246	80	17	492	150	305	382	115	305
18	238	74	11	352	241	269	511	199	269
19	236	70	8	407	207	311	250	248	311
20	230	72	7	478	173	202	235	170	202
21	230	57	7	212	41	477	252	91	477
22	170	51	14	381	30	494	267	66	494
23	164	50	9	414	24	549	208	63	549
24	229	29	13	314	27	444	171	46	444
25	203	3	7	245	7	86	66	29	86

**Tab.05.a:** Analyses chimiques (Avril 2013).

Avril 2013						
Echantillons	Ca/Mg	Cl/Na	Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	Salinité	TDS	PH
1	52	5	3208	0,35	682,5	6,9
2	36	5	2200	0,4	726	7,
3	37	5	3255	1,35	250	7,57
4	38	5	2514	0,6	1045,5	7,
5	47	4	2094	0,35	687	6,8
6	44	5	4040	1,4	250	7,9
7	34	5	2550	0,4	718,5	7,1
8	34	23	1224	0,35	670	7
9	30	9	1221	0,34	669,5	7
10	35	9	1112	0,3	596	6,9
11	35	23	7251	0,4	726	7,1
12	38	9	7256	0,35	684,5	7
13	43	9	7108	0,3	553,5	6,9
14	37	9	7232	0,35	670	7
15	32	9	7291	0,35	670,5	7
16	9	12	2811	1,2	250	7,1
17	9	12	2473	0,8	250	7,8
18	12	11	2115	0,45	794	7,2
19	13	10	2072	0,35	675,5	7,1
20	14	10	2076	0,35	629	6,9
21	33	10	718	0,25	488,5	7,1
22	24	10	934	0,4	771,5	7,1
23	20	10	670	0,35	672	7
24	24	26	767	0,4	771	7,1
25	20	23	408	0,35	627	7,1

**Tab.05.b:** Analyses chimiques (Avril 2013).

Septembre 2013									
Echantillons	Ca	Na	K	Cl	Mg	T,A,C	So4	No3	Hco3
1	142	85	8	94	55	82	492	98	82
2	156	88	8	303	49	99	388	110	99
3	145	96	7	89	145	94	495	84	94
4	119	71	11	92	52	72	258	75	72
5	111	83	10	89	43	71	197	82	71
6	143	87	17	97	56	79	450	104	79
7	126	75	11	185	39	78	215	117	77
8	102	33	7	57	25	107	113	42	107
9	122	31	10	76	95	109	129	38	109
10	108	32	7	76	21	109	116	34	109
11	111	30	9	57	26	112	128	45	112
12	94	28	10	151	17	108	148	41	108
13	90	31	7	56	27	113	106	37	113
14	102	30	7	120	22	102	147	65	102
15	106	31	6	121	16	109	987	48	109
16	134	128	7	311	57	48	184	123	48
17	132	115	14	127	188	55	205	73	55
18	138	118	11	120	65	51	400	88	51
19	119	106	6	122	51	41	168	103	41
20	106	105	7	125	69	43	181	104	43
21	167	44	12	90	73	159	99	81	159
22	85	36	11	106	41	187	86	70	177
23	136	31	7	79	69	159	50	57	146
24	133	18	12	100	65	154	74	59	171
25	51	3	7	58	31	121	35	33	121

**Tab.06.a:** Analyses chimiques (Septembre 2013).

Septembre 2013						
Echantillons	Ca/Mg	Cl/Na	Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	Salinité	TDS	PH
1	1	1	2324	0,45	1040,5	7,9
2	1,5	0,5	3667	1,55	1300	8
3	1	1	3749	1,45	1300	7,8
4	1	1	2005	0,85	1261,5	7,5
5	1,5	1	1556	0,8	923	7,5
6	1	1	3476	1,25	1300	7,8
7	1,5	1	1953	0,55	1065	8
8	2,5	2	958	0,3	756,5	7,9
9	3	2	1154	0,4	932,5	8,1
10	3	2	1060	0,5	812,5	7,3
11	3	1,5	1113	0,4	910,5	8
3	2,7	3	1114	0,6	856	7,8
13	2	1,5	1115	0,35	678	7,2
14	3	3	1025	0,3	906	7,5
15	3,5	3	1149	0,5	867	7,6
16	1	1	2577	1,1	1300	7,8
17	1,5	1	1606	1	1300	8,1
18	1	1	1792	0,5	982,5	7,4
19	2	1	1301	0,3	923	7,3
20	1	1	1052	0,35	860	7,8
21	2	7	504	1,1	715,5	8,2
22	3	10	1033	0,35	1043,5	7,6
23	1,5	6	503	0,4	921,5	7,6
24	3	8	1074	0,35	943	7,8
25	1,5	5,5	799	0,35	863,5	7,7

