

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Larbi Tebessi-Tébessa



Laboratoire eau et environnement U. Tébessa-Algérie



Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie
Département des sciences de la terre et de l'univers

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat

Etude de la vulnérabilité à la pollution et aux effondrements d'un milieu karstique fissuré (aquifère carbonaté de l'éocène) par l'utilisation d'un SIG d'une région semi-arid.cas de la région de Chéria-Tébessa

Option : Hydrogéologie appliquée

Par : NEKKOUB Abdelaziz

DIRECTEURS DE THÈSE

Fathi BAALI- Professeur. Fac. Sc. U. Tébessa-Algérie

Co-Encadreur

HADJI Riheb M.C.A U. Sétif – Algérie

DEVANT LE JURY

PRÉSIDENT : FEHDI Chemseddine Professeur. Fac.Sc U. Tébessa-Algérie

EXAMINATEURS :

- MAOUI Ammar Professeur U. Guelma -Algerie
- GHERIEB Lassaad MCA U. Guelma -Algerie
- GUEFAIFIA Omar MCA U. Tébessa-Algérie

2020



REMERCIEMENTS

Etant au carrefour de plusieurs sciences naturelles, cette thèse de doctorat n'aurait pu aboutir sans la contribution de nombreuses personnes avec qui maintes connaissances ont été échangées. Mes plus sincères remerciements vont au Professeur BAALI Fathi mon directeur de thèse, qui m'a embarquée dans le navire de recherche. Les connaissances acquises au cours de sa brillante carrière et qu'il a partagées avec moi m'ont aidé à atteindre mes objectifs. Sa personnalité originale et son soutien sans faille m'ont donné la force de continuer cette recherche jusqu'au bout, même dans les moments les plus difficiles. Je tiens aussi à remercier chaleureusement le Professeur HADJI Réhab, mon Co-encadreur qui, m'a aidé à la sculpture de mon article jusqu'à sa publication. Il m'a toujours soutenue dans mon travail et mes prises de décisions. Leurs excellentes compétences professionnelles m'ont apporté des éclairages précieux. J'ai particulièrement apprécié leurs enthousiasmes et leurs fraîcheurs d'esprit. De nombreuses personnes ayant contribué à cette thèse ont laissé des traces dans cette recherche. Mon collègue de travail à l'HCDS-Tbessa BENARFA Noureddine m'a consacré de son temps pour répondre à mes exigences en termes de SIG. Les respects sincères à qui va ma plus reconnaissance aux membres du service de mobilisation d'eau au niveau de la direction des ressources en eau de la wilaya de Tebessa. Je me suis sentie soutenue par la fidèle complicité de HAMAD Omar, KEFAIFIA Omar que je remercie vivement, ainsi que tous les autres participants. FERPHOS est une entreprise qui possède nombreux collaborateurs, doctorants et étudiants avec qui il est toujours intéressant d'échanger sur des sujets scientifiques, politiques ou sociaux. Les visites sur terrain en compagnie de monsieur LABIDI Mouhamed collègue de travail fait partie des moments vif dans ce parcours. Ces moments forts ont aussi été vécus avec les agriculteurs de la région de chéria. Merci aussi aux personnes « de l'ombre » et la sécurité apportée par mon entourage, m'ont permis de trouver ma voie et de me réaliser dans le monde professionnel. *Merci maman de m'avoir toujours fait regarder plus loin que le bout de mon nez et papa de m'avoir transmis ta sérénité, (رحمة الله عليه) وأسكنه الجنة يا رب et que dieu repose son âme et qui n'a jamais cessé de m'encourager, qui m'a appris à rester calme en toutes circonstances et à relativiser lors des moments difficiles.* Merci aussi à KHEMMME Yamina, BOURAS Assam de m'avoir convaincue que le fait de reprendre mes études ne voulait pas dire capituler face à l'évolution parfois absurde de ce monde. Merci à tous mes amis, *Impossible pour moi de ne pas accorder ces dernières lignes à ma femme qui n'a jamais hésiter de prendre mon morale et faire le possible pour me donner le calme malgré les émeutes des enfants. M'a insufflé de précieuses bouffées d'air durant toutes ces années d'étude. Dans les moments difficiles, j'ai pu me reposer au creux de ses bras, car il a toujours été là pour moi.*

Listes des figures

Figure	Titre	Page
Figure 01	Carte de situation géographique du plateau de Chéria Wilaya de Tebessa.....	02
Figure 02	Carte de Relief de la Zone d'étude (Plateau de Chéria) NE Algérie.....	03
Figure 03	Carte de Réseau hydrographique.....	04
Figure 04	Carte d'occupation de sol du plateau de Chéria (HCDS)CR-Est.....	06
Figure 05	paramètres intervenant dans l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines.....	10
Figure 06	Schématisation d'un système karstique selon une approche structurale (Drogue, 1971).....	24
Figure 07	Représentation schématique d'un aquifère karstique (AERMC 1999 d'après Mangin 1975).....	24
Figure 08	Schématisation du fonctionnement de l'aquifère karstique (d'après Mangin, 1975).....	25
Figure 09	Principaux types de dolines (Précis de karstologie – Salomon, 2000)..	27
Figure 10	Représentation schématique d'un aquifère karstique (Bakalowicz, 1999).....	29
Figure 11	Représentation schématique du fonctionnement de l'épikarst (Jeannin1996, d'après Smart et Friedrich 1986).....	31
Figure 12	Quelques exemples de combinaison des critères prépondérants pour la vulnérabilité des aquifères karstiques.....	31
Figure 13	Etapas à suivre pour l'établissement d'une carte de vulnérabilité à la pollution EPIK du plateau de Chéria NE Algérie.....	42
Figure 14	interface graphique de logiciel SURPAC.....	48
Figure 15	Grandes parties de l'interface graphique de Surpac.....	48
Figure 16	Courbe hypsométrique du bassin de Chéria établi par le Logiciel Arc GIS.....	54
Figure 17	Carte hypsométrique du bassin de Chéria établi par le Logiciel Arc GIS.(Nekkoub2019).....	54
Figure 18	représentation du rectangle équivalent.....	57
Figure 19	Répartition des précipitations annuelles de la Région de Chéria (1990-2019).....	64
Figure 20	Variations saisonnière interannuelles des précipitations de la Région de Chéria (1990-2019).....	64
Figure 21	Répartition interannuelle des précipitations moyenne mensuelle de la Région de Chéria (1990-2019).....	65
Figure 22	Répartition des Températures moyenne annuelles de la région Chéria (1990-2019).....	66
Figure 23	Répartition interannuelle des Températures moyenne mensuelle de la région Chéria (1990-2019).....	66

Figure 24	Evolution de l'indice pluviométrique.....	68
Figure 25	Répartition des années par gamme d'indice pluviométrique.....	69
Figure 26	Courbe Ombrothèrmique de la station de Tébessa (1990-2017).....	71
Figure 27	Bilan hydrologique à la région de Chéria, par la méthode de Thornthwaite pour la période (1990/1991 -2018/2019).....	75
Figure 28	Colonne stratigraphique synthétique des monts de la région de Tébessa	77
Figure 29	géologie de la région de Chéria extrait de la carte géologique de l'Est-Algérie Echelle : 1/500 000.....	79
Figure 30	Esquisse Hydrogéologique du Plateau de Chéria.....	81
Figure 31	Esquisse tectonique des environs de Tébessa (Hamimed, 2005,Modifiée)	82
Figure 32	Coupe géologique du plateau de Chéria.....	83
Figure 33	Expression d'un linéament en surface (tiré de Fraipont et Hirsch. 1984)	89
Figure 34	Volet de filtrage des données.....	90
Figure 35	Les bandes spectrales observées par Sentinel 2 et leur résolution	91
Figure 36	Image satellitaire de la région d'étude colorée Sentinel 02A RGB Résolution (10m).....	92
Figure 37	Organigramme de la méthodologie de travail.....	93
Figure 38	Boites de dialogue montrant les étapes à effectuer pour obtenir Les filtres directionnels sous ENVI.....	94
Figure 39	Extrait du Filtre directionnels (a) à 45° NE-SW (b) à 90° N-S.....	94
Figure 40	Carte des linéaments géologique de la région de Chéria (a) 45° (b) 90°	96
Figure 41	(a). Filtre directionnels 45° NE-SW (b).Carte de linéament direction 45°(C).Rose diagramme des linéaments de direction 45°	97
Figure 42	(a). Filtre directionnels 90° N-S (b).Carte de linéament direction 90° (C).Rose diagramme des linéaments de direction 90°	98
Figure 43	Représentation schématique d'un aquifère karstique (Bakalowicz,1999)	105
Figure 44	Représentation schématique du fonctionnement de l'épikarst (Jeannin1996, d'après Smart et Friedrich 1986).....	106
Figure 45	Quelques exemples de combinaison des critères prépondérants pour la vulnérabilité des aquifères karstiques.....	107
Figure 46	Etapes à suivre pour l'établissement d'une carte de vulnérabilité à la pollution EPIK du plateau de Chéria NE Algérie.....	110
Figure 47	cartes de positionnement des sondages électrique vertical (SEV) CGG 1970.....	113
Figure 48	Coupes géo-électriques. Profil (M).....	114
Figure 49	Coupes géo-électriques. Profil (N).....	114
Figure 50	Phénomène d'effondrement par rupture de piliers en carrière S/t Avec un recouvrement de dizaine de mètres (P.P.R. de REYNÈS – Rapport de Présentation page 58)	122

Figure 51	Structure de la légende de la carte ZERMOS.....	124
Figure 52	Répartition des évènements et désordre d'ordre karstique au niveau du plateau de Chéria (adapté de la thèse de AZIZI Yacine2017).....	125
Figure 53	effondrement et karstification des calcaires Eocène « Douamis ».....	128
Figure 54	Disposition des forages affectant les calcaires (Eocène) et les phénomènes karstique.....	131
Figure 55	Carte de paramètre Epikarte (E).....	136
Figure 56	Carte de paramètre Couverture Protectrice (P).....	137
Figure 57	Carte de paramètre conditions d'Infiltrations (I).....	138
Figure 58	Carte de paramètre de développement de réseau Karstique (K).....	139
Figure 59	Carte de vulnérabilité du plateau de Chérie (NE Algérie) Selon la méthode EPIK.....	140
Figure 60	carte de validation par linéaments du plateau de Chéria.....	142
Figure 61	Visualisation en 3D des forages touchant l'aquifère Eocene sur SURPAC	147
Figure 62	Carte de délimitation des zones susceptibles à l'effondrement.....	148

Listes des tableaux

Tableaux	Titre	Page
Tableau n°01	Distribution des surfaces d'occupation de sol.....	05
Tableau n°02	Critères de vulnérabilité.....	12
Tableau n°03	méthodes de cartographie de la vulnérabilité.....	15
Tableau n°04	Répartition hypsométrique du bassin de Chéria.....	53
Tableau n°05	Répartition altimétrique du bassin versant de Chéria.....	58
Tableau n°06	Classification du relief en fonction de «Ds» d'après L'O.R.S.T.O.M...	59
Tableau n°07	Récapitulation des paramètres morphométriques	60
Tableau n°08	Coordonnées cartographique des stations climatiques.....	61
Tableau n°09	Précipitations Moyennes mensuelles (1990-2019).....	62
Tableau n°10	Températures Moyennes mensuelles (1990-2019).....	63
Tableau n°11	Valeurs de l'indice SPI.....	68
Tableau n°12	Classification des climats selon l'indice de De Martonne.....	70
Tableau n°13	Résultats de calcul de l'ETP selon la formule de C. W. Thornthwaite/ région Chéria	73
Tableau n°14	Bilan hydrique de région de Chéria (1990-2019).....	74
Tableau n°15	Caractéristiques des forages ayant touchés les calcaires « Eocène »	84
Tableau n°16	Caractéristiques des forages ayant touchés les calcaires « Eocène »	85
Tableau n°17	Caractéristiques spatiales et spectrales des bandes sentinelles 2A..	91
Tableau n°18	Valeurs des critères indexés E_i, P_j, I_k et K_l	106
Tableau n°19	Coefficient de pondération attribuée au critère E, P, I et K.....	106
Tableau n°20	Indexation des quatre critères de la méthode EPIK.....	108
Tableau n°21	Quelques Valeurs des facteurs de protection (F).....	116
Tableau n°22	Délimitation des zones de protection.....	117
Tableau n°23	caractéristique litho stratigraphique et techniques des forages réalisés au niveau du plateau de CHERIA.....	123
Tableau n°24	Densité des évènements karstiques (adapté de Azizi Yacine 2017)	126
Tableau n°25	Caractéristiques des forages ayant touchés les calcaires « Eocène »	126
Tableau n°26	Caractéristiques des forages ayant touchés les calcaires « Eocène »	127

Table des matières

Titres	Pages
INTRODUCTION GENERALE	
I. GENERALITE	
I.1. Cadre général.....	02
I.1.1 situation géographique.....	02
I.2. Aperçu géomorphologique de la région de Chéria.....	03
A : Les montagnes.....	03
B. Les Plaines.....	03
C. Les dépressions.....	03
D. Le Réseau hydrographique.....	04
I.3. Aperçu sur le plan d'occupation de sol.....	05
I.4. Populations.....	06
I.5. Activités	07
I.6. Le Couvert végétal.....	07
II. BIBLIOGRAPHIE	
II.1 Notions générales de vulnérabilité.....	09
II.2 La vulnérabilité des eaux souterraines.....	09
II.2.1 But des cartes de vulnérabilité.....	10
II.2.2 Les critères de la vulnérabilité.....	10
II.2.3 Méthodes existantes de cartographie de la vulnérabilité des aquifères.....	12
II.3 Principaux textes législatifs sur l'eau en Algérie.....	15
II.3.1. Loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux.....	17
II.3.2. Décret exécutif n° 04-196 du 15 Juillet 2004.....	18
II.3.3. La loi n° 05-12 du 4 août 2005 relatifs à l'eau.....	18
II.3.4. Le décret exécutif n° 07- 399 du 23 décembre 2007.....	19
II.3.5. Le décret exécutif n° 10-73 du 6 février 2010.....	20
II.4 Comprendre c'est quoi le risque ?.....	21
II.4.1. Le processus de karstification.....	21
II.4.2. Conceptualisation du karst.....	22
II.4.3. Phénomènes karstiques de surface.....	26
II.4.4. L'histoire des terrains accueillant les réseaux karstiques.....	32
II.4.5. Conséquences du fonctionnement du karst sur la vulnérabilité.....	32
II.4.6. Exploitabilité des aquifères karstiques.....	33
II.5 Travaux de vulnérabilité réalisée au niveau du plateau de Chéria.....	35
II.5.1 Travaux d'étude de vulnérabilité a la pollution (docteur BAALIFathi.2007)	35
II.5.2 travaux d'étude de vulnérabilité a l'effondrement (doc. AZIZI Yacine 2017)	37
II.6. la méthode multicritères- méthode EPIK.....	40
II.7.vulnérabilité a l'effondrement par la cartographie des zones exposes a des risques lies aux mouvements du sol et de sous sol(ZERMOS)	45
II.7.1. Objet des cartes ZERMOS.....	45
II.7.2. Principes et modalité d'établissement.....	46
II.8.Logiciel SURPAC.....	48
II.8.1 Définition	48
II.8.2 Modélisation et estimation de ressources.....	50
II.8.3 Outils complets.....	50

II.8.4 Estimation et modélisation.....	51
III. MATERIELLES ET METHODES	
III.1 : Paramètres morpho-métriques et aperçue climatique du bassin de Chéria.....	53
III.1.1 : Caractéristiques physiques du bassin de Chéria.....	53
III.1.1.1 Surface et périmètre du bassin versant.....	53
III.1.1.2 Etude du relief.....	53
III.1.1.3. Analyse de la carte hypsométrique.....	55
III.1.1.4 Forme du bassin.....	55
III.1.1.5 Notion du rectangle équivalent.....	56
III.1.1.6 Altitudes caractéristiques du bassin.....	57
III.2 : Climatologie et régime pluviométrique.....	60
III.2.1 : La pluviométrie.....	61
A. Analyse des Précipitation.....	61
III.2.2 : La Température.....	65
A. Analyse des Températures.....	65
III.2.3 : Les indices climatiques.....	66
III.2.3.1 : Définition des indices climatiques.....	66
III.2.3.2 : Indice pluviométrique standardisé (Gutmann N.B.1998, Giddings L. et al, 2005).....	67
III.2.3.3 : L'indice d'aridité de. De Martonne.....	69
III.2.3.4 : L'indice Ombrothermique de Gaussen.....	71
III.2.4 : Bilan hydrique.....	72
III.2.4.1 : Étude de l'Évapotranspiration.....	72
III.2.4 .1- 1 : Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	72
III.2.4 .1- 1- a : Formule de <i>C.W. Thornthwaite</i>	72
III.2.4 .1-2 : Estimation de l'évapotranspiration réelle(ETR).....	73
III.2.4 .1-2 a. Formule de <i>L. Turc</i>	73
III.2.4. 2 : Estimation de la réserve facilement utilisable.....	74
III.2.4. 3 : Bilan d'eau par la méthode de G. W. Thornthwaite.....	74
III.2.4. 4 : Interprétation du bilan hydrologique.....	75
III.3 : Géologie de la région d'étude.....	76
III.3.1 : Stratigraphie.....	76
III.3.2 : Tectonique.....	79
III.3.2.1 : Style tectonique	80
A. Phase atlasique	80
B. Phase alpine	80
III.3.2.2 : Conséquences hydrogéologiques.....	81
III.3.2.3 : Conclusion.....	83
III.4 : Hydrogéologie.....	84
III.5 : Géophysique du plateau de Chéria.....	86
III.5.1 : L'investigation géo électrique.....	87
III.5.2 : Les coupes géo-électriques.....	87
III.5.2.1 : Les calcaires du Maastrichtien	87
III.5.2.2 : Les marnes du Danien.....	87
III.5.2.3 : Les calcaires de l'Eocène.....	87
III.5.2.4 : Remplissage alluvionnaire (Quaternaire et Mio-Pliocène).....	87
III.5.3 : Interprétation.....	88
III.6 : Interprétation structurale des linéaments par traitement d'image satellitaire.....	89
III.6.1 : Introduction.....	89
III.6.2 : Données utilisées.....	90

III.6.3 : Extraction des linéaments.....	93
III.6.3.1 : Traitement de l'image satellitaire.....	93
III.7: Vulnérabilité a la pollution (EPIK).....	99
III.7.1 : Introduction	99
III.7.2 : Aquifère karstique.....	101
III.7.3 : Fonctionnement du karst.....	104
III.7.4 Conséquences du fonctionnement du karst sur la vulnérabilité.....	104
III.7.5 : La méthode multicritères- Méthode EPIK.....	105
III.7.5.1 : Epikarst (E)	111
III.7.5.2 : Couverture protectrice.....	112
III.7.5.3 : Conditions d'infiltration.....	113
III.7.5.4 : développement du Réseau karstique.....	114
III.7.6 : Calcul du facteur de Protection.....	116
III.7.7 : Délimitation des zones de protections.....	117
III.8. Vulnérabilité a l'effondrement	118
III.8.1 : Introduction	118
III.8.2 : La cartographie ZERMOS.....	120
III.8.3 : susceptibilité à l'effondrement.....	127
IV RESULTATS ET DISCUSSION	
IV.1 : Vulnérabilité a la pollution (EPIK).....	131
IV.1.1 Description des paramètres et des cartes.....	131
IV.1.1.1 : Carte de paramètre E	131
IV.1.1.2 : Carte de paramètre P.....	133
IV.1.1.3 : Carte de paramètre I	134
IV.1.1.4 : Carte de paramètre K	135
IV.1.2 : Calcul du facteur de Protection	136
IV.1.3 : Conclusions, recommandations et perspectives.....	140
IV.2 : Vulnérabilité a l'effondrement.....	142
IV.2.1 Introduction.....	142
IV.2.2 Cartographie des zones vulnérables à l'effondrement.....	142
IV.2.3 Discussion des résultats.....	144
IV.2.4 Conclusion et recommandation.....	145

ملخص:

إن دراسة قابلية تأثر طبقات المياه الجوفية أداة قيمة لحمايتها من التلوث و بالحفاظ عليها يمكننا استخدامها لتوفير مياه الشرب دون الحاجة لإخضاعها للمعالجة

قمنا بتحليل قابلية الطبقة المائية الجوفية الكارستية لمنطقة الشريعة شمال-شرق الجزائر عن طريق استخدام الطريقة المعيارية EPIK ، تتواجد الطبقة المدروسة في الحجر الجيري الكارستي الإيوسيني، حيث تظهر خريطة القابلية أو الضعف تبين وجود ثلاث مناطق متفاوتة. إن دراسة تقييم و تحليل المعايير المستخدمة أدى إلى الحكم على أنه هناك تأثير لهذه المعايير على تقدير مدى قابلية هذه الطبقات المائية الجوفية باستخدام طريقة EPIK باستعمال نظم المعلومات الجغرافية SIG. توفر هذه الطريقة منهجية لتقييم مواطن الضعف وتفسير أدق للخرائط ، و مؤشرات القابلية لهذه الطبقات المائية في البيئة الكارستية بصفة أكثر دقة .

أربعة معايير و مؤشرات متداخلة في بعضها مع الأخذ بعين الاعتبار، العوامل البيئية الرئيسية التي تنطوي عليها آليات الاحتفاظ بالملوثات و نقلها ، و من تراكب هذه المعايير يتم الحصول على مناطق الضعف بدرجات متفاوتة لكل جزء من الحوض الجغرافي لمنطقة الشريعة و سمح لنا بالحصول على خرائط موثوقة وواقعية . وأتاح استيفاء البيانات الجيوفيزيائية تقييم المعايير اللازمة لتقدير مدى ضعف طبقة المياه الجوفية. وتفرق الخريطة بين ثلاث مناطق مختلفة من مواطن الضعف المتأصلة عن طبقة المياه الجوفية ومستجمعات المياه القائمة. وهذا يدل على أن أكثر من 40% من مساحة سطح النظام تقع في مناطق عالية الضعف وأكثر من 35% في حالة ضعف معتدل، و25% مع ضعف منخفض. وتوفر نتائج الدراسة لصانعي القرار والمديرين أداة فعالة لاتخاذ القرارات في مجال إدارة الموارد المائية.

وجود بعض الظواهر على السطح الناتجة من ذوبان تشكيلات الحجر الجيري عن طريق النشاط المسبب للتآكل من المياه السطحية يؤدي إلى مخاطر عدم الاستقرار البنى المكونة للطبقات المائية والجوفية ادت بالضرورة لخلق انهيارات موضعية في وسط الحوض ناتجة عن وجود الفراغات الجوفية وتجاويف على مقربة من السطح. تم تقسيم للمناطق القابلة للإنهيار و الأكثر عرضة لمثل هذه ملونة بالحمرة متواجدة في منتصف حوض الشريعة.

Résumé :

L'étude de la vulnérabilité des aquifères est un outil précieux pour les protéger contre les pollutions. Ainsi préservés, ces derniers peuvent être exploités pour l'approvisionnement en eau potable, sans devoir subir de traitement.

Une analyse de la vulnérabilité d'un aquifère karstique de Chéria Nord-est Algérie a été réalisée en appliquant la méthode paramétrique EPIK. L'aquifère est logé dans des calcaires karstifiés de l'éocène. Une carte de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère montre trois zones de vulnérabilité. Une étude d'évaluation des paramètres et une analyse de sensibilité ont été conduites pour juger l'influence des paramètres sur l'estimation de la vulnérabilité de l'aquifère au moyen de la méthode EPIK en utilisant un environnement SIG. Cette approche fournit une méthodologie pour évaluer la cartographie de la vulnérabilité et pour interpréter d'une façon plus sûre les indices de vulnérabilité des ressources en eau des milieux karstiques. Quatre paramètres et indices superposables, qui prennent en compte les principaux critères environnementaux intervenant dans les mécanismes de rétention et de transfert des substances polluantes. De la superposition de ces critères est obtenu un degré de vulnérabilité pour chaque zone du bassin d'alimentation pour la région de Chéria, permet d'obtenir des cartes réalistes et fiables. L'interpolation des données géophysique a permis l'évaluation des paramètres nécessaires pour l'estimation de la vulnérabilité de l'aquifère. La carte obtenue différencie trois zones distinctes de vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère et des captages existants. Cela montre que plus de 40% de la surface du système est en zone à vulnérabilité élevée, plus de 35% en vulnérabilité modérée, et 25% avec une vulnérabilité faible. Le résultat de l'étude fournit aux décideurs et aux gestionnaires, un outil efficace pour l'aide à la décision dans la gestion des ressources en eau.

La présence des anomalies de subsurface liées à la dissolution des formations calcaires par l'activité corrosive des eaux superficielles entraîne des risques d'instabilité mécanique, ces risques d'instabilités à créer des effondrements localisés au centre du bassin, résulte à l'existence des vides et cavités souterraines, proche de la surface de sol. Un zonage de susceptibilité à l'effondrement figure la zone centre en couleur rouge, au alentour de la ville de Chéria.

Abstract:

The study of the vulnerability of the water-bearing is a precious tool to protect them against pollutions. So to preserve these last can be exploited for the potable water supply, without having to be subjected of treatment.

Applying the EPIK parametric method, a vulnerability assessment has been made for a karstic groundwater system in Cheria Nord-east Algeria. The aquifer is a karstified limestone of Eocene age. A map of intrinsic vulnerability of the aquifer shows three vulnerability areas. A parameter-balance study and a sensitivity analysis were performed to evaluate the influence of single parameters on aquifer-vulnerability assessment using the EPIK method using a GIS environment. This approach provides a methodology for the evaluation of vulnerability mapping and for more reliable interpretation of vulnerability indices for karst groundwater resources. Four parameters and indications that can be superimposed, which take into account main environmental criteria intervening in the mechanisms of retention and transfer of polluting substances. From the superimposing of these criteria is acquired a degree of vulnerability for every zone of the basin of alimentation for the region of Cheria, allows to acquire dependable and realistic cards. The interpolation of the geophysical data allowed to define the necessary parameters for the estimation of the aquifer vulnerability. The resulting model maps three distinct zones of intrinsic vulnerability of the aquifer and existing catchments. It shows that more than 40% of the surface of the system is in high vulnerability zone, more than 35% in moderate vulnerability, and 25% with low vulnerability. The result of this study provides decision-makers and managers with an effective tool to decide about water resources management.

The dissolution of limestone formations by the corrosive activity of superficial waters leads to important risk of mechanical Instability, These risks of instabilities to create collapses located in the center of the basin, result from the existence of underground voids and cavities, close to the ground surface. A zoning of susceptibility to collapse shows the central zone in red color, at the bottom, around the town of Chéria.

Introduction générale

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus essentielles au maintien de la vie. Son développement et sa gestion jouent un rôle vital dans la production agricole. La gestion intégrée de l'eau est vitale pour la réduction de la pauvreté, la préservation de l'environnement et le développement économique durable.

Compte tenu de l'augmentation rapide de la population, de l'urbanisation et de l'industrialisation, la demande en eau pour répondre à divers besoins ne cesse d'augmenter. Nous sommes donc confrontés à de nombreux défis dans le secteur de l'eau, notamment la réduction de la disponibilité de l'eau par habitant, le déclin de la nappe phréatique dans de nombreuses régions.

La qualité des eaux de surface et des eaux souterraines se dégrade également en raison de l'augmentation des charges de polluants provenant de diverses sources. Les changements climatiques peuvent également nuire à la disponibilité et à la répartition des ressources en eau.

En de nombreux endroits sur la planète, les formations sédimentaires carbonatées qui affleurent peuvent receler des aquifères karstiques. Ces zones de circulations souterraines des eaux peuvent alors constituer des réservoirs potentiels en eaux, notamment pour l'alimentation en eau potable. Cet usage entraîne la nécessité de protéger ces ressources.

Cependant la qualité peut être altérée à la suite de périodes de crues par une augmentation de la turbidité ou de la teneur en matière organique. D'autre part, les ressources en eau en milieu karstique sont sensibles aux impacts anthropogènes. Par conséquent, elles sont généralement considérées comme vulnérables.

Cette *vulnérabilité* s'explique notamment par la structure fortement hétérogène des aquifères karstiques, avec d'une part une alimentation de surface soit diffuse soit concentrée, et d'autre part soit des perméabilités très élevées dans les conduits souterrains, soit des perméabilités faibles dans les blocs peu perméables. Cette "double dualité" se manifeste par un comportement hydrodynamique tout à fait caractéristique : les crues, dues à d'importantes infiltrations concentrées dans des zones très perméables, sont rapides et violentes. Les processus de filtration ou d'autoépuration des polluants n'ont pas le temps de se développer, comme c'est le cas dans les aquifères à porosité d'interstices.

Du fait de leur fonctionnement spécifique, les aquifères karstiques requièrent une protection toute particulière.

Le plateau karstique de chéria Nord-est d'Algérie sera le terrain d'application de la méthode de cartographie de la vulnérabilité EPIK. La vulnérabilité des eaux souterraines est une propriété relative, non quantifiable et sans dimension (Vrba J. et Zaporozec A., 1994).

La cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines en milieu karstique, consiste en une étude pluridisciplinaire. Nous distinguerons d'une part la gestion des données acquises sur le terrain et d'autre part celle des données bibliographiques. La formalisation des données sera effectuée sous le module d'ARCGIS, MAPINFO, sous forme de couches d'informations géographiques spatialisées.

Les mouvements du sol et du sous-sol; glissement de terrain, écroulements, affaissement, séismes et volcans font l'objet de sérieuses préoccupations. Dans leur principe, les mouvements de terrain sont bien compris : ils surviennent quand la résistance des terrains est inférieure aux efforts moteurs engendrés par la gravité, l'eau souterraine (poussée d'Archimède), les séismes, les travaux de l'homme,...etc. Toute leur dynamique répond évidemment aux lois de la mécanique. Des événements récents comme l'effondrement du plateau de chéria objectif de notre deuxième volet d'étude pour ressortir la vulnérabilité aux effondrements des formations des calcaires Éocène.

Dans la région de Chéria située au Nord-est Algérien, à 45 Km au Sud-ouest de la ville de Tébessa, le premier effondrement enregistré est deux cratères d'environ 50 m de diamètre apparus il ya quelque années, à l'endroit non peuplé dit Douamis et qui n'a causé aucun dommage, un autre effondrement spectaculaire s'est produit en 2009 au centre ville de chéria, qui a causer des dommages à plusieurs immeubles et infrastructure ainsi qu'une panique chez la population.

Les premiers constatations avaient montré qu'il s'agissait d'une rupture au niveau du toit d'une large cavité souterraine courrait dans une formation de calcaire karstifiée de l'éocène surmonté par des formations meuble constitué essentiellement par des alluvions, des argiles et des encroûtements de calcaires.

Notre étude vient pour contribué aux études précédentes, qui sont intéresser à ce phénomène ainsi que d'établir une cartographie des risque d'effondrement en se basons sur la localisation des zones exposées à des mouvements de sol (Carte ZERMOS), est une carte de synthèse.

En hydrogéologie, l'étude des caractères physiques du milieu poreux n'est pas un but en soi. On les étudie dans la mesure seulement ou ils sont nécessaire à résoudre les problèmes pratiques ou théoriques posé pour l'hydrogéologie.

Les facteurs géologiques, morphologiques, et climatiques exercent leur influence sur les écoulements souterrains uniquement par l'intermédiaire des champs de la perméabilité, de la porosité, du coefficient d'emménagement et des conditions aux limites. Les facteurs géologiques sont utiles dans la mesure où ils permettent une estimation quantitative ou qualitative de la distribution de la perméabilité et de la porosité efficace dans les roches, dans notre cas dans les roches karstiques.

Deux cartes de vulnérabilité l'une de pollution et l'autre pour la cartographie des zones d'effondrement, seront le but de notre étude.

La synthèse des résultats sera développée en une conclusion générale.

Notre thème qui s'intitule : Étude de la vulnérabilité à la pollution et aux effondrements d'un milieu karstique fissuré (aquifère carbonaté de l'éocène), par l'utilisation d'un SIG d'une région semi-aride. Cas de la région de Chéria Tébessa. et s'articule autour des chapitres suivants:

- Le premier chapitre concerne une généralité sur le plateau de Chéria (population, occupation de sol, végétations....).
- Le deuxième chapitre sera consacré à la bibliographie, où on trouve la notion de la vulnérabilité ainsi que les lois qui les régissent et le mode d'établissement des cartes.
- Le troisième chapitre de notre thèse, lié spécialement aux matériels et méthodes employés et décrits lors de la réalisation des étapes de notre recherche ainsi que les différentes disciplines pourront contribuer à notre étude.
- Le quatrième chapitre s'est les résultats obtenus, avec leur discussion et interprétation.

I. GENERALITE

[Etude de la vulnérabilité à la pollution et aux effondrements d'un milieu karstique fissuré (aquifère carbonaté de l'éocène), par l'utilisation d'un SIG d'une région semi-aride. Cas de la région de Chéria Tébessa]

I.1 Cadre général

I.1.1 situation géographique

Le plateau de Chéria est une assez grande bourgade avec une vaste plaine centrale située dans l'un des points les plus bas de la dépression et visible des monts environnants. Situé au Nord-est de l'Algérie, entre les parallèles $35^{\circ} 6'$ et $35^{\circ} 27'$ et les méridiens $7^{\circ} 35'$ et $8^{\circ} 00'$ au Sud-ouest de la ville de Tébessa distant d'environ 45 Km.

Cette structure de bassin permet de ne pas manquer d'eau : tout les oueds convergent vers le Sud (l'exécutoire du bassin de Chéria) 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

Le synclinal perché de Chéria (fig. 01) appartient au bassin versant de chott Melghir . Il est de forme grossièrement triangulaire d'une superficie environ 800 km², limité au Nord par le fossé d'effondrement Hamammet- Tébessa-Morsott, à l'Est par le sous bassin versant d'El Ma El Abiod, à l'Ouest par le bassin d'EDALAA et au Sud par le bassin de Thelidjene.

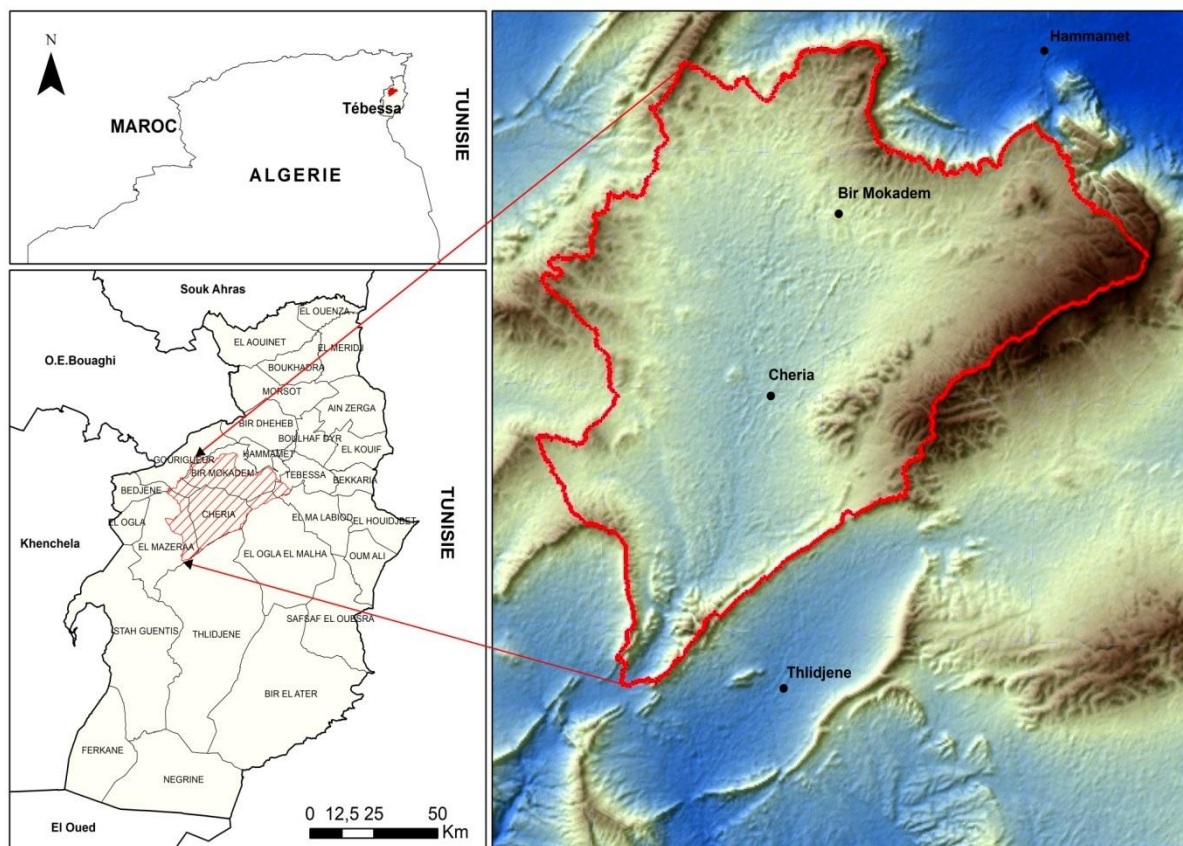


Figure.01 Carte de situation géographique du plateau de Chéria Wilaya de Tébessa

I.2 Aperçu géomorphologique de la région de Chéria

Les reliefs se subdivisent en:

A: Les montagnes

Les montagnes constituent une chaîne de l'Est à l'Ouest et du Nord au Sud, constituée des djebels Doukkane, Tazbent à l'Est, Troubia, Krima, Reddama au Nord, Zeghrata, Kef-Nsour, Djebel Mazraa, Djebel Zora au Sud Djebel Gâagaa au Nord-est. Du point de vue structural cette chaîne fait partie des structures tectoniques atlasiques de la région constituées par une alternance de calcaire et de marnes qui favorisent le dégagement des formes structurales par érosion différentielle.

B. Les Plaines

Localiser essentiellement au centre et au Nord du plateau de Chéria, ou on trouve que les altitudes varient entre 1000 et 1200m. Deux types de plaines peuvent être distingués:

- Les plaines d'érosion
- Les plaines d'accumulation

C. Les dépressions

Le plateau de Chéria est caractérisé par deux dépressions, situées au centre de la plaine juxtaposées l'une au Nord et l'autre au Sud dans la zone d'affleurement des calcaires Éocène.

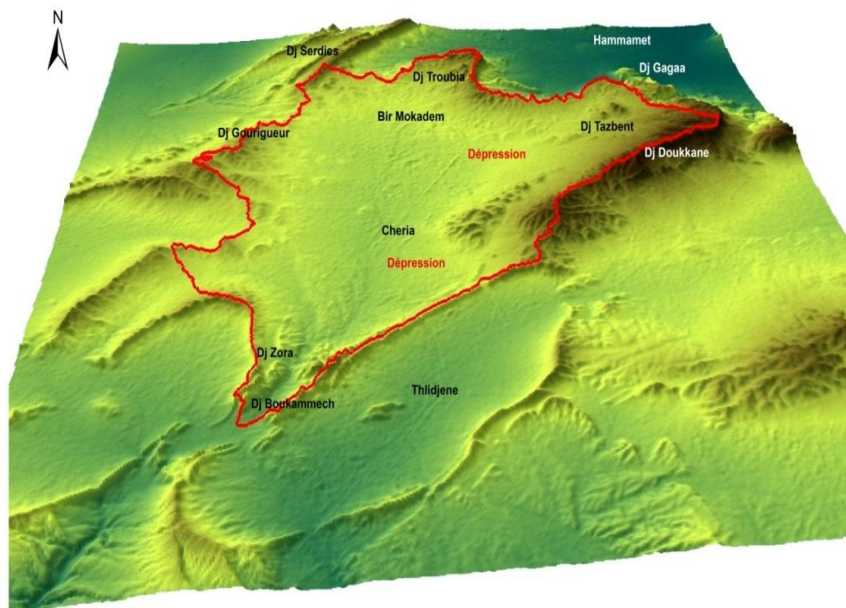


Figure.02: Carte de Relief de la Zone d'étude (Plateau de Chéria) NE-Algérie

D. Le Réseau hydrographique

On appelle ainsi l'ensemble des canaux de drainage naturels, permanents ou temporaires, par ou s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines, soit sous forme de sources, soit par restitution continue le long du lit du cour d'eau (in hydrologie de surface page 152).

Le réseau hydrographique du plateau de chéria (figure03), constitué par plusieurs oueds caractérisés par un écoulement temporaire. L'oued principal dit (Oued Chéria) raccordé par les deux oueds secondaires de Tazbent et Troubia au centre du plateau, pour véhiculer les eaux ver le Sud du bassin versant. Les deux directions d'Oued Troubia (N-S) et celle d'Oued Tazbent (NE-SW) sont engendrées par des mouvements tectoniques post Miocène. Attribués au Villafranchien (Addoum, 1995 in Azizi Yacine 2017).

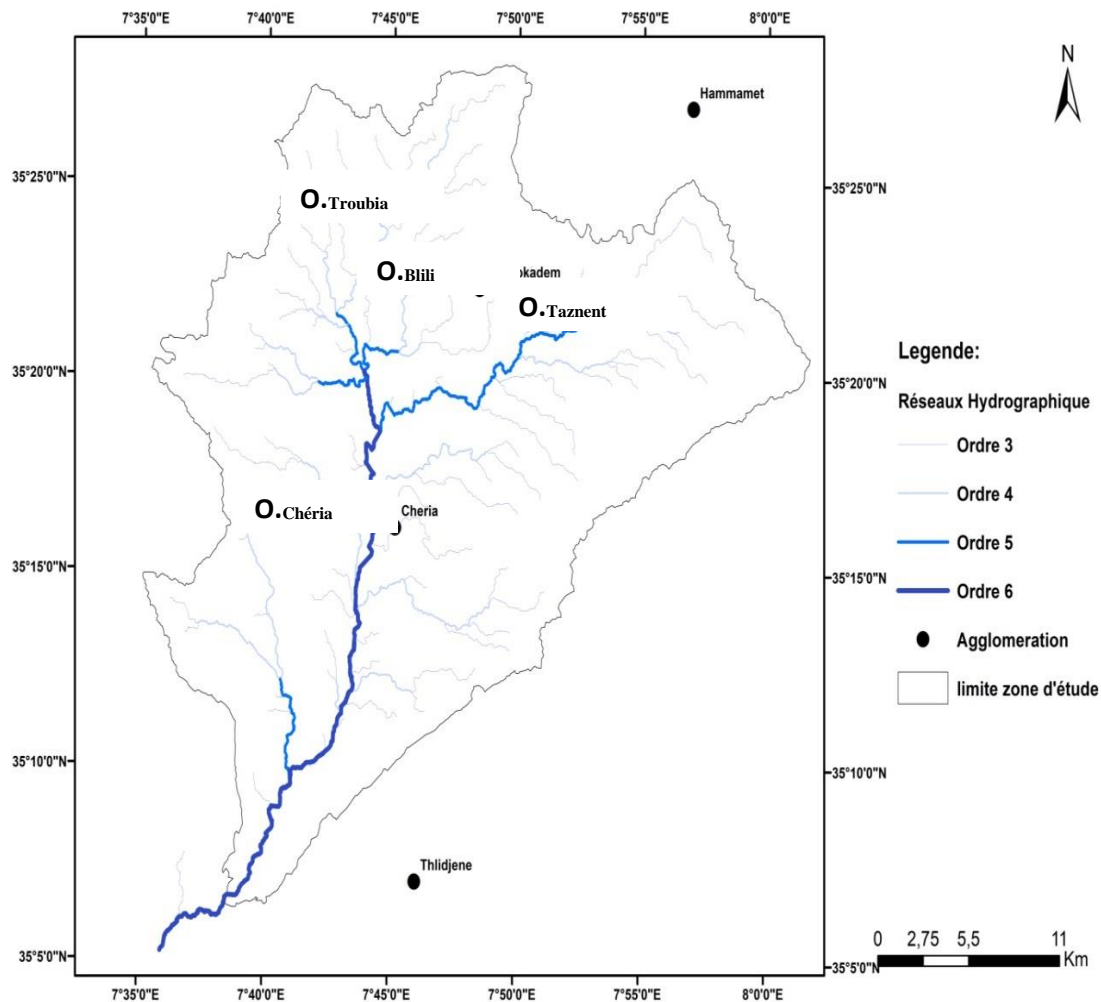


Figure.03 : Carte de Réseau hydrographique

I.3. Aperçu sur le plan d'occupation de sol

Selon la (figure.04), on distingue les répartitions suivantes:

- **Agricole** occupe la majorité du bassin versant, avec un pourcentage de l'ordre de 64.52% de la surface total.
- **Parcours** de l'ordre de 11.98% de la surface du plateau de chéria les parcours sont localisé à l'Est et au Sud-ouest du bassin versant. Tandis que les parcours steppique sont faiblement représentés avec 0.17 % localisés au Sud du bassin.
- **Alfas** ces terres sont localisées à l'Est à l'Ouest et au Nord-est occupant une superficie de 8.43% de la totalité du bassin.
- **Reboisement** moins représentés avec 4.68%, situé à l'Est, au Sud-est, au Nord et l'Ouest.
- **Forêt représentés** sur la carte avec un pourcentage de l'ordre de 0.57%, au Nord et au Sud –Est .

On note que l'urbanisme occupe une superficie égale à 0.5 % du bassin versant.

Tableau n° 01 Distribution des surfaces d'occupation de sol

Type d'occupation de sol	Surface en (Km ²)	Surface en (%)
Agricoles	527.74	64.52
Forêt	4.65	0.57
Maquis	3.1	0.38
Maquis arboré	0.61	0.1
Reboisement	38.26	4.68
Alfas	68.92	8.43
Alfas associé	72.23	8.68
Parcours	97.98	11.98
Parcours steppique	1.36	0.17
Urbain	4.1	0.5

L'irrigation est assurée dans son totalité par les eaux souterraines, pour les cultures irriguées et par les précipitations pour les cultures en sec (Azizi Yacine 2017).