**Tab.06.b:** Analyses chimiques (Septembre 2013).

Avril 2014									
Echantillons	Ca	Na	K	Cl	Mg	T, A, C	So4	No3	Hco3
1	152	42	21	189	9	120	532	100	120
2	90	65	14	186	5	100	325	48	100
3	152	45	21	290	9	142	256	23	142
4	143	23	21	320	5	65	142	56	65
5	136	25	2	199	4	53	95	50	53
6	140	63	11	780	16	131	286	85	131
7	121	35	9	256	34	52	125	92	52
8	123	15	5	251	25	61	84	43	61
9	162	23	4	120	31	43	142	35	43
10	153	14	6	98	42	53	92	38	53
11	142	12	8	195	29	48	67	39	48
12	148	30	2	142	31	65	65	43	65
13	156	14	4	142	12	91	120	53	91
14	168	23	6	100	32	58	103	75	58
15	149	34	9	98	27	67	104	61	67
16	195	68	15	420	34	251	256	135	251
17	185	56	9	415	60	295	295	120	295
18	214	65	12	365	24	245	421	182	245
19	184	48	9	493	25	351	289	235	351
20	142	92	8	423	42	254	301	156	254
21	142	72	11	251	12	399	247	82	399
22	135	53	12	380	32	425	235	68	425
23	142	42	6	410	14	524	198	43	524
24	151	62	9	320	25	389	178	52	389
25	147	10	5	231	9	56	98	34	56

**Tab.07.a:** Analyses chimiques (Avril 2014).



Avril 2014						
Echantillons	Ca/Mg	Cl/Na	Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}^2$ )	Salinité	TDS	PH
1	19	4	9532	0.3	590	6.9
2	18	3	8214	0.2	568	7.1
3	17	6	2450	0.6	579	7.4
4	29	14	2206	0.2	953	7
5	34	8	1950	0.4	723	7
6	9	12	3950	2	214	7.6
7	4	7	2230	0.3	625	7.1
8	5	17	1320	0.3	589	7
9	5	5	1420	0.3	569	7.3
10	4	7	1321	0.3	425	7
11	5	16	6825	0.3	589	7.3
12	5	5	6847	0.3	723	7.2
13	13	10	2250	0.3	425	7
14	5	4	4350	0.6	658	7
15	5	3	2320	0.1	752	7
16	6	6	3214	0.9	352	7.2
17	3	7	3521	0.8	365	7.3
18	9	6	1952	0.5	682	6.9
19	7	10	1842	0.4	578	7
20	3	5	1753	0.2	689	6.8
21	12	4	1762	0.6	523	7.5
22	4	7	1025	0.4	751	7.4
23	10	10	832	0.8	621	7
24	6	5	521	0.4	536	6.8
25	16	23	325	0.6	325	7

**Tab.07.b:** Analyses chimiques (Avril 2014).

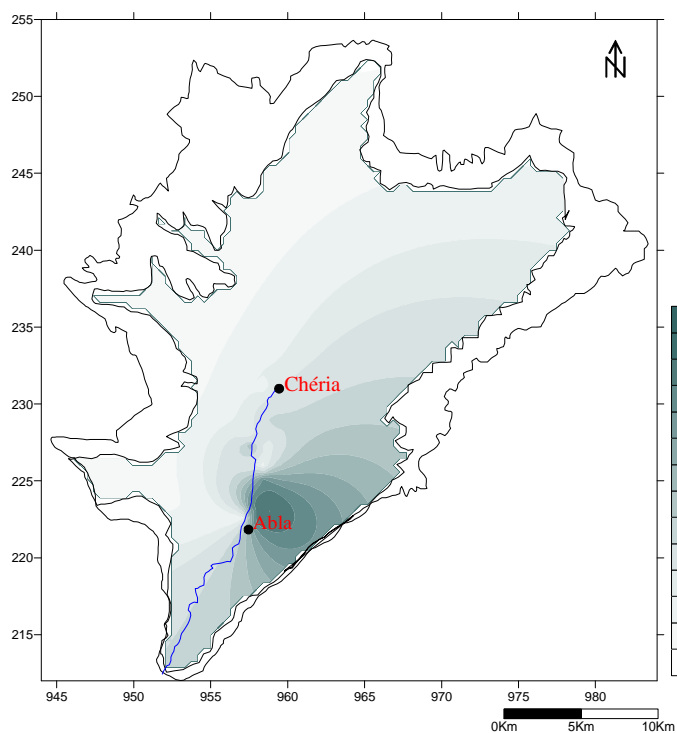


Fig.08: Carte des Conductivités. Avril 2012.

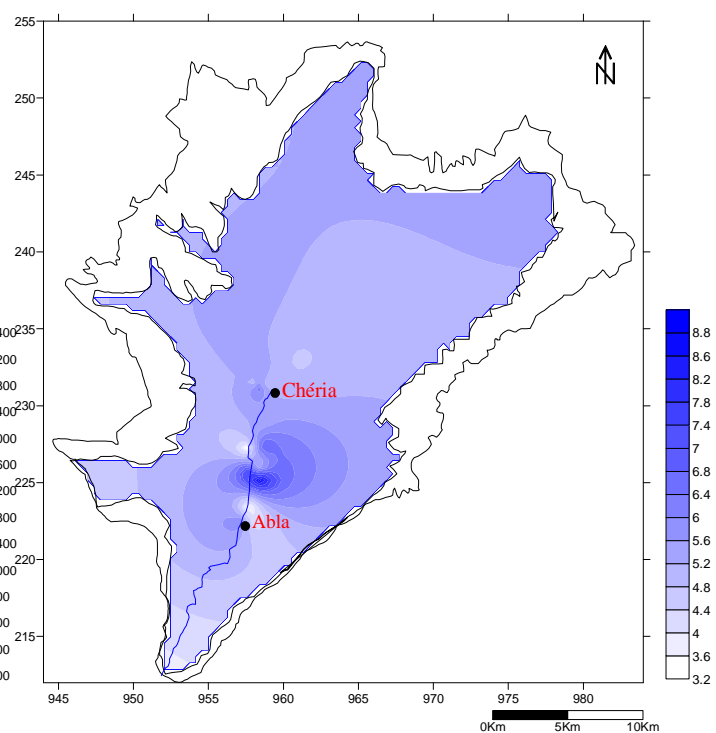


Fig.09: Carte du rapport caractéristique:  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ . Avril 2012.

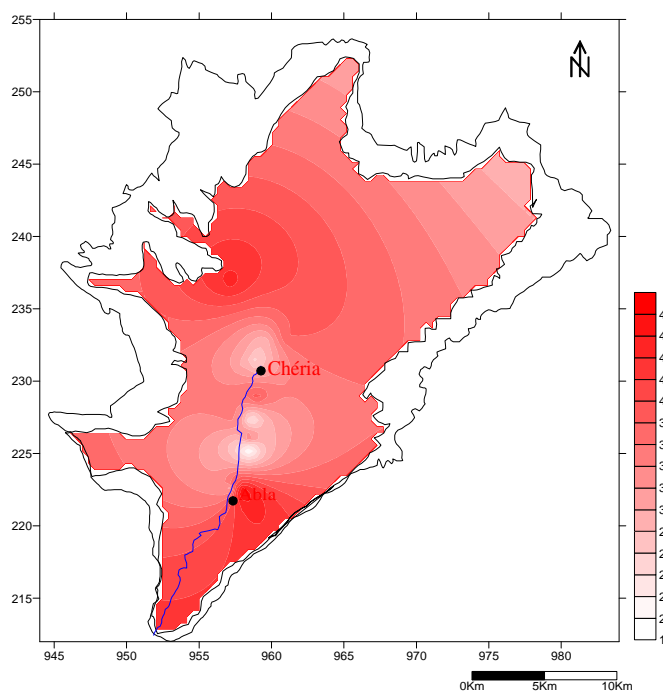


Fig.10: Carte du rapport caractéristique:  $\text{Cl}^{-}/\text{Na}^{+}$ . Avril 2012.

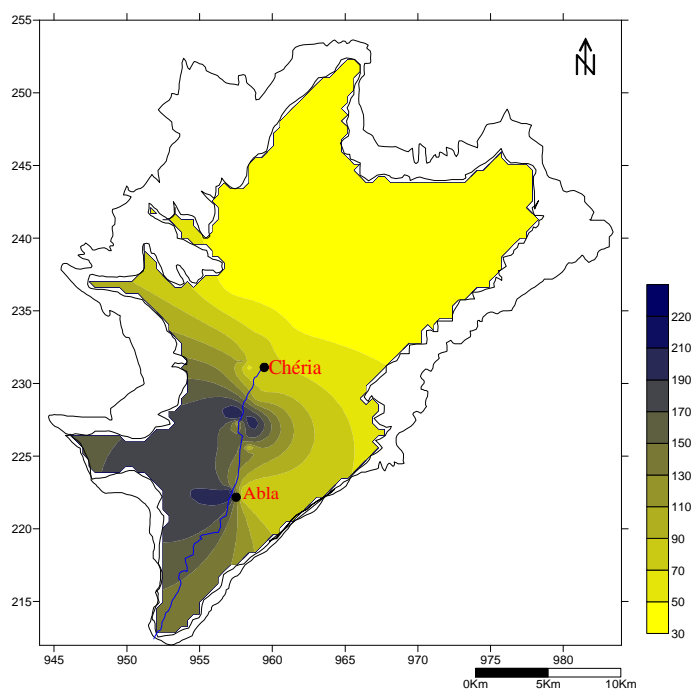


Fig.11: Carte des nitrates (en mg/l). Avril 2012.

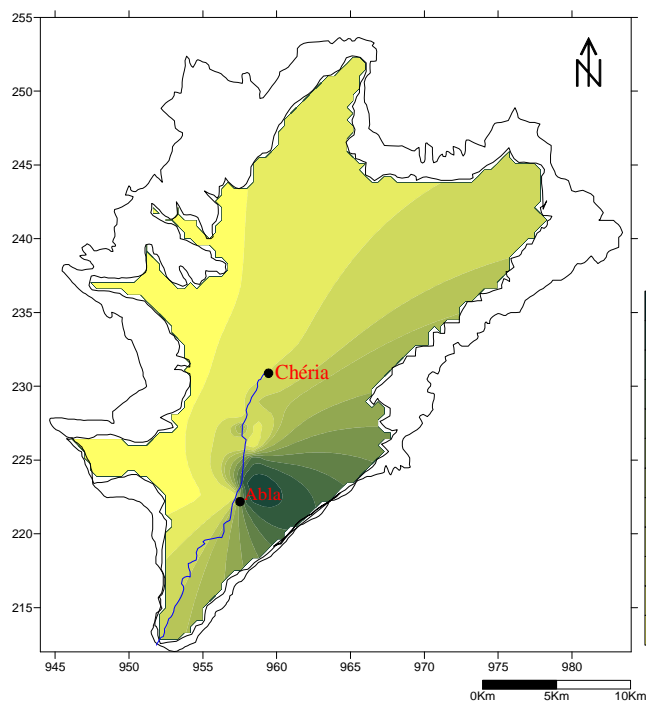


Fig.12: Carte des conductivités. Septembre 2012.