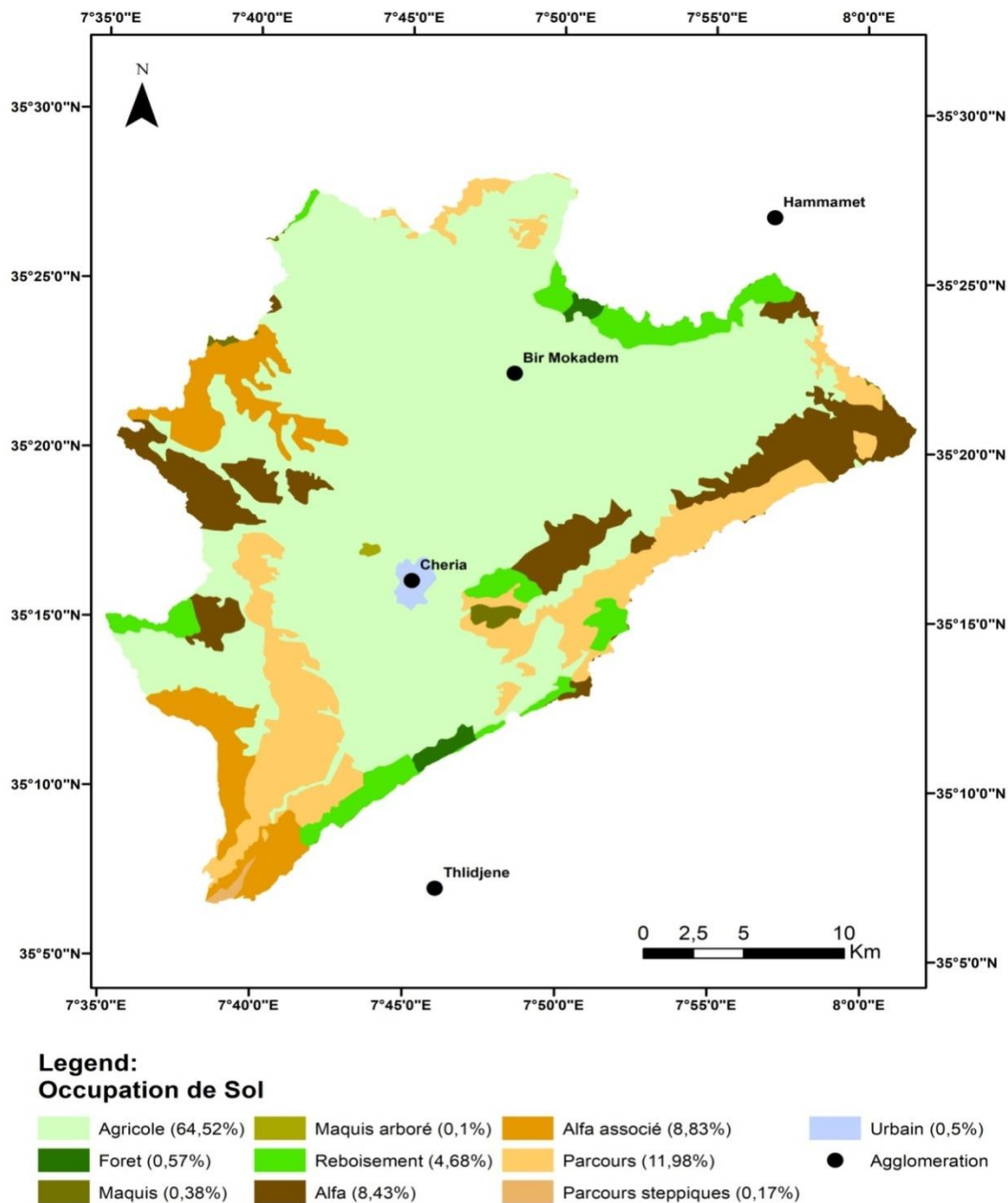


Fig.04 : Carte d'occupation de sol du plateau de Chéria (HCDS) CR-Est

I.4 Populations

Le recensement des populations de l'année 2010 de la région de Chéria compte environ 74129 habitants dont 32952 habitants habitent le chef-lieu de la ville, tandis que 10000 habitants sont installés dans les zones rurales, où l'activité essentielle de la population de la région est l'élevage et l'agriculture, cette dernière est du type pastoral en relation avec l'activité précédente.

I.5 Activités économique

L'activité principale de la population de notre région d'étude est l'élevage, Ovin et Bovin, (F.Baali 2007).

L'agriculture abondante est les légumes telle que la pomme de terre, salades, fève,....etc. ou leurs irrigations est assuré en premier lieu par les eaux souterraines.

Les cultures des céréales vient en seconde préoccupation, de fait sont irrigation est conditionnée par les précipitations qui reste aléatoires et insuffisante. La seule ressource des populations reste l'activité d'élevage pour tout le secteur.

Le coté industrie reste marginaliser, vu l'absence totale des unités industriels, sauf une unité de transformation des produits alimentaires pour bétail (F.baali 2007).

I.6 Le Couvert végétal

Pour ce qui concerne le couvert végétal, la région d'étude caractérisée par son soumise à des courants chauds en périodes estivales, caractéristique de la partie Sud de Chott Melghir, on trouve que la couverture végétale est de couleur très claire, ainsi cette situation peu gêner au Nord du bassin versant le développement de couvert végétal jusqu'à sa disparition total au Sud de Dj Allouchetes, on remarque aussi l'absence presque de la végétation arbustive sauf dans les monts de l'Est ou on trouve des forêts de pins, avec dominance de l'Alfas.

BIBLIOGRAPHIE

[Étude de la vulnérabilité à la pollution et aux effondrements d'un milieu karstique fissuré (aquifère carbonaté de l'éocène), par l'utilisation d'un SIG d'une région semi-aride. Cas de la région de Chéria Tébessa]

II.1 Notions générales de vulnérabilité

La vulnérabilité est le caractère de ce qui est vulnérable, fragile, précaire, de ce qui peut être attaqué, blessé, endommagé. Le terme "vulnérabilité" s'applique aussi bien à des personnes, à des groupes humains qu'à des objets ou à des systèmes (entreprises, écosystèmes, etc.). La vulnérabilité est la fragilité face à la maladie, à des infirmités, à des agressions extérieures, à des événements personnels (deuil, divorce, déception amoureuse, etc.), sociaux-économiques ([chômage](#), licenciement, [crise économique](#), etc.), à des événements naturels (tremblement de terre, éruption volcanique), à des aléas climatiques.

Le degré de vulnérabilité dépend de la sensibilité face aux événements dommageables et de la capacité d'adaptation face à ceux-ci. Pour un être humain, la vulnérabilité peut avoir des conséquences en termes d'[autonomie](#), de santé, d'espérance de vie, de [dignité](#), d'[intégrité](#) physique ou psychique.

II.2 La vulnérabilité des eaux souterraines

En 1971, ALBINET reprend cette définition sous la forme suivante : la vulnérabilité des nappes correspond aux possibilités de pénétration de la propagation des polluants dans les terrains concentrés en surface et au niveau des réservoirs dans lequel est contenue la première nappe d'eau souterraine, généralement libre. **(Berkani.N, Bedhouche.O, 2005)**.

En 1980, PRASCONDALA précise que : définir le degré de vulnérabilité suppose la connaissance préalable du mode d'agression par les polluants et défense de l'aquifère.

En 1994, BARRES écrivait « la vulnérabilité de l'eau souterraine à la pollution s'exprime par la sensibilité de nappe aux différents agents pollueurs exposés à la surface du sol avec des degrés de l'accessibilité à la nappe dépendant que de paramètres physico-chimiques»

On distingue deux types de vulnérabilité : intrinsèque et spécifique **(Schenebelen et al 2002)**. L'intrinsèque fait référence aux particularités hydrogéologiques de l'aquifère qui donne au milieu naturel des caractéristiques déterminant la sensibilité des eaux souterraines à la pollution anthropique. Comparativement à l'intrinsèque, la vulnérabilité spécifique se rapporte aux propriétés hydrogéologiques et à la nature des contaminants potentiels pouvant modifier la qualité de l'eau souterraine et prendre en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec divers composants de la vulnérabilité intrinsèque **(Cloutier et al .2001)**

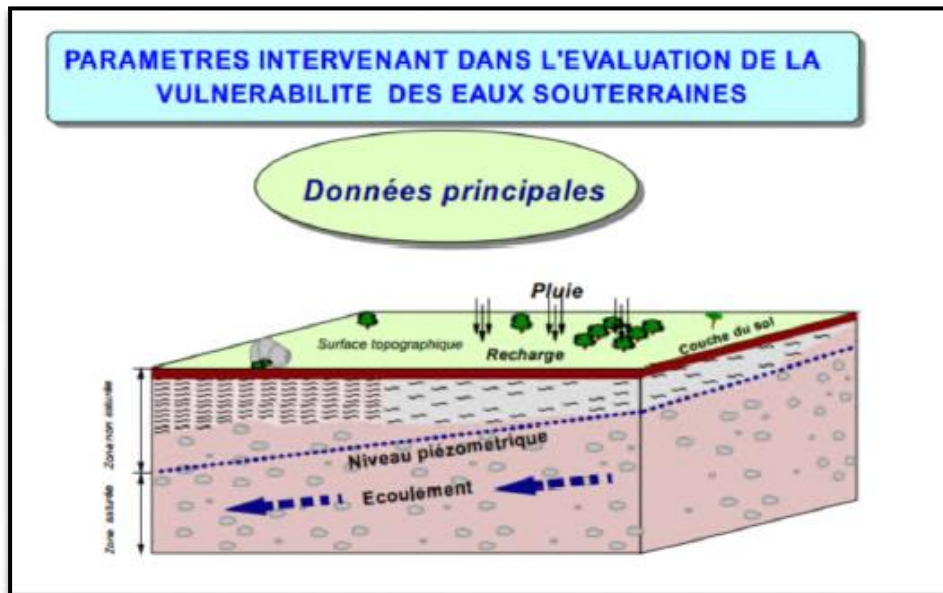


Figure 05 : paramètres intervenant dans l'évaluation de la vulnérabilité des eaux Souterraines. (Mohamed. S, et Najoua. B, 2007) in (BELKEBIR Hania & DEBBOU Fahima2015)

II.2.1 But des cartes de vulnérabilité

Il est difficile de dissocier les notions de vulnérabilité et le risque de pollution. La vulnérabilité est un élément de l'évaluation de la sensibilité d'une nappe à la pollution. Une carte de vulnérabilité superposée à une carte d'inventaire des sources de pollution nous renseigne sur les sites susceptibles aux risques de pollution des eaux souterraines (fig 05).

Les cartes de vulnérabilité constituent une base d'informations essentielles pour l'évaluation des risques de pollution des eaux souterraines. La réalisation de ces cartes repose essentiellement sur la classification des sites en fonction des propriétés et de la géométrie des aquifères en catégorisant la vulnérabilité à partir des divers paramètres du terrain. Ces cartes sont des outils nécessaires aux études d'impact. (Ait hamoudi, T, 2010) (In BELKEBIR Hania & DEBBOU Fahima 2015)

II.2.2 Les critères de la vulnérabilité

Selon Fréchette R ;(1988), Les paramètres d'évaluation de la vulnérabilité sont :

❖ Critères relatifs à la surface du sol :

Cela concerne les éléments qui conditionnent la pénétration dans le sol. On distingue :

Le degré d'imperméabilité, la densité et la nature du couvert végétal.

La perte et la densité de drainage (évaluation du polluant hors des zones polluées), c'est l'aptitude de ruissellement du polluant avec des eaux de pluie, donc une moindre infiltration.

❖ Critères relatifs au sol :

C'est le sol pédologique (zone où se développent les racines) qui se caractérise par :

- La perméabilité (K), qui intègre la granulométrie propre à la fraction fine et le pourcentage des éléments grossiers.
- Le ruissellement (R), réserve facilement utilisable (RFU) du sol (l'eau utilisable par les plantes).
- La capacité d'échange cationique (CEC), importante pour les polluants de type ioniques (métaux). Elle représente la capacité d'un sol à échanger ses ions avec le polluant par le phénomène d'absorption.
- pourcentage de matière organique (MO) qui intervient dans la rétention des polluants organiques.

❖ Critères relatifs à la zone non saturée (ZNS)

Le transfert des polluants dans la zone non saturée est lié aux écoulements à dominance verticale. Cependant, la porosité matricielle des terrains plus ou moins saturés selon les périodes, leur confère un effet capacitif non négligeable qui permet de retarder et / ou d'arrêter l'écoulement vers la nappe. La lithologie des terrains et leur anisotropie matricielle ou stratigraphique est aussi des mécanismes de transfert de la pollution.

Les paramètres les plus représentatifs sont la perméabilité verticale (conductivité hydraulique verticale de la zone non saturée) et l'épaisseur de la zone non saturée.

❖ Critères relatifs à la nature de la zone saturée (aquifère)

L'extension d'un polluant dans la zone saturée d'un aquifère met en jeu des différents mécanismes à savoir :

- La convection contribue à l'entraînement du produit par le flux de la nappe, (Accroissement de la vulnérabilité).
- La dispersion qui permet l'étalement latéral et vertical du polluant grâce à la variation de la vitesse. (Décroissement de la vulnérabilité).
- L'absorption qui contribue à la fixation partielle du polluant sur la matrice.
- La vitesse de l'eau dans la nappe intervient dans le transfert et l'étalement des polluants avec le flux naturel.

❖ Critères relatifs à la nature du polluant

Certains auteurs font intervenir la notion de l'agression des polluants dans leurs méthodes d'évaluation de la vulnérabilité caractérisée par les mécanismes d'évolution et de transformation des polluants. Ils régissent l'interaction entre particules solides, sols et zone non saturée. On admet que la perméabilité (K) et la réserve facilement utilisable (RFU) sont représentatives des conditions hydrauliques du sol tandis que la capacité d'échange cationique (CEC) et le pourcentage en matière organique (MO) des sols jouent un rôle plus important dans les interactions sol/solutés.

Tableau n° 02 : Critères de vulnérabilité

vulnérabilité INTRINSÈQUE		
Sol	Zone non saturée (ZNS)	Zone saturée
Topographie (pente)	Profondeur de la nappe libre ou épaisseur de la ZNS	Type de nappe (libre ou captive)
Pédologie (perméabilité verticale des sols, nature et texture des sols)	Temps de transfert (perméabilité verticale)	Temps de résidence (dépend de l'hydrodynamisme des formations aquifères)
Bilan hydrique (ruissellement et infiltration efficace)		Relation eaux souterraines/eaux superficielles
	Structure de la ZNS (variation de faciès, épaisseur des discontinuités de faciès, position dans le profil vertical, texture, teneur en matière organique et argile)	Piézométrie (sens et direction d'écoulement et évolutions selon la période du cycle hydrologique)
	Présence ou non d'un horizon moins perméable et position de celui-ci	Épaisseur de l'aquifère (quantité de réserve)
		La recharge (recharge annuelle nette).
		Type de système hydrogéologique (caractères plus ou moins capacitif et transmissible)
	Battement de nappe	
	Fracturation (directions et densité)	

L'exploitation de ces critères est souvent normalisée au travers de différentes méthodologies d'analyse de la vulnérabilité des eaux.

II.2.3 Méthodes existantes de cartographie de la vulnérabilité des aquifères

De nombreuses méthodes de détermination de la vulnérabilité des eaux souterraines ont été développées dans le monde, allant des plus complexes avec des modèles prenant en compte les processus physiques, chimiques et biologiques dans la zone noyée, à des méthodes

de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité (Gogu et Dassargues, 1998 b). Elles peuvent être classées en trois grandes catégories :

✓ **Les méthodes de cartographies à index** basées sur la combinaison de cartes de divers paramètres d'une région (critères de vulnérabilité), en donnant un index numérique ou une valeur à chaque paramètre. La combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement multicritères (SIG, par exemple) ;

✓ **Les modèles de simulation** : ils consistent à trouver une solution numérique à des équations mathématiques représentant le processus de transfert de contaminants (Schnebelen 2002). Ils donnent une image de vulnérabilité spécifique de la nappe ;

✓ **Les méthodes statistiques** : elles sont basées sur une variable qui dépend de la concentration en contaminant ou d'une probabilité de contamination. Ces méthodes intègrent des données sur la distribution des contaminants sur la zone d'étude et fournissent des caractéristiques sur les probabilités de contamination sur la zone d'étude. Elles donnent une image de la vulnérabilité spécifique de la nappe.

Différentes méthodes développées et normalisées sont présentées ci-après, les deux premières méthodes présentées sont spécifiques du milieu karstique,

✓ **EPIK** : C'est la première méthode dédiée spécifiquement aux aquifères karstiques sensus-stricto (Doerfliger, 1996 ; Doerfliger et Zwahlen, 1997). Elle est basée sur quatre critères : Epi karst ; Protective Cover (couverture protectrice : sol) ; Infiltration Conditions (conditions d'infiltration) ; Karst network développement (développement du réseau karstique).

✓ **RISKE** : Cette méthode s'inspire de la méthode suisse EPIK en raison de sa spécificité karstique. RISKE est un acronyme qui reprend les initiales des 5 critères pris en compte : Roche aquifère, Infiltration, Sol, Karstification, Epikarst (Petelet-Giraud *et al.*, 2000).

✓ **DISCO** : La méthode "DISCO" (discontinuités - couverture protectrice) a pour but de définir les zones de protection en tenant compte de l'hétérogénéité du milieu. Trois paramètres sont nécessaires et suffisants pour évaluer le transport d'un polluant d'un point quel conque du bassin d'alimentation jusqu'à son arrivée au captage : le paramètre "discontinuités" ; le paramètre "couverture protectrice" ; le paramètre "ruissellement" englobe

les phénomènes d'écoulement de l'eau en surface avant son infiltration (ruissellement de pente, cours d'eau permanents ou temporaires).

✓ **GOD** : Ce système a été développé par Foster en 1987. Il présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée.

Cette méthode est basée sur l'identification de trois critères : Type de nappe (**G**roundwater occurrence) ; Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (**O**verall aquifer class) ; Profondeur de la nappe (**D**epth to groundwater table).

✓ **DRASTIC** : La méthode DRASTIC a été mise au point par l'EPA (Environmental Protection Agency) aux Etats-Unis en 1985 et Aller *et al.* en 1987, afin d'estimer le potentiel de pollution des eaux souterraines (Schnebelen *et al.*, 2002). Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale en se basant sur sept critères : D : Depth to groundwater (distance à la nappe, épaisseur de la zone non saturée) ; R : Recharge (recharge) ; A : Aquifer media (nature de la zone saturée) ; S : Soil media (nature du sol) ; T : Topographie (topographie, pente en %) ; I : Impact of the vadose zone (nature de la zone non saturée) ; C : Conductivity (perméabilité de l'aquifère). La méthode DRASTIC est principalement utilisée pour la cartographie à petite échelle (Lyakhloufi *et al.* 1999).

✓ **SINTACS** : La méthode SINTACS est dérivée de la méthode DRASTIC. Elle a été développée en Italie, au début des années 1990, de manière à s'adapter à la cartographie à plus grande échelle compte tenu de la grande diversité hydrogéologique de l'Italie (Petelet *et al.* 2000). Les paramètres de caractérisation de la vulnérabilité qui ont été retenus dans cette approche sont les mêmes que ceux de la méthode DRASTIC, soit en italien : S : Soggiacenza (profondeur de la nappe) ; I : Infiltrazione (infiltration) ; N : Azione del Non Saturo (fonction de la zone non saturée) ; T : Tipologia della Copertura (sol) ; A : Carratteri Idrogeologici dell' Acquifero (caractéristique hydrogéologiques de l'aquifère) ; C : Conducibilita Idraulica (conductivité hydraulique) ; S : Acclività della Superficie Topographica (pente moyenne de la surface topographique).

Contrairement à DRASTIC, la méthode SINTACS permet d'utiliser, en même temps et dans des cellules différentes, des facteurs de pondération variables selon les situations (Schnebelen *et al.*, 2002).

Tableau n° 03 : méthodes de cartographie de la vulnérabilité

Nom de la méthode	Référence	Type d'aquifère Préconisé	Interprétations des critères l'approche européenne pris en compte	Cible
«AVI»	Van Stempvoort D. et al., 1993	Poreux	O	Ressource
«COP »	Vías J.M. et al., 2002	Karst	O, C & P	Ressource
« DRASTIC »	Aller et al. 1987	Poreux	C, O & P	Ressource
« EPIK »	Doerfliger N., 1996 Doerfliger N. et Zwahlen F., 1996	Karst	C, O & K	Ressource/Source
« GOD»	Foster S.D.D., 1987	Poreux	O & K	Ressource
« GLA-method»	Hölting B. et al., 1995	Poreux	O	Ressource
« LEA »	Dunne S., 2003	Karst	O & C	Ressource
« PI-method »	Goldsheider N. et al., 2002	Karst	O, P & C	Ressource
« REKS »	Malik P. et Svasta J., 1999	Karst	O & K	Ressource/Source
« RISKE 2 »	Plagnes V. et al., 2006	Karst	O, C & K	Ressource/Source
« RISKE »	Petelet-Giraud E. et al., 2000	Karst	O, C & K	Ressource/Source
« SINTACS »	Civita M. et De Maio M., 1998-2000	Poreux	C, O & P	Ressource
« SINTACS Pro Karst »	Cucchi F. et al., 2007	Karst	C, O, P & K	Ressource/Source
« VULK »	Jeannin P.Y. et al., 2001	Karst	O & K	Ressource/Source

II.3 Principaux textes législatifs sur l'eau en Algérie :

La législation de l'eau est l'ensemble des lois intervenant dans la réglementation du service de l'eau.

Depuis l'indépendance, l'Algérie a adopté un ensemble de lois et des textes législatifs intervenant dans la réglementation du service de l'eau.

Les principaux textes sont :

- ✓ Loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983, Portant code des eaux (J.O.R.A. N°30, 19 Juillet1983).
- ✓ Décret n° 84-05 du 02 Janvier 1984, Relatif à la mise en œuvre de l'article 143 de la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux (J.O.R.A. N° 1 du 03 Janvier1984).

- ✓ Ordonnance n° 96-13 du 15 Juin 1996. Modifiant et complétant la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux (J.O.R.A. N° 37 du 16 Juin 1996).
- ✓ Décret exécutif n° 98-348 du 07 Novembre 1998. Fixant les conditions et modalités d'application de l'article 143 de la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, modifiée et complétée, portant code des eaux (J.O.R.A. N° 83 du 08 Novembre 1998).
- ✓ Loi n° 03-10 du 19 Juillet 2003. Relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable (J.O.R.A. N° 43 du 20 Juillet 2003).
- ✓ Décret exécutif n° 04-196 du 15 Juillet 2004. Relatif à l'exploitation et la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source (N° 45 du 18 Juillet 2004).
- ✓ Loi n° 05-12 du 04 Août 2005. Relative à l'eau (J.O.R.A. N° 60 du 04 Septembre 2005).
- ✓ Décret exécutif n° 07-399 du 23 Décembre 2007. Relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau (J.O.R.A. N° 80 du 26 Décembre 2007).
- ✓ Ordonnance n° 09-02 du 22 Juillet 2009. Modifiant et complétant la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau. (J.O.R.A. N° 44 du 26 Juillet 2009).
- ✓ Décret exécutif n° 10-73 du 06 Février 2010. Relatif à la protection quantitative des nappes aquifères (J.O.R.A. N° 11 du 10 Février 2010).
- ✓ Décret exécutif n° 12-187 du 25 Avril 2012. Modifiant et complétant le décret exécutif n° 04-196 du 27 Joumada El Oula 1425 correspondant au 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source (J.O.R.A. N° 25 du 29 Avril 2012).
- ✓ Décret exécutif n° 13-298 du 18 Août 2013. Complétant le décret exécutif n° 04-196 du 27 Joumada El Oula 1425 correspondant au 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source (J.O.R.A. N° 43 du 28 Août 2013).
- ✓ Décret exécutif n° 15-207 du 27 Juillet 2015. En application des dispositions de l'article 14 de la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, le présent décret a pour objet de fixer les modalités d'initiation et d'élaboration du plan national d'action environnementale et du développement durable (P.N.A.E.D.D.) (J.O.R.A. N° 42 du 05 Août 2015).

Synthèse des grandes lignes législatives relatives à la protection des eaux souterraines en Algérie :

La protection des eaux souterraines constitue pour plusieurs raisons, une priorité majeure qui nécessite des politiques concernant la gestion, le développement durable et la conservation de ces ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale.

Les principaux textes législatifs régissant la protection des eaux sont comme suit :

II.3.1. Loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux :

Cette loi a tracé les grandes lignes concernant la protection des ressources en eau souterraine. Elle a abordé la protection des eaux souterraines dans le chapitre 03 à travers les articles 109 jusqu'à l'article 124. L'article 110 a défini le périmètre de protection comme un contour délimitant le domaine géographique à l'intérieur duquel est interdit ou réglementée toute activité susceptible de porter atteinte à la conservation qualitative des ressources en eaux. Les activités pouvant faire l'objet d'interdiction ou de réglementation à l'intérieur des périmètres de protection sont mentionnées dans l'article 111 :

- L'exécution des puits et forages.
- L'exploitation des carrières.
- L'installation de canalisation, réservoirs et dépôts d'hydrocarbure.
- L'installation de canalisations des eaux usées de toutes natures.
- L'établissement de toutes constructions.
- L'épandage de fumier, engrais et tous produits destinés à la fertilisation des sols et à la protection des cultures.
- Les dépôts d'ordures, immondices, détritiques radio-actifs, d'une manière générale, tout produit et matière susceptibles d'altérer la qualité de l'eau.

La protection des eaux souterraines doit faire l'objet d'une protection qualitative des barrages, puits ou forage et aussi une protection quantitative pour les nappes surexploitées.

Il peut être institué des périmètres de protection immédiate ou rapproché, autour des ouvrages de mobilisation, réservoirs enterrés ou semi-enterrés, stations de traitement ou de pompage d'eau, destinés à la consommation humaine, où sont interdites, outre toutes les activités citées à l'article 111 et les activités suivantes :

- La circulation des véhicules automoteurs,
- L'installation de stations de service de distribution de carburant,
- Toute activité sur les plans d'eau, telle que pêche, chasse, navigation, lavage et

nettoyage,

- Toute autre activité susceptible d'altérer la qualité des eaux.

Soumis à autorisation, les travaux de remplacement de réaménagement des installations hydrauliques existantes, sans augmentation des volumes d'eau prélevés.

Dans les zones où les ressources en eaux souterraines sont surexploitées et en vue d'assurer la conservation des débits d'exploitation ou à la mise hors service d'un certain nombre de points de prélèvement, le comptage de l'eau est obligatoire.

Toute implantation d'activité à l'intérieur des périmètres de protection rapprochés ou éloignés est soumise à l'accord préalable de l'administration (J.O.R.A. N°30,1983).

II.3.2. Décret exécutif n° 04-196 du 15 Juillet 2004 :

Cette loi va montrer la nécessité des périmètres de protection contre la pollution comme suit : Il est institué autour de chaque point d'eau minérale naturelle ou d'eau de source un périmètre de protection qualitative.

Si de nouvelles circonstances en font reconnaître la nécessité, ces périmètres de protection des eaux minérales naturelles ou des eaux de source peuvent être modifiés et étendus selon les modalités et procédures qui ont prévalu pour leur délimitation initiale.

Aucun sondage ou travaux souterrains de quelque nature que ce soit ne peuvent être effectués sans l'information et l'approbation de la commission permanente (J.O.R.A. N°45,2004).

II.3.3. La loi n° 05-12 du 4 août 2005 relatifs à l'eau :

Elle a pour objectif de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale, et elle a à assurer et réglementer la protection des ressources par :

- des périmètres de protection quantitative ;
- des périmètres de protection qualitative ;

Des périmètres de protection quantitative : Pour les nappes aquifères surexploitées ou menacées de l'être, il est institué des périmètres de protection quantitative en vue d'assurer la préservation de leurs ressources en eau.

Des périmètres de protection qualitative :

Il est établi autour des ouvrages et installations de mobilisation, de traitement et de stockage d'eau souterraine ou superficielle ainsi que de certaines parties vulnérables des nappes aquifères et des oueds, une zone de protection qualitative comprenant, selon les nécessités de

prévention des risques de pollution :

- **Un périmètre de protection immédiat** : dont les terrains doivent être acquis par l'Etat et protégés par une personne physique ou morale chargée de l'exploitation des ouvrages et installations concernés ;
- **Un périmètre de protection rapproché** : à l'intérieur duquel sont interdits ou réglementés les dépôts, activités ou installations susceptibles de polluer les eaux, de façon chronique ou accidentelle ;
- **Un périmètre de protection éloigné** : à l'intérieur duquel sont réglementés les dépôts, activités ou installations visés à l'alinéa précédent (J.O.R.A. N°60,2005).

II.3.4. Le décret exécutif n° 07- 399 du 23 décembre 2007 :

Ce décret pour objet de fixer les conditions et les modalités de récréation et de délimitation des périmètres de protection qualitative des ressources en eau, ainsi que les mesures de réglementation d'activités dans chaque périmètre de protection qualitative.

Donc selon les nécessités de prévention des risques de pollution, la protection qualitative des ressources en eau est assurée par trois types de périmètres de protection :

- **Le périmètre de protection immédiate** : ce périmètre a la fonction d'empêcher la détérioration des ouvrages de captages de prélèvement et d'éviter le déversement ou les infiltrations de substances polluantes à l'intérieur ou à une proximité immédiate d'ouvrage de captage. Son étendue est constituée par les terrains d'emprise des ouvrages et installations de mobilisation, de traitement et de stockage de l'eau.

- **Le périmètre de protection rapprochée** : a pour but d'empêcher la dégradation de la qualité de l'eau par migration souterraine ou superficielle de substances dangereuses toxiques ou indésirables. Il s'étend depuis la limite du premier périmètre de protection jusqu'à une distance déterminée sur la base du temps de migration souterraine ou superficielle des substances dangereuses, toxiques ou indésirables. Son étendue est déterminée par le temps de migration entre le lieu d'émission de la pollution et le point de prélèvement de la ressource en eau. Pour les eaux souterraines c'est la zone d'appel.

- **Le périmètre de protection éloignée** : qui a pour but de prolonger le périmètre de protection rapprochée pour renforcer la protection contre les risques de pollution chronique, diffuse ou accidentelle. Il s'étend depuis la limite de la zone 2 jusqu'à la limite du bassin versant pour les ressources superficielles ou du bassin d'alimentation pour les ressources en eaux souterraines (J.O.R.A. N°80,2007).

Le décret exécutif n° 07-399 a fixé les conditions et les modalités de création et de délimitation des périmètres de protection en deux sections :

- Les champs d'application

- La procédure d'instauration des périmètres de protection qualitative. Le chapitre II du même décret exécutif a fixé les mesures de réglementation des activités à l'intérieur du périmètre de protection qualitative.

Autour des parties vulnérables des nappes d'eau souterraine ou des oueds, la protection est assurée exclusivement par l'établissement d'un périmètre de protection rapprochée ou d'un périmètre de protection éloignée.

Le décret exécutif a défini les procédures d'instauration des périmètres de protection qualitative des ressources en eaux souterraines, ainsi que toutes les parties ou les personnes chargées de la création et de la surveillance de ces périmètres.

Le décret exécutif a exigé une étude technique pour délimiter les périmètres de protection qualitative autours :

- Des ouvrages et l'installation de mobilisation des eaux souterraines ainsi que de certaines parties vulnérables de nappes d'eaux souterraines.

- Des ouvrages et installation de mobilisation des eaux superficielles ainsi que de certaines parties vulnérables d'oueds.

- Des stations de traitement d'eau, des usines de dessalement d'eau de mer, des stations de déminéralisation d'eau saumâtre ainsi que des réservoirs de stockages d'eau (J.O.R.A. N°80,2007).

II.3.5. Le décret exécutif n° 10-73 du 6 février 2010

Le présent décret a pour objet de fixer les modalités de délimitation des périmètres de protection quantitative des nappes aquifères ainsi que les conditions spécifiques d'utilisation de leurs ressources en eau. Donc sur cette base toute nappe aquifère, dont le bilan hydrogéologique fait ressortir un déséquilibre chronique entre les prélèvements d'eau et les capacités renouvelables de l'aquifère, traduisant soit une situation de surexploitation, soit une évolution pouvant conduire à une situation de surexploitation, fait l'objet d'un dispositif de protection quantitative (J.O.R.A. N°11,2010).

II.4. Comprendre c'est quoi le risque ?

Le risque est la "possibilité de survenance d'un événement susceptible de porter atteinte à l'équilibre naturel" dit le dictionnaire de l'Environnement (1991). Le risque résulte "de la conjonction d'un aléa et des enjeux en présence". Des précisions sont nécessaires :

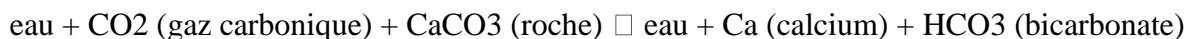
- aléa est la "probabilité d'un événement qui peut affecter le système étudié naturel ou technologique" ;
- les enjeux sont "les personnes, les biens, les équipements, l'environnement menacé par l'aléa et susceptibles de subir des dommages et des préjudices" : un séisme survenant en plein Sahara présente un risque faible ; à Alger et à magnitude égale, le risque est majeur.
- la vulnérabilité "mesure les conséquences dommageables de l'événement sur les enjeux concernés". La connaissance des processus en action, de la nature et de l'importance des enjeux, permet d'appréhender le risque et la vulnérabilité.

Ces effets indirects peuvent être particulièrement lourds dans des zones de relief de forte énergie. L'aléa caractérise l'évolution dynamique de la terre et la connaissance de l'aléa permet d'en déduire la vulnérabilité, Les travaux sur les risques portent davantage sur l'aléa que sur la vulnérabilité.

II.4.1. Le processus de karstification

La spécificité du karst provient du processus de karstification qui est à l'origine de la dissolution des massifs carbonatés (calcaires et dolomies), notamment au niveau des zones de plus grande conductivité hydraulique constituées par les discontinuités tectoniques et stratigraphiques qu'ils comprennent.

La dissolution de la roche calcaire par l'eau associée au gaz carbonique fait intervenir de nombreux paramètres physico-chimiques dans un ensemble de réactions qui peut être simplifié ainsi :



L'eau chargée en gaz carbonique dissout le carbonate de calcium de la roche pour former des ions dissous de bicarbonate de calcium qu'elle transporte et évacue hors des massifs. Elle élargit progressivement les vides initiaux dans lesquels elle circule, en façonne les parois et les agrandit jusqu'à créer de véritables chenaux qui facilitent l'infiltration et accentuent le processus amorcé. Il en résulte une morphologie de surface caractéristique (lapiaz, dolines, etc.) associée à un paysage souterrain constitué par les grottes et les gouffres. C'est ainsi le seul aquifère naturellement pénétrable par l'homme.

Le développement des réseaux karstiques est un processus dynamique en perpétuelle évolution au cours du temps, même si cette évolution est difficilement perceptible à l'échelle humaine. Il est conditionné par les trois facteurs suivants :

- le potentiel de karstification (quantités d'eau et de gaz carbonique disponibles, géométrie externe du massif),
- la structure interne du massif,
- le temps.

Le karst tend ainsi vers une organisation des écoulements, au travers d'une structure de drainage aboutissant à un nombre limité d'exutoires, voire un seul, jusqu'à ce que s'établisse un équilibre.

Globalement, le processus de karstification tend donc vers un équilibre : la dissolution devient négligeable, sinon nulle, lorsque le temps de séjour de l'eau est très court. Malgré des débits élevés, les karsts peuvent ainsi cesser d'évoluer avant que tout le massif ait été dissous. Seule la variation du niveau de base peut alors entraîner une reprise du mécanisme de dissolution.

La mise en place d'un réseau karstique de drainage peut s'effectuer en un temps très court à l'échelle géologique : moins de 10 000 à 20 000 ans. Aussi, les réseaux liés à une phase de karstification donnée ont-ils généralement le temps de se mettre en place et de tendre vers un équilibre avant que n'interviennent des variations des conditions extérieures.

Les variations climatiques entraînent une modification des quantités d'eau infiltrées, donc de matières transportées, ce qui peut se traduire par une sédimentation et un colmatage, ou au contraire par une accélération du processus de karstification ou la réactivation d'anciennes structures. Des changements dans le niveau des exutoires, principalement sous l'effet de mouvements tectoniques ou de variations du niveau de la mer, peuvent aussi entraîner la mise en place d'un nouveau réseau de drainage ou le colmatage des structures existantes. On peut ainsi aboutir à une succession de réseaux spéléologiques superposés.

II.4.2. Conceptualisation du karst

Plusieurs schémas ont été proposés pour conceptualiser le karst, correspondant à des approches et/ou des observations particulières, parfois caractéristiques d'un contexte régional :

- agencement de conduits reliant des pertes de rivières de surface à une résurgence, comme le représente la vision initialement et intuitivement imposée par l'exploration spéléologique [Martel, 1910 et 1927],

- ensemble régulier de fractures élargies drainant des eaux stockées dans des blocs constituant une matrice assimilable à un milieu poreux [Droge, 1974] (figure 06),

- structure organisée à l'échelle d'un massif, avec une hiérarchisation des écoulements souterrains, au travers d'une structure de drainage aboutissant à un nombre limité d'exutoires (organisation analogue à celle des réseaux hydrographiques de surface). L'unité de drainage qui en résulte correspond au système karstique sensu stricto [Mangin, 1982] (figure 07).

Si la première conceptualisation est aujourd'hui abandonnée par les hydrogéologues car elle ne prend pas en compte les réserves en eau contenues dans les zones non accessibles à l'homme, les deux autres approches sont parfois opposées. Or, elles ne sont pas incompatibles si on considère les deux propriétés fondamentales qui résultent du processus de karstification :

- **le degré d'évolution de l'aquifère** : la karstification correspond à une évolution, au cours de laquelle certains vides du milieu fissuré originel s'élargissent alors que d'autres se colmatent, pouvant aboutir à terme à la création d'une structure de drainage organisée et isolée du milieu fissuré originel,

- **la fonctionnalité de l'aquifère** : l'existence d'un comportement karstique des écoulements résulte de la conjonction d'une structure organisée et d'un fort potentiel hydraulique aux limites du système. Si l'un de ces éléments manque, comme cela peut être le cas lors d'une remontée du niveau de base, il n'y a plus de comportement karstique d'un point de vue hydraulique et le système n'est alors pas fonctionnel.

Ainsi, en fonction du degré d'évolution atteint par les systèmes karstiques, des différents événements intervenant au cours du processus de karstification et des différentes configurations possibles (présence ou non d'un impluvium non karstique, système jurassien ou vaclusien), il existe une multitude d'aquifères formant un continuum à partir de l'aquifère carbonaté originellement fissuré jusqu'au karst avec une organisation hiérarchique des écoulements.

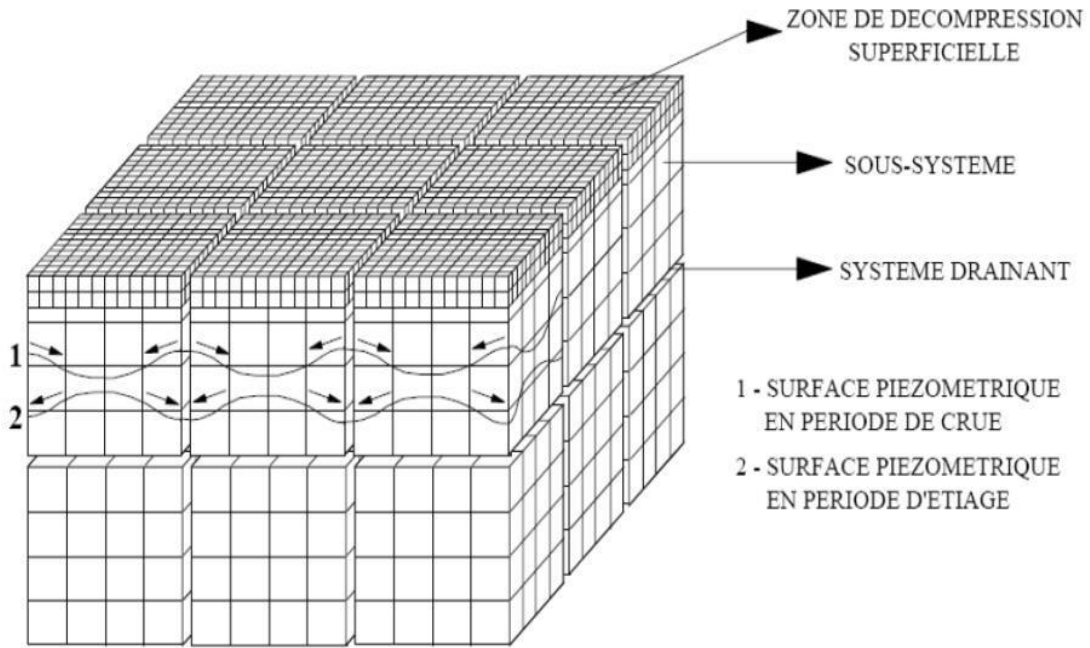


Figure 6 - Schématisation d'un système karstique selon une approche structurale (Drogue, 1971)

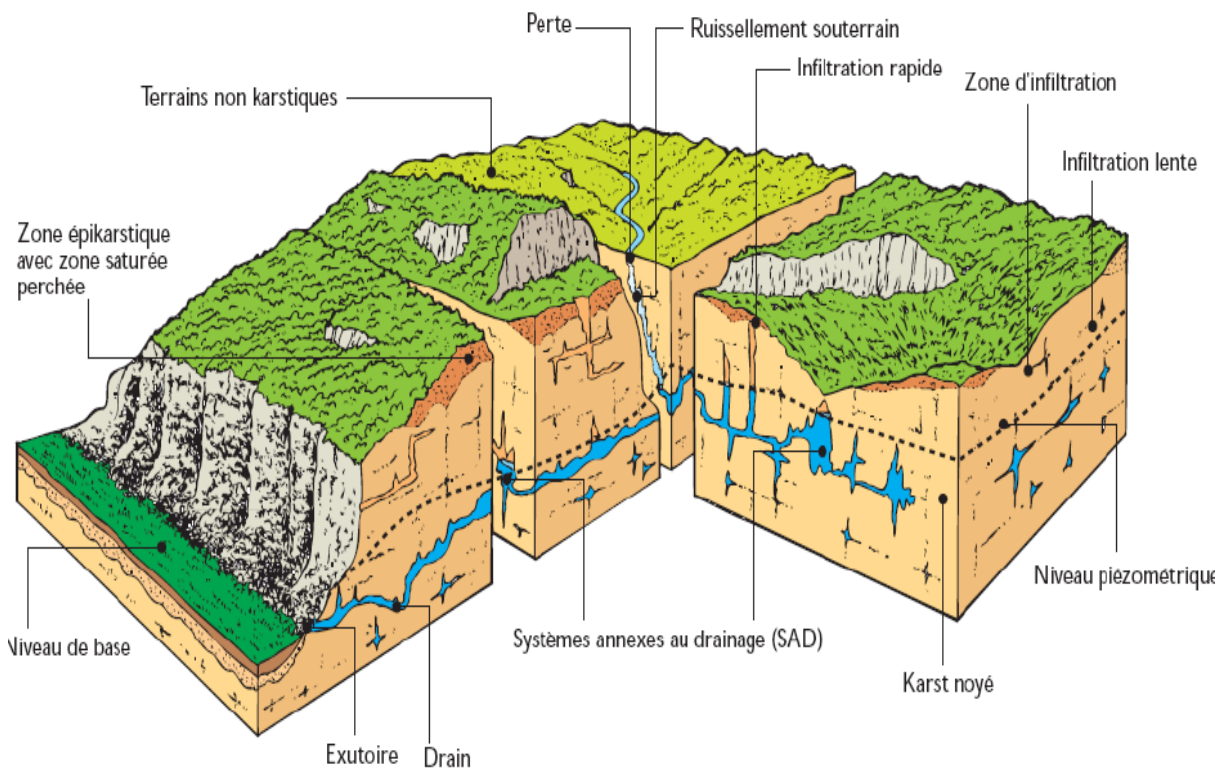


Figure 7 - Représentation schématique d'un aquifère karstique (AERMC 1999 d'après Mangin 1975)

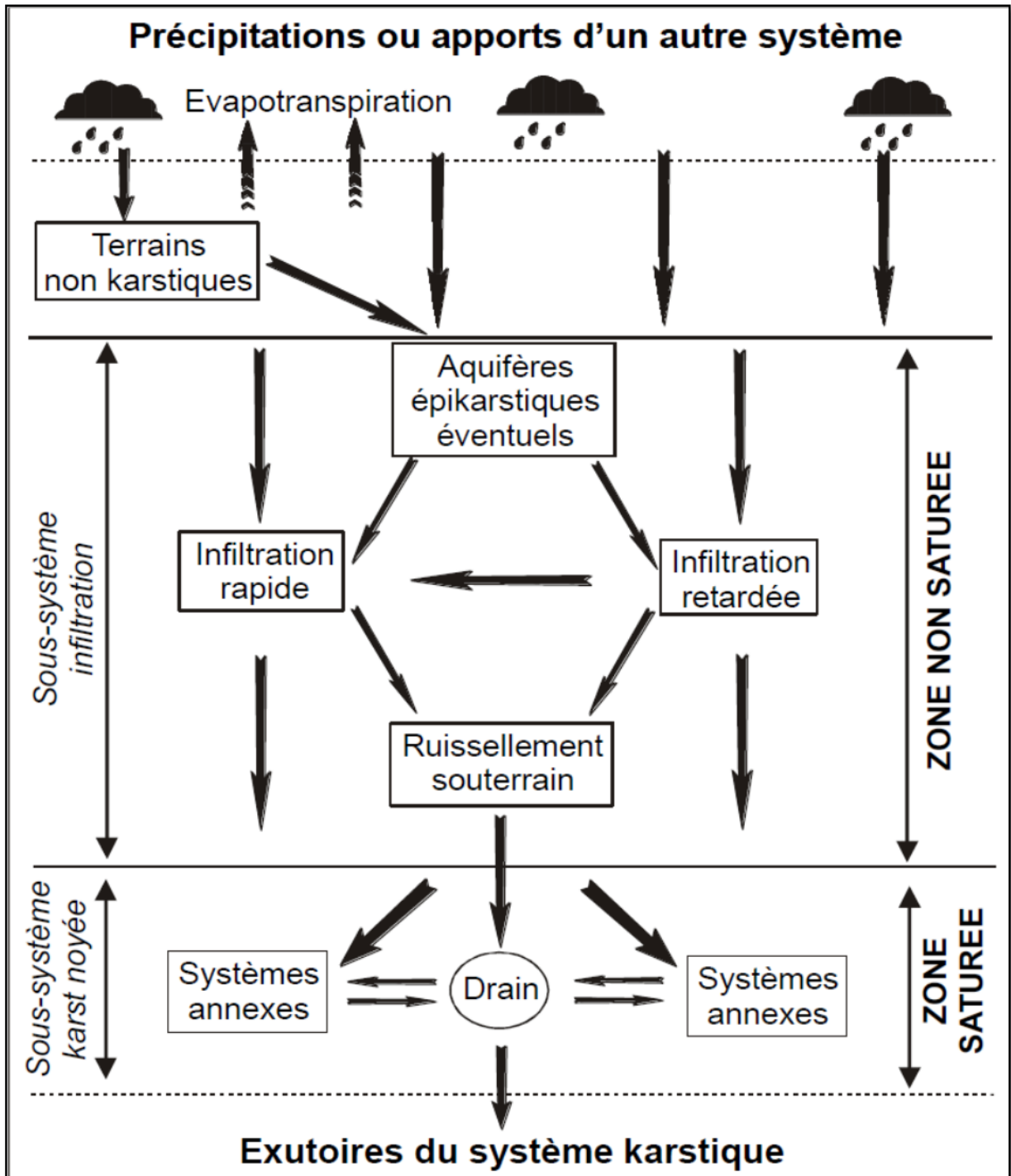


Figure 8 - Schématisation du fonctionnement de l'aquifère karstique (d'après Mangin, 1975)

II.4.3. Phénomènes karstiques de surface

La première caractéristique des paysages karstiques est l'absence d'écoulements de surface. Les cours d'eau, issus de domaines non karstiques ou de recouvrements imperméables, peuvent disparaître rapidement dans des pertes et peuvent réapparaître à l'air libre sous forme de résurgences. Il s'agit là d'un des phénomènes les plus spectaculaires du karst.