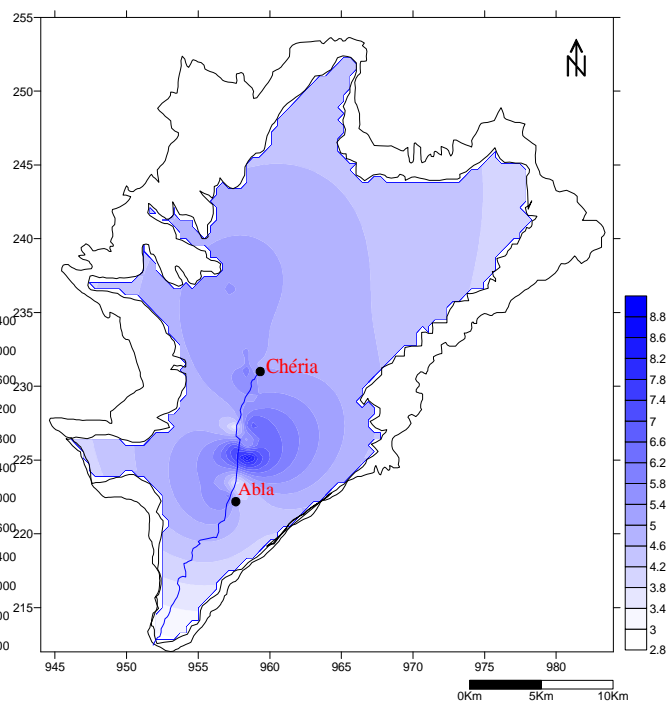


Fig.13: Carte du rapport caractéristique:  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ . Septembre 2012.

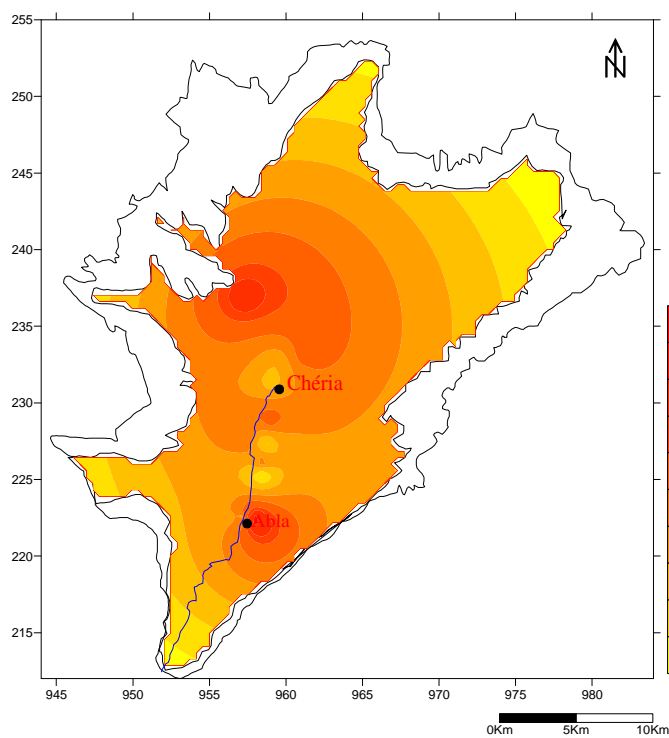


Fig.14: Carte du rapport caractéristique:  $Cl^{-}/Na^{+}$ . Septembre 2012.

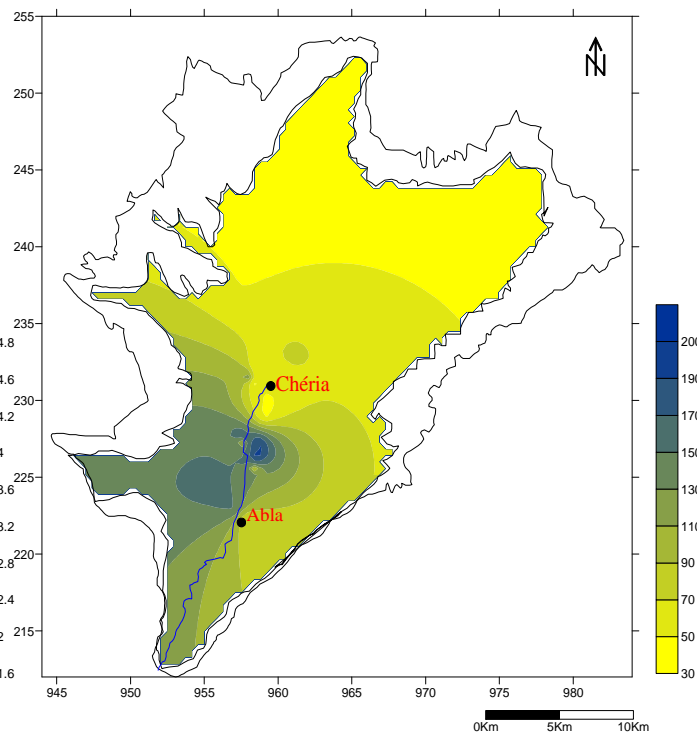


Fig.15: Carte des nitrates (en mg/l). Septembre 2012.

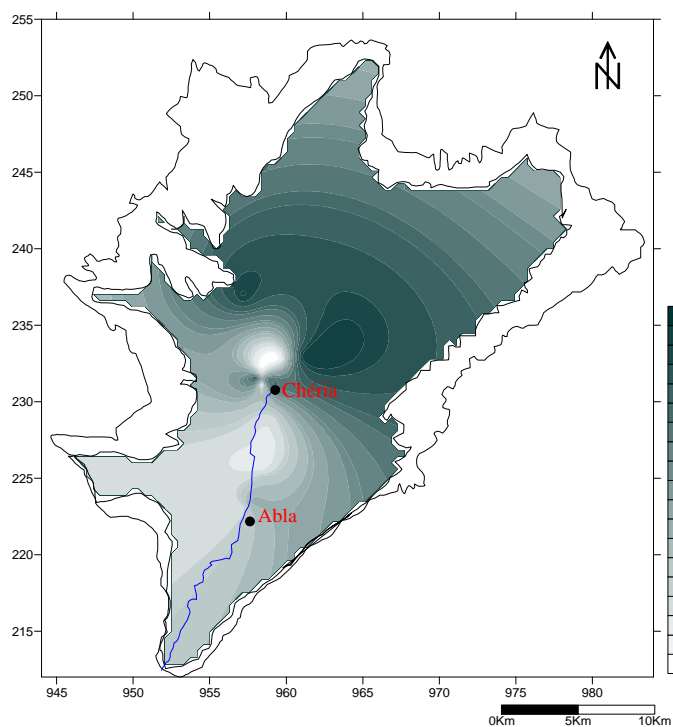


Fig.16: Carte des conductivités. Avril 2013.

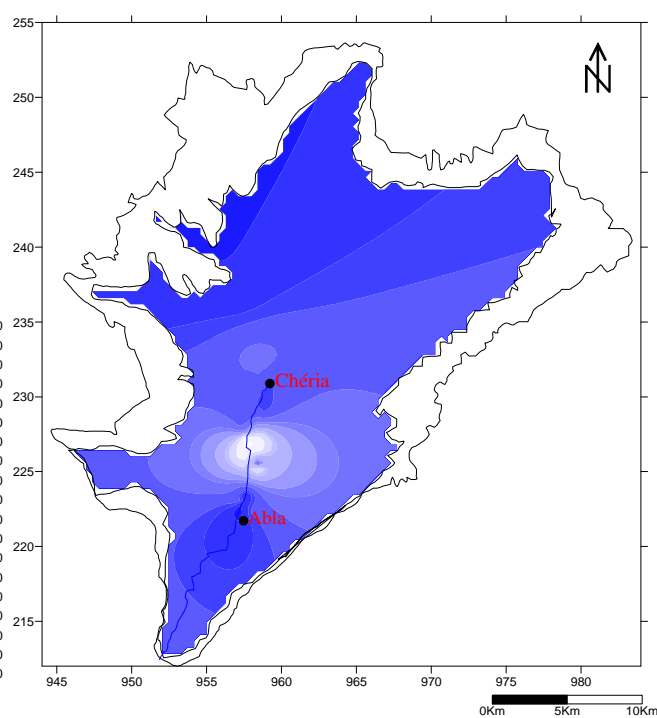


Fig.17: Carte du rapport caractéristique:  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ . Avril 2013.

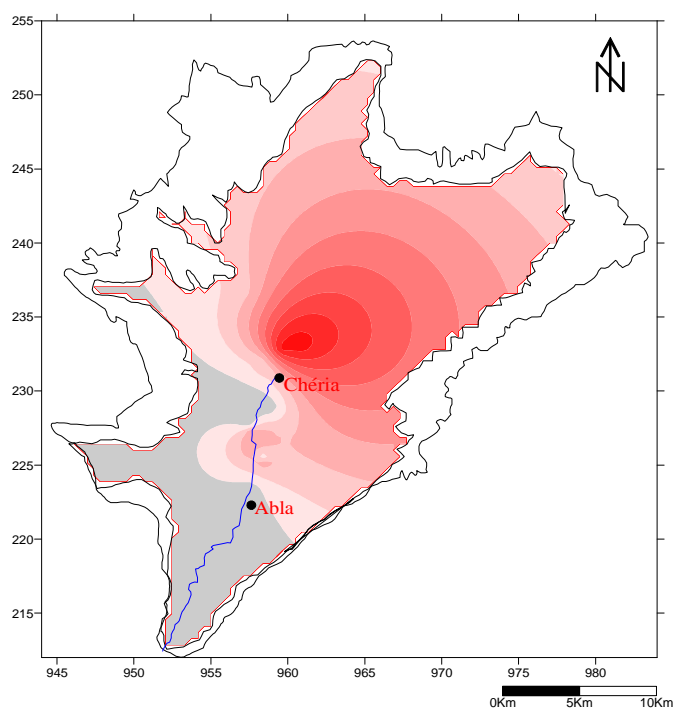


Fig.18: Carte du rapport caractéristique:  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$ . Avril 2013.