Les **lapiez** (lapiaz au singulier), très courants dans le modelé karstique de surface, se présentent sous la forme de "champs" de cannelures ou de sillons, plus ou moins profonds, creusés à la surface des bancs calcaires. Ils peuvent recouvrir entièrement certains plateaux calcaires, leur donnant un aspect lunaire. Il existe une très grande variété de lapiaz qui est due à différents facteurs régissant leur formation et leur développement (pente du terrain, lithologie et texture de la roche, importance des précipitations, présence ou non d'une couverture pédologique et végétale, ...).

Il est possible de distinguer deux formes principales :

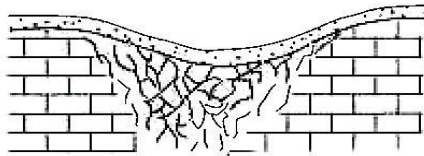
- les lapiez de surface : ils se forment rapidement par la dissolution directe de l'eau de pluie ou de fonte de neige. Ils sont majoritairement présents dans des régions avec des précipitations très intenses, notamment les karsts d'altitude. Leurs formes sont tranchantes au toucher ;
- les lapiez sous couverture : ils se forment lentement sous une couverture pédologique par des réactions chimiques avec le CO₂ d'origine biologique. Il en résulte des formes adoucies et lisses.

Les **dolines** font partie des phénomènes morphologiques de surface les plus caractéristiques du modelé karstique. Ce sont des dépressions fermées, circulaires ou ovales, dont la profondeur peut atteindre une centaine de mètres. Elles se présentent parfois en champs, transformant ainsi la surface calcaire en véritable "écumoire". Leur fond est souvent tapissé d'argiles rouges (appelées *terra rossa* dans les pays méditerranéens), issues de la dissolution du calcaire. Ces argiles colmatent les fissures et entravent ainsi leur approfondissement. Les dolines peuvent toutefois continuer à s'élargir : la cuvette initiale est alors transformée et prend souvent l'aspect d'une dépression irrégulière, allongée suivant l'axe principal de la fracturation. Elle peut ainsi annexer une autre doline, formant alors une *ouvala*. Plusieurs facteurs entrent en jeu dans la formation des différents types de dolines : la lithologie de la roche (calcaire fin, homogène, dense, dolomitique...), le pendage (influence la

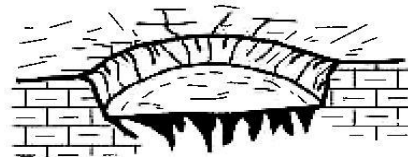
forme), la fracturation (influence sur la localisation), et l'exposition climatique. Leur développement est favorisé par la présence d'une couverture végétale.

Quatre types principaux de dolines peuvent être distingués (figure 9) :

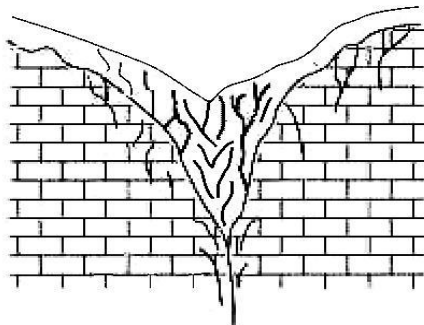
- la doline à « fond plat » (cuvette ou baquet) : sa profondeur est plus petite que son diamètre et la pente de ses bords est faible. Comme l'indique le nom, le fond de cette doline est plat et rempli d'un sol argileux, pouvant entraîner la rétention d'eau ;
- la doline « en entonnoir » : ce type de doline présente un diamètre qui est de l'ordre de deux à trois fois sa profondeur. Les angles de la pente sont plus marqués que dans le cas d'une doline à « fond plat ». Son fond ou ses bordures peuvent comporter un orifice naturel par lequel les eaux peuvent s'évacuer ;
- la doline d'effondrement : l'origine de ce type de doline est l'effondrement du plafond d'une cavité sous-jacente. Le diamètre de cette doline est plus petit que sa profondeur avec des pentes verticales qui donnent directement sur le fond plat de la doline. Ce fond est en général rempli de blocs et peut parfois donner directement sur la nappe (cénotes des karsts tropicaux).
- la « méga-doline » dont le diamètre est supérieur à 500 m avec une profondeur pouvant dépasser 100 m (elle se rencontre principalement sous des climats tropicaux ou équatoriaux).



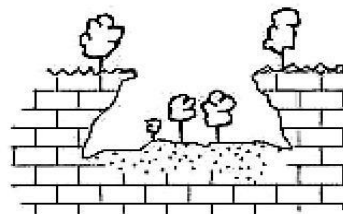
Doline en cuvette



Doline en baquet



Doline en entonnoir



Doline d'effondrement

Figure 9- Principaux types de dolines (Précis de karstologie – Salomon, 2000)

Les **poljés** sont des dépressions fermées de grandes dimensions (quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres), plus longues que larges, soumises à des inondations périodiques. Ils sont parcourus par des petits cours d'eau, pérennes ou temporaires, dont les eaux sont absorbées par des gouffres, appelés *ponors*. Les poljés constituent de vastes plaines dont le fond est généralement occupé par des dépôts insolubles qui constituent des terrains fertiles et cultivés au milieu de l'aridité habituelle des plateaux calcaires. Ils se distinguent des vastes dolines par leur plancher alluvial à fond plat indiquant l'existence d'une nappe d'inondation sous-jacente. Les poljés ont souvent une origine tectonique et il n'est pas rare qu'ils soient liés à des fossés d'effondrement ou à des plis coiffés.

Les **canyons** font également partie des paysages karstiques. Ce sont des gorges, souvent profondes, entaillant des régions calcaires tabulaires. Ils sont généralement dus à l'enfoncement d'un cours d'eau prenant sa source à l'extérieur du domaine karstique et dont le débit est suffisant pour compenser les pertes par absorption. Ils constituent le niveau de base régional des eaux et conditionnent ainsi la position des exutoires.

Enfin, les **cavités** s'ouvrant dans ces paysages font partie intégrante des phénomènes karstiques de surface et contribuent à leur singularité. Les noms qui leur sont attribués dépendent de leur morphologie (grottes ou cavernes pour les réseaux horizontaux, gouffres et avens pour les cavités verticales comprenant des puits). Les avens constituent des points d'infiltration rapide vers des circulations souterraines dans la zone d'infiltration et vers la zone noyée.

Suite aux processus de karstification, les aquifères karstiques acquièrent une morphologie spécifique, en surface avec la présence de dolines, de vallées sèches, de lapiez, de gouffres et à l'intérieur du massif carbonaté avec l'existence de réseau de conduits pénétrables ou non par l'homme. Ces réseaux de conduits sont verticaux et horizontaux ; leur développement s'est effectué au cours des temps géologiques, influencés par les conditions externes tels que le climat, la végétation, les variations de niveau marin et donc du niveau de base avec le creusement des vallées, la nature de la roche et la tectonique. La karstification organise progressivement les écoulements et la structure des vides au sein de l'aquifère. Le fonctionnement de l'aquifère karstique, qui se manifeste notamment par la réaction de la source suite à des précipitations ou alimentation par des pertes, dépend globalement de l'existence et de l'organisation des vides au sein de sa matrice.

Le fonctionnement d'un aquifère karstique traduit différentes caractéristiques

(Bakalowicz, 1999) : (1) variabilité spatiale et temporelle importante des paramètres hydrodynamiques du milieu aussi bien dans la zone d'infiltration que dans la zone noyée ; (2) existence de forts contrastes de perméabilité ; (3) existence de vitesses d'écoulement souterrain très rapide.

L'organisation des écoulements au sein de l'aquifère aboutissant à des sources caractérisées par des débits pouvant être importants est le résultat du passage de l'eau au sein du massif calcaire de part l'existence d'un gradient hydraulique et d'autre part de son chimisme. L'eau crée ses propres structures de drainage en utilisant des fissures et fractures, aboutissant à la création de systèmes karstiques (Mangin, 1975) ; le système karstique constitue une entité à part entière au sein d'un aquifère karstique, sur laquelle les paramètres de la vulnérabilité intrinsèque doivent être définis.

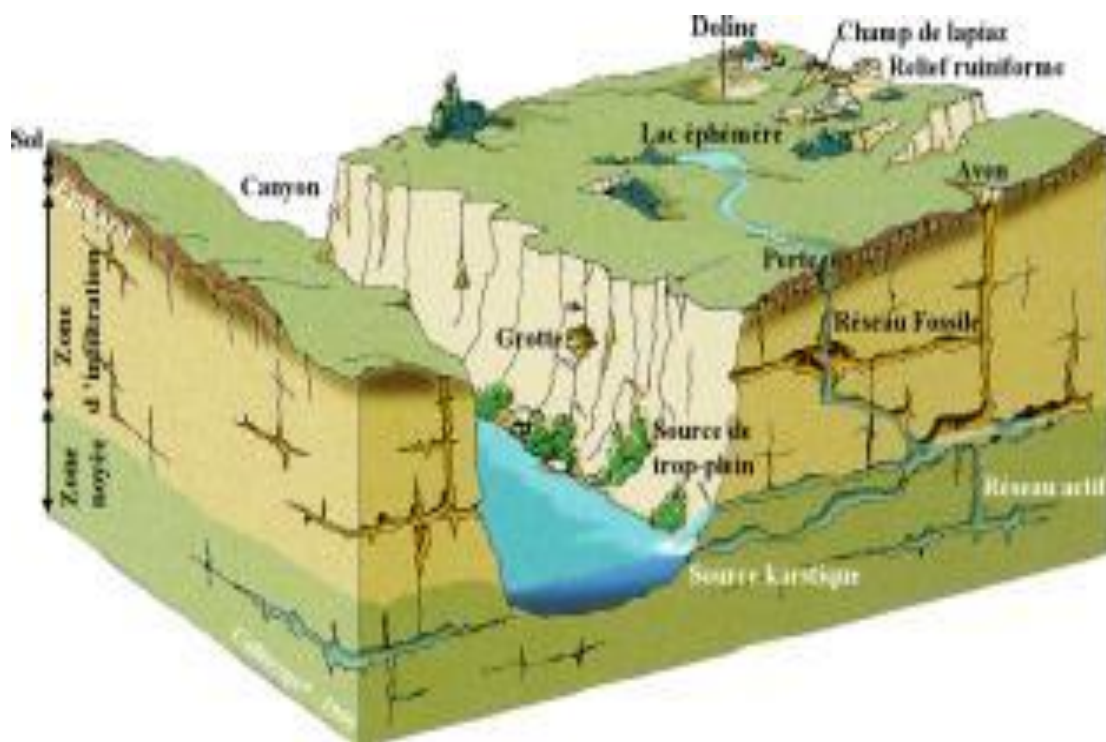


Fig. 10: Représentation schématique d'un aquifère karstique (Bakalowicz, 1999)

Un aquifère karstique comprend globalement deux zones principalement dans la verticalité :

La **zone d'infiltration** : partie non saturée de l'aquifère, assurant l'écoulement des eaux d'infiltration au travers du massif, avec souvent un écoulement à composante horizontale prépondérante au niveau de l'épikarst, zone sous-cutanée de l'aquifère, d'une puissance de quelques mètres à une à deux dizaines de mètres, pouvant jouer le rôle de zone de stockage temporaire.

La **zone noyée** : cette zone se situe en-dessous de la zone d'infiltration ; elle renferme la ressource exploitable soit à l'aide d'un forage, soit au niveau de la source. Deux types de structure sont à distinguer : (1) le réseau karstique constitué d'un ensemble organisé de drains, siège principal des écoulements au sein de la zone noyée et (2) les blocs peu perméables encaissants le réseau de drains, siège d'écoulements lents, au sein desquels des volumes de stockage importants peuvent prendre place, latéralement au réseau de drains.

L'aquifère karstique se distingue des aquifères poreux et des aquifères fissurés par le fait qu'il possède des vides de grandes dimensions, dans lesquels les eaux souterraines sont susceptibles de circuler très vite, qui se sont développés au cours de son histoire géologique.

L'aquifère karstique possède des modalités d'infiltration particulières qui n'existent pas dans les autres aquifères. Il existe en surface, sur quelques mètres d'épaisseur, une zone plus perméable du fait de l'altération : **la zone épi karstique ou épi karst**. L'épi karst rassemble l'eau d'infiltration dans une nappe perchée locale et discontinue, drainée vers le bas soit par les vides les plus larges en un ruissellement souterrain rapide, soit par les vides de petites dimensions, en une infiltration lente écoulant un mélange d'air et d'eau. Par ailleurs, au contact de formations imperméables et du calcaire, des pertes absorbent les écoulements de surface et constituent une alimentation directe par ruissellement à fort débit de la zone noyée.

Lorsque des écoulements de surface contribuent à l'alimentation de la zone noyée à partir de pertes, le système karstique comprend d'une part la partie aquifère proprement dit et le bassin de surface drainé par des pertes. On distingue donc:

- les systèmes karstiques unaires (système karstique = aquifère karstique),
- les systèmes karstiques binaires (système karstique = aquifère karstique + bassin de surface drainé par des pertes).

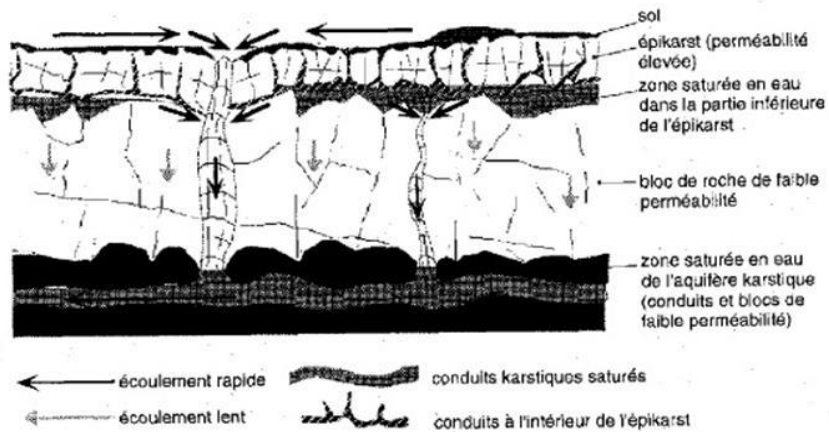


Fig. 11 : Représentation schématique du fonctionnement de l'épi karst (Jeannin 1996, d'après Smart et Friedrich 1986).

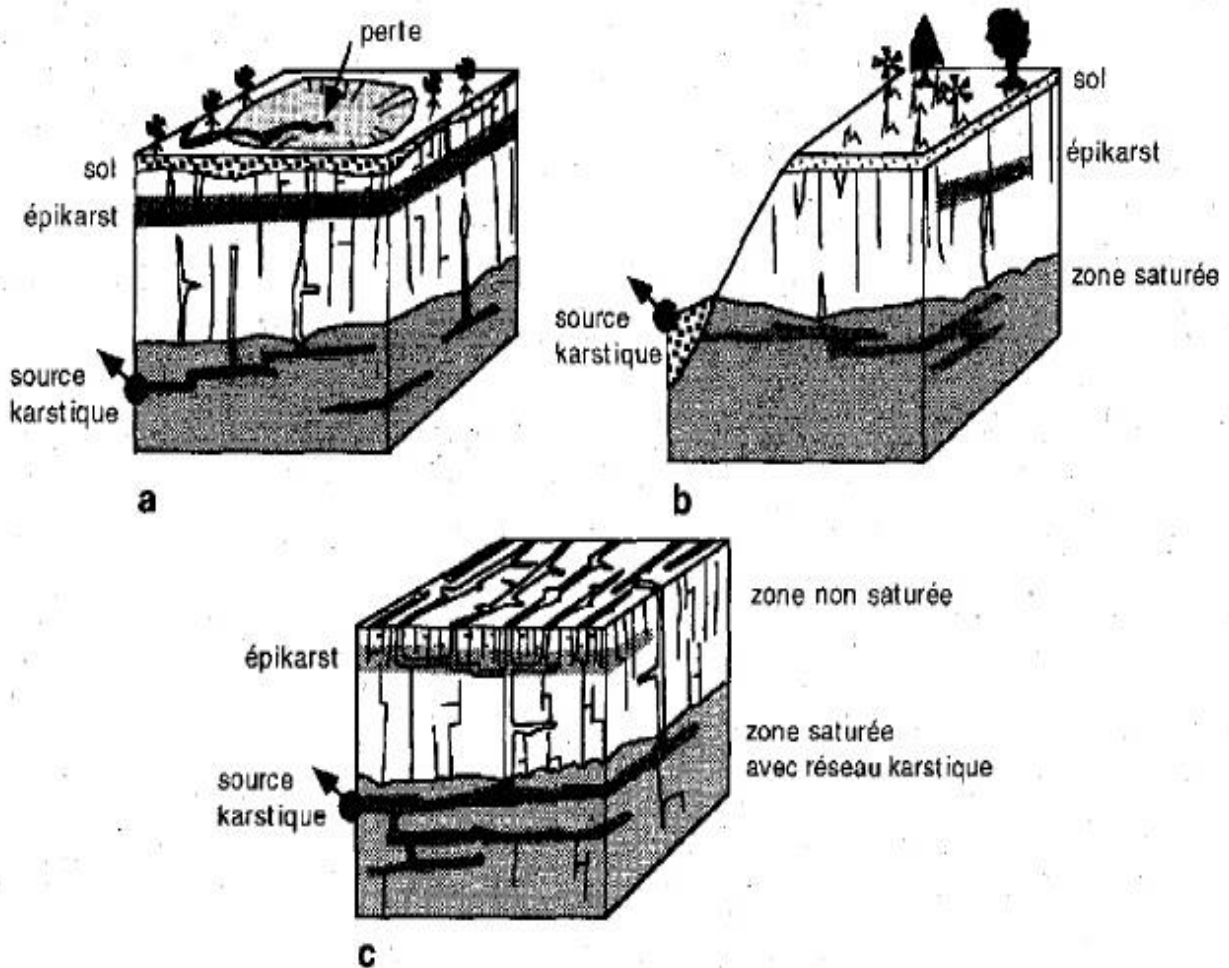


Fig. 12 (a, b, c) : Quelques exemples de combinaison des critères prépondérants pour la vulnérabilité des aquifères karstiques

II.4.4. L'histoire des terrains accueillant les réseaux karstiques

La karstification peut toucher toutes roches solubles. Cependant, en proportion sur la planète, la roche soluble la plus répandue est la roche calcaire.

Cette roche se met en place au fond des océans par accumulation des carbonates précipités à partir des éléments dissous dans l'eau. Cette précipitation se fait soit par les organismes dans la construction des tests ou coraux (calcaires à entroques ou bioclastiques, calcaires récifaux et falun), soit par variation des paramètres de l'eau engendrant une précipitation autour d'un nodule, qui peut être organique ou rocheux (calcaires oolithiques ou pisolithiques) ou non (dolomies).

Il existe différents types de calcaires suivant :

- la composition chimique de base de l'eau,
- la profondeur du fond,
- les courants,
- le taux d'activité organique induisant une sédimentation plus ou moins massive,
- la température et la pression qui vont jouer un rôle important dans la concentration

des carbonates disponibles dans l'eau.

II.4.5. Conséquences du fonctionnement du karst sur la vulnérabilité

La représentation schématique de l'aquifère karstique présentée à la (figure7et10) Correspond à un modèle conceptuel cohérent du comportement hydrodynamique et des processus de transport. C'est à partir de cette représentation que l'on définit la vulnérabilité. En étiage, l'eau des blocs peu perméables constitue l'essentiel du débit des sources. Cette eau a séjourné un temps relativement important dans l'aquifère et a transité en grande partie par des zones peu perméables. En hautes eaux, plus de la moitié des eaux d'infiltration résultant d'un événement pluvieux traverse rapidement l'aquifère au moyen d'importants conduits. La vulnérabilité dépend donc des conditions d'infiltration de l'aquifère (conditions aux limites), ainsi que de la répartition spatiale de la conductivité hydraulique et du coefficient d'emmagasinement (champ des paramètres physiques) qui jouent un rôle primordial sur les processus d'écoulement et de transport.

La répartition spatiale des paramètres physiques de l'aquifère et son effet sur la vulnérabilité des captages sont liés sur le terrain à deux critères prépondérants: *le réseau karstique* et *l'épi karst*. Le réseau karstique a une géométrie complexe en raison des nombreuses ramifications possibles dans l'espace tridimensionnel de la formation aquifère. Il peut être plus ou moins développé et ramifié, en fonction de son histoire géologique,

hydrogéologique, chimique, physique et biologique.

Le captage ou la source en milieu karstique sera en principe très vulnérable s'il existe un réseau karstique et un épi karst bien développé qui lui sont directement reliés au sein de l'aquifère (figure 12c). Le captage ou la source sera moins vulnérable si l'épi karst n'est pas directement relié au réseau karstique; en général, le captage sera encore moins vulnérable si l'aquifère ne contient pas de réseau karstique ni d'épi karst (il s'agit alors d'un aquifère fissuré non karstique). Ainsi, il est évident que la délimitation de zones de protection en milieu karstique ne peut s'effectuer à partir d'un seul critère. Au contraire la mise au point et l'utilisation d'une méthode multicritère tenant compte du fonctionnement spécifique du karst est indispensable pour atteindre l'objectif fixé.

II.4.6. Exploitabilité des aquifères karstiques

L'évolution de l'état des nappes en milieu poreux ou fissuré est suivie grâce à un réseau de mesures piézométriques. Celles-ci sont réalisées sur des puits et des forages, dont la représentativité est telle qu'elles permettent de reconstituer la géométrie de la surface piézométrique à l'échelle régionale. En milieu karstique, les observations faites sur des forages sont rarement représentatives de la situation de l'ensemble de l'aquifère. En revanche, le débit des sources karstiques et son évolution au cours du temps donnent une information très précise sur l'ensemble du système. C'est pourquoi les réseaux d'observations et de contrôle des ressources en eau karstique doivent s'appuyer sur des stations de mesures hydrométriques installées immédiatement à l'aval des sources. Par ailleurs, étant donné que les systèmes karstiques d'une même région possèdent des caractères différents (état de la karstification à des stades de développement différents, système unaire ou binaire, importance variable du stockage en zone noyée, épaisseur différente de la zone d'infiltration, présence éventuelle d'une couverture perméable de sol ou d'alluvions, etc.), il est nécessaire de choisir les sources devant faire partie du réseau de manière à prendre en compte les différentes situations. Enfin, compte tenu de la variabilité remarquable des débits des sources karstiques, et contrairement aux réseaux piézométriques, les mesures périodiques sont inexploitable ; un suivi en continu des débits s'impose.

La validité et l'applicabilité des modèles équivalents est une question cruciale dans la modélisation des aquifères fissurés et karstiques. Les modèles de milieux poreux équivalents sont souvent utilisés en hydrologie karstique sans tester leur applicabilité. Kovacs *et al.* (2005) montrent que dans le cas des processus de récession des aquifères karstiques si

l'hétérogénéité du système karstique est inférieure à un seuil quantitatif défini, les conduits ne peuvent pas drainer efficacement la matrice à faible perméabilité. De tels systèmes se comportent alors comme des milieux poreux puisque leur drainage dépend de la zone noyée tout entière et des paramètres hydrauliques équivalents. En revanche, si l'hétérogénéité du système karstique dépasse ce seuil, les conduits karstiques n'influencent pas longtemps le drainage des différents blocs à faible perméabilité. Les conduits se comportent comme des conditions aux limites à charge fixe et le processus de drainage sont contrôlés par ces blocs. Ces conditions sont typiques des karsts matures. La validité des modèles équivalents est donc fortement contrainte par le niveau de développement des systèmes karstiques. Les modèles poreux équivalents peuvent être employés dans le cas de systèmes karstiques faiblement développés mais ne sont pas appropriés dans le cas de systèmes matures fortement développés.

De plus, l'aquifère karstique est réputé très vulnérable aux pollutions par comparaison aux autres aquifères car il peut présenter les caractères suivants :

- faible rôle filtrant de la zone d'infiltration,
- infiltration rapide concentrée via des pertes connectées directement à la zone noyée,
- faible effet de la dispersion et de la dilution lié à l'organisation des écoulements,
- temps de séjour de l'eau trop court pour qu'un effet auto-épuration intervienne au sein de l'aquifère,
- importante variabilité temporelle de la qualité de l'eau.

La vulnérabilité des aquifères karstiques est souvent indiquée comme facteur limitant à leur exploitation. Cependant, cette vulnérabilité est à relier à des temps de résidence courts dans la plupart des réserves karstiques et présente en contrepartie certains caractères intéressants qui doivent être pris en compte dans les projets de mise en valeur (Bakalowicz, 1999, 2005) :

- élimination généralement rapide des pollutions accidentelles,
- effets retardateurs (adsorption, dispersion) en général réduits,
- amélioration rapide (à l'échelle du cycle hydrologique) de la qualité de l'eau à l'exutoire à la suite de changements dans les rejets de pollutions chroniques ou saisonnières, c'est-à-dire que les effets cumulatifs d'un cycle sur le suivant sont faibles ou négligeables, du fait du temps de séjour très inférieur à un an,
- nette différence de qualité et de comportement entre les périodes d'étiage (fonctionnement capacitif, temps de séjour long) et de crue ou de hautes eaux (fonctionnement transmissif, temps de séjour court).

- Compte tenu de leurs spécificités, les aquifères karstiques doivent être abordés au moyen d'un ensemble d'outils de reconnaissance et d'exploration adapté.

Donc, les eaux souterraines des aquifères karstiques sont facilement et rapidement renouvelées et par conséquent les effets d'une pollution accidentelle ne durent pas très longtemps de même que la restitution des traceurs artificiels avec un retour aux conditions initiales en seulement quelques semaines ou mois (Bakalowicz, 1999). Concernant la pollution diffuse, comparée aux aquifères poreux, il semble qu'il n'y a aucun effet cumulatif et à long terme en raison de cette recharge rapide.

Donc d'après Plagnes et Bakalowicz (2002), tout changement dans les pratiques agricoles, domestiques ou industrielles permet un changement rapide de la qualité des eaux karstiques.

II.5 TRAVAUX DE VULNERABILITE REALISEE AU NIVEAU DU PLATEAU DE CHERIA

II.5.1 Travaux d'étude de vulnérabilité a la pollution (docteur BBALI Fathi.2007).

La cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines de la région est l'initiative qui constitue des outils de gestion rationnelle des eaux souterraines :

Outils pédagogiques et éducatifs (sensibilisation), outils de création d'une politique générale de gestion de la qualité des eaux (création d'une police de l'eau), outils d'aide à la décision en matière d'aménagement et finalement un outil pour la protection des ressources en eau et des captages.

L'importance de L'aquifère de Chéria et ça capacité d'emmagasinement nous a emmenée à penser sérieusement a ça protection et essayé d'établir une carte de vulnérabilité en appliquant la méthode EPIK (Epi karst, protective cover, Infiltration conditions, Karstic network) (Doerfliger et Zwahlen, 1995).

Pour pouvoir déterminer les valeurs des indices de cette méthode (EPIK), c'est les forages réalisé au niveau du secteur d'étude telle qu'ils sont présenté au tableau que font l'assiette des données. Les valeurs du facteur de protection F permettent une cartographie de sa répartition, en prenant en compte la relation entre le facteur f et la zone de protection qui a fait l'objet d'un examen lors des visites des sites.

Valeurs des facteurs de protection.

forage	Prof. (m)	NS (m)	Prof. Toit calcaire (m)	Prof zone fissurée (m)	recouvrement	Prof. Karts	E	P	I	K	F
502	255	42	00	130	-	-	E1	P1	I1	K3	S1
503	24.5	-	13.5	3-23	Perméable	-	E3	P4	I2	K3	S3
521	153	17.5	37	37-153	//	37-68	E3	P3	I2	K1	S2
525	300	08.5	21	190-300	//	-	E3	P4	I3	K3	S3
526	300	140	7.5	100-300	//	-	E3	P3	I3	K3	S3
533	800			-	Peu perméable	-	E3	P4	I2	K3	S3
535	490		261	-	impermeable	-	E3	P4	I4	K3	S1

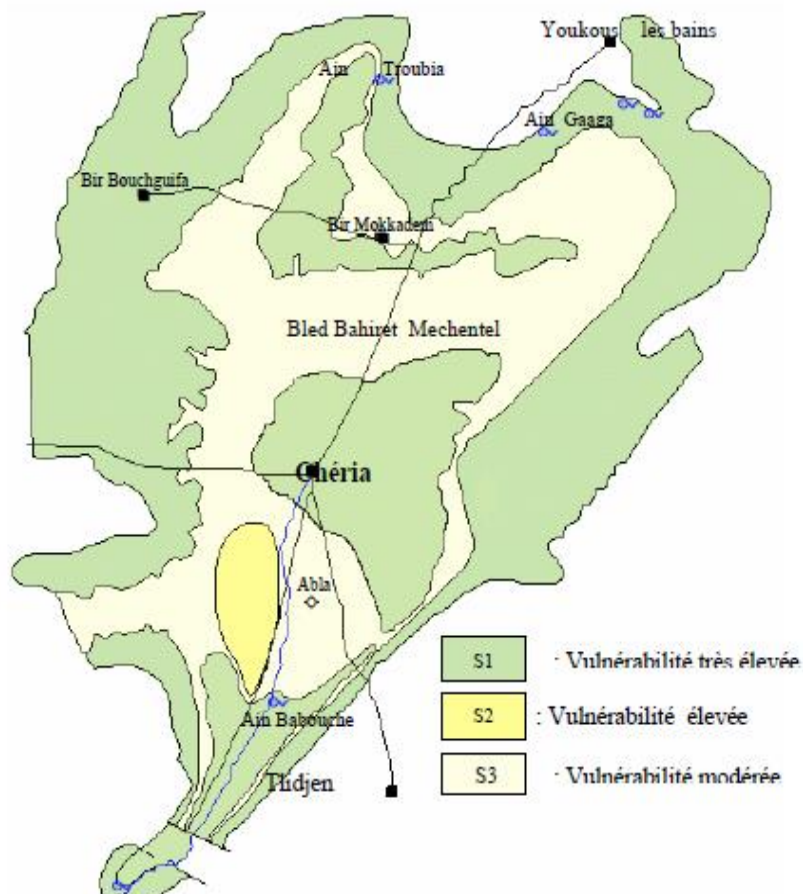


Fig. 01 – Carte de vulnérabilité selon la méthode EPIK du plateau de CHERIA

Carte de vulnérabilité selon la méthode EPIK du plateau de Chéria
 Doc.BAALI Fathi 2007

II.5.2 travaux d'étude de vulnérabilité à l'effondrement (doc. aziz yacine 2017).

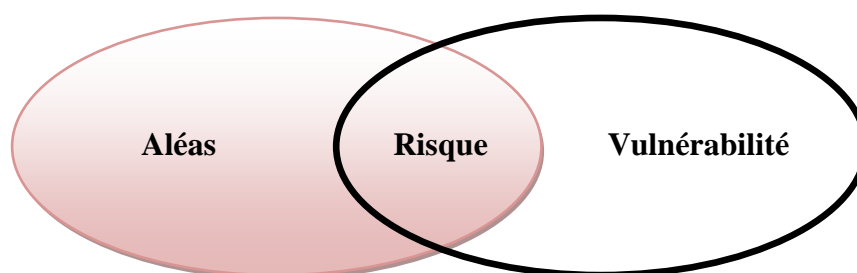
La prévision et la cartographie des aléas d'origine karstique sont favorisées par les moyens de reconnaissance liés aux caractéristiques spécifiques des anomalies souterraines (dispersion, développement dans l'espace, profondeur), et par le caractère brutal de leur évolution vers la surface (Toulement, 1987) in AZIZI Yacine 2017.

Evaluation de l'aléas :

L'évaluation de l'aléa est obtenue par le croisement des niveaux de probabilité d'occurrence et d'intensité. Dans la majorité des cas, l'évolution des phénomènes naturels est continue, la transition entre les divers degrés d'aléa est donc théoriquement linéaire (ABDELLAH .M 2009), Azizi.Y 2017.

Intensité \ Probabilité d'occurrence	Faible	Modérée	Elevée	Très élevée
Faible	1	2	2	4
Moyenne	2	3	3	4
Forte	2	3	3	4

$$\text{RISQUE} = \text{Aléas} * \text{Vulnérabilité}$$



Méthodologie de cartographie appliquée :

La méthodologie de cartographie utilisée dans l'étude faite par doc. AZIZI Yacine se base sur des critères qualitatifs (lithologie, tectonique...etc.) et quantitatifs (épaisseur de la couverture alluvionnaire,....etc.). cette approche mesure l'occurrence spatiale d'un phénomène, sans référence à une fréquence temporelle dont tient compte l'aléa (Fontaine et al. 2008, Galve et al. 2009, Nachbaur et al. 2011, Emilie et al, 2014). La carte de susceptibilité à l'effondrement

(SE) est obtenue à partir du croisement de deux cartes : carte de susceptibilité de présence (SP) et carte de susceptibilité à la rupture (SR). La méthodologie se base sur :

- Inventaire représentatif des cavités souterraines et tout désordre lié à ce phénomène ;
- Des critères qualitatifs et des critères quantitatifs, qui contrôlent la répartition spatiale des cavités et de désordre lié à ce phénomène (ex : effondrement) dans la région d'étude ;
- L'utilisation des outils tels que la théorie d'évidence et la logique floue adaptés à l'échelle d'étude ;
- L'élaboration d'un modèle géologique en 3D.

La région d'étude est subdivisée en mailles homogènes de 1km^2 , chaque maille est dotée d'un indice de susceptibilité. Ce modèle permis d'estimer les épaisseurs de chaque formation à l'échelle de la région d'étude, ce qui facilite la détermination des critères quantitatifs.

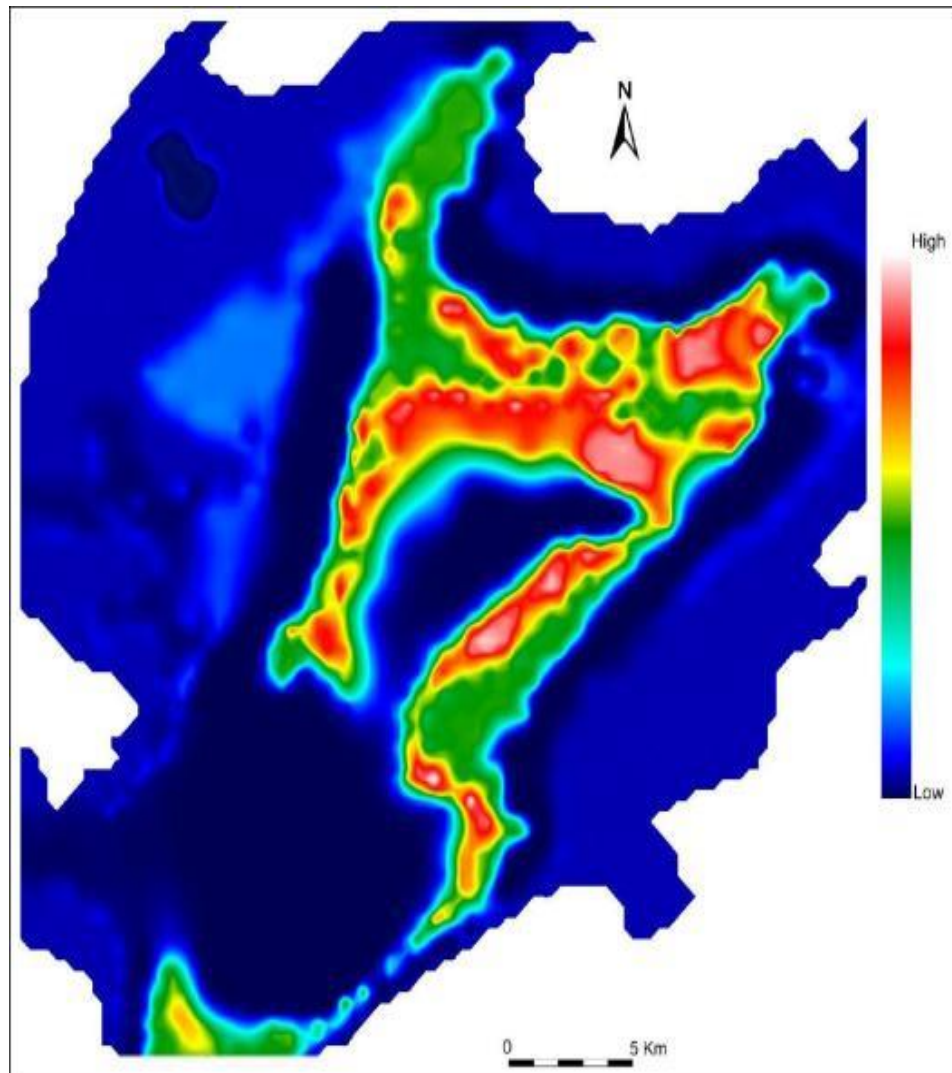
La susceptibilité finale à l'effondrement est déterminée par le croisement de la carte de présence avec la carte de rupture. Sur chaque maille de la grille, les notes index sont multipliées.

Les cartes de vulnérabilité établies montrent que la région d'étude est menacée par le risque d'effondrement. L'étendue des terrains à vulnérabilité élevée, est de l'ordre de 42.02 km^2 soit 5.82% de la superficie totale ; les terrains de moyenne vulnérabilité occupent 104.32 km^2 soit 14.45% de la superficie totale, en revanche, les terrains à faible vulnérabilité se répartissent sur une superficie de l'ordre de 575.65 km^2 soit 79.73% de la superficie totale étudiée. De manière plus précise, on constate que :

-Les terrains à forte vulnérabilité (zone A) : Occupent le centre du plateau où les calcaires Eocènes sont en sub-surface (Au Nord-Ouest de la ville de Chéria, au Sud-ouest de K^{at} el Mechaoure, NE de K^{at} el Kraa, à l'Est, l'Ouest et au Sud de la ville de Bir Mokadem, Tazbent, en aval de Draa Bekacem, au Nord-Ouest d'el Mezeraa...).

-Les terrains à moyenne vulnérabilité (zone B) : Occupent le centre du plateau aux alentours de la zone A.

- Les terrains à faible vulnérabilité (zone C) : Se localisent au centre, à l'Ouest et au Sud du plateau où les calcaires sont détectés à des profondeurs dépassant 55 m (Abla, M^{at} Ouled Abesse, Djelmada...).



Susceptibilité à l'effondrement.

Carte de susceptibilité à l'effondrement (AZIZI. Yacine2017)

La cartographie menée à l'échelle de la région a pu délimiter les zones susceptibles de présenter des cavités naturelles instables qui se trouvent principalement au sens des axes d'écoulements souterraines où les calcaires Eocènes sont en sub-surface. Ces cartes permettent de cerner les zones à risque à l'échelle de la région de Chéria.

La pertinence des résultats acquis sont confirmées par la superposition de la carte de susceptibilité à l'effondrement sur le modèle réel de terrain, où on a trouvé que les effondrements de Draa el Douamis et celle de la ville de Chéria se trouve dans les zones à

risque élevées.

La carte de susceptibilité à l'effondrement doit permettre aux gestionnaires locaux d'établir des plans d'occupation de sols qui intègrent ce risque en priorité.

Conclusion

La méthode utilisée, permet d'aboutir à une quantification de la susceptibilité à l'effondrement de cavités naturelles dans la région de Chéria à partir du croisement de la susceptibilité de présence avec la susceptibilité de rupture.

Cette quantification se base sur des critères explicatifs : la sensibilité à la dissolution de la formation géologique encaissante, l'épaisseur de remplissage alluvionnaire, l'infiltration et le battement de la nappe.

II.6. LA METHODE MULTICRITERES- METHODE EPIK

La méthode proposée pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu karstique est une méthode multicritère à indices, appelée EPIK, qui prend en compte *quatre critères*: Epi karst, la couverture Protectrice, les conditions d'Infiltration et le développement du réseau Karstique (Doerfliger 1996a). Ces critères correspondent à quatre aspects spécifiques de l'organisation des écoulements au sein d'un aquifère karstique tels qu'ils ont été décrits plus haut. Cette méthode permet d'évaluer la sensibilité des eaux souterraines des régions karstiques aux influences naturelles et anthropogènes de manière globale et rigoureuse.

L'importance de l'aquifère karstique et sa capacité d'emmagasinement et la nécessité de sa protection justifie l'établissement d'une carte de vulnérabilité suivant la méthode EPIK basée sur l'organisation spécifique des écoulements dans le milieu karstique (Doerfliger et Zwahlen, 1995). L'organigramme méthodologique de la (figure 13) explique la méthode de travail suivie pour la réalisation de la carte vulnérabilité à la pollution EPIK.

Cette méthode consiste en l'évaluation et la combinaison de quatre critères cartographiables, à savoir le développement de l'Epi karst, l'épaisseur de la couverture Protectrice, les conditions d'Infiltration et le développement du réseau Karstique. Le résultat de la superposition pondérée est une carte de vulnérabilité directement transposable en un zonage de protection.

La combinaison des quatre critères indexés décrits précédemment permet de déterminer la valeur du facteur de protection "F" en tout point du bassin d'alimentation. Le calcul raster est effectué de la manière suivante :

$$F = \alpha E_i + \beta P_j + \gamma I_k + \delta K_l \dots \dots \dots (1)$$

avec F = valeur du facteur de protection; $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: coefficient: de pondération de chacun des critères; E_i, P_j, I_k, K_l : valeur de chacun des critères indexés.

Le détail des coefficients de pondération et des indexés est décrit dans les tableaux ci-dessous :

Valeurs des critères indexés E_i, P_j, I_k et K_l

Epi karst			Couverture protectrice				Condition d'infiltration				Développement du réseau karstique		
E_1	E_2	E_3	P_1	P_2	P_3	P_4	I_1	I_2	I_3	I_4	K_1	K_2	K_3
1	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3

(Rq : la valeur la plus basse correspond à la situation la plus vulnérable)

Coefficient de pondération attribuée au critère E, P, I et K.

Critères	E	P	I	K
Coefficient de pondération	α	β	γ	δ
Poids relatif	3	1	3	2

Le facteur de vulnérabilité F est calculer en tous points du bassin versant, plus la valeur de F est élevée, plus le pouvoir de protection est important.

Les valeurs de F sont regroupées en Trois classes de vulnérabilité :

- S1 : Vulnérabilité élevée (F < 19)
- S2 : Vulnérabilité Moyenne (F entre 20 et 25)
- S3 : Vulnérabilité faible (F > 25)

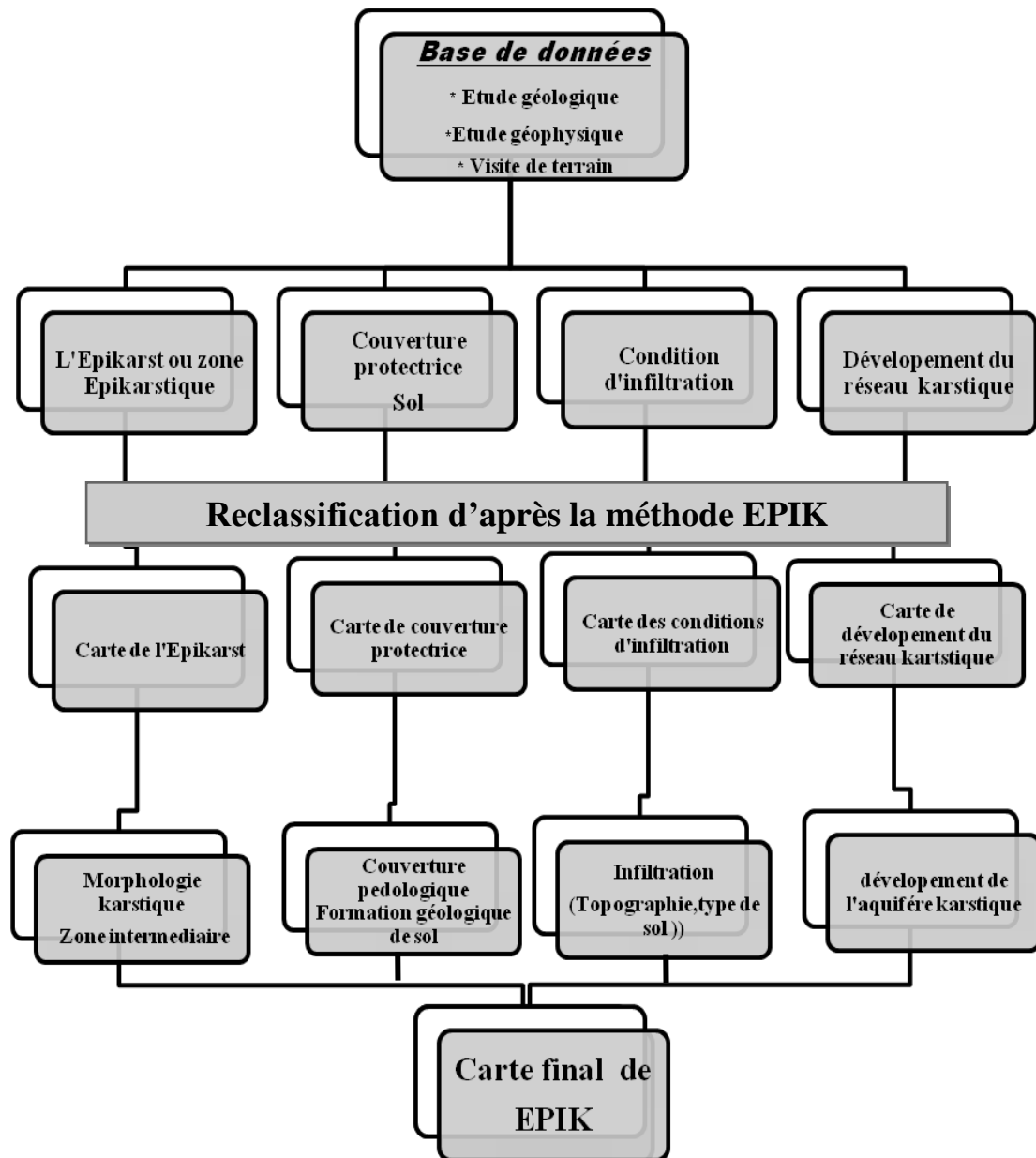


Figure 13 : Etapes à suivre pour l'établissement d'une carte de vulnérabilité à la pollution EPIK du plateau de Chéria NE Algérie

Indexation des quatre critères de la méthode EPIK.

Morphologie Karstique observée (En relation avec l'Epi karst)	E₁	Gouffre, aven, ponor, embut, doline, lapiez, relief ruiniforme, cuesta	
	E₂	Zones intermédiaires situées dans les alignements de dolines ; ouvalas, vallées sèches, canyons, poljés	
	E₃	Le reste du bassin d'alimentation	
Absence de Morphologie Karstique			
		A. Sol reposant directement sur les formations calcaires ou sur des formations détritiques de très grande conductivité hydraulique *	B. Sol reposant sur >20 cm de formations géologiques de faible conductivité hydraulique**
Absence de couverture Protectrice	P₁	0-20 cm de sol	20 - 100 cm de sol de formations de faible conductivité hydraulique
	P₂	20 - 100 cm de sol	>1 m de sol et de formations de faible conductivité hydraulique
	P₃	>1 m de sol	Formations de très faible conductivité hydraulique d'épaisseur >8m, ou d'épaisseur >6 m avec >1 m de Sol (Vérification ponctuelle nécessaire)
	P₄		20 - 100 cm de sol de formations de faible conductivité hydraulique
Couverture protectrice Importante			
Infiltration concentrée	I₁	Perte pérenne ou temporaire -lits et berges de cours d'eau pérenne ou temporaire alimentant une perte-écoulement superficiel s'infiltrant-secteurs du bassin versant d'un cours d'eau comprenant des systèmes de drainage artificiel.	
	I₂	Secteurs du bassin versant non drainés artificiellement, et dont la pente est supérieure à 10% pour les surfaces cultivées et supérieure à 25% pour les prairies et les pâturages.	
	I₃	Secteurs du bassin versant d'un cours d'eau dont la pente est inférieure à 10% pour les zones cultivées et inférieure à 25 % pour les prairies et les pâturages. En dehors du bassin versant d'un cours d'eau, zones de pieds de	

Infiltration diffuse		pentent collectant les eaux de ruissèlement et pentes prononcées (supérieure à 10% pour les zones cultivées et supérieure à 25 % pour les prairies et les pâturages). dont les eaux de ruissèlement alimentent ces zones.
	I₄	Le reste du bassin d'alimentation
Réseau karstique bien développé	K₁	Réseau karstique bien développé, <i>h</i> conduits décimétriques à métriques très peu colmatés et bien connectés entre eux.
Réseau karstique mal développé	K₂	Réseau karstique mal développé, à drains ou conduits mal connectés ou colmatés, ou encore de dimension décimétrique et inférieure
Aquifère mixte ou fissuré	K₃	Exutoire en milieu poreux avec un effet protecteur possible aquifère fissuré non karstique

*Exemples : éboulis. Moraines glaciaires latérales. ** Exemples : limons, argiles

L'estimation de la vulnérabilité d'un aquifère calcaire est souvent difficile car la karstification et la fissuration échappent souvent à l'observation directe vu le recouvrement de l'aquifère par les formations quaternaires.

Cette vulnérabilité qui s'explique par la structure fortement hétérogène de l'aquifère karstique, avec d'une part les perméabilités très élevées dans les conduites souterraines et d'autre part une alimentation de surface qui se font de manière diffuse ou les processus de filtration ou d'auto épuration des polluants n'auront pas le temps de se développer, se caractérisent par une fonctionnelle requière une protection toute particulière. La délimitation des zones de protections pour les captages à partir de cet aquifère exige la restriction de beaucoup d'activités dans les zones appelées S1, S2 et S3 qui doivent permettre de garantir un certain nombre d'objectifs.

Zone S1 : dans la quelle il faut éviter les dégâts aux installations de captage et la pollution de leurs environnement immédiat.

Zone S2 : elle doit également permettre d'éviter que l'eau captée soit polluée en tenant à l'écart des captages les germes et les virus.

Zone S3 : cette zone doit garantir un assainissement satisfaisant dans l'espace et dans le temps, dans le cas des pollutions accidentelles.

II.7. VULNERABILITE A L'EFFONDREMENT PAR LA CARTOGRAPHIE DES ZONES EXPOSENT A DES RISQUES LIES AUX MOUVEMENT DU SOL ET DE SOUS SOL

Dans cette perspective, la carte des Zones Exposées à des Risques liés aux Mouvements du Sol, plus communément appelée carte ZERMOS a un caractère restrictif car elle ne s'applique qu'aux évènements relatifs à des mouvements de terrain tels que glissements, écroulements de falaise, affaissements et effondrements de cavités souterraines, coulées boueuses, érosions et alluvionnements rapides. Elle exclut donc les mouvements profonds de la croûte terrestre liés aux séismes et aux éruptions volcaniques.

II.7.1. Objet des cartes ZERMOS

A travers un zonage de couleur leur objet est de traduire dans l'espace la probabilité pour que survienne sur un territoire donné tel ou tel mouvement de terrain ou instabilité, sans préjuger de sa date d'apparition et sans tenir compte des dommages encourus par des aménagements existants ou futurs.

Cette définition implique au moins trois notions qu'il nous faut développer afin qu'il n'existe aucun malentendu sur la forme et le contenu de ce type de cartes.

- La notion de risque est liée essentiellement à l'estimation dans l'espace de la probabilité pour qu'apparaisse tel ou tel effet d'une instabilité constatée ou potentielle. En clair, cela veut dire que l'auteur de la carte estime que sur un territoire dont il dessine les limites, il existe une conjonction de facteurs favorables au déclenchement d'un mouvement /écroulement de falaise, coulée boueuse, par exemple/.
- Dessinant ainsi les limites probables d'une zone vulnérable ou sensible à tel ou tel mouvement, il est entendu qu'en disant, sans préjuger de sa date d'apparition" on exclut toute probabilité dans le temps. Ce point essentiel doit être souligné et c'est à dessein que l'on emploie les termes de, carte des zones exposées" de préférence à ceux de, carte prévisionnelle" qui pourrait prêter à confusion.
- Enfin, la hiérarchisation ou la graduation dans l'espace du risque- danger plus ou moins élevé pour que se produise un mouvement- n'est pas, rappelons-le l'estimation de la probabilité de dommages. Ainsi une zone rouge peut fort bien se situer en territoire vierge de tout équipement.

Dressée à l'échelle du 1:25 000 la carte ZERMOS est une carte de synthèse, indiquant non pas ponctuellement mais sur l'ensemble d'une région la distribution probable des mouvements de terrains. Elle s'appuie sur l'analyse des mouvements anciens existants et des facteurs /nature des terrains, structure, conditions de drainage, .../ pouvant avoir, des effets sur la stabilité des terrains. Regroupant plusieurs communes et couvrant un territoire étendu, de par son échelle cette carte est d'abord un document d'information et d'orientation mais aussi une carte d'alerte. Elle sert de cadre pour l'élaboration des plans d'aménagement et d'occupation des sols, à moyenne échelle et constitue les bases pour des études plus détaillées à grande échelle, pour des zones jugées particulièrement dangereuses à travers la carte ZERMOS. C'est ainsi que l'on pourra examiner par exemple, à l'intérieur d'une zone jugée sensible, les possibilités d'implantation de tel ou tel équipement dans un secteur plus particulièrement propice, ou la protection de telle ou telle construction déjà existante.

II.7.2. Principes et modalité d'établissement

Le principe d'établissement de la carte ZERMOS répond donc à, une démarche qui comporte deux phases significatives:

- la première étant l'analyse d'un certain nombre d'informations sélectionnées en fonction de leurs conséquences sur la stabilité des terrains,
- la seconde étant l'extrapolation des informations précédentes, obligatoirement ponctuelles et localisées à l'ensemble d'un territoire afin d'obtenir une couverture continue du risque. La phase analytique comporte l'examen des facteurs naturels permanents ayant des effets sur la stabilité des terrains et liés:
 - ✓ à la topographie/pente, relief particulier, ... ;
 - ✓ à la géologie/lithologie, structure, étude du Quaternaire ;
 - ✓ à la géomorphologie dynamique /évolution des versants, mouvements, ... ;
 - ✓ à l'hydro géomorphologie /circulation des eaux souterraines, drainage superficiel,

Mais aussi l'examen des facteurs temporels présents ou passés tels que la climatologie, la végétation ou certains effets de l'activité humaine/routes, constructions .../. A ce stade de la collecte des informations et de l'enquête sur le terrain, on attachera, parmi les facteurs cités précédemment, une grande importance à l'analyse des mouvements anciens que le géologue doit reconnaître aux traces qu'ils ont laissées dans la morphologie. La reconstitution des événements passés peut-être la clef des événements, à venir. Ces facteurs sont reportés sur la

carte sous forme de signes conventionnels en figure noirs afin que cette information objective se distingue nettement du zonage qui est une extrapolation plus ou moins subjective. Dans la phase de synthèse ou d'extrapolation, il s'agit donc à partir d'un certain nombre de facteurs naturels permanents /lithologie, structure, drainage, pente, historique des mouvements du sol, propriétés physiques et mécaniques des terrains si elles sont connues/ ou temporels /végétation, état d'une route, surcharge d'un versant par l'implantation d'immeuble, canalisation d'eau .l'expérience acquise dans la connaissance des mouvements de terrains ayant lieu dans des conditions physiques identiques, permettent à l'auteur de proposer un zonage ou une graduation .Ce zonage, connu autour des trois couleurs rappelant les feux de signalisation/vert - orange - rouge/se résume ainsi:

- ❖ Risque nul ou faible: zone **VERT** ou aucune instabilité ne semble devoir se produire dans l'état actuel des observations.
- ❖ Risque potentiel ou incertain/ou mal connu/: Zone **ORANGE** ou existe une menace potentielle d'instabilité et/ou subsistent des incertitudes sur sa nature et son ampleur.
- ❖ Risque déclaré ou certain/ou connu/: **ROUGE** Zone ou existent des instabilités déclarées et ou les menaces de mouvements sont réelles ou certaines.

II.8 LOGICIEL SURPAC

II.8.1 Définition :

Surpac c'est un logiciel spécialisé de l'industrie minière créé par Surpac Software international en 1982 et dont l'objet est la planification minière, la modélisation géologique, l'estimation de ressource minérales, l'exploitation minière et la réhabilitation du site minier.



Fig. 14 interface graphique de logiciel SURPAC

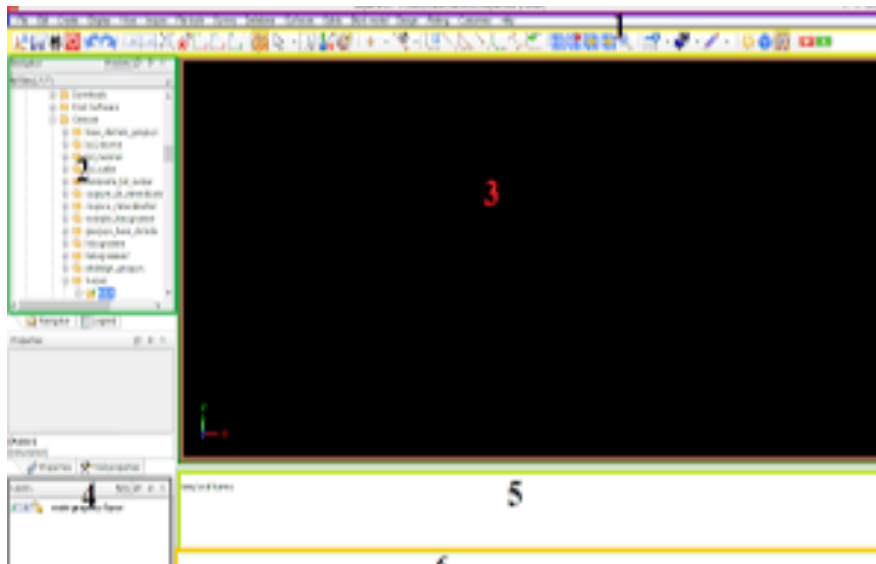


Fig. 15 Grandes parties de l'interface graphique de Surpac

1/les barres, 2/le navigateur, 3/la fenêtre d'affichage, 4/le layer chooser, 5/le message Windows, 6/le statut barre

Logiciel Surpac : est le produit vedette de Gemcom Software International.

C'est un programme en trois dimensions de conception minière et géologique utilisé dans l'industrie minière pour des tâches telles que l'expertise en évaluation, la conception des mines (mines à ciel ouvert et mines souterraines), l'exploration et les simulations d'exploitations.

Surpac offre une vaste gamme de services à l'industrie minière. Détentrice d'une bonne expérience dans le domaine de l'industrie minière assistée de programmes informatisés, la firme Surpac est experte dans l'estimation de ressources de minerai et la modélisation de gisement.

Le logiciel SURPAC est consulté par les différentes disciplines de la géologie, de la statistique et du génie minier. Reconnu partout dans le monde, il fournit des informations de qualité lors du développement des ressources et des services de production dans un délai raisonnable. Ses experts combinent leurs vastes expériences pratiques afin de fournir l'assistance nécessaire dans les domaines suivants :

- Modélisation de gisement et estimation de ressources
- Optimisation de mines à ciel ouvert et planification de la production
- Solutions logicielles et consultation
- Rapports techniques
- Vérification diligente et audit des ressources et des réserves

C'est un logiciel de planification géologique et minière largement utilisé dans le monde entier. Il prend en charge les opérations à ciel ouvert et souterraines ainsi que les projets d'exploration dans plus de 120 pays.

Il offre efficacité et précision grâce à sa facilité d'utilisation, ses puissants graphiques 3D et l'automatisation des workflows qui peuvent être alignés avec les processus et flux de données propres à l'entreprise.

Surpac répond à toutes les exigences des géologues, géomètres et ingénieurs des mines en matière de ressources. Il s'avère suffisamment flexible pour s'adapter à n'importe quel gisement de minerai, matière première ou méthode d'exploitation. Ses fonctionnalités

multilingues permettent aux sociétés internationales d'utiliser une solution commune dans toutes leurs opérations.

II.8.2 Modélisation et estimation de ressources :

Permettre aux géologues de déterminer les caractéristiques physiques d'un dépôt avec des informations limitées est une capacité clé de Surpac, qui exploite de puissants graphismes 3D, géostatistiques, et un environnement de modélisation intégré.

La modélisation et l'estimation des réserves à l'aide de Surpac passent par la construction d'un modèle géologique et de ressources à partir de données de diverses provenances. Selon la nature des informations papier ou informatiques, les principales étapes d'une modélisation assistée par ordinateur sont :

- Création, standardisation et validation de la base de données
- Modélisation d'un modèle géologique par sections
- Analyse géostatistique
- Estimation d'un modèle de blocs

II.8.3 Outils complets :

- gestion des données de forage, modélisation géologique, modélisation des blocs, statistiques géologiques, conception de mines, planification de mines, estimation des ressources, etc.
- Modulaire et facilement personnalisable pour s'adapter à l'évolution des besoins.
- Optimisation du partage des données, des compétences et des documents de projet entre les équipes et les services.
- Gains de temps dans le respect des processus de l'entreprise.
- Cohérence d'exécution grâce à l'automatisation des tâches.
- Duplication réduite des données avec la prise en charge de formats de fichiers issus de systèmes courants de GIS et de CAO.
- Prise en charge multilingue : anglais, chinois, russe, espagnol et français.

II.8.4 Estimation et modélisation :

- Surpac contient des outils exceptionnels pour la composition d'échantillons et géostatistique.
- La modélisation des variogrammes comprend des ventilateurs de variogrammes et des dynamiques d'ajustement du décalage pour aider à identifier les meilleurs variogrammes pour les données.
- Les outils d'estimation comprennent une interface avec GSLIB pour les deux options de krigeage normal et de simulation conditionnelle.
- Des outils complets de wireframing 3D permettent développement d'un modèle vraiment représentatif de tout gisement.
- Les outils de modélisation de blocs Surpac couvrent une large gamme de fonctionnalité et sont faciles à utiliser. Avec plusieurs cœurs,
 - valider un modèle et générer n'importe quel niveau de rapport peut être fait plus rapidement que jamais.

II.8.5 Suite Structurelle :

Extraire et visualiser les orientations directement à partir des trous de forage, analyser les gradients de surface et créer visuellement des plans à partir de des nuages de points ou des maillages texturés et visualisez-les projection stéréographique.

Ce logiciel sera utiliser a fin d'établir une visualisation en 3D de la litho stratigraphie des forages affectant l'Eocène réaliser au niveau du plateau de Chéria, pour la distinction des vides qui seront susceptible de présenter un risque d'effondrement et pour une bonne visualisation des vides souterraine.

Matérielles et méthodes

[Étude de la vulnérabilité à la pollution et aux effondrements d'un milieu karstique fissuré (aquifère carbonaté de l'éocène), par l'utilisation d'un SIG d'une région semi-aride. Cas de la région de Chéria Tébessa]

III.1 : PARAMÉTRÉS MORPHO-METRIQUES ET APERÇUE CLIMATIQUE DU BASSIN DE CHERIA

III.1.1 : Caractéristiques physique²es du bassin de Chéria :

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage Musset (2005). Parmi les caractéristiques morphologiques nous citons en premier lieu, la taille du bassin (sa surface), sa forme, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs physiques, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques. Pour le cas de notre étude, nous avons utilisés les images MNT, leurs utilisation est nécessaire pour élaborer une mise à jour du chevelu hydrographique.

III.1.1.1 :Surface et périmètre du bassin versant :

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits d'écoulement sont en partie reliés à sa surface. La détermination de la surface du bassin versant ainsi que son périmètre ont été déterminé par le logiciel Arc GIS. Cette technique nous a permis de déterminer avec précision la surface de notre bassin versant qui est de $S=797.55 \text{ km}^2$ et $P = 174.90 \text{ Km}$.

III.1.1.2 : Étude du relief

Les altitudes ainsi que la forme du relief influent considérablement sur les différents paramètres hydroclimatiques d'une région donnée. Elles déterminent en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. Partant de la répartition par tranches d'altitudes du bassin (Tableau 04), nous avons établi la courbe hypsométrique et le diagramme des fréquences altimétriques (figure 16)

Tableau 04 Répartition hypsométrique du bassin de Chéria

N°	Tranches d'altitudes	Surfaces	Surfaces	Surfaces	Surfaces
1	981-1000	0.73	0.73	0,09	0,09
2	1000-1100	100.87	101,60	12,79	12,88
3	1100-1200	421.17	522,76	52,75	65,63
4	1200-1300	185.51	708,27	23,72	89,35
5	1300-1400	51.75	760,02	6,30	95,65
6	1400-1500	21.65	781,67	2,46	98,11
7	1500-1600	11.13	792,80	1,34	99,45
8	1600-1713	4.76	797,55	0,55	100,00

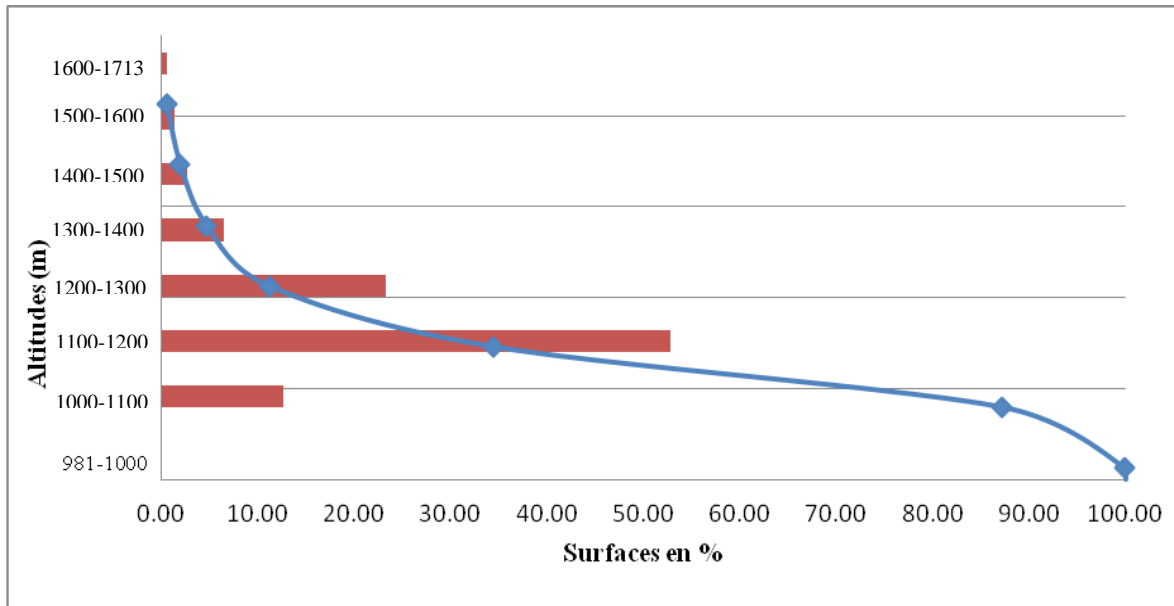


Figure 16 Courbe hypsométrique du bassin de Chéria établi par le Logiciel Arc GIS

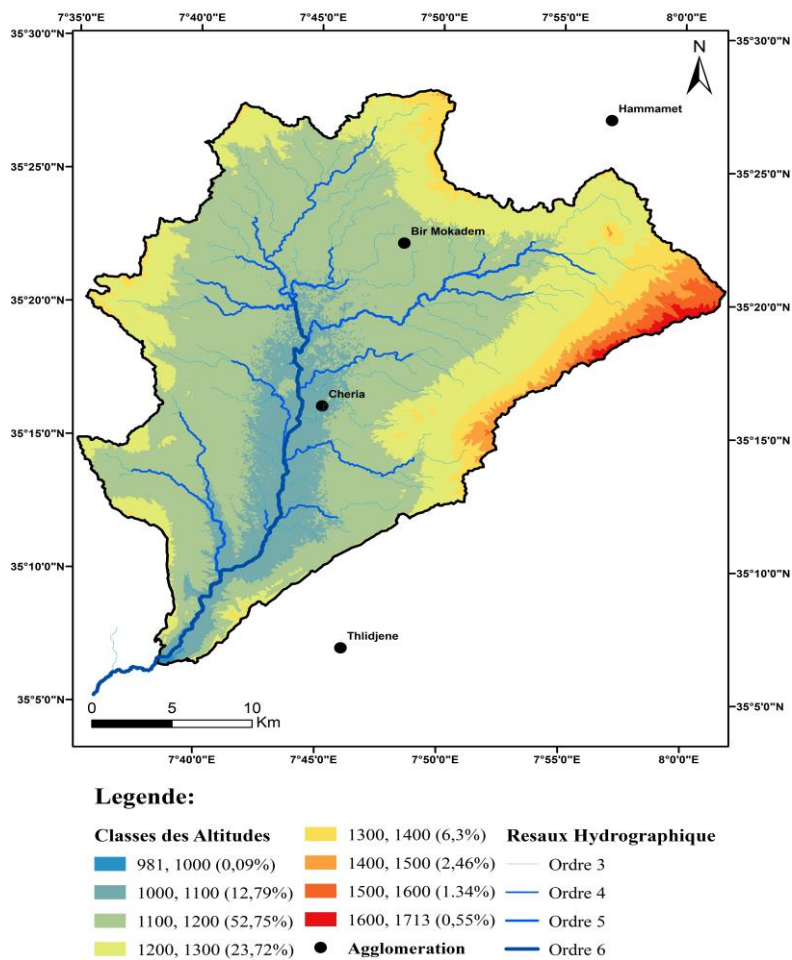


Figure 17 Carte hypsométrique du bassin de Chéria établi par le Logiciel Arc GIS.(Nekkoub2019)

III.1.1.3 :Analyse de la carte hypsométrique

La carte hypsométrique (Fig.17) montre que la région se caractérise par une topographie plus au moins plate, entourée par des massifs montagneux. Les altitudes qui varient entre 981 m situées au Sud-ouest vers l'exutoire du bassin versant, Tandis que la hauteur la plus élevée se trouve dans DJ Doukkane atteignant 1713 m .

La surface comprise entre l'altitude 1100 et 1200 m la plus abondante ou elle occupe 52.75 % de la superficie totale du bassin versant, Les hauteurs comprises entre 1000 m et 1300 m s'étalent sur une superficie qui représente 89.26% du bassin versant.

III.1.1.4 : Forme du bassin :

La nature de la forme d'un bassin, influence énormément l'écoulement et détermine l'allure de son hydrogramme. Un bassin très allongé ne réagit pas de la même manière qu'un autre bassin de forme très ramassés ayant évidemment les mêmes caractéristiques Roche (1963). Généralement, la forme d'un bassin versant est relative à l'indice de compacité de Gravelius. Ce dernier est déterminé en comparant le périmètre (P) du bassin à celui d'un cercle possédant la même superficie (A).

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Ou :

K_G : Indice de compacité de Gravelius.

P : Périmètre du bassin versant (Km).

A : Surface du bassin versant (Km²).

Sur le plan morphologique, l'indice de compacité K_G est inférieur à (1) pour un bassin versant de forme quasiment circulaire, est supérieur à (1) lorsque le bassin est de forme allongée.

Pour le cas du bassin versant de Chéria, la valeur du coefficient de compacité $K_G = 1,73$ indique que le bassin est de forme plutôt allongée.

III.1.1.5 : Notion du rectangle équivalent :

Ce paramètre traduit l'influence de la forme géométrique du bassin sur les écoulements. Le rectangle équivalent s'identifie par une simple transformation géométrique du contour du bassin en un rectangle de même surface (A), de périmètre (P), de longueur (L), de largeur (l), indice de compacité KC, et de la même courbe hypsométrique que le bassin versant étudié. Les courbes de niveau devenant des droites parallèles aux petites côtes et les exutoires du bassin versant étant assimilées à l'un de ces petits côtés du rectangle .

➤ Longueur du rectangle équivalent :

La longueur du rectangle est déduite à partir de la relation suivante :

$$L = \frac{KG}{1.12} \sqrt{S} \left\{ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG}\right)^2} \right\}$$

L'application de la relation ci dessus, donne L = 76,87 Km

➤ Largeur du rectangle équivalent

Elle est donnée par:

$$l = \frac{KG}{1.12} \sqrt{S} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG}\right)^2} \right\}$$

L'application de la relation donne l = 10,38 Km

Avec :

- L : longueur du rectangle (km) ;
- l : largeur du rectangle (km) ;
- KG : coefficient de Gravelius ;
- S : aire du bassin versant (km²) .

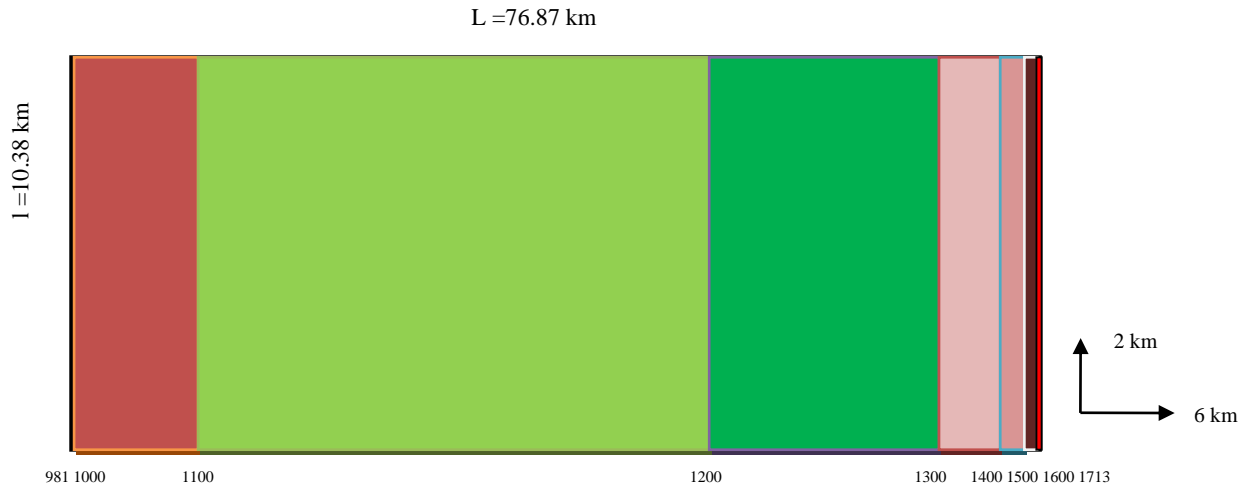


Figure 18 : représentation du rectangle équivalent

III.1.1.6 : Altitudes caractéristiques du bassin

➤ **Les altitudes maximale et minimale**

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique. Ces deux données déterminent l’amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente. Pour le cas de notre bassin $H_{max} = 1713m$ et $H_{min} = 981m$.

➤ **L’altitude moyenne**

L’altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d’une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \frac{\sum(H_i . S_i)}{S_t}$$

H_{moy} : altitude moyenne du bassin (m) ;

S_i : aire comprise entre deux courbes de niveau (Km²) ;

h_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m) ;

S_t : superficie totale du bassin versant (Km²).

Dans le tableau 08, nous avons représenté la variation des Tranches d’altitude en fonction du produit $H_i.S_i$.

Tableau 05 : Répartition altimétrique du bassin versant de Chéria.

Tranches d'altitudes	H _i (m)	S _i (km ²)	H _i .S _i
981-1000	991	0,73	721,16
1000-1100	1050	100,87	105911,32
1100-1200	1150	421,17	484342,90
1200-1300	1250	185,51	231885,68
1300-1400	1350	51,75	69856,40
1400-1500	1450	21,65	31393,46
1500-1600	1550	11,13	17251,49
1600-1713	1657	4.76	7879.09

$$\Sigma = 949241.50 \text{ km}$$

Le calcul de Hmoy sera déterminé par la relation décrite au dessus : Hmoy = 1190.20 m.

➤ **Indices de pente**

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global I_g donné par la relation :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

Sur la courbe hypsométrique déjà tracée, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface totale.

H5 et H95 sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin. La dénivelée D est donc égale à H5% – H95%.

Donc H5%= 1370 m et H95% = 1075 m .

Avec :

D : dénivelée entre les altitudes ayant 5% et 95% de la surface du bassin versant tirées à partir de la courbe hypsométrique (m),

L : longueur du rectangle équivalent (m).

$$I_g = 3.84 \text{ m/Km}$$

Les zones montagneuses sont situées sur le contour,elles sont caractérisées par un relief très accidenté ou les pentes varient entre 12.5% et 40% et s'étalent sur environ 30% de notre zone d'étude (Baali.F 2007).

➤ **Dénivelée spécifique**

La dénivelée spécifique apparaît donc comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin, ce qui donne la possibilité de comparaison entre ses valeurs pour de différents bassins. La dénivelée spécifique se calcule alors par la relation suivante :

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{S}$$

On a :

$$I_g = 3.84 \text{ m/Km} ; S = 797.55 \text{ Km}^2$$

$$D_s = 108 \text{ m}$$

La dénivelé spécifique permet d'utiliser la classification de L'O.R.S.T.O.M (Office des Recherches Scientifiques dans les Territoires Outre Mer) qui permet définir Les différents types de relief des bassins versant quelque soient leurs superficies.

D'après la classification de L'O.R.S.T.O.M, notre bassin versant présente un relief assez fort (R5) car $100 < D_s < 250\text{m}$.

Tab. 06 : Classification du relief en fonction de «Ds» d'après L'O.R.S.T.O.M

Type de relief	valeurs de Ds
Relief très faible	D < 10m
Relief faible	10 m < D < 25 m
Relief assez faible	25 m < D < 50 m
Relief modère	50 m < D < 100
Relief assez fort	100 m < D < 250 m
Relief fort	250 m < D < 500 m
Relief très fort	D ≥ 500 m

Il est aisé de comprendre que le relief de notre aire d'étude ayant un relief assez fort, implique un ruissellement superficiel assez lente, et par conséquent un temps de concentration assez longue, et des crues plus au moins importantes.

Tableau 07 Récapitulation des paramètres morphométriques

Caractéristiques	Paramètres	Symbole	Unités	Valeurs
Morphologie du bassin versant	Surface	S	Km ²	797.55
	Périmètre	P	km	174.90
	Coefficient de Gravellius	K _G	-	1.73
	Longueur du rectangle équivalent	L	km	76.87
Relief	Altitude max	Hmax	m	1713
	Altitude moy	Hmoy	m	1190.20
	Altitude min	Hmin	m	981
	Pente de Roche	Ig	m/km	3.84
	Dénivelée spécifique	Ds	m	108

III.2 : CLIMATOLOGIE ET RÉGIME pluviométrique

C'est l'étude du climat et de l'état moyen de l'atmosphère, c'est-à-dire la succession des conditions météorologiques sur de longues périodes dans le temps. Il s'agit d'une branche combinée de la géographie physique et de la météorologie, l'étude du temps à court terme étant le domaine de la météorologie opérationnelle. Un climatologue, ou climatologiste, est un spécialiste qui fait l'étude des variations locales et temporelles des climats grâce aux statistiques des données provenant de plusieurs domaines qui affectent le climat.

Si la climatologie s'intéresse essentiellement à l'étude et à la classification des climats existants sur terre, une partie de la discipline traite aussi de l'interaction entre climat et [société](#) ; que ce soit l'influence du climat sur l'Homme ou de l'Homme sur le climat.

Les données climatiques utiliser sont celle de la Région de Chéria, présent sur le site web TerraClimate, (<http://www.climatologylab.org/terraclimate.html>), [Source de données NW Climate Toolbox](#) (<https://climatetoolbox.org/tool/point-data-download>), <https://climate.northwestknowledge.net>.

On a procédé à ce site vu l'absence des données actualiser de la station de Chéria, malgré nos essais et souhait auprès des services compétant nous n'avons pas pu l'avoir.

III.2.1 :La pluviométrie

L'importance des précipitations est irréfutable dans les mécanismes et le comportement de tout système naturel qu'est le bassin hydrographique. En outre, leur contrôle et leur enregistrement est indispensable pour toute tentative d'estimation de lames d'eau encaissées, à l'échelle de l'impluvium, et en déduire par la suite les diverses franges ; écoulement superficiel et souterrain, infiltrations...etc.Sur notre bassin, ces dernières sont caractérisées par une irrégularité et une variabilité saisonnières et annuelles, typiques des régions semi arides.

A. Analyse des Précipitation

Les données de pluies utilisées sont recueillies a partir de site web Terraclimate dont le lien se trouve en haut.

Les précipitations annuelles et leur variabilité Pour une période de vingt sept(29) ans d'observation ; de 1990/91 à 2018/19, l'examen des valeurs de précipitations, enregistrées au niveau de la région de Chéria, a révélé que leur variation en fonction du temps est marquée par un écart réduit entre l'année la plus arrosée (599.0mm/an), en 1995/96, et celle la plus sèche (269.0mm/an durant l'année 1996/97.

Station pluviométrique	code	Coordonnées Lambert			Période d'enregistrement
		X	Y	Z	
Chéria	06.23.01	959.20	231.10	1087	1990-2019

Tableau 08 Coordonnées cartographique des stations climatiques

Tableau n°09 Précipitations Moyennes mensuelles (1990-2019)

Région de Chéria wilaya de Tébessa

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Total
Années	Précipitations												Année
1990-91	24	9	73	84	24	32	95	24	47	5	6	9	432
1991-92	34	46	32	17	44	33	47	64	75	14	54	14	474
1992-93	25	13	64	55	12	29	56	10	46	4	2	3	319
1993-94	30	24	17	24	33	40	30	59	21	8	14	2	302
1994-95	50	86	5	15	48	4	35	17	4	26	1	12	303
1995-96	113	34	37	38	46	93	72	44	58	24	23	17	599
1996-97	33	20	11	13	23	15	18	60	9	26	13	28	269
1997-98	94	44	62	39	17	28	13	42	35	18	0	25	417
1998-99	55	50	52	12	81	20	20	8	25	12	70	14	419
1999-00	30	18	78	54	9	7	11	19	93	23	1	11	354
2000-01	22	31	13	16	57	22	9	20	79	6	0	10	285
2001-02	47	8	22	41	8	17	23	24	48	8	47	38	331
2002-03	22	22	80	26	97	40	19	72	49	5	15	3	450
2003-04	62	44	35	74	33	5	57	41	61	35	6	9	462
2004-05	39	23	75	58	20	50	21	39	11	20	21	26	403
2005-06	45	8	26	37	78	42	15	20	46	6	14	26	363
2006-07	40	19	24	57	4	20	71	68	23	45	5	12	388
2007-08	44	25	12	42	9	4	38	9	50	12	23	19	287
2008-09	47	41	16	35	83	25	64	77	58	0	5	16	467
2009-10	108	21	11	20	36	24	39	67	40	34	12	12	424
2010-11	32	49	63	15	20	43	61	62	68	13	70	2	498
2011-12	29	76	23	18	20	38	40	39	13	7	9	27	339
2012-13	41	24	16	8	23	35	34	55	10	12	17	51	326
2013-14	36	37	51	29	20	19	80	12	29	15	12	2	342
2014-15	17	20	23	31	30	91	58	1	22	9	31	68	401
2015-16	47	35	27	2	15	11	41	36	77	6	3	4	304
2016-17	70	14	26	35	26	27	17	50	5	12	15	1	298
2017-18	47	42	59	16	8	48	40	18	73	9	17	50	427
2018-19	42	72	23	8	28	22	85	50	62	6	9	34	441
Moyenne	45.69	32.9	36.4	31.7	32.8	30.5	41.69	38.17	42.7	14.5	17.8	18.79	383.6

Tableau n°10 Températures Moyennes mensuelles (1990-2019)

Région de Chéria

Mois Années	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Moy Annuelle
	Températures												
1990-91	37.8	29.5	18.8	9.2	9.7	10.3	19.1	19.6	24.8	36.0	42.6	42.0	24.9
1991-92	35.7	27.4	17.5	9.8	8.6	11.2	16.5	22.0	28.4	35.4	40.2	41.9	24.5
1992-93	35.1	27.7	19.5	11.4	9.1	10.0	15.8	23.2	30.5	38.2	42.9	42.4	25.5
1993-94	34.8	29.4	18.2	12.1	12.0	13.8	19.3	21.6	32.8	37.9	44.6	46.0	26.9
1994-95	36.9	27.2	20.8	13.3	9.9	15.7	17.2	21.8	31.3	37.5	43.4	41.4	26.3
1995-96	33.0	27.4	18.6	15.0	12.7	10.6	17.4	22.7	29.4	35.7	42.3	42.7	25.6
1996-97	31.9	24.9	19.2	14.2	13.4	14.4	16.9	22.6	32.5	41.2	43.7	41.7	26.4
1997-98	34.2	28.0	18.8	13.0	11.3	13.2	16.8	25.0	30.3	39.9	44.2	42.1	26.4
1998-99	35.5	25.4	17.1	10.6	11.0	9.9	17.6	24.2	34.2	41.1	43.4	46.0	26.3
1999-00	37.0	31.2	18.1	11.3	8.1	12.9	19.0	25.9	33.2	38.1	44.1	43.1	26.8
2000-01	35.1	26.5	19.8	14.0	12.2	12.5	22.5	23.1	30.6	39.6	44.9	42.6	26.9
2001-02	34.7	31.7	18.8	11.0	10.1	12.7	20.0	24.5	29.5	39.6	43.6	41.8	26.5
2002-03	34.2	27.9	19.7	14.0	11.2	10.1	17.5	24.1	31.2	41.5	47.3	45.2	27.0
2003-04	34.8	30.0	19.8	10.9	11.6	13.9	17.8	22.9	27.5	37.1	43.5	43.6	26.1
2004-05	34.2	31.1	16.5	12.1	8.0	8.7	17.9	23.7	32.0	39.3	45.1	41.0	25.8
2005-06	34.0	29.0	19.3	10.5	8.3	11.5	19.1	27.1	33.6	39.8	44.7	42.1	26.6
2006-07	33.9	31.1	20.3	13.2	13.3	15.1	17.4	24.0	31.2	39.8	43.6	42.8	27.1
2007-08	35.1	27.4	16.8	11.4	11.5	12.5	18.0	25.3	31.7	37.6	45.2	42.8	26.3
2008-09	35.2	28.0	17.5	10.6	10.8	11.0	16.9	21.6	30.9	39.1	46.3	43.8	26.0
2009-10	33.1	26.2	18.9	15.0	12.2	14.5	19.1	24.8	28.8	37.4	44.1	42.3	26.3
2010-11	33.6	26.8	18.6	13.3	11.7	11.2	17.3	25.7	29.6	37.0	44.6	42.6	26.0
2011-12	36.2	26.5	20.0	12.9	11.0	8.2	17.8	24.7	30.9	41.9	46.1	44.5	26.7
2012-13	35.5	29.6	21.5	13.0	11.9	10.8	20.5	25.4	29.9	36.2	43.7	41.3	26.6
2013-14	34.5	32.3	18.2	12.2	12.5	14.4	17.0	24.5	30.0	38.9	43.6	43.3	26.8
2014-15	38.1	30.2	21.8	12.6	11.0	10.2	17.7	24.8	32.9	38.9	44.7	43.2	27.2
2015-16	35.7	29.1	19.2	12.6	13.2	15.0	18.1	26.2	31.0	38.9	44.0	41.4	27.0
2016-17	34.6	31.0	20.1	14.2	8.8	14.5	19.9	24.5	32.7	41.4	45.9	45.0	27.7
2017-18	34.1	26.6	17.6	11.0	13.0	11.2	19.3	25.6	29.7	38.2	46.4	40.9	26.1
2018-19	36.4	27.0	18.7	13.2	8.7	9.8	16.9	23.0	26.8	43.3	46.6	44.9	26.2

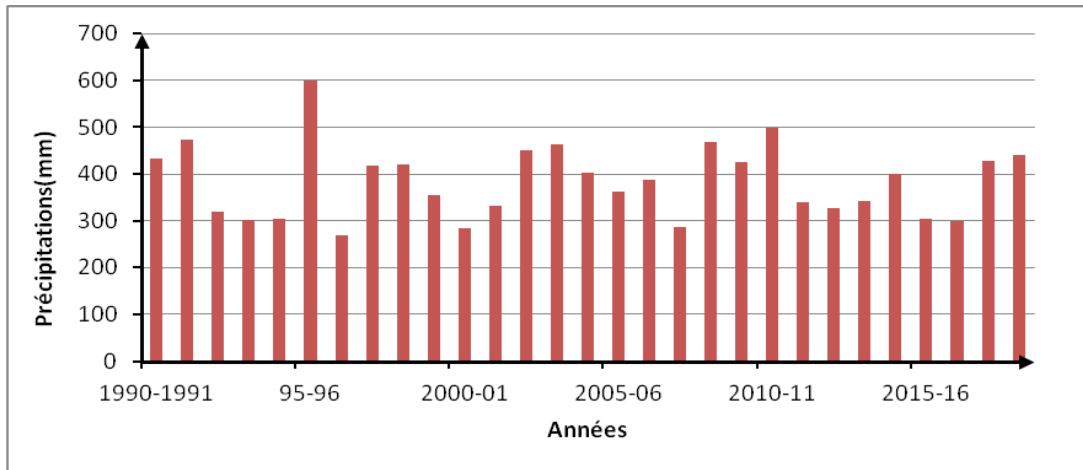


Fig.19 Répartition des précipitations annuelles de la Région de Chéria (1990-2019)

L'examen des valeurs de précipitations, enregistrées, a révélé que leur variation saisonnières révèle que le printemps est le plus arrosé, tandis que l'été se caractérise par une sécheresse marquante (fig19). Dans un contexte mensuel, les mois les plus pluvieux sont les mois de septembre, Mars et mai avec un maximum de pluie qui atteint 45.69 mm. Les mois les plus secs sont évidemment les mois de la saison estival avec un minimum de pluviosité de 14.5 mm (figure.20)

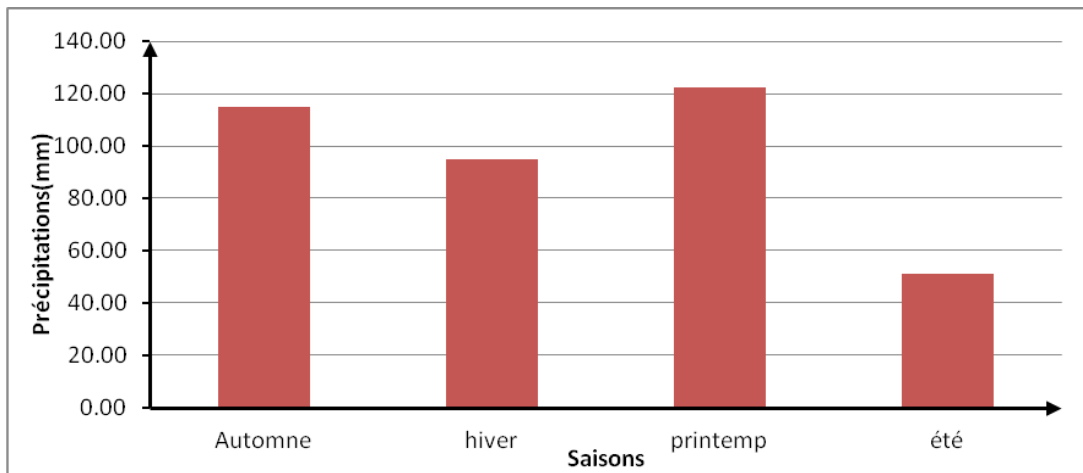


Fig. 20- Variations saisonnière interannuelles des précipitations de la Région de Chéria (1990-2019)

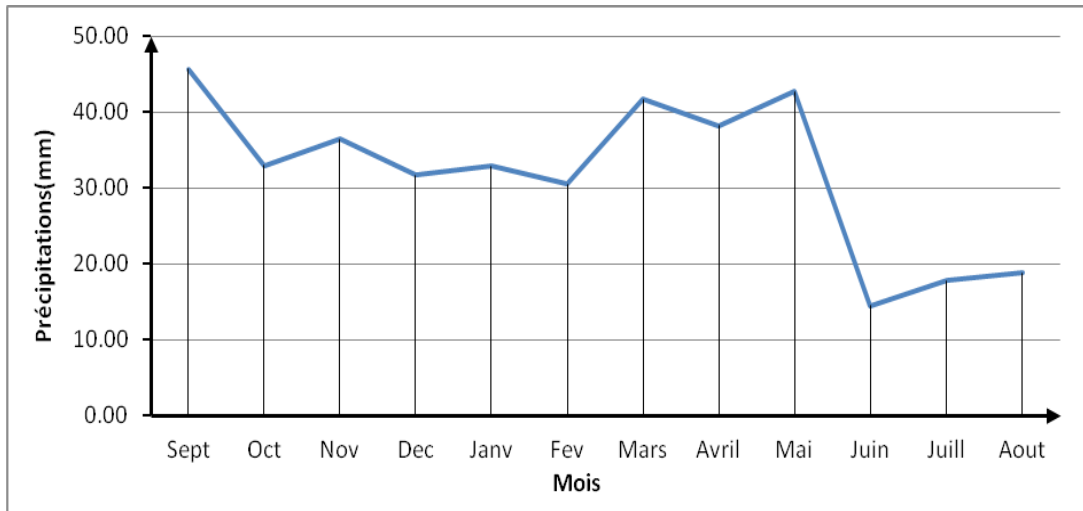


Fig. 21- Répartition interannuelle des précipitations moyenne mensuelle de la Région de Chéria (1990-2019)

III.2.2 :La Température

La température est un paramètre clé dans l'étude et la caractérisation des climats vue son rôle prédominant dans le rayonnement et le bilan énergétique, d'où son importance capitale dans les études qui touchent de près ou de loin le domaine du changement climatique.