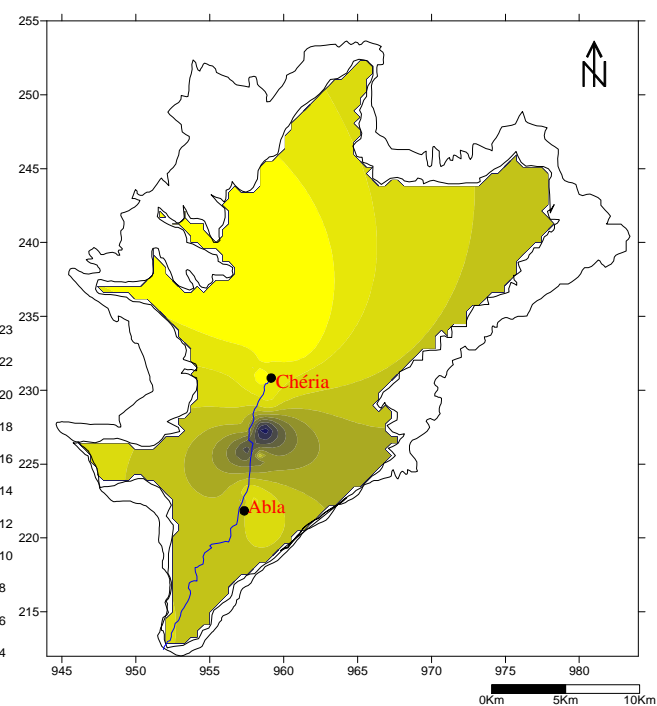


Fig.19: Carte des nitrates (en mg/l). Avril 2013.

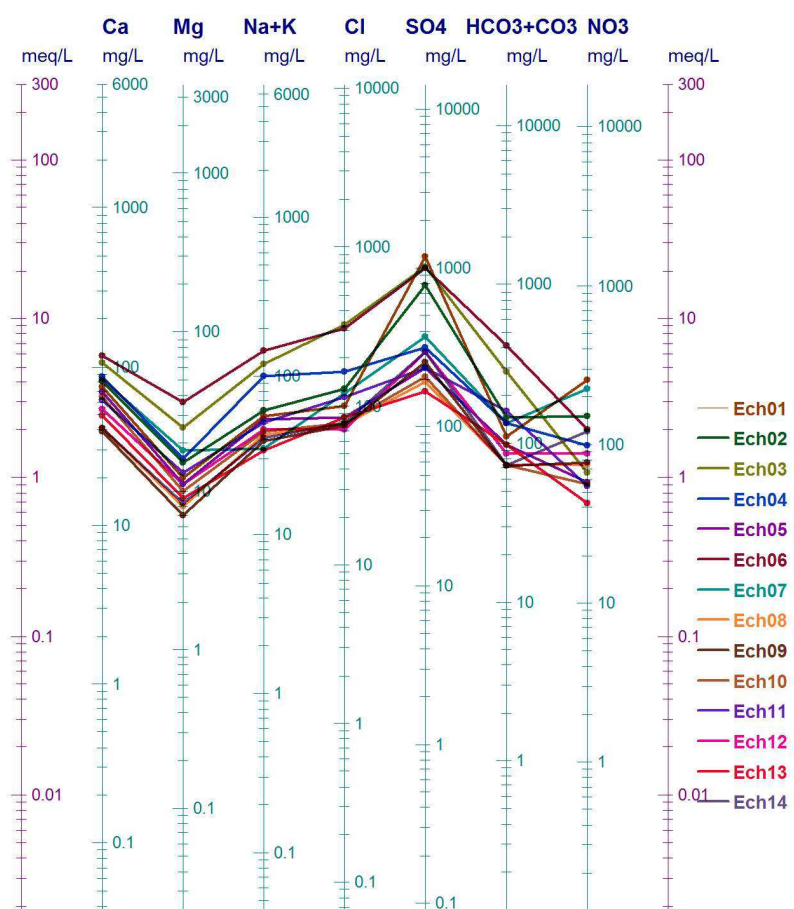


Fig.20: Diagramme Schoeller-Berkaloff. Avril 2012.

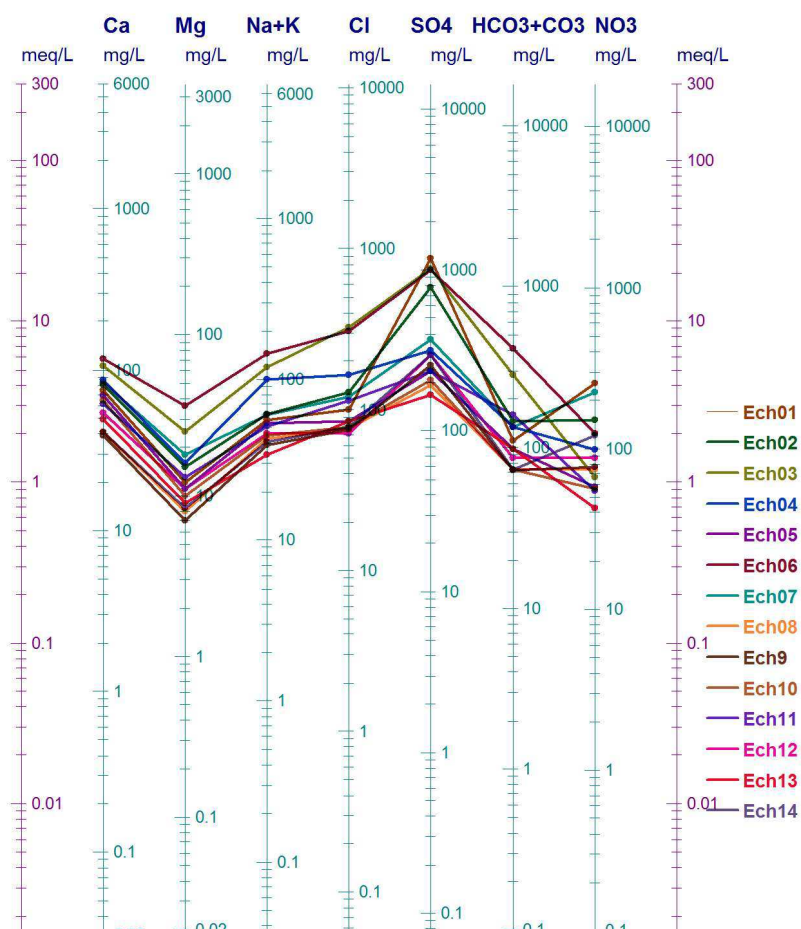


Fig.21: Diagramme Schoeller-Berkalof. Septembre 2012.

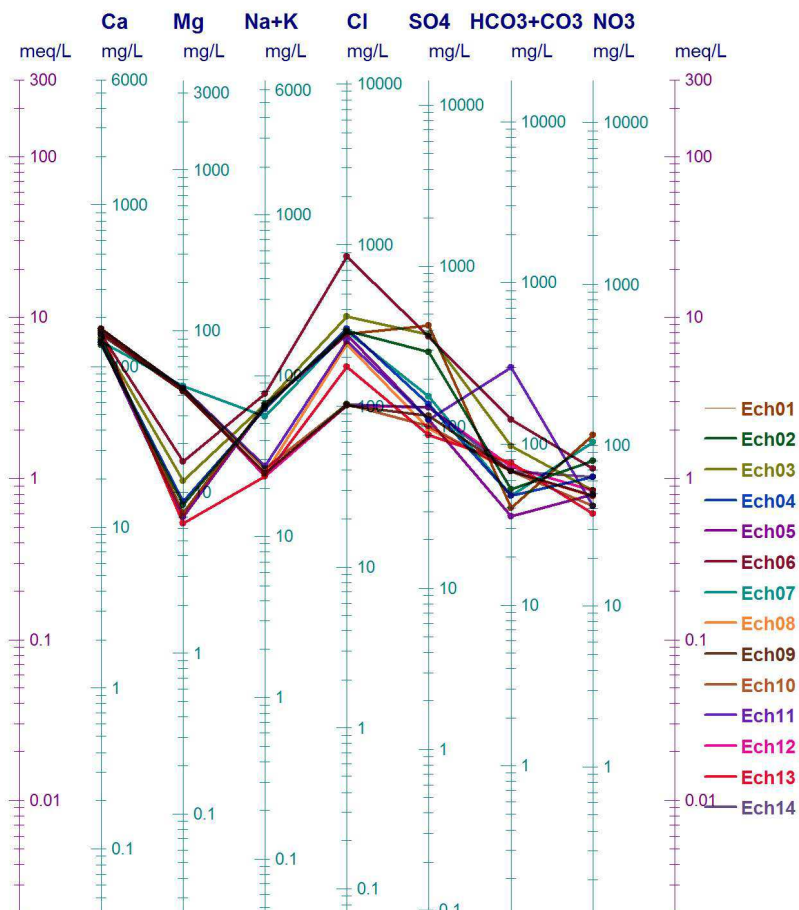


Fig.22: Diagramme Schoeller-Berkalof. Avril 2013.