La température représente donc un facteur limitant vue son implication dans le contrôle de l'ensemble des phénomènes métaboliques et par ce fait le conditionnement total de la répartition de tous les êtres vivants.

A. Analyse des Températures

Les observations de la température moyenne mensuelle sur la même période (Tab 10) et le traitement de leurs données (fig22 et 23) ont indiqué que les hivers de la région sont très froids et les étés sont très chauds avec des températures moyennes mensuelles de valeurs extrêmes de 10.9 à 44.3 °C.

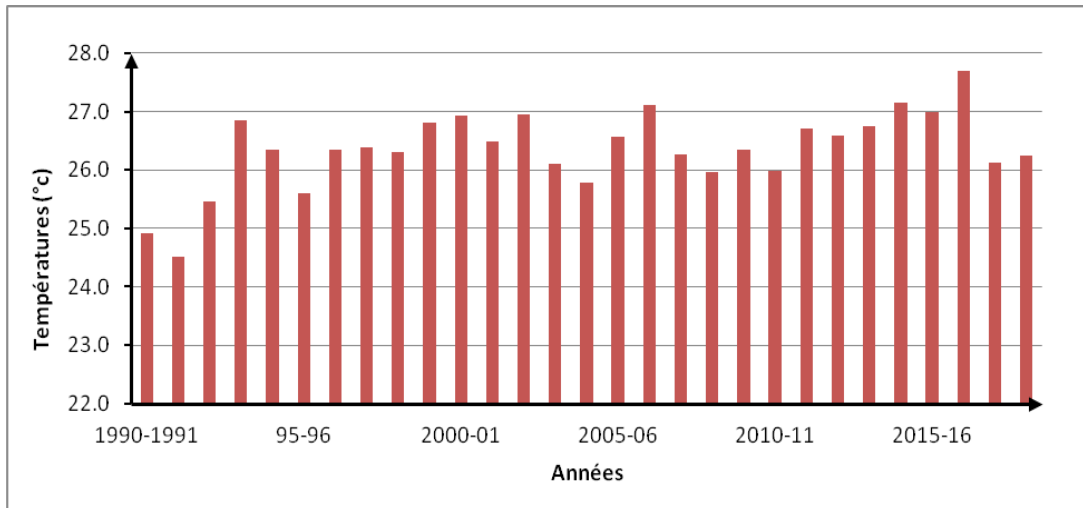


Fig. 22- Répartition des Températures moyenne annuelle de la région Chéria (1990-2019)

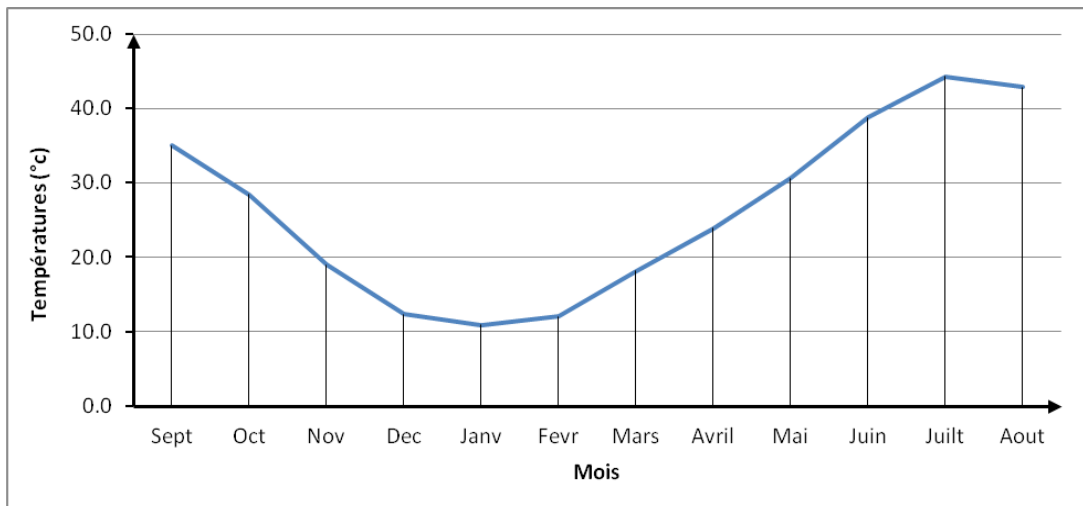


Fig. 23- Répartition interannuelle des Températures moyenne mensuelle de la région Chéria (1990-2019)

III.2.3 :Les indices climatiques

III.2.3.1 : Définition des indices climatiques

Les différents facteurs climatiques n'agissent pas indépendamment les uns des autres. De ce fait, les classifications des climats posent de nombreux problèmes méthodologiques, de sorte qu'aucune méthode n'a pu s'imposer et de nouvelles approches sont régulièrement proposées.

Les frontières entre deux climats ne sont jamais nettes, leurs zones de contact sont en perpétuel changement, elles se meuvent entre largeur et étroitesse, entre avancée et recul au gré

de l'influence des paramètres climatiques. Ces frontières traduisent, en fait, l'état des perturbations atmosphériques qu'elles subissent.

Les indices climatiques permettent d'étudier les combinaisons arithmétiques des différents éléments du climat. Ils se basent, généralement, sur les moyennes des différents paramètres météorologiques, comme la température, la pluviométrie, l'humidité, l'évaporation

La plupart des travaux sur ces coefficients synthétiques ont été réalisés sur les régions sèches, notamment, en région méditerranéenne. Région pour laquelle le facteur écologique limitant est souvent disproportionné entre la quantité des précipitations et la température ou l'évaporation qu'elle provoque. Il existe, également, des formules qui tentent de préciser d'autres phénomènes comme la continentalité ou la productivité .Les indices les plus connus sont ceux : d'Emmanuel de Martonne (1926-1941), de Charles. W. Thornthwaite (1948), Bagnouls et Gaussen (1953 à 1957)....

III.2.3.2 : Indice pluviométrique standardisé (Guttman N.B.1998,Giddings L. et al, 2005)

L'indice standardise de précipitation (SPI : Standardisé Précipitation Index), a été mis en œuvre par McKee en 1993 pour améliorer la détection de la sécheresse et la capacité de surveillance. Contrairement à l'indice de palmer, qui base sur le bilan d'eau uniquement à l'échelle du mois impliquant les précipitations ,évapotranspiration ,le ruissellement et l'humidité du sol ,le SPI a été développe afin de quantifier un déficit des précipitation a différentes échelles de temps qui semblent être importantes a l'hydrologue.

L'indice pluviométrique correspond au rapport de l'écart à la moyenne sur l'écart-type des hauteurs pluviométrique annuelles.

$$ISP = \frac{x_i - x_{moy}}{s}$$

Ou :

IPS : Indice pluviométrique de l'année;

Xi : Hauteur de pluie précipitée au cours de l'année (i)en mm ;

Xmoy : Moyenne interannuelle des hauteurs de pluie sur la période observée,

S : Écart-type de pluie moyenne inter annuelle.

$$s = \frac{\sum \sqrt{x - x_{moy}}}{n - 1}$$

Tableau 11 Valeurs de l'indice SPI

2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sec
de -1,5 à -1,99	Très sec
-2 et moins	Extrêmement sec

- L'indice SPI d'un lieu donné se calcule, pour la période choisie, à partir des relevés à long terme des précipitations. La série des données de longue durée est ajustée à une distribution de probabilité que l'on transforme ensuite en une distribution normale pour que l'indice SPI moyen, du lieu considéré et pour le laps de temps étudié, soit égal à zéro (Edward et McKee,1997).
- Les valeurs positives de l'indice SPI indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives, des précipitations inférieures à la médiane.
- L'indice SPI indique qu'une sécheresse débute quand sa valeur est inférieure ou égale à -1,0 et qu'une sécheresse se termine quand sa valeur devient positive.

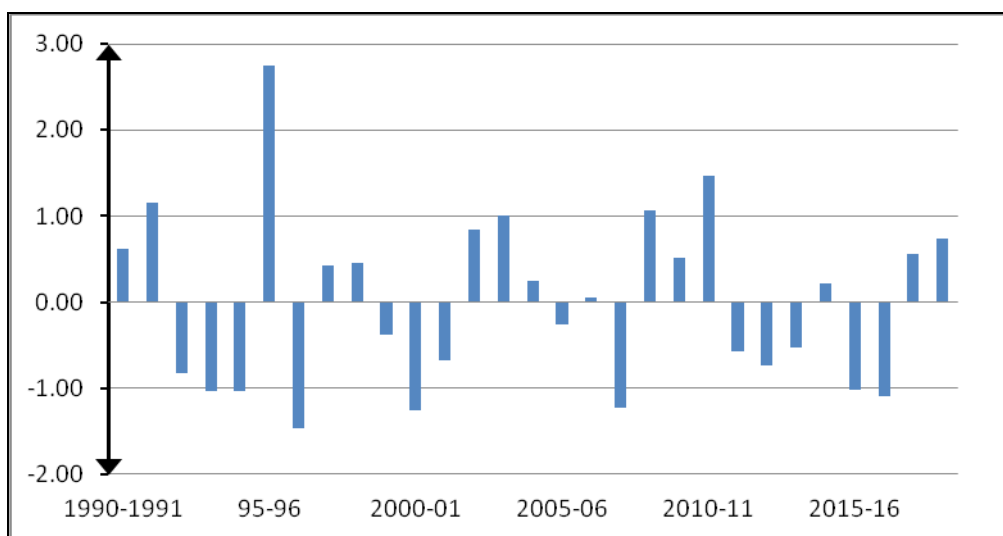


Figure24 : Evolution de l'indice pluviométrique

L'indice SPI permet de classer les années sèches et humides ; dans notre travail l'utilisation du SPI a pour but principal la détermination des périodes sèches et humides pour quantifier la sévérité de la sécheresse.

Nous avons calculé le SPI annuel pour toute la séries pluviométriques de la zone d'étude . le graphes ci dessue montrent l'évolution du SPI pour la station choisies,réparties sur l'ensemble de la zone d'étude.

D'après le graphes, nous constatons que la région a connu des périodes ou des années sèches, mais a degrés de sévérité variables d'une année a l'autre.En totalité la région a vécu quatre années modérément sèche, la premier en 1993/1994 , 1994/1995 ,1996/1997 et 2000/2001,2007/2008et 2015/2016,2016/2017.Tandis que seize années sont proche de la normal.La région a connue quatre années caractériser par une humidité modérer, une années extrêmement humide 1995/1996 .

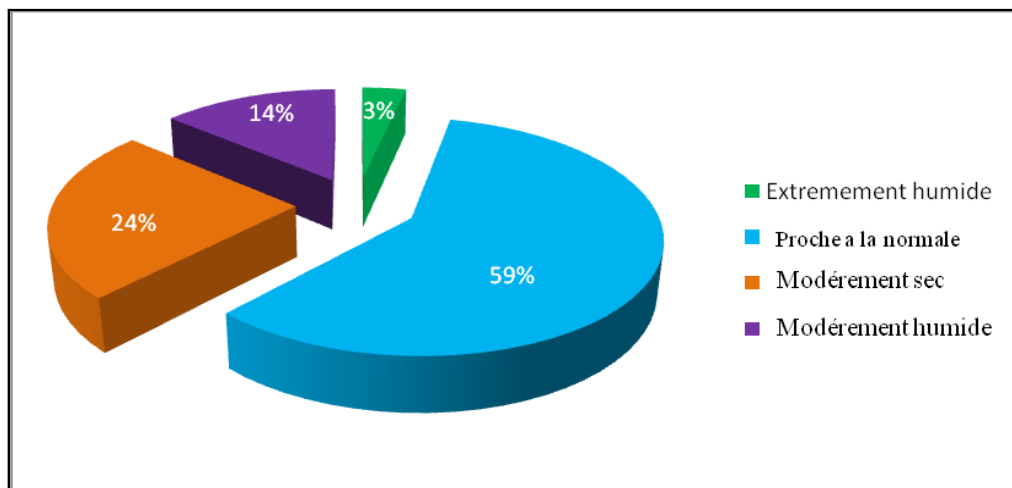


Fig25 Répartition des années par gamme d'indice pluviométrique

Les années extrêmement humide et modérément humide représentent respectivement 59% et 14% (figure 25),on note que 59% des années sont proche a la normal,par contre il n'existe aucun cas très humide n'a été observé.

III.2.3.3 : L'indice d'aridité de De Martonne

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une faiblesse des précipitations annuelles et un fort déficit de celles-ci par rapport à l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Étant un concept climatique à référence spatiale, l'aridité est différente de la sécheresse, qui est un concept météorologique à référence temporelle. Donc, une région peut être qualifiée d'aride et non une période.

L'aridité peut s'exprimer, quantitativement, par différents *indices d'aridité* conventionnels ou empiriques, la plupart sont des rapports hydre-thermiques fondés, principalement, sur les moyennes de précipitations et de températures. Ils sont utilisés pour définir les degrés d'aridité et les conditions de l'écoulement fluvial. Ils ont été proposés par des climatologues, des morphologues, des géographes et des botanistes.

L'indice d'aridité de **De Martonne** a été tiré à partir de la modification du facteur de pluie de Lang en 1923. Cet indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température, selon l'équation suivante :

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

Où P : les hauteurs annuelles des précipitations en mm

T : les températures moyennes annuelles en °C

10 : constante, utilisée pour éviter les valeurs négatives lorsque la température moyenne de l'air est inférieure à 0°C.

Cet indice simple a été, largement, utilisé par les géographes. Il prend des valeurs d'autant plus élevées que le climat est plus humide et d'autant plus faibles que le climat est plus sec. **De Martonne** a proposé la classification des climats en fonction des valeurs de l'indice comme présentés dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Classification des climats selon l'indice de De Martonne

Indice	Type de climat
0 < I < 5	Hyper aride
5 < I < 10	aride
10 < I < 20	semi aride
20 < I < 30	semi - humide
30 < I < 55	humide

L'indice d'aridité = 10.53.

D'après cette classification notre région d'étude est caractériser par un climat de type Semi aride I= 10.53.

III.2.3.4 : L'indice Ombrothermique de Gaussen

Cet indice a été proposé par Gaussen en 1952. Il est, largement, utilisé pour sa simplicité et son efficacité. L'indice de Gaussen s'exprime par un diagramme Ombrothermique qui est un type particulier de diagramme climatique représentant les variations mensuelles sur une année des températures et des précipitations selon des gradations standardisées : une gradation de l'échelle des précipitations correspond à deux gradations de l'échelle des températures : $P=2T$.
Où

P : précipitations mensuelles en mm

T : température moyenne mensuelle en °C.

Cette représentation met en évidence les périodes sèches et les périodes pluvieuses. On souligne une période sèche, chaque fois que la courbe des précipitations (ici histogramme bleu) passe au-dessous de la courbe des températures (ici courbe rouge).

Ces diagramme permet de compare facilement les climats de défèrent endroits (principalement en climat méditerranéens ou tempères) d'un coup d'œil de point de vue pluviosité. Les températures sont indiquées à droite et les précipitations sont indiquées à gauche.

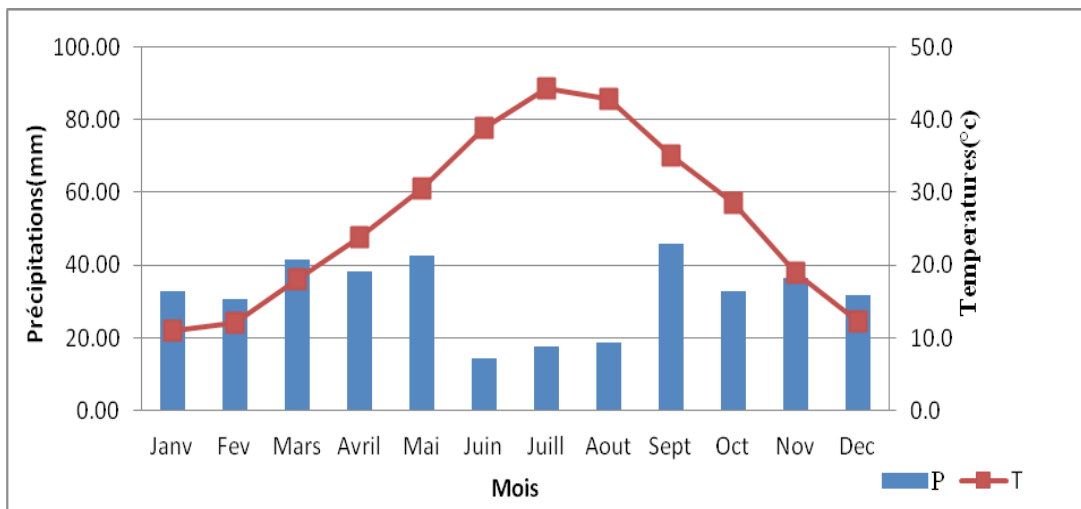


Fig. 26 Courbe Ombrothermique de la station de Tébessa (1990-2017)

La confrontation des valeurs pluviométriques et celles thermiques suivant le diagramme ombre-thermique (fig26) a permis de marquer une période de sécheresse qui s'étale sur Sept mois en commençant de mois de Avril.

III.2.4 :Bilan hydrique

Il traduit la suite des différentes phases du phénomène météorologique aqueux (pluie, neige, grêle) atteignant le sol, avant de rebrousser chemin vers l'atmosphère.

L'estimation du bilan hydrologique naturel peut se faire par l'application de la formule suivante (G. Castany 1982) :

$$P = ETR + R + I \text{ (mm) Où :}$$

P : Précipitations annuelles (mm), ETR : Évapotranspiration réelle annuelle (mm).

R : Ruissellement (mm), I : Infiltration (mm).

III.2.4.1 : Étude de l'Évapotranspiration

L'évaporation représente le processus au cours duquel l'eau se transforme en vapeur. L'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration est connu sous le nom d'évapotranspiration. Cette dernière est l'une des composantes fondamentales du cycle hydrologique.

L'interdépendance des facteurs dont elle est fonction (l'humidité, la température, l'insolation et le couvert végétal) rend son estimation laborieuse.

III.2.4 .1- 1 :Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

III.2.4 .1- 1- a : Formule de C.W. Thornthwaite

Cette formule a été établie en 1948 et tient compte de la température moyenne mensuelle et de l'indice thermique l'évapotranspiration non corrigée est donnée par l'expression suivante :

$$ETP = 16. \left(\frac{10.T}{I} \right)^a = mm \text{ Où :}$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \text{ et } i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

L'exposant (a) est donné par l'expression de Serra, après simplification de la longue formule de Thornthwaite : $\alpha = \frac{1.6}{100} \cdot I + 0.5$

ETP : Évapotranspiration potentielle du mois considéré (mm),

i : Indice thermique mensuel.

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré (°C),

I: Indice thermique annuel.

Elle tient compte des températures moyennes mensuelles et de l'indice thermique.

Les valeurs obtenues sont corrigées par un coefficient de correction k qui dépend de la latitude du bassin, selon l'expression suivante :

$$ETP = 16. \left(\frac{10.T}{I} \right)^a . k = mm \quad \text{avec :}$$

K : Coefficient de correction (ou d'ajustement mensuel).

Les résultats de calcul pour la Région de Chéria, sont récapitulés dans le tableau suivant (Tab13).

Tableau 13 : Résultats de calcul de l'ETP selon la formule de *C. W. Thornthwaite*/ région **Chéria**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Tot
paramè													
i	8.81	6.40	3.25	1.55	1.21	1.44	2.87	4.53	6.95	10.23	12.60	11.99	71.8
ETP.	94.22	66.50	31.80	14.22	10.86	13.14	27.75	45.60	72.82	110.95	139.16	131.89	
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	
a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.65
ETP.	97.04	64.51	27.35	12.08	9.45	11.16	28.59	49.71	88.11	134.25	171.17	152.99	

III.2.4 .1-2 : Estimation de l'évapotranspiration réelle(ETR)

C'est une fraction de l'ETP qui dépend de l'état du stock en eau du sol. Les pertes d'eau d'un sol atteignent l'évapotranspiration potentielle, si elles sont supérieures ou égales au stock d'eau de la réserve facilement utilisable.

En cas d'insuffisance, elles sont limitées à une quantité plus faible, cette limite est appelée l'évapotranspiration réelle (*G. Castany*). Son évaluation se fera par l'application de l'une des formules, soit de *L. Turc* ou celle de *Coutagne*.

On va se limiter pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle sur la formule de *L.Turc*

III.2.4 .1-2 a. Formule de *L. Turc*.

Cette expression permet de déterminer directement l'ETR annuelle d'un bassin versant à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} = 366.57mm \quad \text{Avec :}$$

- P : Précipitation moyenne annuelle (m).
- L : Facteur qui tient compte des échanges de chaleur ($L = 0,05T^3 + 25T + 300$).

- T : Température moyenne annuelle ($^{\circ}C$).

III.2.4. 2 : Estimation de la réserve facilement utilisable

Définie comme étant la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, dont le degré de saturation est fonction de plus d'un facteur :

- ✓ La nature, la lithologie et l'épaisseur de la couche superficielle.
- ✓ La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère.
- ✓ Le couvert végétal.
- ✓ Le climat de la région.

Tenant compte de tous ces paramètres, *J. Richard* a estimé la *RFU*, lors d'une étude se Rapportant à la plaine de Tébessa, entre 25 et 26mm, alors que le cabinet le *Petit*, suite à une étude agro pédologique en 1966/67, sur la région, considère que $23mm < RFU < 35mm$.

Dans notre cas on utilise la moyenne c'est-à-dire le *RFU* égale à **29mm**.

III.2.4. 3 : Bilan d'eau par la méthode de G. W. Thornthwaite

Lors de l'établissement du bilan mensuel, on fait intervenir l'évapotranspiration moyenne, réelle et potentielle, par la méthode de *C.W. Thornthwaite*. Il s'articule sur l'hypothèse suivant :

- La satisfaction de l'*ETR* est prioritaire sur l'écoulement.
- Le calcul de l'*ETR* peut se faire selon deux cas :

Si $P > ETP$, alors $\Rightarrow ETR = ETP$, il y a donc un excédent.

Si $P < ETP$, alors $\Rightarrow ETR = P + RFU$.

Mois	P	T ^{°c}	ETP .c	P - ETP	RFU	ETR	Da	EXc
Sept	45.7	21	97.04	-51.34	0	45.7	51.34	0
Oct	32.9	17	64.51	-31.61	0	32.9	31.61	0
Nov	36.4	10.9	27.35	9.05	9.05	27.35	0	0
Dec	31.7	6.7	12.08	19.62	28.67	12.08	0	0
Janv	32.8	5.7	9.45	23.35	29	9.45	0	23.02
Fevr	30.5	6.4	11.16	19.34	29	11.16	0	19.34
Mars	41.7	10	28.59	13.11	29	28.59	0	13.11
Avr	38.17	13.6	49.71	-11.54	17.46	49.71	0	0
Mai	42.7	18	88.11	-45.41	0	60.16	27.95	0
Juin	14.5	23.2	134.25	-119.75	0	14.5	119.75	0
Juil	17.8	26.7	171.17	-153.37	0	17.8	153.37	0
Août	18.8	25.8	152.99	-134.19	0	18.8	134.19	0
Années	383.67	15.4	846.41	-	-	328.2	518.21	55.47

Tab14 Bilan hydrique de région de Chéria (1990-2019)

✓ Vérification :

$$P = \sum ETR + \sum EXc = 328.2 + 55.47 = 383.67 \quad \text{Vérfiée}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum Da = 328.2 + 518.21 = 846.41 \quad \text{Vérfiée}$$

III.2.4. 4 : Interprétation du bilan hydrologique.

Le bilan hydrologique de la région de chéria sur une période de 29ans (90/91-2018/2019) est représenté dans le (tableau 14 et figure 27).On montre qu'a l'échelle annuelle, la région d'étude est marquée par une évapotranspiration intense (100%) des précipitations avec un excédent nul.

A l'échelle moyenne mensuelle, le plateau de chéria soumis a une grande période de sécheresse qui s'étend du mois d'Avril jusqu'au mois d'Août (5mois). Où la réserve commence à diminuer jusqu'à épuisement du stock, ce qui se traduit par un déficit agricole.

C'est à partir du mois de Novembre on observe que les réserves commencent à peine à se reconstituer dans le sol, sans atteindre le tiers de leur valeur maximum au mois de Janvier et demeure ainsi jusqu'au mois de Mars.

Généralement nous pouvons conclure que le bilan hydrologique dans le bassin Chéria est déficitaire.

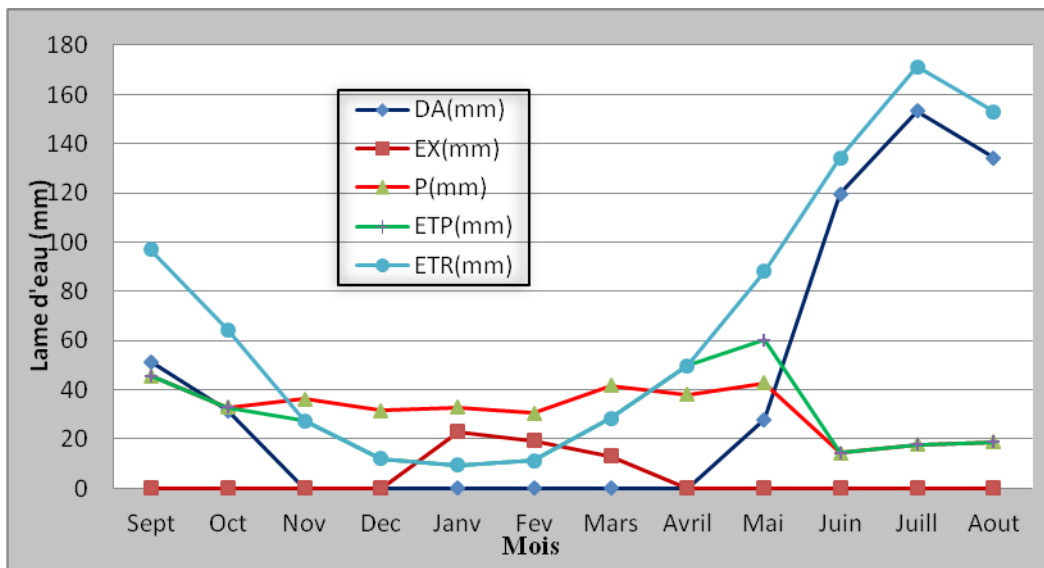


Fig 27 Bilan hydrologique à la région de Chéria, par la méthode de Thornthwaite pour la période (1990/1991 -2018/2019).

III.3 : GEOLOGIE DE LA REGION D'ÉTUDE

III.3.1 : Stratigraphie

D'après les travaux de R. LAFFITTE (1939), J. FLANDRAN (1948,1955), G. DUROZOY (1958), R.GUIRAUD(1973,1975) et J.M.VILA(1980), la série stratigraphique peut être établie de la manière suivante, des niveaux les plus récents vers les plus anciens.

a-Quaternaire

Les formations quaternaires occupent la majeure partie de la superficie de la plaine de chéria. Des niveaux différents de terrasses s'observent localement dans les vallées et bordure des plaines.

a.1Eluvions : constituées par des esquilles plates, provenant de l'action du gel sur les calcaires maestrichtien, ces formations montrent une épaisseur faible, proportionnelle à leur rôle hydrogéologique.

a.2. Éboulis de piedmont : Constitués de cailloutis très propres, ils peuvent atteindre des épaisseurs importantes (jusqu'à 100m) au pied des reliefs maestrichtien (Djebel Doukkane).

a.3. Alluvions : Formées de cailloutis et petits galets enrobés dans un ciment plus ou moins argileux, elles peuvent atteindre 20 m d'épaisseur (Ain Babouche). Leur surface est encroûtée de tufs calcaires. Au Nord, c'est surtout vers le djebel Tazbent qu'elles constituent de vastes plaines faiblement inclinés vers le Sud-Ouest.

b-Mio-Pliocène :

Vers Ain Babouche, le Mio-pliocène est discordant et transgressif sur les calcaires de l'éocène moyen. De la base vers le sommet et sur une quarantaine de mètres d'épaisseur, on note :

- Une alternance d'argiles gypseuses et de lentilles de sable ;
- Des sables siliceux jaunes (environs 20 m).
- On note également la présence d'hydroxyde de fer et de gypse fibreux.

c- Éocène moyen et inférieur :

c.1. Lutétien inférieur : ce niveau montre des calcaires à nummulites avec des horizons phosphatés qui existent localement à la base de la série.

c.2. Yprésien : Il est constitué par une série siliceuse ou marneuse. Au Nord-Ouest de chéria (Dj. Onk et Labiod), la série de l'Yprésien débute par des calcaires massifs siliceux avec géodes siliceuses et se termine au sommet par des marnes.

c.3. Thanétien : Les formations lumachelliques (calcaires et marnes) constituent une série contenant de bas en haut : des lumachelles à huitres passant à des roches à texture très fine, silicifiées et cavernueuses puis à des calcaires et à des marnes. Ces formations affleurent donc au sud de chéria, sur les bordures des anticlinaux de la région de Téli djène, ainsi qu’au Nord, dans les massifs du Djebel Labiod et le pourtour du Djebel Onk.

c.4. Dano-Montien : Ce niveau est formé d’assises inséparables de marnes daniennes et de calcaires à silex Montiens. Il est particulièrement développé dans le Djebel Tazbent, ou il correspond à des marnes très argileuses, noirâtres, d’une épaisseur de 100 à 150m. Vers le Sud, notons cependant que les niveaux marneux se réduisent considérablement, ils passent à des calcaires crayeux à silex dont l’épaisseur, difficile à évaluer, ne serait plus que d’une vingtaine de mètres.

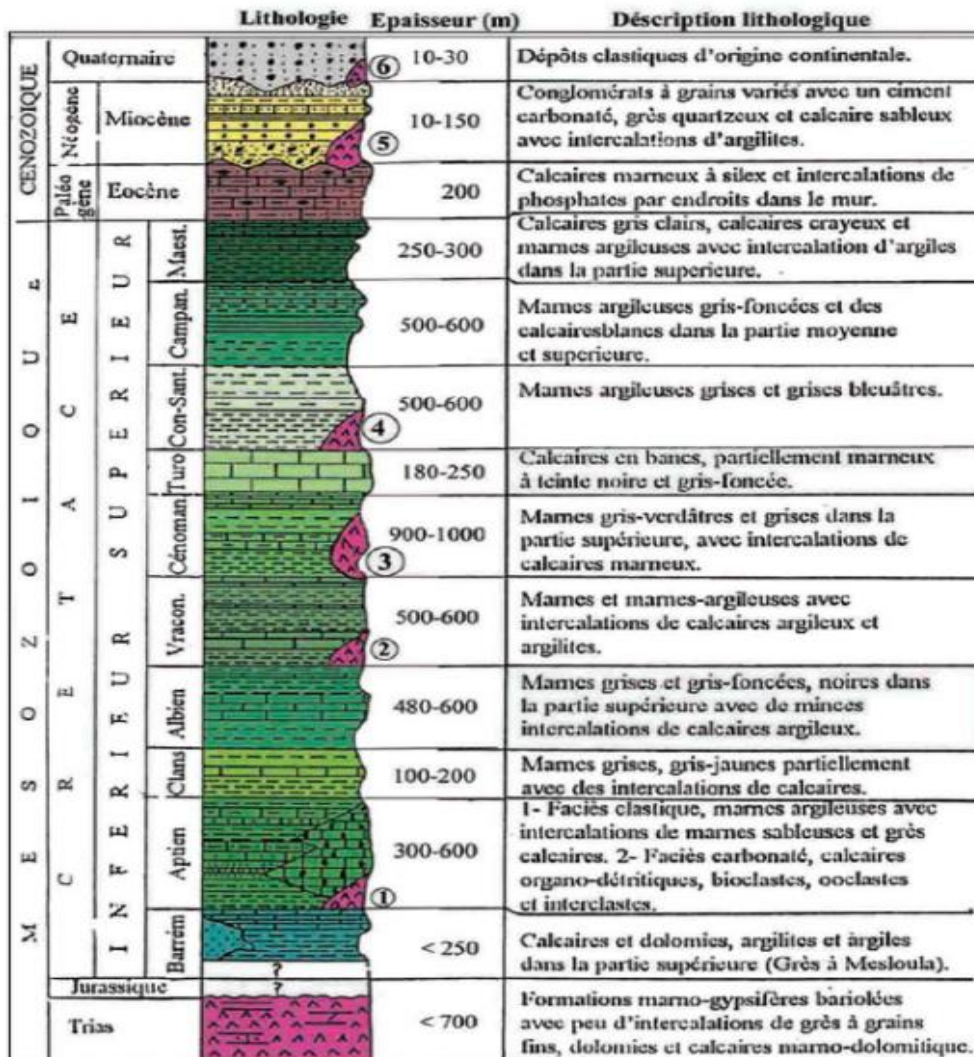


Fig.28: Colonne stratigraphique synthétique des monts de la région de Tébessa (d’après :Dubourdieu 1956, 1959 ; David 1956; Madre 1969 ; Fleury 1969 ; Thibieroz et Madre 1976 ;Chikhi, 1980 ; Otmanine 1987, Bouzenoune 1993 et Vila et al, 2000).

d- Crétacé Supérieur :

Cette formation est parfaitement représentée dans la région de Chéria.

d.1. Sénonien supérieur : litho-logiquement, le Sénonien se subdivise en deux systèmes, l'un à la base essentiellement marneuse, l'autre au sommet constitué de calcaires massifs. Il forme d'importantes lignes de reliefs.

d.1.1 Maestrichtien : Une puissante formation de calcaires surmonte les marnes du campanien. Le sondage Bir Droudj a traversé le maestrichtien sur toute son épaisseur (220 m).

Ces calcaires subissent également des variations de faciès du Nord au Sud, les bancs supérieurs se chargeant en silex et présentent alors une grande analogie de faciès avec certains niveaux de l'Eocène moyen.

d.1.2. Campanien : Il est constitué de marnes grises en profondeur, verdâtres en surface. Ces marnes contiennent de nombreux cristaux de gypse considérés longtemps comme d'origine lagunaire.

En effet R. LAFFITTE (1939) a montré que ce gypse provenait essentiellement de l'oxydation des sulfures (minéraux pyriteux).

Le campanien a une épaisseur visible de 300 à 400 m au Nord-Est de la plaine de Chéria (Bouakkous).

d.2. Turonien : Il se présente par des petits affleurements, situés au sud de Chéria vers Outa Oum Khaled, ou au Nord où il forme les Djebel es Senn et Gaaga.

Le faciès est calcaire, de couleur beige rose à patine parfois sombre, piquetée de dépôt d'hématite.

Ce niveau est assez mal connu, on ne peut donc faire aucune hypothèse sur ses possibilités hydrogéologiques.

e. Trias :

Les formations géologiques les plus anciennes datent du Trias. Elles sont constituées essentiellement par des marnes bariolées vertes à rouges, des dépôts gypsomètres à cristaux de quartz et des calcaires dolomitiques.

Ces faciès apparaissent sous formes de pointements diapiriques nombreux, jalonnant les accidents tectoniques.

Dans la région de Chéria, cette formation se manifeste au Nord, dans le Djebel Foua et Oum el Kemakem, et complètement au Sud, à Hammimat Guibeur et Draa Debbane.

f. Conclusion :

La série stratigraphique est connue ici sur 1000m. Elle est constituée de marnes et marno-calcaires, de calcaires, de sables argileux et d'alluvions.

Les formations marines, c'est –à-dire le trias, crétacé et l'écène, occupent 80 % de la sédimentation ; Les 20% correspondent aux formations sableuses et alluvionnaires continentales du Mio-Plio-Quaternaire.

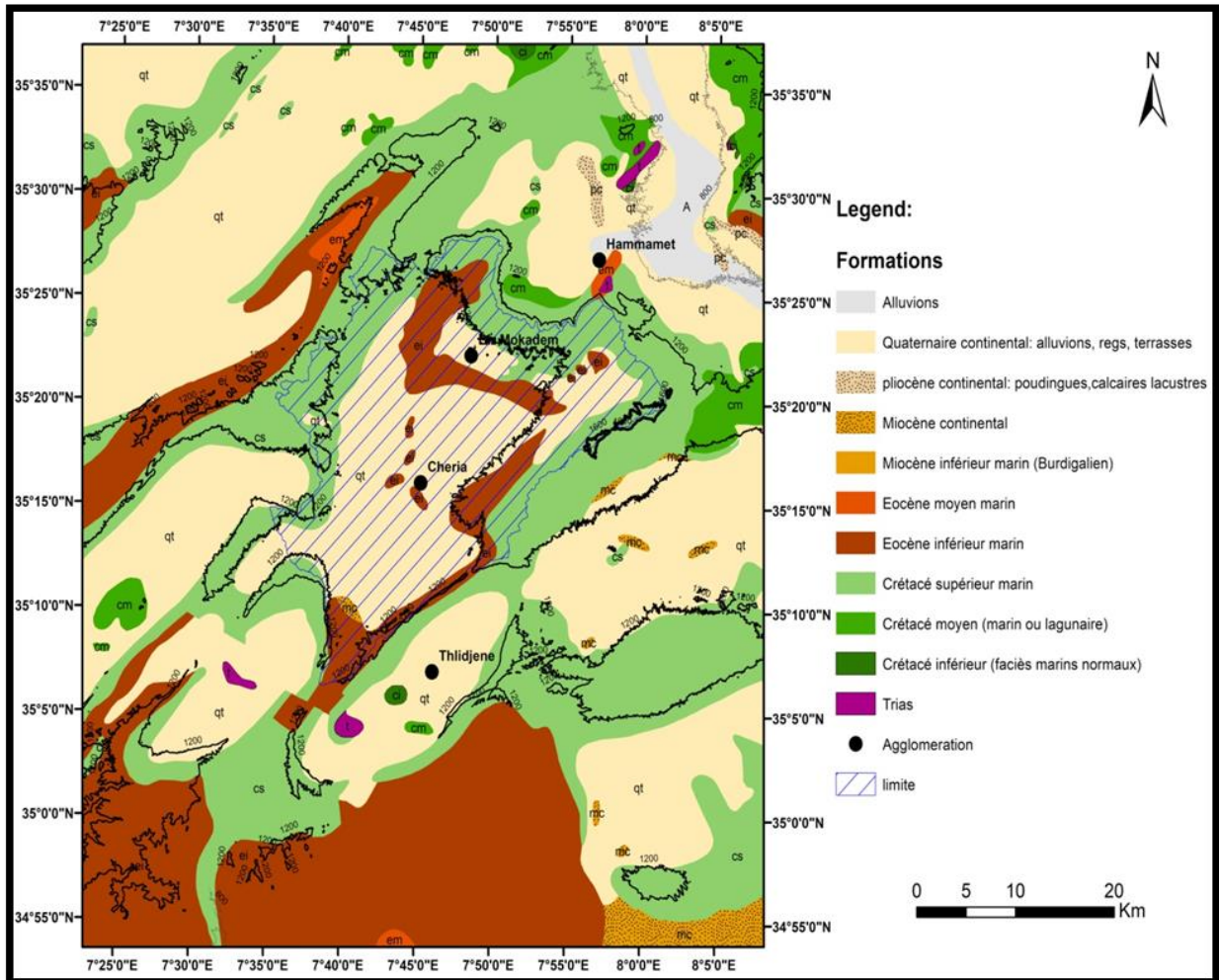


Fig. 29 géologie de la région de Chéria extrait de la carte géologique de l’Est-Algérie
Échelle : 1/500 000

III.3.2 : Tectonique :

La région de chéria a acquis sa structure à la suite de plusieurs phases, survenues à partir du Lutétien. Durant ces phases, qui traduisent un important raccourcissement entre la plaque européenne et la plaque africaine, est apparue la chaîne plissée qui englobe les Auprès, les Nememcha, les structures de la région de chéria et les Monts de Tébessa.

Du point de vue structural, la plaine de chéria résulte de la juxtaposition de plusieurs cuvettes synclinales. la cuvette amont a tendance à se poursuivre vers le Nord-Est , la cuvette aval se prolongent vers le Sud-Ouest par le synclinal compris entre les dômes de hammimat guiber. Ces charnières synclinales sont allongées suivant des directions NE-SW. Une autre direction structural sensiblement orthogonale à la première,se traduit par des grandes failles sur la plaine.On note également une série d'anticlinaux dont les axes sont orientés NE-SW et se localisent dans les régions de Gasses, Bhiret Télidjène et d'el Outa Guiber.

III.3.2.1 : Style tectonique :

Plusieurs phases orogéniques sont à l'origine des structures rencontrées dans la région (R.GUIRAUD ?1973 ET 1975- M.DURAND DELGA ,1955).

A. Phase atlasique :

La phase atlasique se manifeste entre le lutetien supérieur et le Miocène inférieur. C'est une phase " antéburdigalienne" durant laquelle les séries du secondaire et du tertiaire inférieur ont été plissées ; il est apparu alors des plis vastes et souples, avec des axes orientées SW-NE. La formation des anticlinaux s'est accompagné d'une fracturation dont les directions dominantes sont NW-SE, E-W, ou SW-NE.

Dès cette période, ont débuté les remontées du Trias plastique par diapirisme jusqu'en surface à la faveur de fractures qui ont ouvert la voie aux venues minéralisées.

La direction du raccourcissement majeur est voisine de NW-SE.

B. Phase alpine :

On peut distinguer au cours de la phase alpine plusieurs épisodes tectogénique (R. GUIRAUD,1973,1975 et 1977 –J.M. VILA,1980).

Durant ces épisodes on note principalement le jeu ou le rejeu de failles obliques sur les plis atlasiques. Il s'agit essentiellement de décrochements, particulièrement important au sud de chéria, dans le secteur de Hammimat Guiber et Draa Foum Debbane.

Les séries miocènes sont également parfois légèrement plissées. Les épisodes tectoniques majeurs se situent durant le tortonien et vers la base du quaternaire (R. GUIRAUD ,1973 et 1975). Ils traduisent un raccourcissement subméridienne.

Depuis la base du quaternaire, l'érosion a façonné certains reliefs et leur a donné leur modelé actuel. Dans les montagnes, les grands oueds creusent des profondes vallées et les dépressions tendent à se combler.

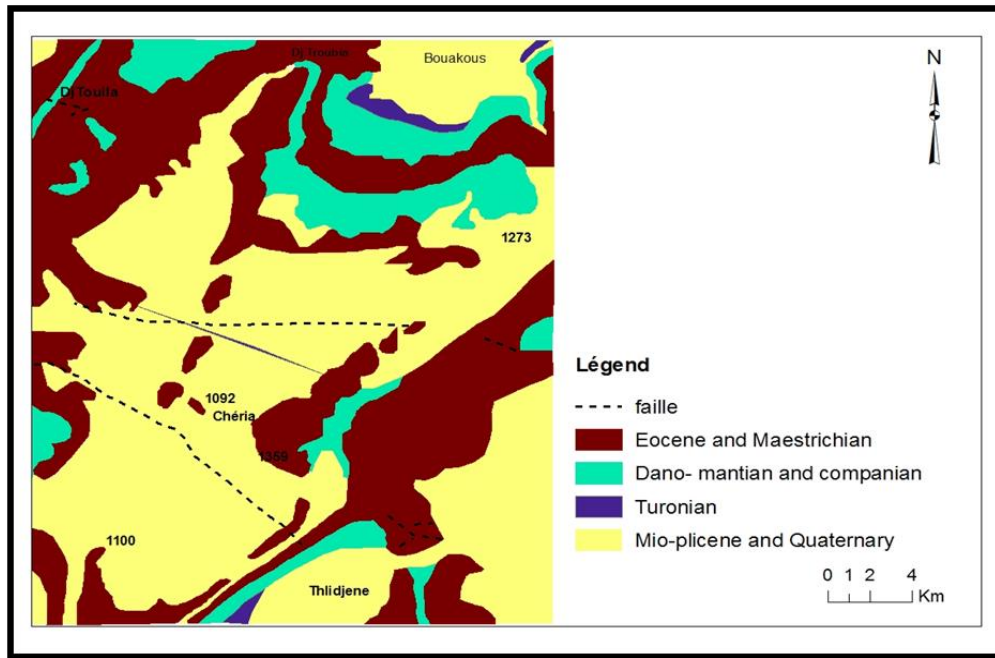


Fig.30 : Esquisse Hydrogéologique du Plateau de Chéria

III.3.2.2 : Conséquences hydrogéologiques :

Les phases atlasique et alpines ont eu une incidence sur l'hydrogéologie de la région. Elles sont responsables de la géométrie des réservoirs et sont aussi à l'origine d'une perméabilité de fissure au niveau des formations calcaires.

La fracturation a ensuite évolué par phénomène de dissolution (Karstification), ce qui a entraîné la formation d'aquifères karstique : dans les calcaires du maestrichtien et de l'éocène, essentiellement.

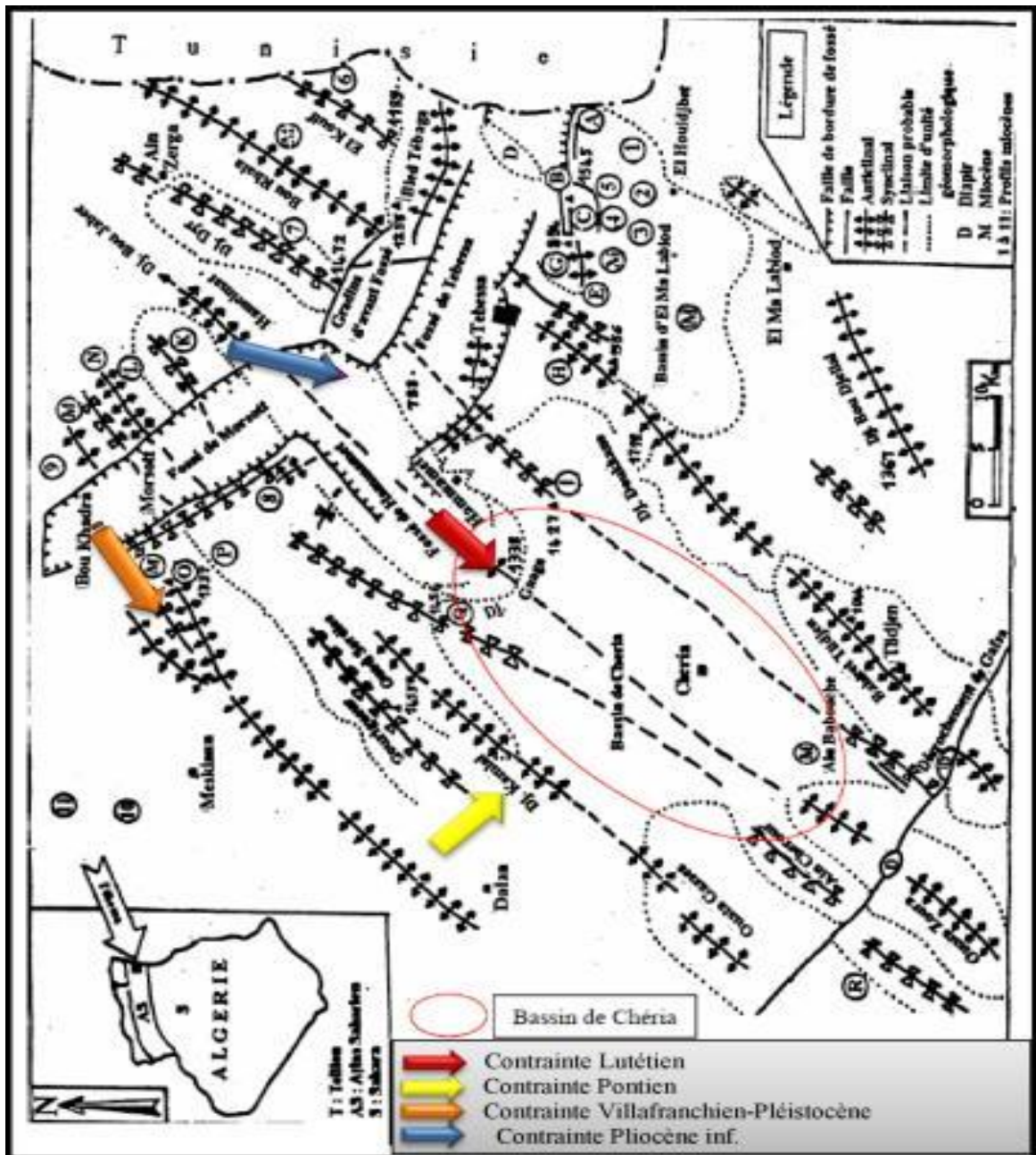


Fig.31 : Esquisse tectonique des environs de Tébessa (Hamimed, 2005, Modifiée)

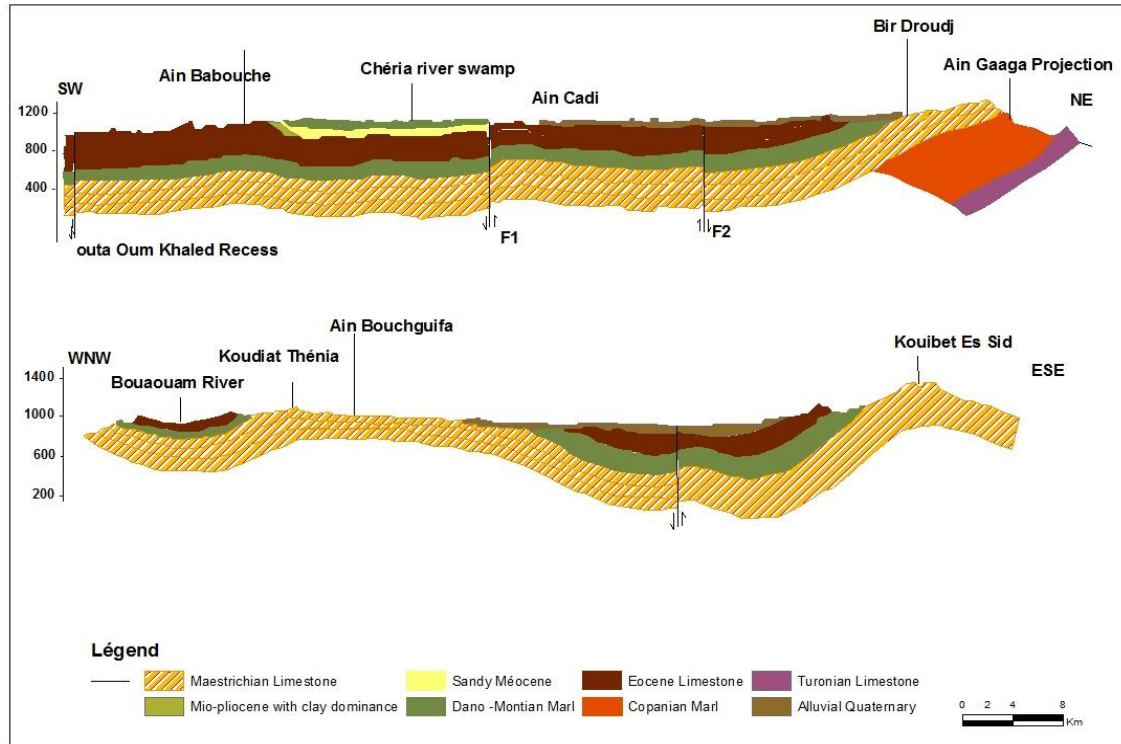


Fig.32: Coupe géologique du plateau de Chéria

III.3.2.3 :Conclusion

L'étude géologique du plateau de Chéria nous a permis de dégager les constatations suivantes :

✓ La région ne présente aucun terrain d'âge antérieur au Crétacé supérieur. Elle est constituée de deux grands ensembles :

- Les affleurements de bordure et à l'intérieur du plateau d'âge Maestrichtien et Éocène.
- Les formations d'âge Mio-Plio-Quaternaire qui se répartissent sur le reste du plateau.

✓ à la suite de deux phases de plissement dites anti-Miocène de direction NW-SE et la phase post-Miocène La structure géologique du plateau de Chéria correspond à un synclinal dont les bords forment des édifices structuraux orientés dans deux directions opposées de direction NE-SW.

✓ Le développement du processus de karstification s'est fait préférentiellement selon les axes de fissuration qui se superposent aux directions d'écoulement superficiel et souterrain.

III.4 : hydrogéologie

La description de la série stratigraphique, démontre l'existence de quatre terrains peuvent être aquifères :

- Les calcaires maestrichtiens ;
- Les calcaires éocènes ;
- Les niveaux sableux de Mio-pliocène ;
- Les cailloutis et les graviers quaternaires.

L'exécution de neuf forages touchant les formations des calcaires maestrichtiens, ont révélé la présence des fissurations au niveau de six forages.

L'Aquifère des calcaires Éocène reconnu par plusieurs forages surtout autour de la ville de Chéria, marqué par une importante exploitation. Les zones fissurées se rencontrent généralement dans les 100 premiers mètres de la série calcaire, outre les zones karstifiées localisées dans les 50 premiers mètres.

On donne dans les tableaux (15 et 16) les caractéristiques des forages ayant touché ou traverser les calcaires Éocène.

Tab. 15: Caractéristiques des forages ayant touchés les calcaires « **Éocène** »

N° de forage	505	508	510	511	512	513	514	515
Profondeur Total (m)	54.6	51	29.1	34	30.6	30	31.9	12
Prof. du toit des calcaire(m)	1.5	0	2.6	2.6	0	0	0	3.5
Prof. du mur des calcaire(m)	?	?	?	?	?	?	?	?
Épaisseur des calcaires traversés(m)	23.15	51	29.15	31.4	30.6	30	31.9	8.5
Nature du terrain de recouvrement du calcaires	Terre végétale	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant	Terre végétale
Prof. Des zones fissurées (m)	0-14.7	19.7-23	3-5 9.1-15.1	2.6-17.2 26.5-29.2	10.3-11.6 19.93-23.3	0-6 9-18.5	0-8 11-20	3.5-12
Prof. Des zones karstifiées (m)	0-14.7	19.7-23	9.1-15.1	26.5-29.2	19.93-23.3	-	-	3.5-12
Résistivité donnée par la géophysique de surface (ohm-m)	200	200	200	200	200	-	-	200
Résistivité donnée par le carottage électrique log-normal (ohm-m)	-	-	-	-	-	-	-	-
Niveau statique(m)	5.5	1.45	1.45	1.8	1.45	5.6	6.20	5.5
Débit (l/s)	?	16	13.6	15	44.5 110	0.1à 0.3	2.4	0.2
Rabattement (m)	?	0.1	0.09	0.13	0.01 0.12	?	10.8	?

Tab. 16 : Caractéristiques des forages ayant touchés les calcaires « **Éocène** »

N° de forage	516	517	522	523	524	527	536	537
Profondeur Total (m)	20	20	132.5	100	317.7	121.3	230	250
Prof. du toit des calcaire(m)	1.1	1.1	96	80	80	6.2	37.5	64
Prof. du mur des calcaire(m)	?	?	?	?	?	?	230	250
Épaisseur des calcaires traversés(m)	18.9	18.9	36.5	20	237.7	115.1	192.5	186
Nature du terrain de recouvrement du calcaires	Terre végétale	Terre végétale	Cailloutis quaternaire	Sable et Gravier Mio-Pliocène	Sable et Gravier Mio-Pliocène	Sable et Gravier Mio-Pliocène	Cailloutis quaternaire	Cailloutis et Argile quaternaire
Prof. Des zones fissurées (m)	3-5.1 6.5-8 9-19	5.1-19	Néant	Néant	98-317	6.2-7 40-54 110-114	184	184
Prof. Des zones karstifiées (m)	9-19	6-19	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant
Résistivité donnée par la géophysique de surface (ohm-m)	200	200	300	300	300	-	250	250
Résistivité donnée par le carottage électrique log-normal (ohm-m)	-	-	?	180	?	-	250-600	-
Niveau statique(m)	3.4	1.57	40	14.35	6	artésien	26.08	26.56
Débit (l/s)	109.7	111.1	12	13.2	23.5	5	4	2.9
Rabattement (m)	0.09	0.51	14.0	15.0	35.4	-	40	17.2

Le réservoir Éocène 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. Les calcaires éocènes sont en contact avec les alluvions quaternaires aquifères (qui souvent drainent les calcaires maestrichtiens). Il y a 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'OutaOum Khaled.

L'examen des situations piézométriques, montrent le même axe principal de l'écoulement Nord - Sud. 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.

III.5 : Géophysique du plateau de Chéria

Le principal objectif d'une investigation géophysique de proche surface est de déterminer la nature du sous-sol. Une investigation géophysique appliquée à l'hydrogéologie peut fournir de nombreuses informations utiles telles que le type de dépôts, la présence et la localisation d'un aquifère, la géométrie de cet aquifère (extension latérale et variabilité de l'épaisseur), la profondeur de la nappe, la profondeur du roc et les structures sédimentaires des dépôts.

Les méthodes de prospection géophysique ont pour objectif de caractériser les variations de certains paramètres physiques des terrains du sous-sol, afin d'obtenir des informations géologiques sur leur nature et leurs propriétés. Ces méthodes constituent un des outils les plus utilisés pour définir les ressources en eau dans des milieux poreux et fissurés. Tandis que plusieurs études ont montré l'intérêt des applications de la géophysique à des structures karstiques, ces méthodes ne sont toujours pas systématiquement utilisées aux études hydrogéologiques.

Les méthodes géophysiques sont appliquées après réalisation des études préliminaires. Elles apportent des informations supplémentaires sur le modèle géologique et permettent de réaliser un second zonage plus précis, au droit des anomalies mesurées susceptible d'être reliées à des cavités.

Les deux principales investigations géophysiques menées sur cette région ont été exécutées par deux sociétés, à savoir la compagnie Transacta-Geometal en 1971 et la compagnie CGG en 1970, l'étude la plus récente est celle de Zerdazi, A. (1990) dans le domaine de la gravimétrie (BENHAMMADI hocine 2016).

III.5.1 : L'investigation géo électrique

Un dispositif de plus de 300 sondages électriques disposés sur des profils Nord-ouest Sud-est, ainsi que des sondages avec une orientation Nord Est et d'autres disposées au niveau de la région de Thlidjene, couvrant la totalité du plateau de Chéria ont marqué la campagne électrique.

Dans notre cas, nous avons choisi la représentation de tous les profils (figure 47), à savoir d'assurer la couverture de la totalité du plateau le Nord, l'Est, l'Ouest le centre et le sud du plateau.

III.5.2 : Les coupe géo électriques

L'analyse des coupes géo électrique, (annexe 02) permet de cerner les épaisseurs et l'allure des couches dans l'espace. D'après ces coupes on peut tirer les résultats suivants :

III.5.2.1 : Les calcaires du maestrichtien

Ce sont des terrains résistants (200-500 Q m) bien distingués des calcaires Éocènes. Ils se

présentent en une structure synclinale avec des épaisseurs relativement constantes, de l'ordre de 250 m. On observe un approfondissement des calcaires maestrichtien qui pourrait se traduire par un accident probable de direction NNE-SSW.

III.5.2.2 : Les marnes du Danien

Elles ont des valeurs de résistivité relativement faibles (5-15 Q m) par apport aux formations sus et sous-jacentes et forment un niveau nettement distingué des autres. L'épaisseur des marnes est de l'ordre de 200 m.

III.5.2.3 : Les calcaires de l'Éocène

Les calcaires Éocènes. reposent directement sur un substratum conducteur. Ils ont des épaisseurs variables allant de 50 à 300 m et des résistivités variables de 150 à 400 Qm.

III.5.2.4 : Remplissage alluvionnaire (Quaternaire et Mio-Pliocène)

Le remplissage alluvial se caractérise par une hétérogénéité très remarquée et une géométrie très variable. Au sein de ce remplissage, on a des intercalations de deux niveaux résistants, présentant des résistivités allant de 10 à 150 Qm.

III.5.3 :Interprétation :

Bien que la géophysique ne soit pas le but de notre étude, nous essayerons sur la base des résultats par les anciennes compagnes de mettre en relief ce qui a été obtenu.

La carte (ISO-résistivité) en ligne AB=1000m, avec une profondeur d'investigation de 200 m, a laissé apparaître une plage conductrice avec des résistivités ne dépassant pas 50 ohm-m, correspondant aux marnes Daniennes, intercalées entre les calcaires de l'Éocène et les calcaires du maestrichtien.

Une deuxième carte résultant de cette compagne, est celle du toit du substratum résistant (200 a 300 ohm), correspondant aux calcaires d'une part d'âge éocène dans la partie Est et d'âge maestrichtien du coté Ouest.

Pour ce qui est des coupes, l'observation de celles représentées sur les profils mentionnés ci-dessus, permet d'avancer ce qui suit :

Le secteur Nord, la coupe profil C montre une structure en forme de synclinal. Les résistivités rencontrées dans ces secteurs varient de 15 à 250 ohm-m. la coupe représentée sur la figure 6, montre l'évolution de cette structure en forme de synclinal, constitué d'un recouvrement peu résistant entre 15 et 60 ohm, correspondant aux formations plio-quaternaires (limons argileux et graveleux).

La deuxième formation sou jacente mise en évidence, correspond au niveau résistant (200 à 300 ohm). Ce niveau correspond aux calcaires éocènes fissurés affleurant aux deux extrémités de la coupe. Les valeurs du coté nord-ouest ont donné des résistivités atteignant les 500 ohm, correspondant à des calcaires compactes. Un dernier niveau, conducteur (50 ohm-m), sous-jacent a aux calcaires éocènes, correspondant aux marnes daniennes.

Dans la partie Sud, les formations argileuses du Mio-Pliocène sont plus épaisses.

Le secteur centre représenté par la coupe du profil J (annexe 02), laisse apparaître les mêmes horizons que la première coupe, avec des niveaux résistants (200 à 300 ohm), et des niveaux conducteurs (5 à 20 ohm), ces deux niveaux ont été identifiés comme les calcaires de l'éocène et les marnes Daniennes, cela confirmé par leur affleurements.

La coupe du profil P (annexe 02), concerne le secteur Sud du plateau, on retrouve la même configuration géologique, montrant une certaine continuité avec les précédentes. La même plage des valeurs de résistivité au niveau de ce profil, témoignent de la même lithologie que pour les secteurs précédents.

III-6 :INTERPRÉTATION STRUCTURALE DES linéaments PAR TRAITEMENT D'IMAGE SATELLITAIRE.

III.6.1 : Introduction

Au cours de l'évolution géologique, l'écorce terrestre a subi des déplacements complexes dans diverses directions. Les roches qui la composent sont comprimées en plis, se chevauchent les unes sur les autres, subissent des ruptures, etc. Il en résulte que le relief de la surface terrestre change avec la formation de montagnes et de dépressions profondes. Aussi, les renseignements les plus exhaustifs sur le signe, la durée et la vitesse des mouvements tectoniques peuvent être fournis par l'analyse des données géologiques. Les plus importants parmi ces derniers sont apportés d'une part, par la lithologie et d'autre part, par les linéaments géologiques (Milnitchouk et Arabadji, 1979).

Selon O'hary et al. (1976). un linéament est un trait linéaire simple ou composé, décelé en surface, dont les différentes parties, alignées selon une droite ou une courbe, ressortent distinctement de leur entourage et reflètent possiblement un phénomène engendré sous la surface. Ces linéaments s'associent à des éléments structuraux comme les failles, les fractures, les axes de plissements et les contacts lithologiques. Ils se traduisent par des dépressions topographiques, par le réseau hydrographique et par des anomalies de végétation (Yatabe and Howartb, 1984; Soesilo and Hoppin, 1986) (figure 33).

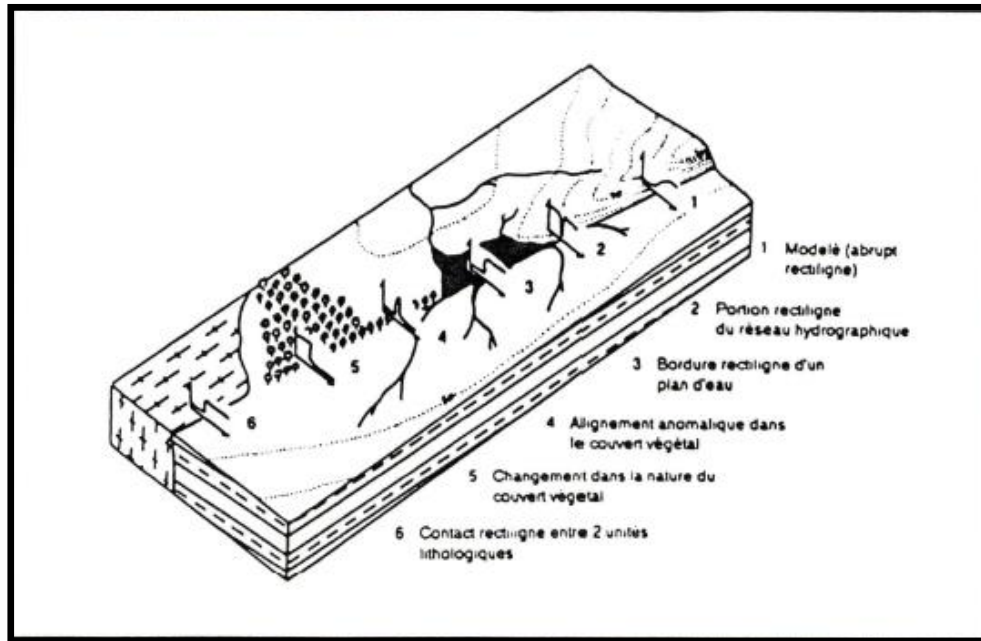


Figure .33 Expression d'un linéament en surface (tiré de Fraipont et Hirsch. 1984)

➤ nous procéderons à la localisation et à l'extraction des linéaments à partir de techniques de traitements d'image (rehaussement d'image à l'aide de composé coloré, filtrage d'image à l'aide de filtres directionnels. Ceci permettra de tracer et d'établir une carte de linéaments de la zone d'étude.

➤ Dans une deuxième étape, nous procéderons d'une part, à l'analyse statistique des linéaments à l'aide de rosaces directionnelles, et d'autre part, à l'analyse spatiale en extractant les linéaments propre au formation de calcaire Éocène. Ceci permettra de déterminer les orientations structurales, la densité de fracturation et les variations spatiales des linéaments.

➤ Dans une troisième étape, nous procéderons enfin à l'interprétation des résultats et à la discussion sur la fracturation.

III.6.2 : Données utilisées

La présente étude est basée sur les SIG, la Télédétection et la cartographie spatiale. Elle s'appuie sur le traitement et l'interprétation d'une quatre scènes Sentinel2 multi-spectrales et panchromatiques qui couvre notre zone d'étude (Chéria Nord-Est Algérie). Nous avons téléchargé l'image satellitaire à partir du site officiel (<http://scihub.copernicus.eu/>).

Le volet « Open Access Hub » permet d'accéder à toutes les données des missions Sentinel, via l'interface graphique montré dans la (Figure 34) :

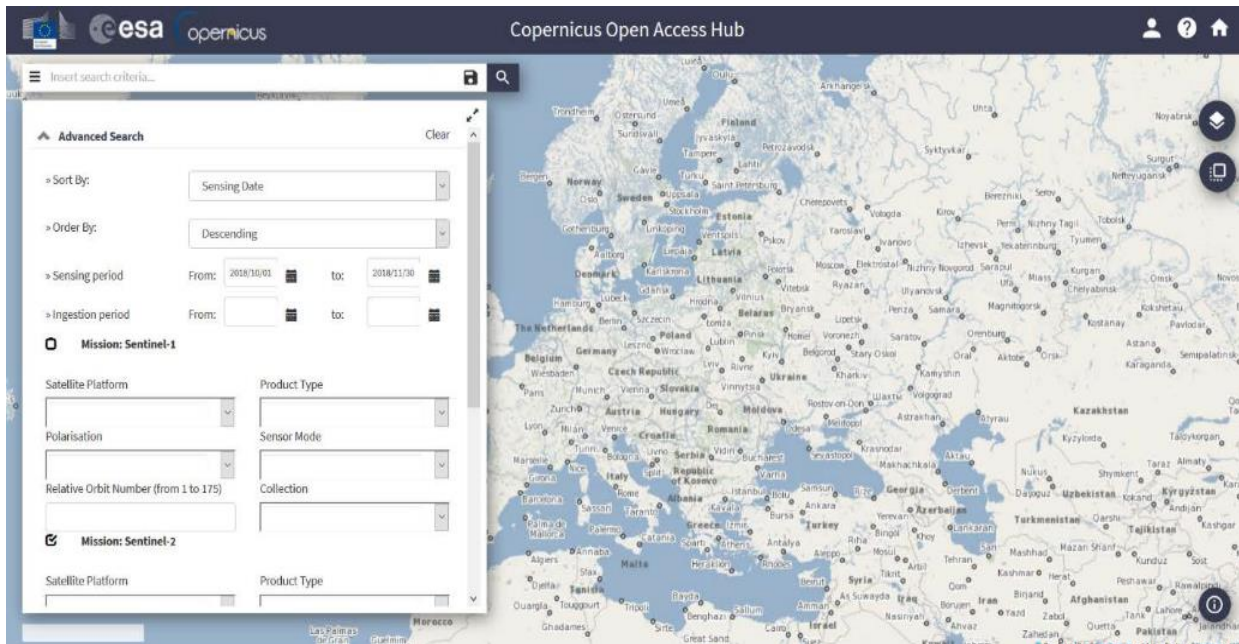


Figure .34 : Volet de filtrage des données

Les satellites Sentinel 2 possèdent plusieurs spécificités qui en font des outils innovants pour l'agriculture numérique. La répétitivité de la mesure (passage tous les 5 jours) et la multiplicité des mesures **13** bandes observées, (Figure35) permettent de suivre à haute résolution l'occupation des sols et les données environnementales. Les caractéristiques principales sont les suivantes :

- Composé de 2 satellites 2A et 2B
- Lancés en 2015 et 2017
- Passage tous les 10 jours, soit une revisite tous les 5 jours avec les deux satellites
- Fauchée d'une photo : 290km
- Imageur multi spectral 13 bandes :
 - En 60m : 443nm, 940nm, 1375nm
 - En 20m : 705nm, 740nm, 783nm, 865nm, 1610nm, 2190nm
 - En 10m : 490nm, 560nm, 665nm, 842nm

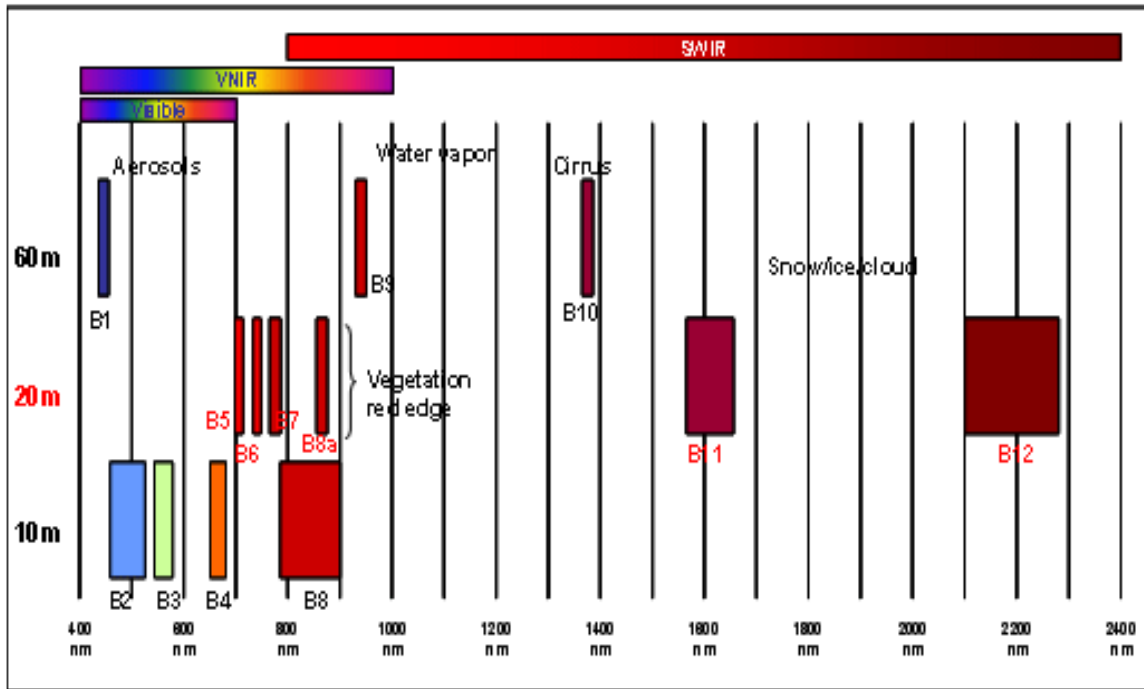


Figure 35 : Les bandes spectrales observées par Sentinel 2 et leur résolution

Table.17: Caractéristiques spatiales et spectrales des bandes sentinelles 2A
(<https://sentinel.esa.int>)

Bandes Sentinel-2	Longueur d'onde centrale [micromètres]	Résolution [mètres]
Band 1 –Aérosol (bleu côtier)	0.443	60
Band 2 –Bleu	0.490	10
Band 3 –Vert	0.560	10
Band 4 –Rouge	0.665	10
Band 5 –Végétation RedEdge	0.705	20
Band 6 –Végétation RedEdge	0.740	20
Band 7 –Végétation RedEdge	0.783	20
Band 8 –PIR	0.842	10
Band 8A –Végétation Red Edge	0.865	20
Band 9 –Vapeur d'eau	0.945	60
Band 10 –MIR –Cirrus	1.375	60
Band 11 –MIR	1.610	20
Band 12 –MIR	2.190	20

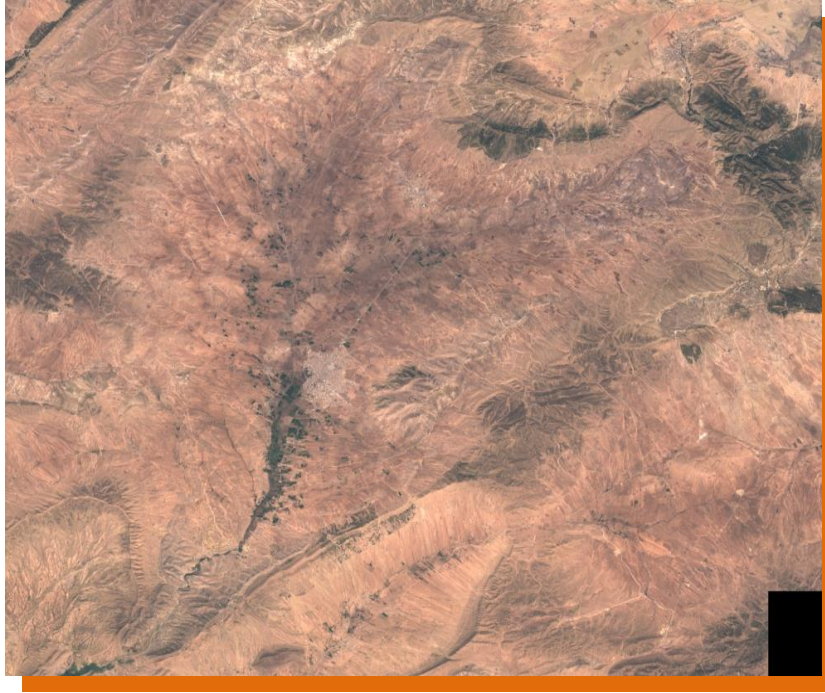


Fig.36: Image satellitaire de la région d'étude colorée Sentinelle 02A
RGB Résolution (10m).

Diverses méthodes assistées par ordinateur pour l'extraction de linéaments ont été utilisées. L'utilisation de telles fonctions est facile et rapide. Ils offrent également un haut degré de reproductibilité contrairement à processus manuels subjectifs classiques (Mallast et al. 2011). La plupart des méthodes sont basées sur des techniques de filtrage de bords. Le logiciel le plus largement utilisé pour l'automatique l'extraction de linéaments est le module LINE de la PCI **Geomatica** et **Arcgis** pour réaliser une carte de densité de linéaments et on a utilisé le **rocksworks** pour réaliser un rose diagramme.

Nous avons utilisé une image Sentinelle A2 (bande 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8a, 9, 10, 11, et 12). Le groupe panchromatique était avec une résolution de 10 m. Dans notre approche méthodologique (figure 37) les linéaments ont été extraits automatiquement à partir de ces bandes avec le module LINE de PCI Géomatica. Cependant, la fonction comprend plusieurs paramètres qui doivent être ajoutés simultanément sans possibilité de visualiser l'impact de chacun d'eux séparément.

III.6.3 :Extraction des linéaments

III.6.3.1 :Traitement de l'image satellitaire

➤ **Le filtre directionnel** ou le dérivé premier d'une image est un filtre d'amélioration de contour qui rehausse sélectivement les caractéristiques de l'image ayant des composantes de direction spécifique. La somme des éléments du noyau du filtre directionnel est nulle. Il en

résulte que les zones présentant des valeurs de pixel uniformes sont mises à zéro dans l'image de sortie, tandis que ceux qui sont variables sont présentés comme des arêtes vives. Ces filtres directionnels améliorant la perception des linéaments en provoquant un effet optique d'ombre porté sur l'image comme si elle était éclairée par une lumière rasante (Marion, 1987). De plus ce type de filtre permet de rehausser les linéaments qui ne sont pas favorisés par la source d'éclairage (Drury, 1986).

Sous ENVI, le rehaussement des linéaments par filtrage directionnel peut s'effectuer dans toutes les directions. Avec un pas de 45° il est possible de détecter les linéaments dans toutes les directions possibles : EW, NS, NE-SW.

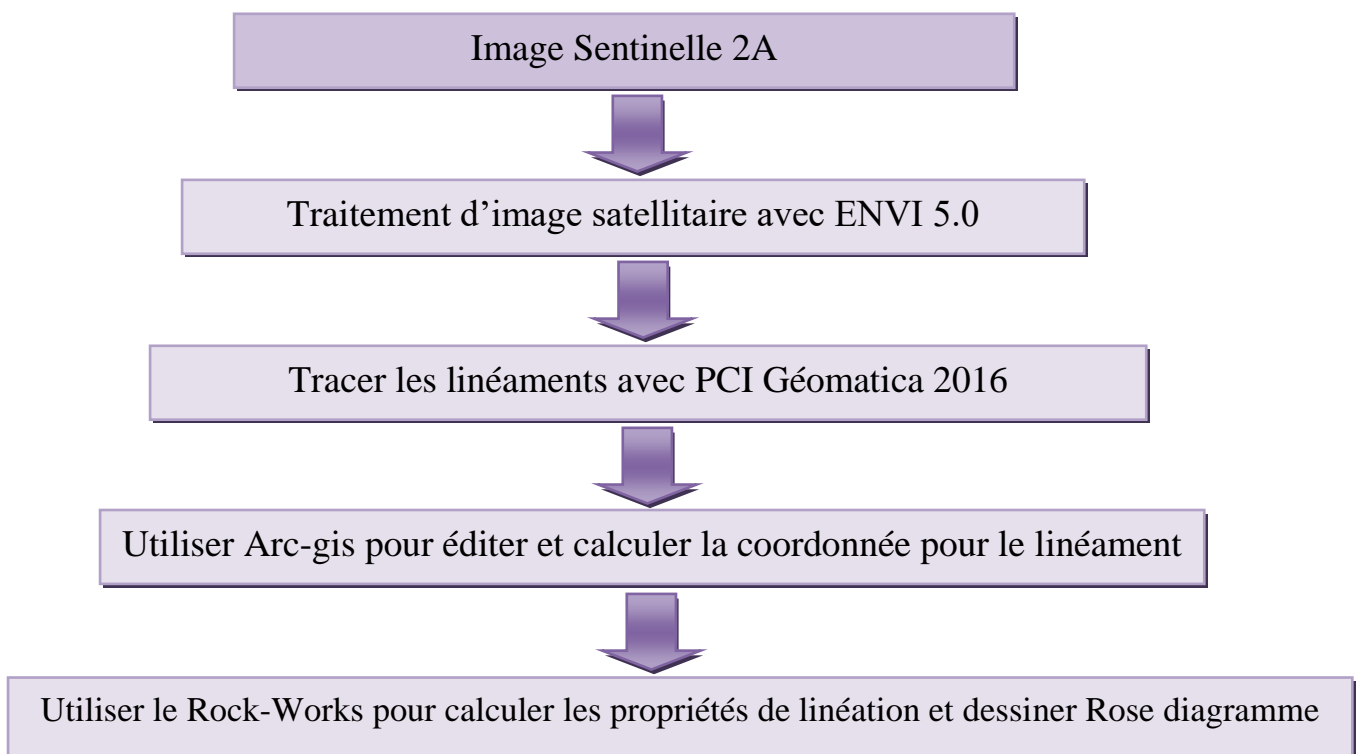


Figure .37: Organigramme de la méthodologie de travail

La dimension des filtres varie selon le besoin (Figures 39 **a** et **b**). La taille de la fenêtre du filtre utilisé a une incidence sur la longueur des linéaments rehaussés, c'est-à-dire que seuls les linéaments et les structures de taille supérieure ou égale à la moitié de la fenêtre de convolution du filtre sont détectés alors que ceux de taille inférieure se confondent avec le bruit de l'image (Colwell, 1983 ; Kouamé et al, 1999). Plusieurs auteurs tels que Hornsby et Bruce (1985) ont retenu des filtres de 5x5 sur les images dont la résolution au sol est de 30x30 m pour des études structurales à l'échelle régionale. Dans le cadre de notre étude et compte tenu des dimensions de

la zone d'étude, et l'image satellitaire de résolution 10x10 m nous avons retenu une fenêtre de 3x3.

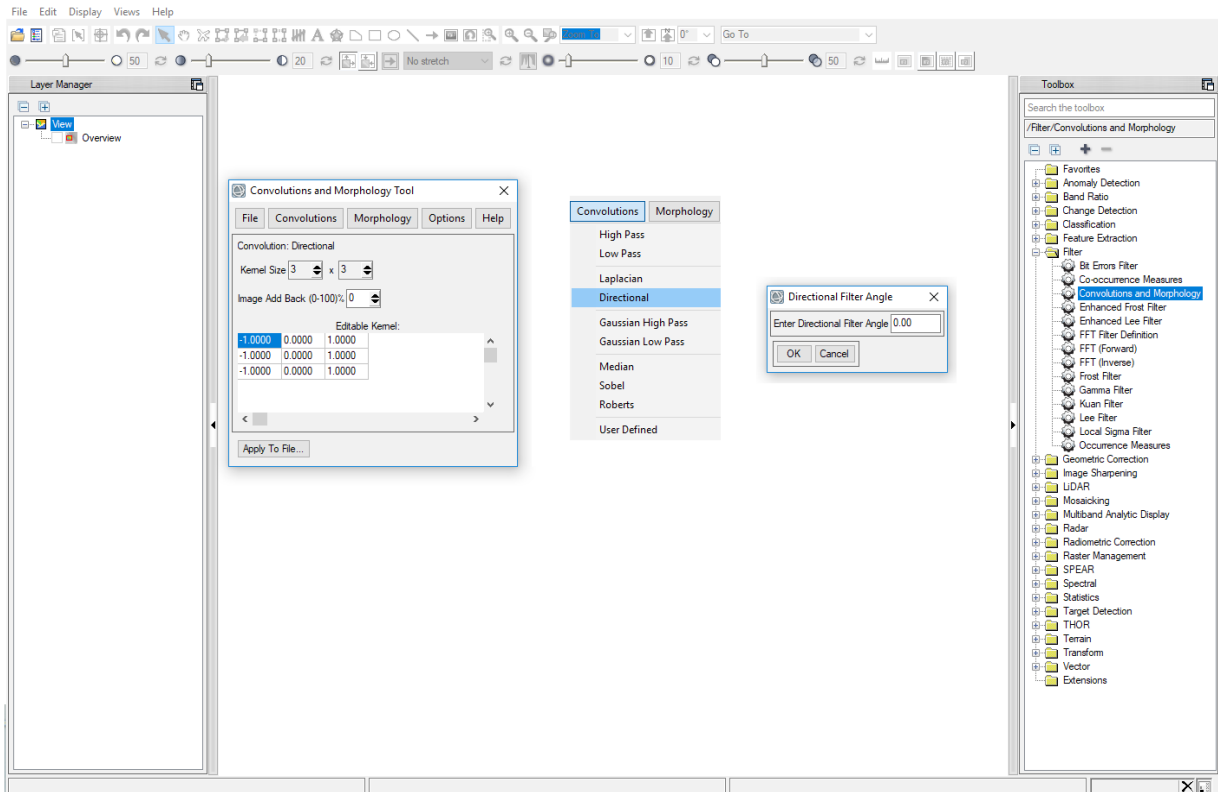
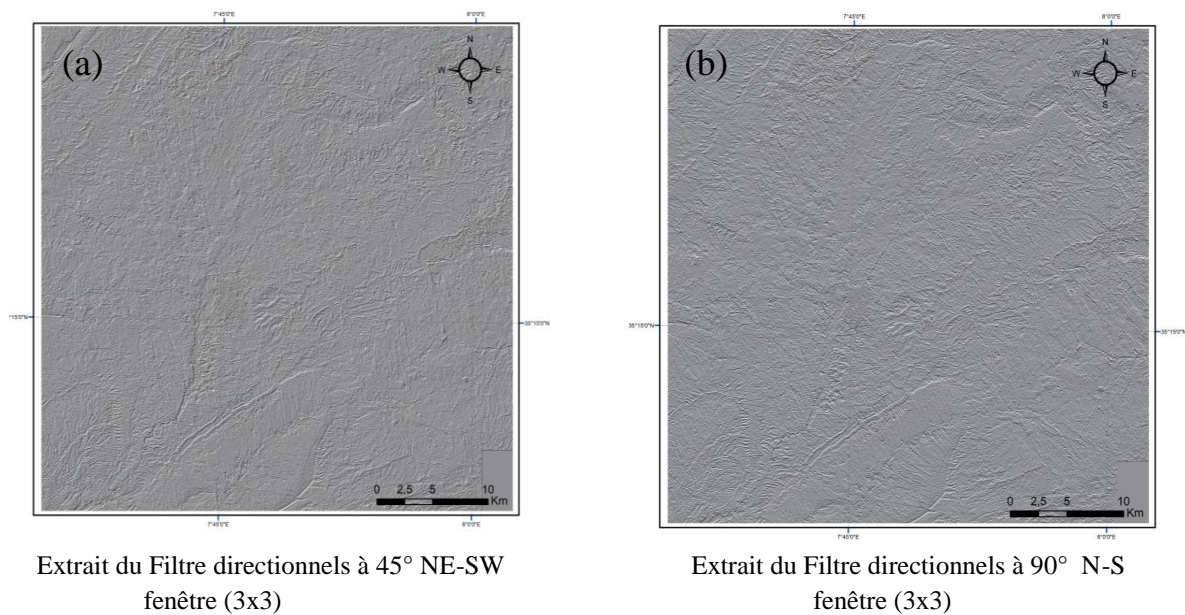


Fig. 38 Boites de dialogue montrant les étapes à effectuer pour obtenir Les filtres directionnels sous ENVI



Extrait du Filtre directionnels à 45° NE-SW
fenêtre (3x3)

Extrait du Filtre directionnels à 90° N-S
fenêtre (3x3)

Fig.39 : Extrait du Filtre directionnels (a) à 45° NE-SW (b) à 90° N-S

➤ *Extraction automatique des linéaments*

La reconnaissance automatique des linéaments a été développée pour répondre au besoin de cartographier de failles dans des zones difficiles d'accès, dans l'investigation de ressources en eau ou encore l'étude de l'histoire tectonique et structurale d'une région (Karnieli et al., 1996). Comparé à l'interprétation visuelle des linéaments, dont les résultats sont rarement reproductibles à l'identique, ce type de traitement permet de réduire la subjectivité et le temps nécessaire à l'analyse des images.