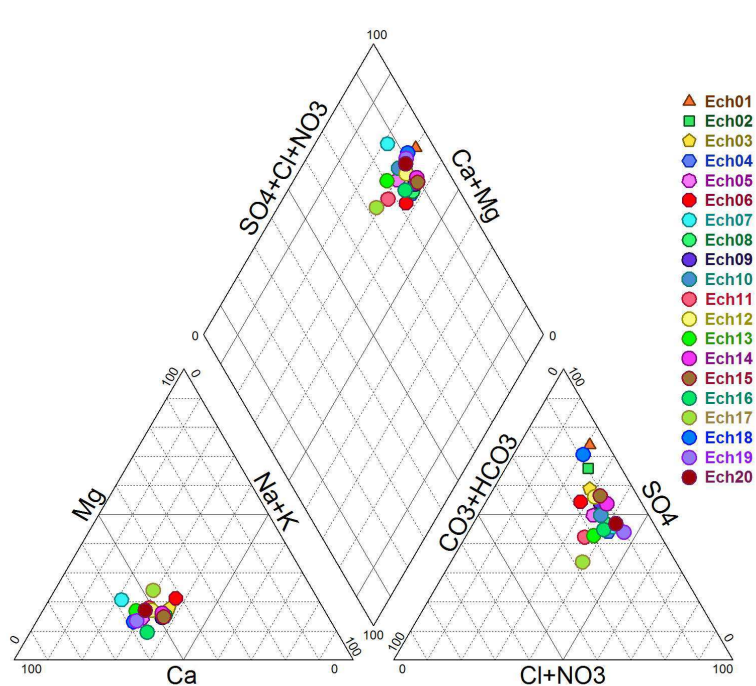


Fig.23: Diagramme de Piper. Avril 2012.

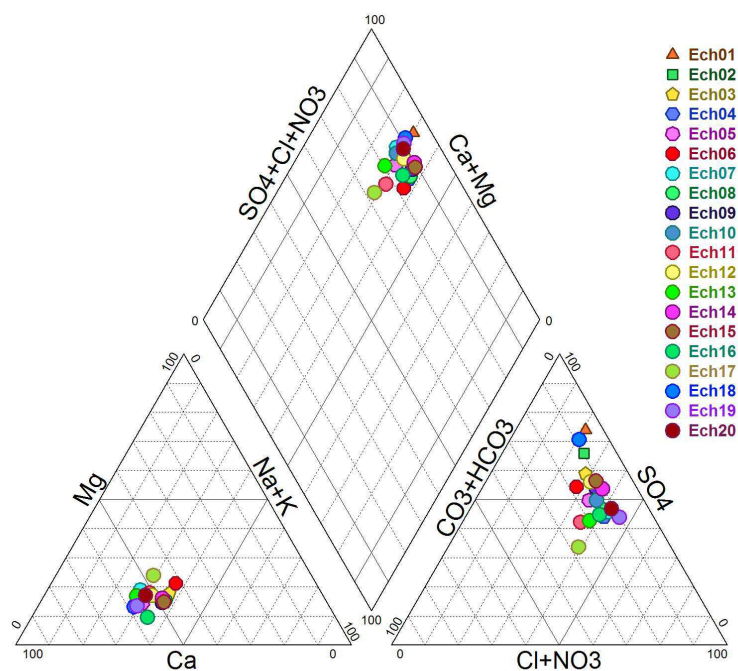


Fig.24: Diagramme de Piper. Septembre 2012.



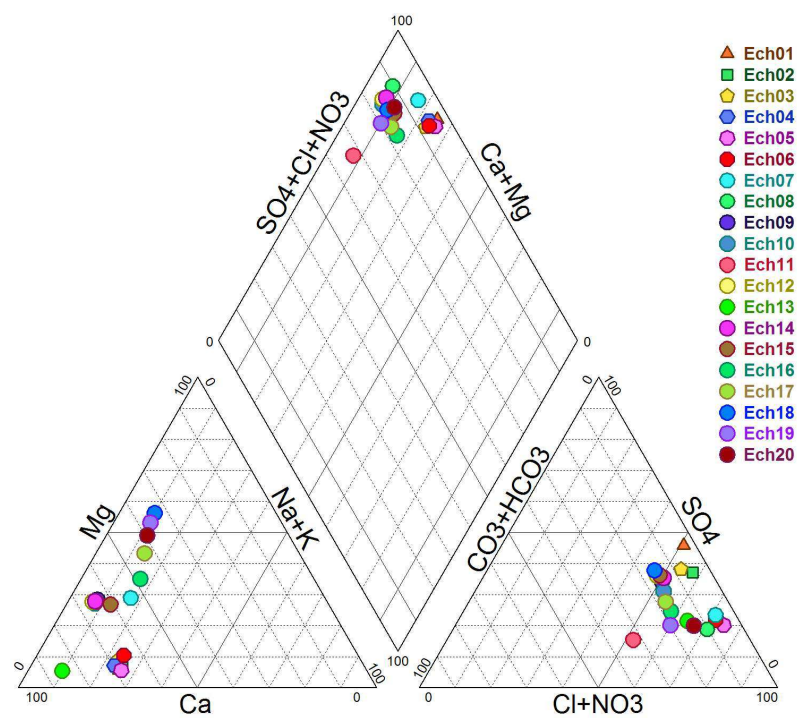


Fig.25: Diagramme de Piper. Avril 2013.



Annexe IV :

*Quelques Photos sur terrain*