Il peut aussi fournir à l'interprète un complément d'information car il constitue souvent une synthèse pertinente de l'information spatiale souvent surchargée des images satellitaires (Poncelet et Cornet, 2010). Le principe de ces méthodes consiste à détecter au voisinage les pixels qui changent brusquement au niveau de gris à l'aide d'un algorithme. Plusieurs techniques de traitement d'image ont ainsi été développées et utilisées pour détecter ces structures, faisant appel à des images satellitaires ou à des modèles numériques de terrain(MNT).

Pour notre part nous avons utilisé le module LINE de GEOMATICA de PCI. Le module LINE extrait les caractéristiques linéaires d'une image et enregistre les polylines dans une couche vectorielle. Bien que ce module soit conçu pour extraire des traits à partir des images radar, il peut également être utilisé sur des images optiques pour extraire des caractéristiques curvilignes.

La plupart des algorithmes d'extraction de linéament tendent à partager en plusieurs segments un linéament qui varie en intensité le long de sa longueur et que l'œil humain considère comme un seul long linéament. L'algorithme de LINE prend ce problème en compte lors de l'extraction des entités linéaires à partir d'une image. Le module LINE prend en entrée un canal d'une seule image en 8bits. Si le canal d'entrée est de 16 bits ou 32 bits, l'image est d'abord mise à l'échelle de 8 bits. L'algorithme consiste en trois étapes.

Tout d'abord, un opérateur de détection de bord est appliqué sur l'image pour produire une image de gradient. En second lieu, l'image gradient est seuillée pour créer une image de contours binaire. Enfin, les caractéristiques linéaires sont extraites de l'image binaire des contours.

Pour avoir une idée sur l'importance traitements et filtrages que les images doivent subir avant l'extraction automatique, l'extraction s'est effectuée à partir de plusieurs images d'entrées à savoir la S2A la CP1, et les différents filtres directionnels. Compte tenu des avantages et inconvénients de chacune des approches précédentes, jugées inadéquates à nos conditions de terrain, nous proposons une nouvelle méthode d'extraction de linéaments que nous qualifions de semi-automatique.

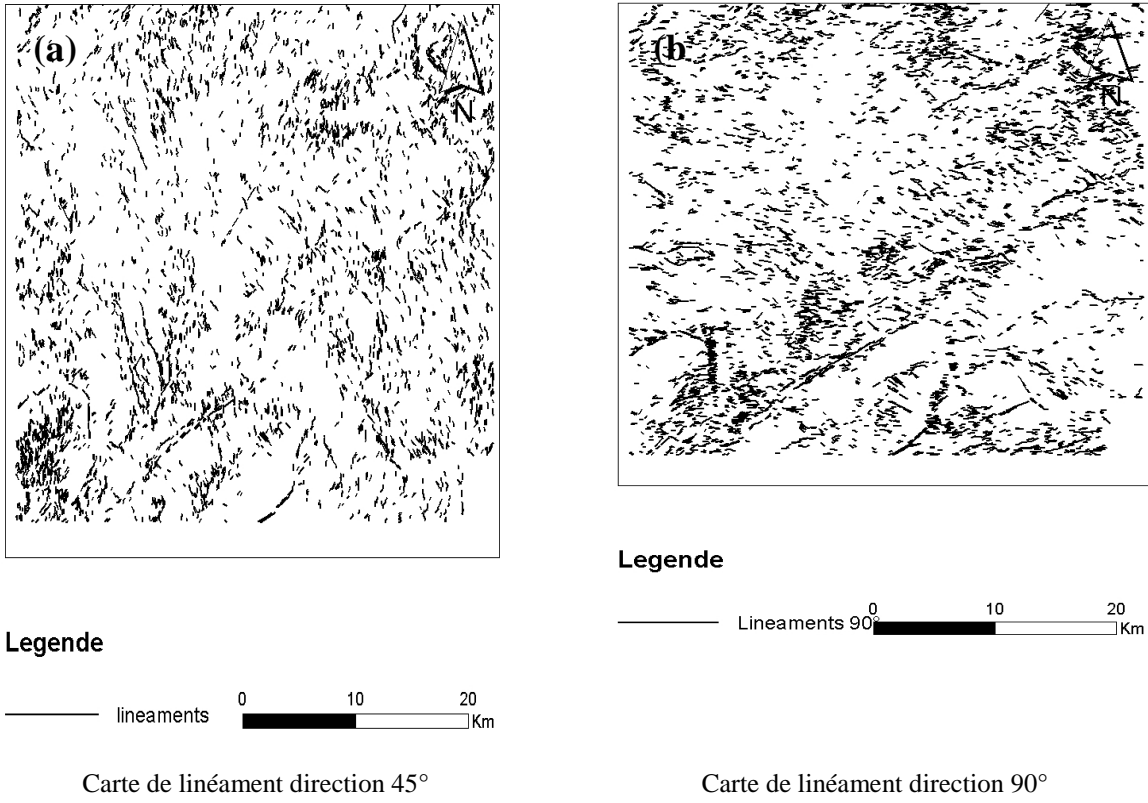
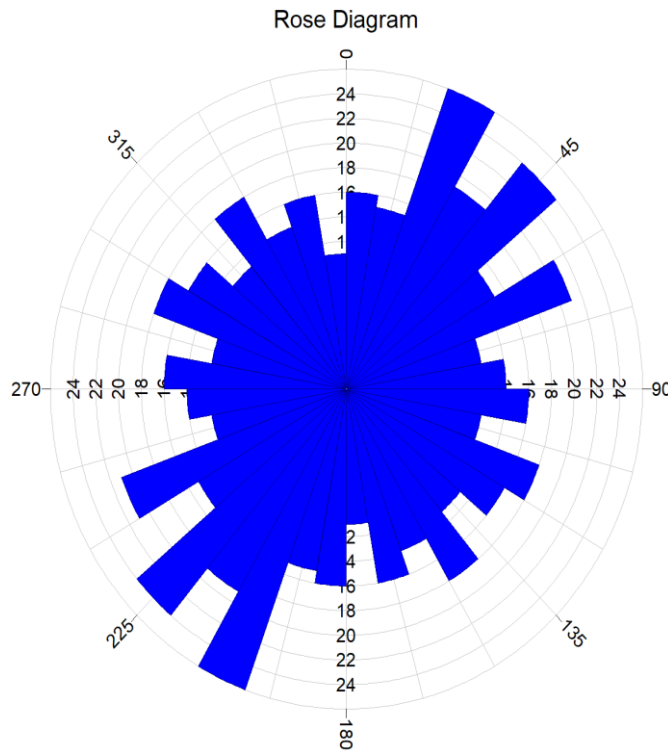


Fig.40 : Carte des linéaments géologique de la région de Chéria (a) 45° (b) 90°



Rose diagramme des linéament du plateau de Chéria Nord-Est Tébessa

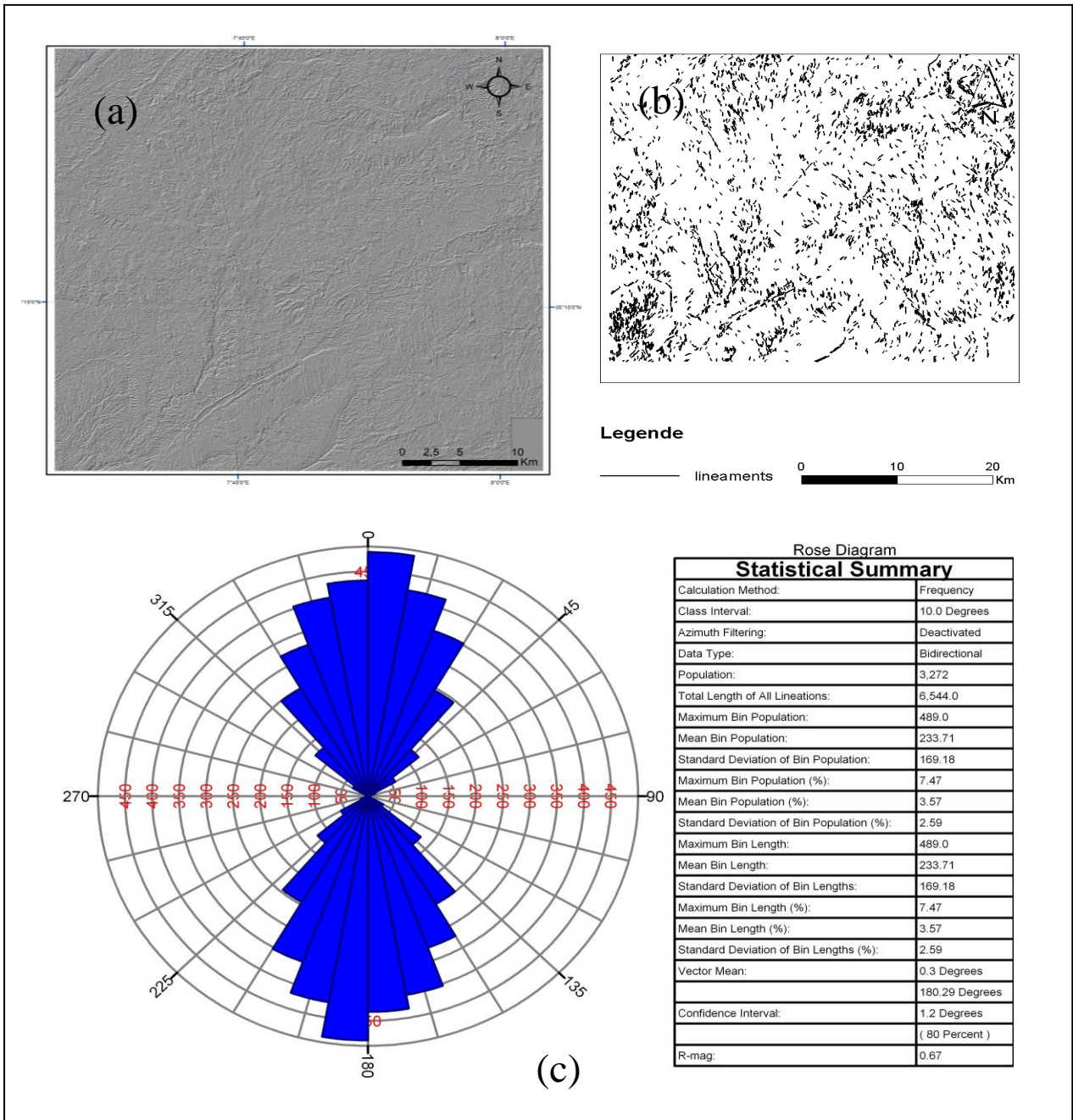


Fig.41 : (a). Filtre directionnels 45° NE-SW (b).Carte de linéament direction 45° (C).Rose diagramme des linéaments de direction 45°

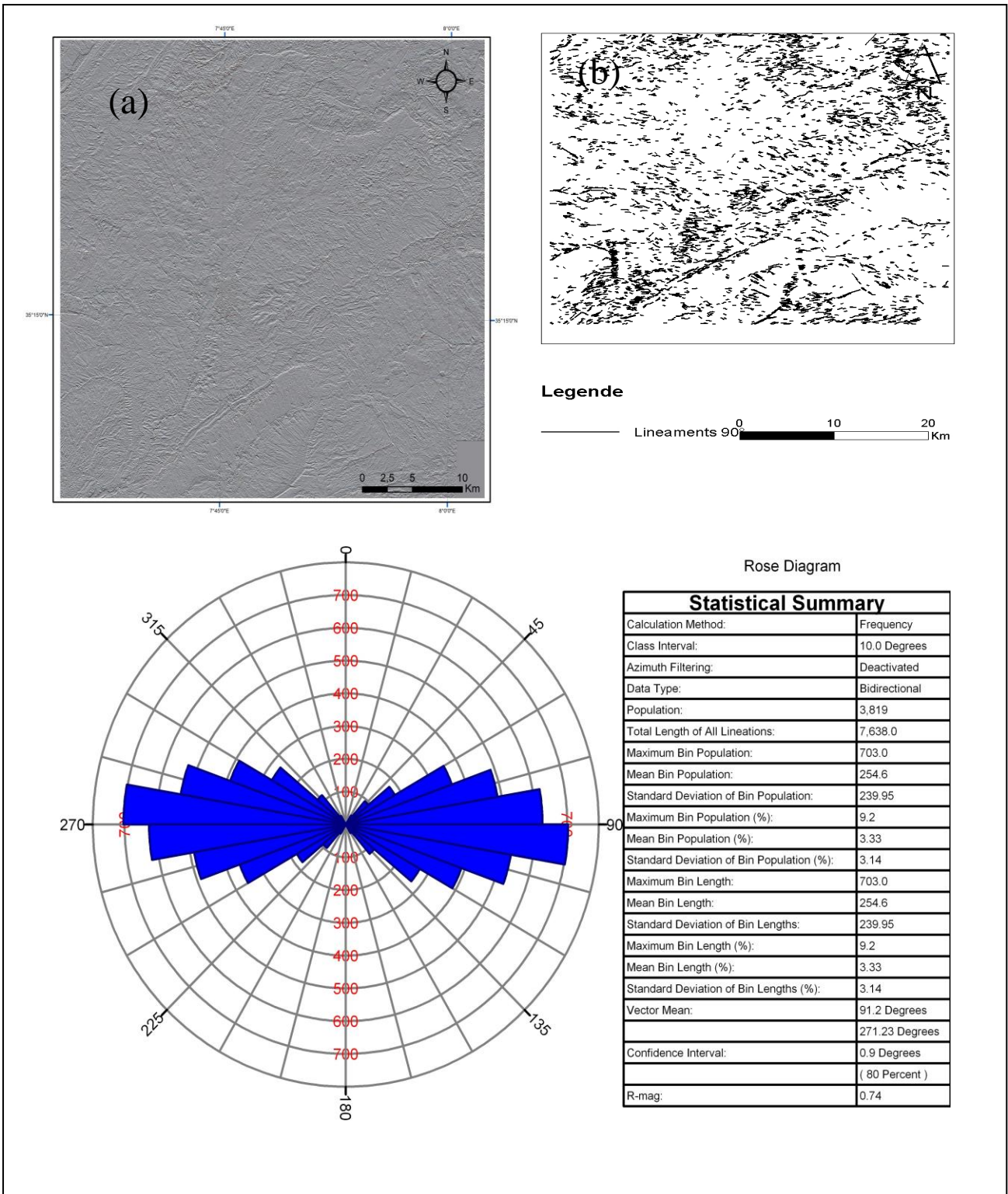


Fig.42 : (a). Filtre directionnels 90° N-S (b).Carte de linéament direction 90° (C).Rose diagramme des linéaments de direction 90°

III.7: vulnérabilité A LA POLLUTION (EPIK)

III.7.1 : Introduction :

Dans le but d'assurer la qualité des eaux potables du pays, la loi sur la protection des eaux exige que des zones de protection des eaux souterraines soient délimitées autour des captages d'intérêt public. Pour les aquifères à porosité d'interstice, le dimensionnement de ces zones de protection est basé sur la distance parcourue par l'eau, pendant une durée déterminée, avant d'arriver au captage. La détermination de cette distance, et donc le dimensionnement des zones de protection, sont généralement effectués sur la base de mesures spécifiques réalisées dans le cadre d'une étude hydrogéologique.

Dans les aquifères karstiques, la répartition des vitesses de circulation des eaux souterraines est très hétérogène, de sorte que le risque de pollution de l'eau captée ne diminue pas régulièrement avec l'éloignement du captage, comme c'est généralement le cas pour les aquifères à porosité d'interstice. De plus, les vitesses de circulation des eaux souterraines karstiques sont très variables en fonction des conditions atmosphériques. Le critère temps utilisé pour la délimitation des zones de protection dans les aquifères à porosité d'interstice n'est donc pas applicable aux aquifères karstiques.

Avec la présente publication, on a voulu jeter les bases d'une délimitation hydrogéologiquement fondée des zones de protection dans les régions karstiques. La méthode proposée n'est pas basée sur la détermination des vitesses de circulation des eaux souterraines, mais sur l'évaluation d'un certain nombre de critères hydrogéologiques caractérisant le degré de protection des eaux souterraines dans les différentes parties du bassin d'alimentation d'un captage. Les zones de protection sont par conséquent délimitées sur la base de leur sensibilité à la pollution des eaux souterraines, autrement dit, de la vulnérabilité des eaux souterraines.

Cette méthode a été développée par le Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel dans le cadre d'un mandat de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) et du Service hydrologique et géologique national (SHGN).

Les eaux souterraines provenant des aquifères karstiques jouent, pour la régions, un rôle décisif dans l'approvisionnement en eau potable. Dans ces conditions, il n'est pas rare que des pollutions se produisent. Pour remédier à cette situation, l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), en collaboration avec le Service hydrologique et géologique national, a cherché une nouvelle approche de la délimitation des zones de protection dans les régions karstiques, qui tienne compte des connaissances les plus récentes relatives au modèle conceptuel de l'écoulement des eaux souterraines dans les aquifères karstiques, et qui conduise à

des zones de protection fondées au point de vue hydrogéologique et établies selon des critères rigoureux. De telles zones de protection sont alors à même de satisfaire aux buts d'une stratégie de protection des eaux souterraines agissant sur l'utilisation du territoire.

Ainsi, une nouvelle méthode, appelée "EPIK", a été développée par le Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel. Elle est basée sur l'évaluation et le lever cartographique de la vulnérabilité du bassin d'alimentation des captages. La vulnérabilité est définie, ici, comme une propriété intrinsèque des aquifères, qui exprime la sensibilité de ces derniers aux impacts naturels et anthropogènes. La méthode se veut rigoureuse; elle est basée sur des critères géologiques, géomorphologiques et hydrogéologiques. De plus, elle est indépendante de l'occupation du sol actuelle ou future et des considérations économiques.

La méthode EPIK est une méthode multicritère à indices. Elle repose sur une carte de la vulnérabilité du bassin d'alimentation d'une source ou d'un puits de captage donné, qui prend en compte les quatre critères objectifs suivants: développement de l'épikarst ("E", un domaine du sous-sol voisin de la surface du terrain, intensément karstifié et de perméabilité très élevée), propriétés de la couverture protectrice ("P"), conditions d'infiltration ("I", infiltration diffuse ou ponctuelle) et développement du réseau karstique ("K"). Ces critères sont nécessaires et suffisants pour définir la vulnérabilité.

Après la délimitation du bassin d'alimentation de la source où du captage étudié, la méthode se déroule en trois étapes:

- a) évaluation semi-quantitative et lever cartographique de chacun des quatre critères mentionnés;
- b) calcul de la valeur d'un "facteur de protection", par combinaison et pondération de la valeur des quatre critères, pour chaque surface unitaire du bassin d'alimentation;
- c) représentation cartographique de la répartition du facteur de protection pour l'ensemble du bassin d'alimentation; grâce à une relation d'équivalence entre ce facteur et les zones de protection, la carte obtenue permet de délimiter de manière rigoureuse les zones définies par la législation suisse en matière de protection des eaux (SI, S2 et S3).

En de nombreux endroits sur la planète, les formations sédimentaires carbonatées qui affleurent peuvent receler des aquifères karstiques. Ces zones de circulations souterraines des eaux peuvent alors constituer des réservoirs potentiels en eaux, notamment pour l'alimentation en eau potable. Cet usage entraîne la nécessité de protéger ces ressources.

C'est l'hydrogéologue Jean Margat (1968) qui introduit le concept de vulnérabilité des eaux souterraines avec l'idée que des variations spatiales de la protection naturelle des ressources karstiques sont induites par l'environnement physique.

La vulnérabilité évalue la faiblesse de cette protection naturelle. Entre autre, elle matérialise la facilité avec laquelle la protection peut être rendue caduque par une pollution. Cette pollution peut être classée suivant son origine ponctuelle (décharges publics, cimetières, eaux usées et industrielle) et diffuse (engrais chimiques, pesticides, herbicides, Épandage des eaux usées (Bezalgues et al ,2002 ; Gilli et al ,2004).L'analyse de la vulnérabilité des nappes repose sur trois critères : le sol, la zone non saturée et la zone saturée.

Les méthodes d'évaluation sont fondées sur les documents cartographiques et les systèmes de cotations numériques. Les cartes d'aptitude montrent des différents terrains susceptibles à se laisser traverser par une substance polluante dont on distingue plusieurs horizons : Horizons très sensibles, horizons sensibles et horizons peu ou pas sensibles (Boularak, 2003) in BELKEBIR Hania & DEBBOU Fahima.

Le plateau karstique de Chéria Nord-Est d'Algérie sera le terrain d'application de la méthode de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque « EPIK ». La vulnérabilité des eaux souterraines est une propriété relative, non quantifiable et sans dimension (Vrba J. et Zaporozec A., 1994).

La cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu karstique,consiste en une étude pluridisciplinaire. Nous distinguerons d'une part la gestion des données acquises sur le terrain et d'autre part celle des données bibliographiques. La formalisation de ces données sera effectuée sous le module Mapinfo version 8.0, ArcMap version 10.2 d'Arc Gis (ESRI) sous forme de couches d'informations géographiques spatialisées. Les données de terrain ainsi que bibliographique sont pour la plupart géoréférencées et rangées par différents systèmes de gestion de bases de données sous forme de couches sous S.I.G.

III.7.2 : Aquifère karstique

Suite aux processus de karstification, les aquifères karstiques acquièrent une morphologie spécifique, en surface avec la présence de dolines, de vallées sèches, de lapiez, de gouffres et à l'intérieur du massif carbonaté avec l'existence de réseau de conduits pénétrables ou non par l'homme. Ces réseaux de conduits sont verticaux et horizontaux ; leur développement s'est effectué au cours des temps géologiques, influencés par les conditions externes tels que le climat, la végétation, les variations de niveau marin et donc du niveau de base avec le creusement des vallées, la nature de la roche et la tectonique. La karstification organise progressivement les écoulements et la structure des vides au sein de l'aquifère. Le fonctionnement de l'aquifère karstique, qui se manifeste notamment par la réaction de la source suite à des précipitations ou alimentation par des pertes, dépend globalement de l'existence et de l'organisation des vides au sein de sa matrice.

Le fonctionnement d'un aquifère karstique traduit différentes caractéristiques (Bakalowicz, 1999) : (1) variabilité spatiale et temporelle importante des paramètres hydrodynamiques du milieu aussi bien dans la zone d'infiltration que dans la zone noyée ; (2) existence de forts contrastes de perméabilité ; (3) existence de vitesses d'écoulement souterrain très rapide.

L'organisation des écoulements au sein de l'aquifère aboutissant à des sources caractérisées par des débits pouvant être importants est le résultat du passage de l'eau au sein du massif calcaire de part l'existence d'un gradient hydraulique et d'autre part de son chimisme. L'eau crée ses propres structures de drainage en utilisant des fissures et fractures, aboutissant à la création de systèmes karstiques (Mangin, 1975) ; le système karstique constitue une entité à part entière au sein d'un aquifère karstique, sur laquelle les paramètres de la vulnérabilité intrinsèque doivent être définis.

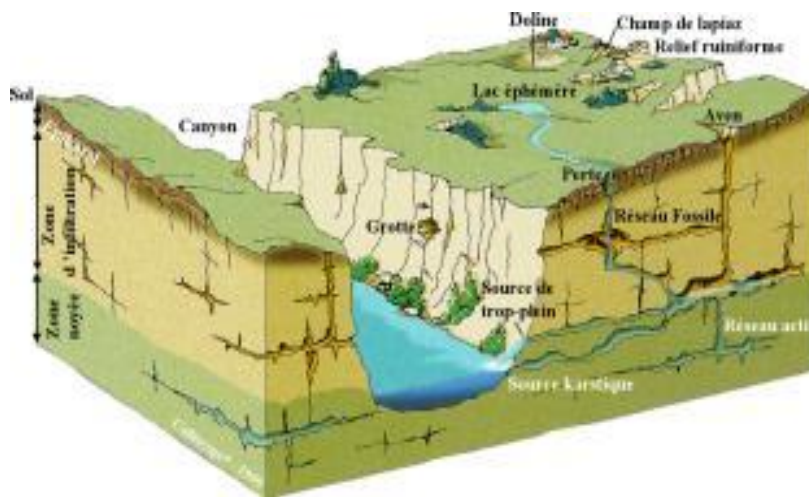


Fig 43: Représentation schématique d'un aquifère karstique (Bakalowicz, 1999)

Un aquifère karstique comprend globalement deux zones principalement dans la verticalité :

la **zone d'infiltration** : partie non saturée de l'aquifère, assurant l'écoulement des eaux d'infiltration au travers du massif, avec souvent un écoulement à composante horizontale prépondérante au niveau de l'épikarst, zone sous-cutanée de l'aquifère, d'une puissance de quelques mètres à une à deux dizaines de mètres, pouvant jouer le rôle de zone de stockage temporaire.

la **zone noyée** : cette zone se situe en-dessous de la zone d'infiltration ; elle renferme la ressource exploitable soit à l'aide d'un forage, soit au niveau de la source. Deux types de structure sont à distinguer : (1) le réseau karstique constitué d'un ensemble organisé de drains, siège principal des écoulements au sein de la zone noyée et (2) les blocs peu perméables encaissant le réseau de drains, siège d'écoulements lents, au sein desquels des volumes de

stockage importants peuvent prendre place, latéralement au réseau de drains.

L'aquifère karstique se distingue des aquifères poreux et des aquifères fissurés par le fait qu'il possède des vides de grandes dimensions, dans lesquels les eaux souterraines sont susceptibles de circuler très vite, qui se sont développés au cours de son histoire géologique .

L'aquifère karstique possède des modalités d'infiltration particulières qui n'existent pas dans les autres aquifères. Il existe en surface, sur quelques mètres d'épaisseur, une zone plus perméable du fait de l'altération : **la zone épikarstique ou épi karst**. L'épikarst rassemble l'eau d'infiltration dans une nappe perchée locale et discontinue, drainée vers le bas soit par les vides les plus larges en un ruissellement souterrain rapide, soit par les vides de petites dimensions, en une infiltration lente écoulant un mélange d'air et d'eau. Par ailleurs, au contact de formations imperméables et du calcaire, des pertes absorbent les écoulements de surface et constituent une alimentation directe par ruissellement à fort débit de la zone noyée.

Lorsque des écoulements de surface contribuent à l'alimentation de la zone noyée à partir de pertes, le système karstique comprend d'une part la partie aquifère proprement dit et le bassin de surface drainé par des pertes. On distingue donc:

- les systèmes karstiques unaires (système karstique = aquifère karstique),
- les systèmes karstiques binaires (système karstique = aquifère karstique + bassin de surface drainé par des pertes).

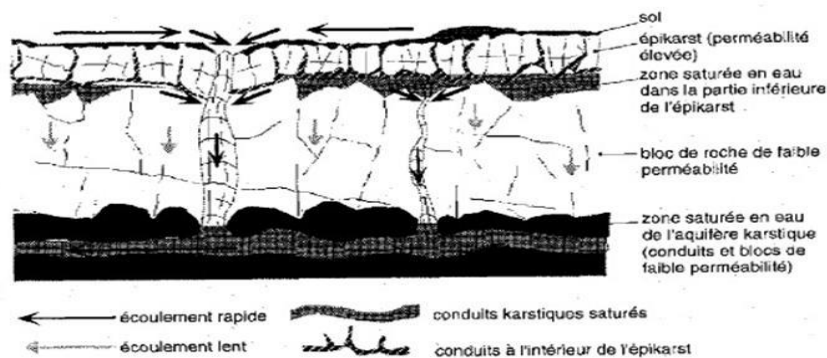


Fig 44 : Représentation schématique du fonctionnement de l'épikarst (Jeannin1996, d'après Smart et Friedrich 1986).

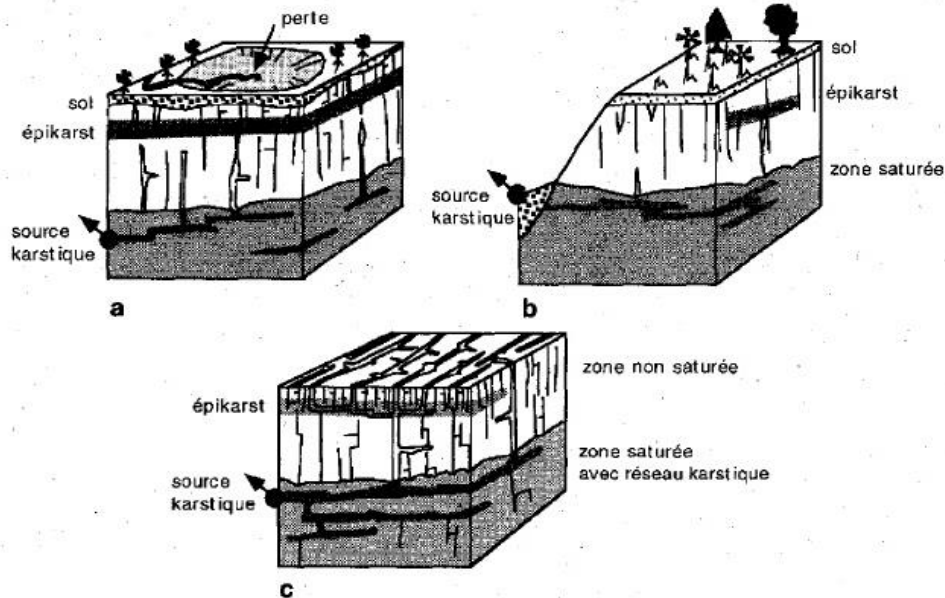


Fig 45 **a, b, c** : Quelques exemples de combinaison des critères prépondérants pour la vulnérabilité des aquifères karstiques

III.7.3 : Fonctionnement du karst

Les aquifères karstiques sont caractérisés par des particularités géomorphologiques et des phénomènes hydrauliques spécifiques tels que l'existence d'importantes sources, de pertes, l'absence d'un réseau de drainage en surface, l'existence de réseaux karstiques résultant d'une dissolution des roches carbonatées; les hydrogrammes des sources sont typiques (crues rapides et violentes, décrue rapide, tarissement lent).

A partir de ces caractéristiques générales, un aquifère karstique peut être schématisé de la manière suivante (Jeannin et al. 1993): l'aquifère est constitué d'un réseau de conduits connexes (réseau karstique) aboutissant à des exutoires, et drainant ou alimentant des volumes de roche fissurée et fracturée de faible perméabilité.

III.7.4 Conséquences du fonctionnement du karst sur la vulnérabilité

La représentation schématique de l'aquifère karstique présentée à la (figure 43) Correspond à un modèle conceptuel cohérent du comportement hydrodynamique et des processus de transport. C'est à partir de cette représentation que l'on définit la vulnérabilité. En étiage, l'eau des blocs peu perméables constitue l'essentiel du débit des sources. Cette eau a séjourné un temps relativement important dans l'aquifère et a transité en grande partie par des zones peu perméables. En hautes eaux, plus de la moitié des eaux d'infiltration résultant d'un événement pluvieux traverse rapidement l'aquifère au moyen d'importants conduits. La vulnérabilité dépend

donc des conditions d'infiltration de l'aquifère (conditions aux limites), ainsi que de la répartition spatiale de la conductivité hydraulique et du coefficient d'emménagement (champ des paramètres physiques) qui jouent un rôle primordial sur les processus d'écoulement et de transport.

La répartition spatiale des paramètres physiques de l'aquifère et son effet sur la vulnérabilité des captages sont liés sur le terrain à deux critères prépondérants: *le réseau karstique* et *l'épikarst*. Le réseau karstique a une géométrie complexe en raison des nombreuses ramifications possibles dans l'espace tridimensionnel de la formation aquifère. Il peut être plus ou moins développé et ramifié, en fonction de son histoire géologique, hydrogéologique, chimique, physique et biologique.

Le captage ou la source en milieu karstique sera en principe très vulnérable s'il existe un réseau karstique et un épi karst bien développé qui lui sont directement reliés au sein de l'aquifère (figure 45c). Le captage ou la source sera moins vulnérable si l'épikarst n'est pas directement relié au réseau karstique; en général, le captage sera encore moins vulnérable si l'aquifère ne contient pas de réseau karstique ni d'épi karst (il s'agit alors d'un aquifère fissuré non karstique). Ainsi, il est évident que la délimitation de zones de protection en milieu karstique ne peut s'effectuer à partir d'un seul critère. Au contraire la mise au point et l'utilisation d'une méthode multicritère tenant compte du fonctionnement spécifique du karst est indispensable pour atteindre l'objectif fixé.

III.7.5 : La méthode multicritères- Méthode EPIK

La méthode proposée pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu karstique est une méthode multicritère à indices, appelée EPIK, qui prend en compte *quatre critères*: Epikarst, la couverture Protectrice, les conditions d'Infiltration et le développement du réseau Karstique (Doerfliger 1996a). Ces critères correspondent à quatre aspects spécifiques de l'organisation des écoulements au sein d'un aquifère karstique tels qu'ils ont été décrits plus haut. Cette méthode permet d'évaluer la sensibilité des eaux souterraines des régions karstiques aux influences naturelles et anthropogènes de manière globale et rigoureuse.

L'importance de l'aquifère de Chéria et sa capacité d'emménagement et la nécessité de sa protection justifie l'établissement d'une carte de vulnérabilité suivant la méthode EPIK basée sur l'organisation spécifique des écoulements dans le milieu karstique (Doerfliger et Zwahlen, 1995). L'organigramme méthodologique de la (figure 46) explique la méthode de travail suivie pour la réalisation de la carte vulnérabilité à la pollution EPIK du plateau de Chéria;

Cette méthode consiste en l'évaluation et la combinaison de quatre critères cartographiables, à savoir le développement de l'Epikarst, l'épaisseur de la couverture Protectrice, les conditions d'Infiltration et le développement du réseau Karstique. Le résultat de la superposition pondérée est une carte de vulnérabilité directement transposable en un zonage de protection.

La combinaison des quatre critères indexés décrits précédemment permet de déterminer la valeur du facteur de protection "F" en tout point du bassin d'alimentation. Le calcul raster est effectué de la manière suivante :

$$F = \alpha E_i + \beta P_j + \gamma I_k + \delta K_l \dots \dots \dots (1)$$

avec F = valeur du facteur de protection; $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: coefficient: de pondération de chacun des critères; E_i, P_j, I_k, K_l : valeur de chacun des critères indexés.

Le détail des coefficients de pondération et des indexés est décrit dans les tableaux 18,19 et 20.

Tableau n° 18: Valeurs des critères indexés E_i, P_j, I_k et K_l

Epikarst			Couverture protectrice				Condition d'infiltration				Développement du réseau karstique		
E_1	E_2	E_3	P_1	P_2	P_3	P_4	I_1	I_2	I_3	I_4	K_1	K_2	K_3
1	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3

(Rq : la valeur la plus basse correspond à la situation la plus vulnérable)

Tableau n° 19 : Coefficient de pondération attribués au critères E, P, I et K.

Critères	E	P	I	K
Coefficient de pondération	α	β	γ	δ
Poids relatif	3	1	3	2

Le facteur de vulnérabilité F est calculer en tous points du bassin versant, plus la valeur de F est élevée, plus le pouvoir de protection est important.

Les valeurs de F sont regroupées en Trois classes de vulnérabilité :

- S1 : Vulnérabilité élevée (F < 19)
- S2 : Vulnérabilité Moyenne (F entre 20 et 25)
- S3 : Vulnérabilité faible (F > 25)

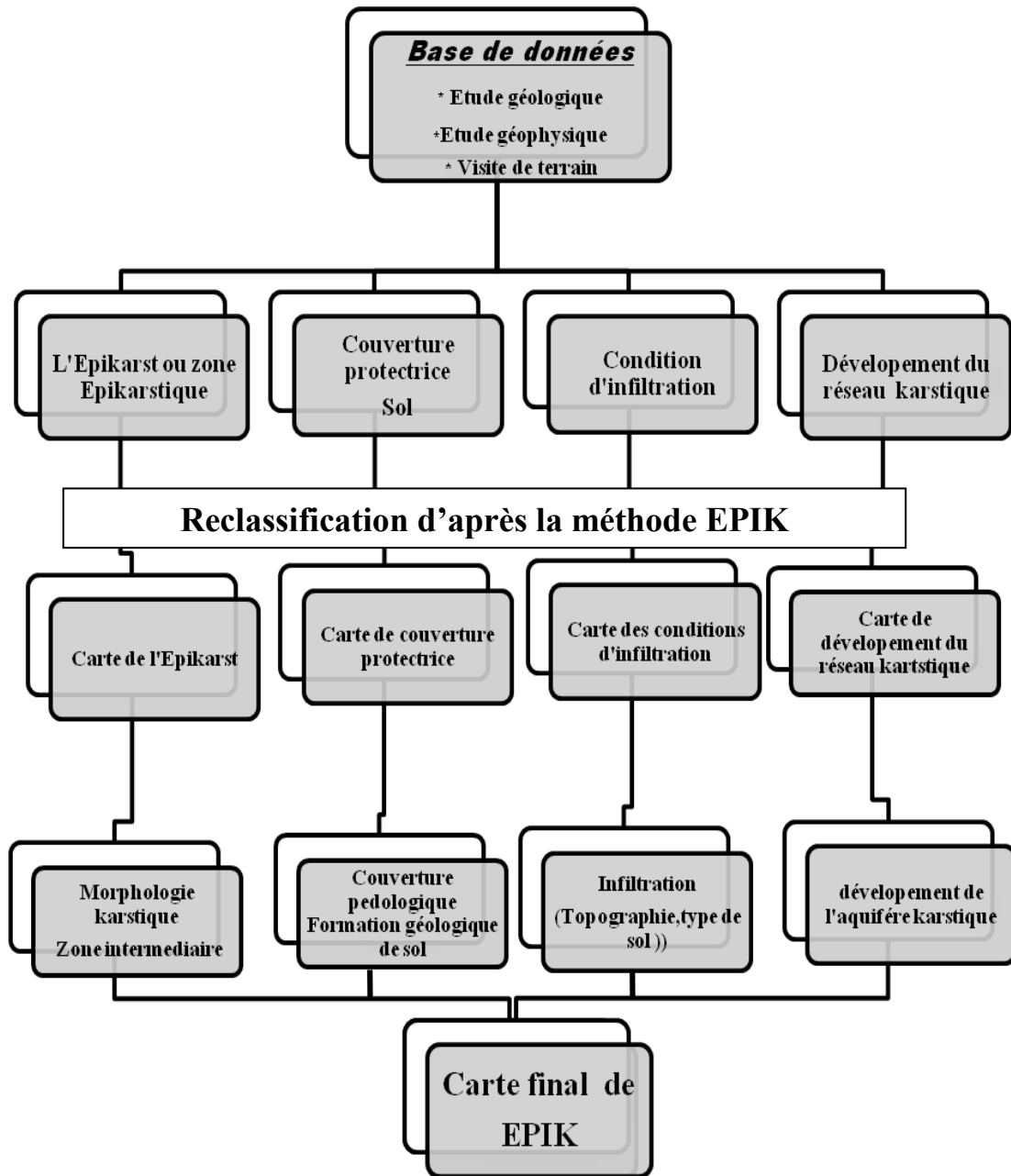


Figure 46: Étapes à suivre pour l'établissement d'une carte de vulnérabilité à la pollution EPIK du plateau de Chéria NE Algérie

Tableau n° 20: Indexation des quatre critères de la méthode EPIK.

Morphologie Karstique observée (En relation avec l'Epikarst)	E₁	Gouffre, aven, ponor, embut, doline, lapiez, relief ruiniforme, cuesta	
	E₂	Zones intermédiaires situées dans les alignements de dolines ; ouvalas, vallées sèches, canyons, poljés	
	E₃	Le reste du bassin d'alimentation	
Absence de Morphologie Karstique			
		A. Sol reposant directement sur les formations calcaires ou sur des formations détritiques de très grande conductivité hydraulique *	
		B. Sol reposant sur >20 cm de formations géologiques de faible conductivité hydraulique**	
Absence de couverture Protectrice	P₁	0-20 cm de sol	20 - 100 cm de sol de formations de faible conductivité hydraulique
	P₂	20 - 100 cm de sol	>1 m de sol et de formations de faible conductivité hydraulique
	P₃	>1 m de sol	Formations de très faible conductivité hydraulique d'épaisseur >8m, ou d'épaisseur >6 m avec >1 m de Sol (Vérification ponctuelle nécessaire)
	P₄		20 - 100 cm de sol de formations de faible conductivité hydraulique
Couverture protectrice Importante			
Infiltration concentrée	I₁	Perte pérenne ou temporaire -lits et berges de cours d'eau pérenne ou temporaire alimentant une perte-écoulement superficiel s'infiltrant-secteurs du bassin versant d'un cours d'eau comprenant des systèmes de drainage artificiel.	
	I₂	Secteurs du bassin versant non drainés artificiellement, et dont la pente est supérieure à 10% pour les surfaces cultivées et supérieure à 25% pour les prairies et les pâturages.	
	I₃	Secteurs du bassin versant d'un cours d'eau dont la pente est inférieure à 10% pour les zones cultivées et inférieure à 25 % pour les prairies et les pâturages. En dehors du bassin versant d'un cours d'eau, zones de pieds de pentes collectant les eaux de ruissellement et pentes prononcées (supérieure à 10% pour les zones cultivées et supérieure à 25 %	

Infiltration diffuse		pour les prairies et les pâturages). dont les eaux de ruissellement alimentent ces zones.
	I₄	Le reste du bassin d'alimentation
Réseau karstique bien développé	K₁	Réseau karstique bien développé, <i>h</i> conduits décimétriques à métriques très peu colmatés et bien connectés entre eux.
Réseau karstique mal développé	K₂	Réseau karstique mal développé, à drains ou conduits mal connectés où colmatés, ou encore de dimension décimétrique et inférieure
Aquifère mixte ou fissuré	K₃	Exutoire en milieu poreux avec un effet protecteur possible aquifère fissuré non karstique

*Exemples : éboulis. Moraines glaciaires latérales. ** Exemples : limons, argiles

L'estimation de la vulnérabilité d'un aquifère calcaire est souvent difficile car la karstification et la fissuration échappent souvent à l'observation directe vu le recouvrement de l'aquifère par les formations quaternaires.

L'importance de L'aquifère de Chéria et ça capacité d'emmagasinement nous a amenée à penser sérieusement a ça protection et essayé d'établir une carte de vulnérabilité en appliquant la méthode EPIK (Epikarst, protective cover, Infiltration conditions, Karstic network) (Doerfliger et Zwahlen, 1995) par l'utilisation de SIG (système d'information géographique).

Cette vulnérabilité qui s'explique par la structure fortement hétérogène de l'aquifère karstique, avec d'une part les perméabilité très élevées dans les conduites souterraines et d'autre part une alimentation du surface qui se font de manière diffuse ou les processus de filtration ou d'auto épuration des polluants n'auront pas le temps de se développer,se caractère fonctionnelle requière une protection toute particulière. La délimitation des zones de protections pour les captages à partir de cet aquifère exige la restriction de beaucoup d'activités dans les zones appelées S1, S2 et S3 qui doivent permettre de garantir un certain nombre d'objectifs.

Zone S1 : dans la quelle il faut éviter les dégâts aux installations de captage et la pollution de leurs environnement immédiat.

Zone S2 : elle doit également permettre d'éviter que l'eau captée soit polluée en tenant à l'écart des captages les germes et les virus.

Zone S3 : cette zone doit garantir un assainissement satisfaisant dans l'espace et dans le temps, dans le cas des pollutions accidentelles.

Pour la détermination des quatre critères de la méthodes EPIK on a fait une interpolation à partir des travaux de géophysique réaliser dans notre zone d'étude, et les profiles des sondages électriques (SEV) avec plus de 300 points de sondage bien répartie dans la zone d'étude (Figure 47). En effet, la géophysique nous permis de définir les différents types de sols ainsi que leurs épaisseurs, répartis le long du secteur d'étude.

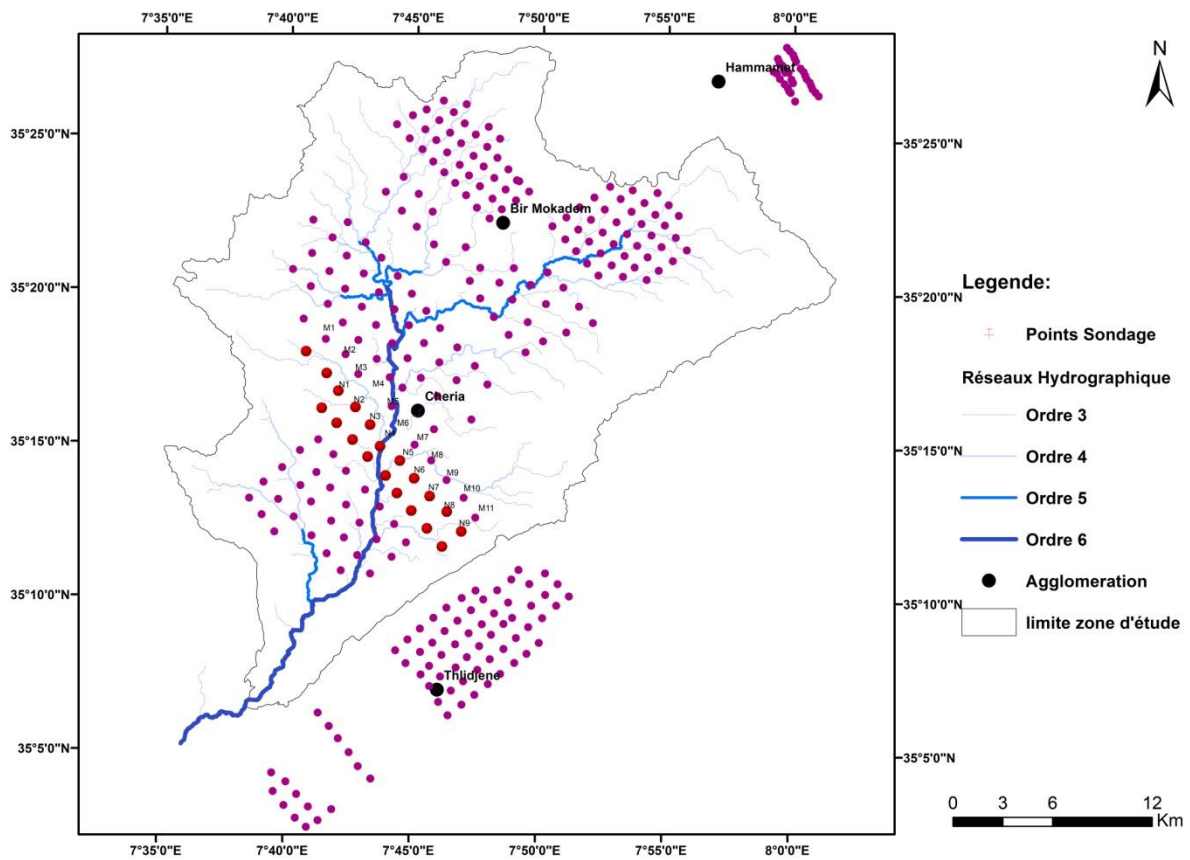


Figure 47 cartes de positionnement des sondages électrique vertical (SEV)

CGG 1970

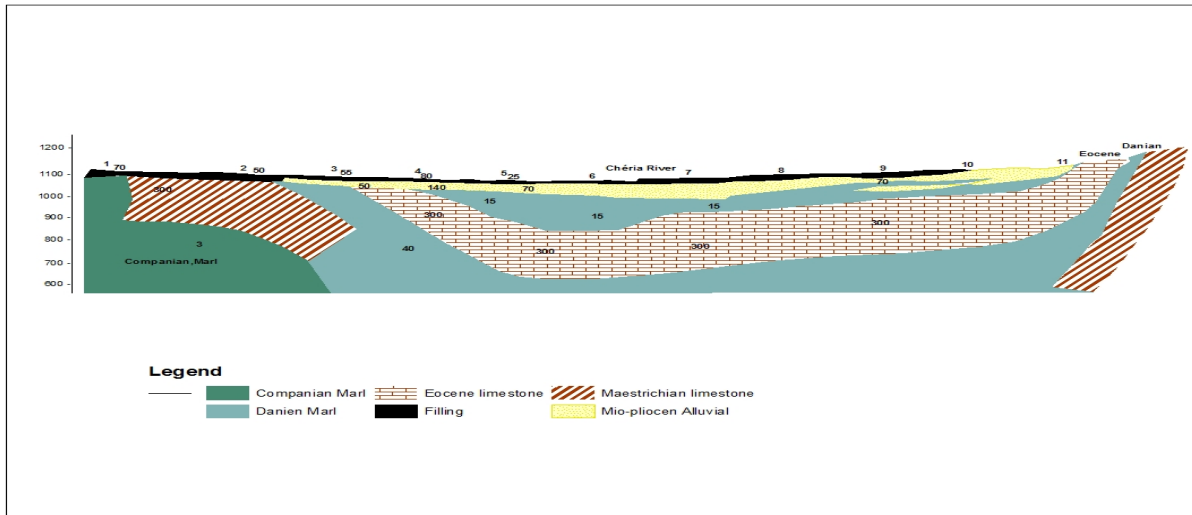


Figure 48 Coupes géo-électriques. Profil (M)

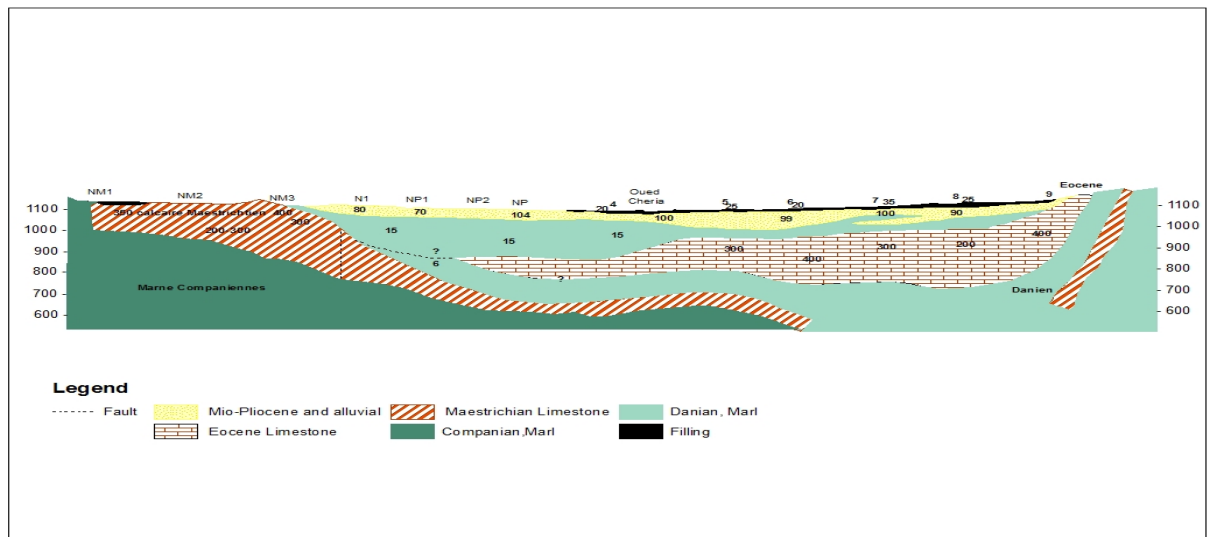


Figure 49 - Coupes géo-électriques. Profil (N)

III.7.5.1 : Epikarst (E) :

La caractérisation de l'épikarst est basée essentiellement sur l'étude des formes de surface du modelé karstique.

Il est identifier sur le terrain avec les outils géophysiques actuels, suite a l'analyse des coupes géoelectrique des sondages verticales réaliser sur le terrain d'étude. Le critère E est évalué par 3 indices caractérisant une vulnérabilité décroissante:

l'indice E1 correspond au cas le plus vulnérable. Y sont associés les gouffres et dépressions absorbant un cours d'eau (avens, embuts, ponors), les dolines, les lapiez, les reliefs ruini- formes, les cuestas et les affleurements affectés d'une fracturation

intense . Ces affleurements peuvent correspondre par exemple à des entailles du terrain le long des voies de communication (routes, chemins de fer) ou à des carrières;

l'indice E2 correspond à toutes les zones intermédiaires dans les alignements de dolines, ouvalas (coalescence de plusieurs dolines), ainsi qu'aux vallées sèches, canyons et poljés (dépressions de grande taille);

l'indice E3 s'étend au reste du bassin d'alimentation non affecté par les objets morphologiques précités.

III.7.5.2 : Couverture protectrice

Sous le terme de couverture protectrice, sont compris aussi bien le sol (terme pédologique) que les autres formations géologiques qui peuvent recouvrir l'aquifère karstique, tels que dépôts quaternaires (moraines, silt, loess, éboulis) ou autres formations préquaternaires non karstiques (argiles, grès, marnes) (Doerfliger 1996a).

Pour des questions notamment de coûts, il n'est pas possible de cartographier séparément ces différents paramètres dans le cadre de la délimitation des zones de protection. Ainsi, lors de l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque du bassin d'alimentation, *seule l'épaisseur de la couverture protectrice est prise en considération* (Doerfliger et Tâche 1995, Doerfli- j & ger 1996a).

Pour l'indexation de P deux cas sont pris en compte selon la présence ou l'absence de formations géologiques de faible conductivité hydraulique directement sous le sol:

A) Sol reposant directement sur les formations calcaires ou sur des formations détritiques grossières très *perméables* (ex. éboulis, moraines latérales)

- **l'indice P1** correspond à une couverture de 0 - 20 cm de sol.
- **l'indice P2** correspond à une couverture de 20 - 100 cm de sol.
- **l'indice P3** correspond a une couverture de >100 cm de soJ.

B) Sol reposant sur des formations géologiques peu perméables (au moins 20 cm de limons lacustres, argiles, marnes)

• **l'indice P1** n'est pas représenté car on considère comme négligeable l'effet protecteur de formations géologiques peu perméables de moins de 20 cm d'épaisseur. On retombe alors sur le cas A.

• **l'indice P2** correspond à une couverture combinée de sol et de formations.géologiques peu perméables de 0.2 à 1 mètre d'épaisseur au total. A épaisseur égale, on considère que l'effet

protecteur d'un sol est en principe supérieur à celui d'une formation géologique peu perméable.

- ***l'indice P3*** correspond à une couverture totale de sol et de formations géologiques peu perméables de plus d'un mètre d'épaisseur. Le sol peut être absent ; toutefois, un peu de sol compense l'effet légèrement moins protecteur des formations géologiques peu perméables si celles-ci sont relativement peu épaisses.

- ***l'indice P4*** correspond à une couverture de plus de 8 m de formations géologiques peu perméables (forte composante limoneuse ou argileuse), ou à un sol de plus d'un mètre sur plus de 6 mètres de formations géologiques peu perméables. L'épaisseur des formations est à vérifier de manière ponctuelle, par exemple à l'aide de forages ou de sondages à la tarière à moteur.

III.7.5.3 : Conditions d'infiltration

L'évaluation des conditions d'infiltration est basée sur l'identification des zones *d'infiltration concentrée* (pertes ou lits de cours d'eau temporaires ou pérennes, zones drainées artificiellement) et l'appréciation des surfaces *d'infiltration diffuse*. ces dernières sont caractérisées par leur coefficient de ruissellement, qui dépend de la ***pente du terrain*** et de ***l'occupation du sol***.

Les données nécessaires à la caractérisation des conditions d'infiltration sont obtenues par l'étude des bassins topographiques des cours d'eau alimentant des pertes, sur la base de cartes topographiques. La délimitation des pentes critiques et des zones de pieds de pentes peut s'effectuer manuellement à partir de la carte topographique. Cependant, si l'on dispose du modèle numérique d'altitude de la zone d'étude, il est plus aisé de déterminer ces zones en utilisant un système d'information géographique. Cela représente également un gain de temps non négligeable.

On distingue 4 indices pour caractériser I, du plus vulnérable (Ii) au moins vulnérable (LO en considérant deux cas A et B, à l'intérieur et à l'extérieur du bassin versant d'un cours d'eau alimentant une perte karstique:

A) ***À l'intérieur du bassin versant des pertes et des cours d'eau***

- ***l'indice I₁*** correspond aux pertes pérennes et temporaires, lits et berges des cours d'eau, cours d'eau pérennes et temporaires alimentant une perte, cours d'eau infiltrant et parties du bassin versant drainées artificiellement.

- ***l'indice I₂*** correspond aux parties du bassin versant de perte ou cours d'eau mentionnés sous (Ii) non drainées artificiellement et avec un coefficient de ruissellement élevé, c'est-à-dire les parties dont la pente est supérieure à 10 % pour les zones de culture, supérieure à 25 % pour les prairies et pâturages.

- ***l'indice I₃*** correspond aux parties du bassin versant de perte ou cours d'eau mentionnés sous (li) non drainés artificiellement et avec un coefficient de ruissellement faible, c'est-à-dire les parties dont la pente est inférieure à 10 % pour les zones de culture, inférieure à 25 % pour les prairies et pâturages.

B) À L'extérieur du bassin versant des pertes et des cours d'eau

- ***l'indice I₃*** correspond aux surfaces situées au pied d'une pente jouant le rôle de collecteurs des eaux de ruissellement et aux pentes alimentant ces points bas (pentes avec un coefficient de ruissellement élevé, c'est-à-dire supérieures à 10 % pour les zones de culture, supérieures à 25 % pour les prairies et pâturages).

- ***l'indice I₄*** correspond au reste du bassin d'alimentation.

III.7.5.4 : développement du Réseau karstique

La vulnérabilité est évaluée en fonction de la présence ou non d'un réseau karstique, et du degré de développement de ce réseau. Afin d'apprécier l'importance du réseau karstique par rapport au volume de la roche peu perméable environnant (fissuré ou non), nous considérons différentes indications.

Une première indication est ***l'identification directe*** d'éléments d'un réseau karstique, tels que grottes, puits verticaux (avens), réseau spéléologique actif, dans le bassin d'alimentation considéré. S'il n'y a aucune indication observable d'un réseau karstique, il faut avoir recours à des ***méthodes indirectes***. Celles-ci se basent sur l'analyse des hydrogrammes de crue, l'interprétation des essais de traçage, et l'examen de la variabilité de la qualité de l'eau.

Les ***hydrogrammes de crue*** permettent d'interpréter le degré de développement de l'organisation des aquifères. Le temps de réaction de la source aux événements pluvieux estimé d'après l'hydrogramme est une indication pertinente pour caractériser le développement du réseau karstique. Si l'on peut observer une réponse rapide.

Le critère K est indexé par trois indices, du plus vulnérable au moins vulnérable:

- ***l'indice K1*** pour un réseau karstique moyennement à bien développé, à conduits décimétriques à métriques très peu colmatés et bien connectés entre eux;

- ***l'indice K2*** pour le réseau karstique mal développé (à drains ou conduits mal connectés ou colmatés, ou encore de dimension décimétrique et inférieure);

- ***l'indice K3*** pour le cas des systèmes à exutoire situé en milieu poreux pouvant jouer

un rôle de filtre (effet de protection à vérifier notamment par des chroniques d'analyse de qualité d'eau) ainsi que pour les aquifères calcaires fissurés non karsti- fiés.

L'indice du critère K est généralement attribué globalement pour tout le bassin d'alimentation considéré; cependant il peut être différencié par régions selon le développement du réseau karstique, lorsque celui-ci peut être caractérisé de manière spécifique.

Pour le plateau de chéria la détermination des critères de la méthode employée dans le bassin d'alimentation (EPIK),est basée essentiellement sur l'analyse des coupes géoélectrique des profils des sondages électriques vertical couvrant pratiquement la totalité de la région.

l'évaluation de la présence et du développement de l'épikarst (E) a été menée sans moyens d'investigation trop importants ni coûteux, principalement à l'aide d'observations de terrain (modèle karstique, affleurements), de l'examen des études géophysique. La carte, élaborée grâce à L'utilisation de système d'information géographique (SIG) par traitement avec le logiciel ARCGIS10.2, après un travail de scanne de toutes les cartes d'implantation des profils des sondages verticales recueille auprès des services des ressources en eau de la wilaya de Tébessa,après un calage sur le logiciel (Mapinfo 8.0) selon le système de coordonnées géographique caractérisant la zone d'étude (UTM.N32° WGS84),hémisphère Nord. Le **critère E** fait intervenir l'influence des morphologies karstiques sur la protection de l'aquifère.

L'analyse des sondages point par point, des formations géologique au dessous de la surface du sol, résultant de interprétation des données des profils électriques,nous a permis la discrétisation de critères E de la méthode EPIK.

Dans la région étudiée, la couverture protectrice est constituée essentiellement de sol.On n'a observé que les formations quaternaires occupent la majeure partie de la superficie de la plaine s'observent localement dans les vallées et les bordures. L'évaluation du critère P est basée principalement sur l'épaisseur des sols, déterminée à l'aide de mesure de l'épaisseur à partir des coupes géo-électrique de différents profils.

L'évaluation des conditions d'Infiltration est basée sur l'identification des zones d'infiltration concentrée (pertes ou lits de cours d'eau temporaires ou pérennes, zones drainées artificiellement) et l'appréciation des surfaces d'infiltration diffuse. Ces dernières sont caractérisées par leur coefficient de ruissellement. Qui dépend de la pente du terrain et de l'occupation du sol. La vulnérabilité est évaluée en fonction de la présence ou non d'un réseau karstique, et du degré de développement de ce réseau.

Le critère de développement du réseau karstique K a donc été évalué globalement, pour la totalité des zones caractériser par la présence des formation de calcaire Éocène mis en évidence

le caractère karstique des écoulements souterrains.

L'indice du critère **K** est généralement attribué globalement pour tout le bassin d'alimentation considéré cependant il peut être différencié par régions selon le développement du réseau karstique, lorsque celui-ci peut être caractérisé de manière spécifique.

III.7.6 : Calcul du facteur de Protection

La valeur du facteur de protection F sera déterminée après la combinaison des quatre cartes établies précédemment en tout point du bassin d'alimentation. Ceci nécessite:

- La transformation des indices des critères E, P, I et K en valeurs numériques ; celles ci sont des constantes présentées et commentées ci-après (Tab 21).

- La combinaison pour chaque élément de surface, des valeurs des critères; on utilise pour cela des coefficients de pondération constants, qui tiennent compte de l'importance relative de chaque critère; ces coefficients sont eux aussi représentés et Commentés (Tab.22).

- La combinaison des quatre cartes peut, être sensiblement facilitée par l'utilisation du logiciel ARC-GIS pour la mise en relief de la carte de vulnérabilité selon la méthode EPIK.

Tableau n°. 21 – Quelques Valeurs des facteurs de protection (F).

N°	SONDAGE	X	Y	Alt	E	P	I	K	F
1	M1	952.768	234.202	1123	4	3	4	3	33
2	M2	954.089	232.968	1112	4	3	3	3	30
3	M3	954.852	231.951	1102	4	3	2	3	27
4	M4	955.950	231.040	1092	3	3	2	3	24
5	M5	956.899	230.035	1084	3	3	2	3	24
6	M6	957.575	228.775	1080	1	2	2	3	17
7	M7	958.817	227.995	1095	1	2	2	3	17
8	M8	959.751	226.983	1106	3	3	2	3	24
9	M9	960.751	225.977	1120	3	3	2	3	24
10	M10	961.835	225.103	1130	1	2	2	3	17
11	M11	962.781	223.979	1157	1	1	2	3	16
12	N1	953.926	230.863	1111	4	2	3	3	29

13	N2	954.885	230.013	1100	4	1	4	3	31
14	N3	955.901	229.074	1089	1	2	3	3	20
15	N4	956.873	228.105	1079	3	3	2	3	24
16	N5	958.020	227.045	1086	3	2	2	3	23
17	N6	958.768	226.036	1094	3	2	2	3	23
18	N7	959.700	225.032	1104	3	2	2	3	23
19	N8	960.710	224.025	1113	3	3	2	3	24
20	N9	961.680	222.997	1139	3	2	2	3	23

III.7.7 : Délimitation des zones de protections

Les valeurs du facteur de protection F permettent une cartographie de sa répartition, en prenant en compte la relation entre le facteur f et la zone de protection qui a fait l'objet d'un examen lors des visites des sites et une analyse des conditions géologique de la zone qui sont mentionner sur le tableau ci-dessous.

Tableau n° 22 : Délimitation des zones de protection.

Zone de vulnérabilité	Facteur de protection F	Zone de protection
Élevée	$F < 19$	S ₁
Moyen	$20 < F < 25$	S ₂
Faible	$F > 25$	S ₃

8. vulnérabilité A L'EFFONDREMENT

III.8.1 : Introduction :

Les mouvements de terrains sont des phénomènes fréquents et dispersés qui se caractérisent par une grande diversité. Leurs manifestations sont parfois lourdes de conséquences, aussi bien sur le plan humain que matériel. Que ces phénomènes soient déclarés ou potentiels, la préoccupation première des aménageurs est d'en limiter les effets potentiels. La stratégie de prévention alors mise en œuvre repose sur des notions et concepts hérités dans le meilleur des cas, des analyses dites de risque.

Les mouvements de terrain occupent une place de choix parmi les phénomènes naturels générateurs de risques. Ils se déclenchent préférentiellement dans des zones où prédominent des conditions d'équilibre des sols relativement précaires et sont le plus souvent aggravés par des sollicitations hydrauliques, sismiques ou anthropiques. Leurs effets sont parfois catastrophiques et leur prévention apparaît aujourd'hui en Algérie et dans plusieurs autres pays comme une nécessité s'inscrivant dans une politique globale de réduction des risques naturels.

➤ Définitions

Les effondrements sont des mouvements gravitaires à composante essentiellement verticale, qui se produisent de façon plus ou moins brutale. Cependant, ils peuvent parfois être considérés comme la phase ultime d'évolution d'un affaissement. Ils résultent de la rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine préexistante. Cette rupture initiale se propage verticalement jusqu'en surface en y déterminant l'ouverture d'une excavation grossièrement cylindrique, dont les dimensions dépendent du volume du vide, de sa profondeur, de la nature géologique du sol et du mode de rupture. Selon ce mode, l'effondrement de surface peut-être ponctuel ou généralisé s'il concerne des surfaces importantes (plusieurs hectares). Dans le premier cas, il s'agit du phénomène de fontis dont le diamètre est généralement inférieur à 50 m, et qui s'élargit avec le temps par éboulements successifs des parois (figure 50).

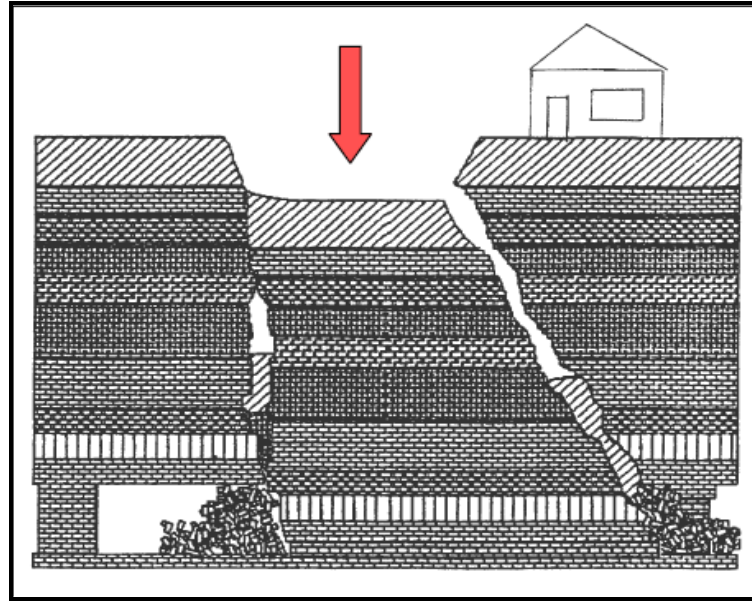


Fig. 50: Phénomène d'effondrement par rupture de piliers en carrière souterraine
Avec un recouvrement de dizaine de mètres (P.P.R. de REYNÈS – Rapport de Présentation page 58)

➤ **Conditions d'apparition.**

Dans la majeure partie des cas, la présence de cavités souterraines est la cause essentielle d'apparition des désordres de surface : le problème difficile de la recherche de vides mal connus ou dont l'existence est seulement soupçonnée se pose donc fréquemment.

Les vides souterrains peuvent être :

- consécutifs aux travaux de l'homme (carrières abandonnées, sapes de guerre, etc.) : les effondrements dus aux carrières souterraines parfois très anciennes qui ont été exploitées dans certaines régions comme l'Ile-de-France, le Bordelais, la Haute-Normandie, etc. et qui sont abandonnées de fait (carrières anciennes, inconnues ou oubliées) ou de droit (procédure régulière d'abandon) peuvent être assimilés à un risque naturel et donc traités comme tel par la procédure du PPR, car leur déclenchement résulte souvent de facteurs naturels (eau, séisme, affaiblissement des caractéristiques mécaniques des matériaux des éléments porteurs, etc.) ;

- **liés uniquement à des causes naturelles** : il s'agit essentiellement de la dissolution de matériaux solubles (calcaire, gypse, sel) conduisant au phénomène de karstification, avec ouverture d'avens, etc. Dans les terrains salins ou gypseux, la karstification peut être rapide en présence d'eaux agressives, compte tenu de la forte solubilité de ces roches : on a pu constater l'apparition de vides d'ampleur dangereuse en quelques dizaines d'années. En terrain calcaire, la dissolution est bien plus lente et n'évolue guère à l'échelle humaine. Citons également

l'entraînement de matériau fin pas érosion interne dans les sols hétérogènes à granulométrie étalée : c'est le phénomène de suffosion (soutirage de fines ou enlèvement local de matières).

➤ **Effets et conséquences.**

Les effondrements brutaux peuvent entraîner la ruine totale ou partielle des constructions et causer des victimes. En revanche, les affaissements à grand rayon de courbure qui affectent les constructions et les ouvrages (fissuration), présente rarement un danger pour l'homme. Il ne faut pas négliger les désordres provoqués par ces phénomènes sur les canalisations enterrées (une fuite d'eau induit en outre, une accélération du processus) .

La démarche de maîtrise des risques accidentels consiste à réduire autant que possible la probabilité ou l'intensité des effets des phénomènes dangereux conduisant à des accidents majeurs potentiels, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

La prise de conscience qui c'est opérée en premier lieu à la suite de l'effondrement de chéria dans la zone dite Douamis qui est heureusement n'a causer aucun dommage,et le deuxième effondrement qui s'est produit le matin de la journée du 26/02/2009,avec un rayon qui dépassent les cents mètres au centre ville de Chéria, causant des dégats remarquable dans les immeubles et une panique chez la population.Les premières constatations avaient montré qu'il s'agissait d'une rupture du toit d'une large cavité souterraine qui courrait dans une formation calcaire karstifiée de l'éocène (in AZIZ I Yacine 2017).Cette formation couvre à des profondeur variables, une grande partie du plateau de chéria qui s'étend sur une surface de 797.51 km² ou elle est recouverte de matériaux meubles,essentiellement des alluvions,des argiles et des encroûtements de calcaires.

Cette prise de conscience a mit en evidance la nécessité de prendre en charge ce phénomène pour de sérieux,que soit par les autorités ,principalement par les chercheur du domaine,par la recherche de nouveaux mode de représentation des risques naturelles et ses causes.

III .8.2 :La cartographie ZERMOS.

A la différence des cartes géotechnique, une réflexion méthodologique a été faite dès le début par un groupe de travail réunissant des représentants du B.R.G.M., de l'Université de Grenoble et des services de l'équipement (le laboratoire central des ponts et chaussées, L.C.P.C.). Cette cartographie a été conçue pour servir de carte d'alerte et de cadre pour l'élaboration des plans d'aménagement (Hubert, 1977; Antoine, 1977; Antoine et Marie, 1985). Elle constitue une base

pour une étude plus détaillée. Elle est une interprétation de synthèse des facteurs naturels permanents (lithologie, structure,etc..) et des facteurs temporaires (climat, végétation, actions anthropiques,..), responsables du déclenchement des mouvements de terrain. Elle se traduit par un zonage simple où la couleur exprime le degré de risque.

La légende de cette carte, qui doit être facilement lue par tout un chacun, présente, sur un fond topographique et planimétrique indiqué en gris avec l'hydrographie en bleu ,des plages de couleurs réservées au zonage du risque. Trois couleurs ont été employées : vert pour les zones stables,orange pour celles où existe une menace potentielle et rouge pour celles où le risque est certain. Des figurés en noir indiquent les caractères distinctifs des terrains (lithologie, tectonique, zones humides, etc..) et la nature du mouvement (effondrement de mines, glissement, etc..).

La cartographie ZERMOS représente un apport important sur le plan méthodologique. Elle a permis un ensemble de réflexions sur la notion de risque, sur la distinction entre risque et aléa (mais elle reste une carte des aléas), sur la gradation et le zonage des aléas et sur les conséquences que les limites cartographiques peuvent avoir sur le plan économique.

Mais cette cartographie reste bien en deçà des préoccupations des géomorphologues. D'une part, la géomorphologie y est souvent réduite à la carte des pentes et d'autre part, un seul processus est généralement envisagé (les mouvements de terrain). De ce fait, des pans entiers de la géomorphologie sont passés sous silence : d'autres processus que les mouvements de terrain, la chronologie, les formations superficielles, etc...

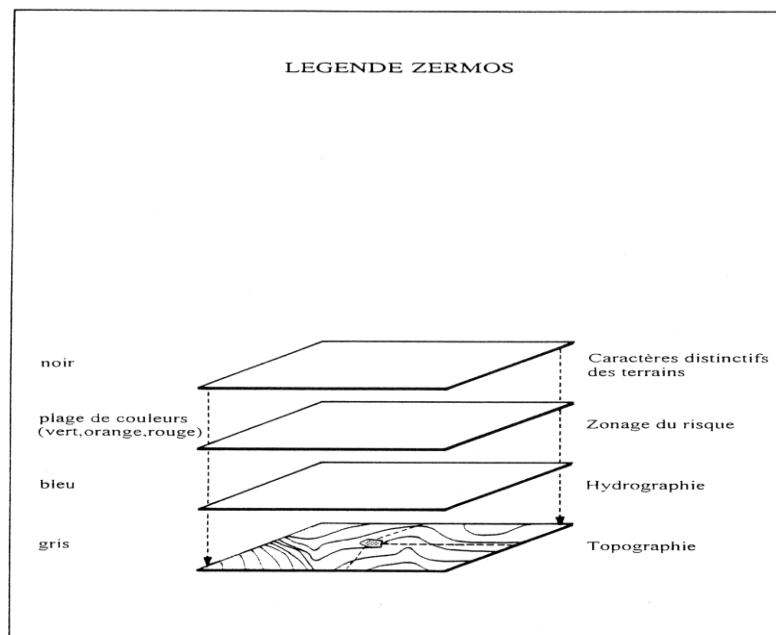


Fig. 51 Structure de la légende de la carte ZERMOS

Le risque est la "possibilité de survenance d'un événement susceptible de porter atteinte à l'équilibre naturel" dit le dictionnaire de l'Environnement (1991). Le risque résulte "de la conjonction d'un aléa et des enjeux en présence". Des précisions sont nécessaires :

- aléa est la "probabilité d'un événement qui peut affecter le système étudié naturel ou technologique" ;
- les enjeux sont "les personnes, les biens, les équipements, l'environnement menacé par l'aléa et susceptibles de subir des dommages et des préjudices" : un séisme survenant en plein Sahara présente un risque faible ; à Alger et à magnitude égale, le risque est majeur.
- la vulnérabilité "mesure les conséquences dommageables de l'événement sur les enjeux concernés". La connaissance des processus en action, de la nature et de l'importance des enjeux, permet d'appréhender le risque et la vulnérabilité.

Ces effets indirects peuvent être particulièrement lourds dans des zones de relief de forte énergie. L'aléa caractérise l'évolution dynamique de la terre et la connaissance de l'aléa permet d'en déduire la vulnérabilité, Les travaux sur les risques portent davantage sur l'aléa que sur la vulnérabilité.

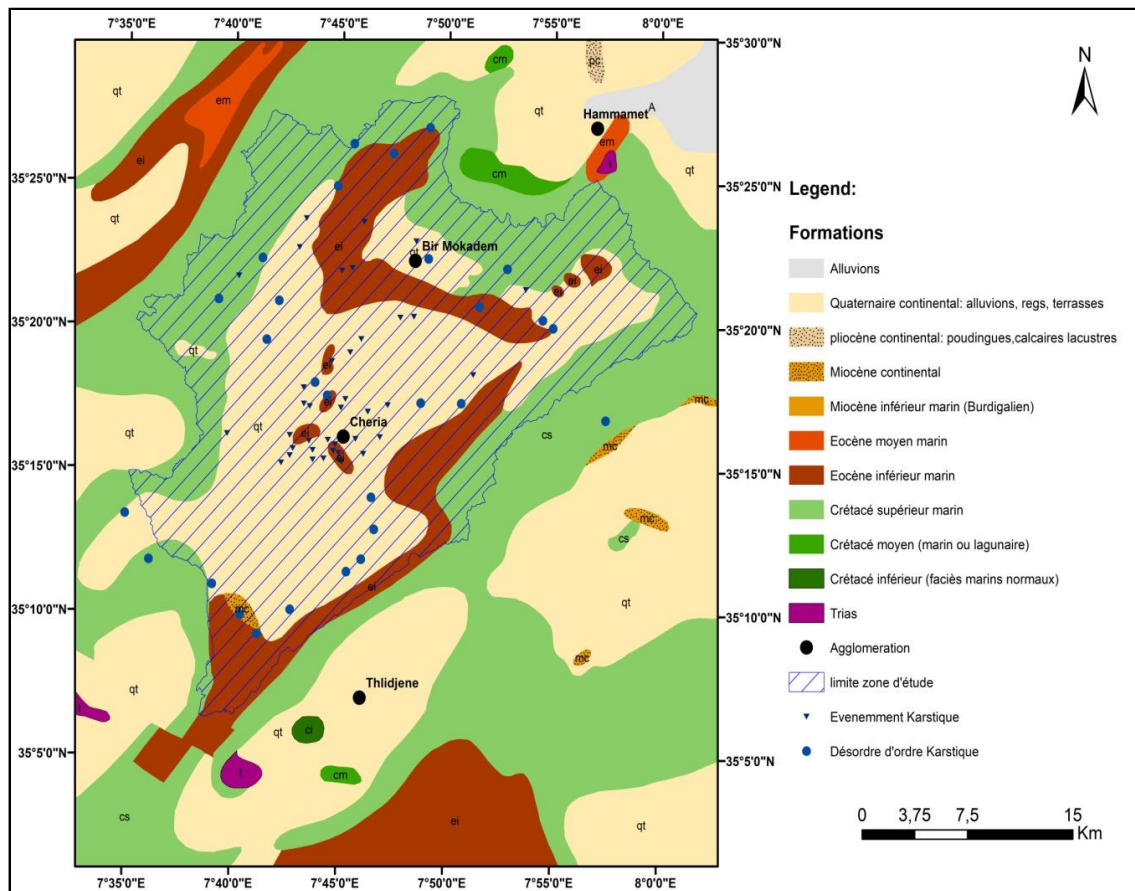


Fig. 52 Répartition des événements et désordre d'ordre karstique au niveau du plateau de Chéria (adapté de la thèse de AZIZ I Yacine2017).

Tableau 23 caractéristique litho stratigraphique et techniques des forages réalisés au niveau du plateau de CHERIA

Forage	Coordonnées			Lim sup	Lim inf	Formations	Age	Pro Tot	Prof Toit
	N	E	Alt						
502				0	130	Calcaire	maastrichti	255	0
503				3	23	Calcaire	maastrichti	24,5	13,5
521				37	153	Calcaire	maastrichti	153	37
525				190	300	Calcaire	maastrichti	300	21
526				100	300	Calcaire	maastrichti	300	7,5
533	35°16'31.3"	007°45'41.	1095,50	-	-	Calcaire	maastrichti	800	261
535	35° 6' 34.2"	007°39'13.	1000,00	-	-	Calcaire	maastrichti	490	470
504	35° 16' 49.4"	7° 43' 39.7"	1100,04	0	17,75	Calcaire blanc compact peu	Éocène	25,5	0
				17,75	17,8	Marne grise			
				17,8	25,5	Calcaire grise à silex			
505	35°16 '30.3 "	7° 44 ' 24.3 "	1092,57	0	1,5	Terre végétale et tuf	Éocène	54,6	1,5
				1,5	3,5	Tuf et			
				3,5	14,7	calcaire blanc fissuré (vide)			
				14,7	40,85	Calcaire blanc compact à silex			
				40,85	54,65	Marno calcaire compact et			
508	35°16 ' 7.2"	7° 44' 49.6"	1085,00	0	2	calcaire fracturé argile rouge(fissuration excellent)	Éocène	51	0
				19,7	23	vide			
				2	44,7	calcaire blanc-beige cristallin avec fissuration			
				44,7	51	faciès marneux lithographique			
509	35° 16 '15.8"	7° 44' 45.1"		0	3,6	Alluvions	Quaternaire		
				3,6	4,9	calcaire fissuré (vide)	Éocène	14,8	3
				12	13	calcaire fissuré (vide)			
				1	14,8	calcaire fissuré			
510	35° 16 '5.6"	7° 44 '50.8"	1085,00	3	5	calcaire cristallin a lumachelles fissuré (vide)			
				9	10	calcaire zone très fissuré			
				15	18	calcaire finement cristallin à			
				20	29,15	calcaire moïn crayeux fissuration bonne (vide 20-			
511	35° 16 '4.1"	7° 44' 52.9"		0	2,6	Alluvion galets et marnes	Éocène	34	2,6
				2,6	17,2	calcaire très fracturé (vide)			
				17,2	26	calcaire			
				26	29,2	calcaire fracturé (vide)			
				29,2	34	calcaire			
512	35° 16' 6.3"	7° 44' 50.9"	1085,00	0	4,6	calcaire fracturé altérée	Altération ressentie	30,6	0
				4,6	12	calcaire cristallin rosé	Éocène		
				12	17,2	calcaire légèrement marneux			
				17,2	30,6	calcaire de silex			
513	35° 9' 46.4"	7° 41' 18.5"		0	6	calcaire fissuré	Éocène	30	0
				6	9	calcaire			
				9	18,5	calcaire fissuré			
				18,5	23	calcaire			
				23	30	calcaire fissuré			
514	35 ° 9 ' 46.4	7° 41 ' 18.5"		0	31,95	calcaire fissuré (vide)	Éocène	31,9	0
515	35°16'30.3"	7° 44 ' 24.3	1092,57	1,5	3,5	Tuf et calcaire rosé	Éocène	12	3,5

Forage	Coordonnées			Lim sup	Lim inf	Formations	Age	Pro Tot	Prof Toit
	N	E	Alt						
516	35° 16 ' 12.1 "	7° 44'45.8 "	1086,00	0	1,1	Terre végétale	Éocène	20	1,1

				3	5,1	calcaire compacte fissuré (vide)				
				6,5	8					
				9	19					
517	35° 16 ' 10.1 "	7° 44'45.8"	1086,00	0	1,1	Terre végétale	Éocène	20	1,1	
				1,1	3	Blocs de calcaire rougeâtre				
				3	13,85	Calcaire compacte fissuré				
				13	19	Calcaire moins fissuré				
				19	20	Calcaire marneux				
518	35°16 '11.06 "	7° 44'42.9 "		0	1,2	limons graveleux	Éocène	30,2	2,8	
				1,2	1,9	gravier limoneux				
				1,9	3	blocs limono-argileux				
				3	4,3	calcaire compact contenant de				
				4,3	6	calcaire fissuré en grand (vide)				
				6	9,5	calcaire compacte fossilifère				
				9,5	12,3	calcaire a grain grossier				
				12,3	16	calcaire a grain fin contenant				
16	30,2	calcaire compacte a grain fin								
522	35 ° 18 ' 9.4 "	7° 48'17.5"	1133,00	0	96	cailloutis calcaire	Éocène	123,5	96	
				96	123,5	calcaire crayeux (vide)				
523	35° 13 ' 39.5 "	7° 44'12.5 "		-	-	vide	Éocène	100	80	
524	35 ° 13 ' 39.5 "	7 ° 44 ' 12.5 "	1045,00	0	16,3	limons rigide très détritique	Quaternaire	317,7	80	
				16,3	21,3	gravier calcaire				
				21,3	53,3	gravier calcaire très grossier				
				53,3	81,3	cutingue de grossier calcaire	Moi-			
				81,3	106	marno-calcaire blanchâtre	Éocène			
106	317,7	calcaire grise claire a gravier								
527	35 ° 8 ' 4.6 "	7° 40'26.7 "		-	-	vide	Éocène	121,3	6,2	
534	35° 16 ' 31.3 "	7° 45'40.8 "	1095,50	0	44	calcaire blanc microcristalline	Éocène	100	30	
				44	100	calcaire blanc (vide)				
537	35° 18 ' 52.01 "	7° 47'13.8 "	1115,00	0	55	gravier calcaire	Quaternaire	250	64	
				55	64	argile	Éocène			
				64	125	calcaire gris beige				
				125	197	calcaire gris à module siliceux et brèche				
				197	226	marno-calcaire gris marne et calcaire				
262	250	marno-calcaire et marne grise								
501				-	-	Alluvion	Quaternaire	30	-	
506	35° 16 ' 33.9 "	7° 44'21.9 "		-	-	Alluvion	Quaternaire	19.5	-	
507	35° 21 ' 36.8 "	7° 43'47.1 "	1112,00	0	3,3	Argile	Quaternaire	50.3	38	
				3.3	8.3	gros gravier et sable				
				8.3	11.75	Argile sableuse				
				11.75	17.75	Gros gravier				
				17.75	30.55	Argile rougeâtre sableuse	altération des calcaires			
				30.55	34.5	calcaire grisâtre				
				34.5	38	argile rouge				
				38	48.5	calcaire altérer + argile				
48.5	50.3	calcaire blanc compacte	Éocène							

Forage	Coordonnées			Lim sup	Lim inf	Formations	Age	Pro Tot	Prof Toit
	N	E	Alt						

519	35° 16 ' 28.02"	7 ° 44 ' 26.1 "		0	3	Alluvion gossier et galet calcaire	Quaternaire	23	3.5
				3	3.5	Alluvion calcaire	Éocène		
				3.5	14.6	calcaire fissuré			
				14.6	23	calcaire compacte			
520				-	-	Alluvion	Quaternaire	47	-
521				37	68	Alluvion	Quaternaire	37	-
522	35 ° 18 ' 9.4	7 ° 48 ' 26.1 "	1133	-	-	Alluvion	Quaternaire	96	-
525				-	-	Alluvion	Quaternaire	21	-
529				-	-	Alluvion	Quaternaire	33	-
531				-	-	Alluvion	Quaternaire	43.8	-
536	35 ° 20 ' 0.4"	7 ° 47 ' 26.1 "	1120.00	-	-	Alluvion	Quaternaire	37.5	-
525				-	-	Alluvion	Quaternaire	21	-

La réalisation des forages d'eau ont mis en évidence des cavités karstiques jusqu'à plus de 30 m de profondeur. Causée par des interactions roche-eau, telles que les réactions chimiques entre les eaux agressives riches en acide carbonique H_2CO_3 qui attaque les carbonates et les gypses. Ces réactions de dissolution conduisent à la formation de vides qui provoquent des effondrements karstiques. La présence des vides de tailles variées est indiquée par des pertes totales de boue au cours de l'opération de forage.

Les observations de terrain ont permis de détecter des effondrements ainsi que des évènements d'ordre karstique répertoriés sur tous le plateau (tableau 24) et (figure 52)



Fig 53. effondrement et karstification des calcaires Éocène « Douamis »

Tableau. 24 : Densité des évènements karstiques (adapté de Azizi Yacine 2017)

Groupe Lithologique	Surface en Km ²	Part de la surface total en %	Nombre d'Indice	Part des indices en %	Densité d'indice
maastrichtien	524.72	61.51	26	15.75	/
Affleurement	340.52	39.92	5	15.75	0.40
Sous-recouvrement	184.2	21.59	21	15.75	0.73
Éocène	328.25	38.48	139	84.24	/
Affleurement	100.01	11.72	24	14.54	1.24
Sous-recouvrement	228.24	26.76	115	69.69	2.60
Miocène	1.41	Superposition	Superposition	Superposition	Superposition
Mio-Pliocène	17.02	Superposition	Superposition	Superposition	Superposition
Quaternaire	1.41	Superposition	Superposition	Superposition	Superposition

N° de forage	505	508	510	511	512	513	514	515
Profondeur Total (m)	54.6	51	29.1	34	30.6	30	31.9	12
Prof.du toit des calcaire(m)	1.5	0	2.6	2.6	0	0	0	3.5
Prof.du mur des calcaire(m)	?	?	?	?	?	?	?	?
Épaisseur des calcaires traversés(m)	23.15	51	29.15	31.4	30.6	30	31.9	8.5
Nature du terrain de recouvrement du calcaires	Terre végétale	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant	Terre végétale
Prof. Des zones fissurées (m)	0-14.7	19.7-23	3-5 9.1-15.1	2.6-17.2 26.5-29.2	10.3-11.6 19.93-23.3	0-6 9-18.5	0-8 11-20	3.5-12
Prof. Des zones karstifiées (m)	0-14.7	19.7-23	9.1-15.1	26.5-29.2	19.93-23.3	-	-	3.5-12
Résistivité donnée par la géophysique de surface (ohm-m)	200	200	200	200	200	-	-	200
Résistivité donnée par le carottage électrique log-normal (ohm-m)	-	-	-	-	-	-	-	-
Niveau statique(m)	5.5	1.45	1.45	1.8	1.45	5.6	6.20	5.5
Débit (l/s)	?	16	13.6	15	44.5 110	0.1à 0.3	2.4	0.2
Rabattement (m)	?	0.1	0.09	0.13	0.01 0.12	?	10.8	?

Tab. 25 : Caractéristiques des forages ayant touchés les calcaires « Éocène »

N° de forage	516	517	522	523	524	527	536	537
Profondeur Total (m)	20	20	132.5	100	317.7	121.3	230	250
Prof.du toit des calcaire(m)	1.1	1.1	96	80	80	6.2	37.5	64
Prof.du mur des calcaire(m)	?	?	?	?	?	?	230	250
Épaisseur des calcaires traversés(m)	18.9	18.9	36.5	20	237.7	115.1	192.5	186

Nature du terrain de recouvrement du calcaires	Terre végétale	Terre végétale	Cailloutis quaternaire	Sable et Gravier Mio-Pliocène	Sable et Gravier Mio-Pliocène	Sable et Gravier Mio-Pliocène	Cailloutis quaternaire	Cailloutis et Argile quaternaire
Prof. Des zones fissurées (m)	3-5.1 6.5-8 9-19	5.1-19	Néant	Néant	98-317	6.2-7 40-54 110-114	184	184
Prof. Des zones karstifiées (m)	9-19	6-19	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant
Résistivité donnée par la géophysique de surface (ohm-m)	200	200	300	300	300	-	250	250
Résistivité donnée par le carottage électrique log-normal (ohm-m)	-	-	?	180	?	-	250-600	-
Niveau statique(m)	3.4	1.57	40	14.35	6	artésien	26.08	26.56
Débit (l/s)	109.7	111.1	12	13.2	23.5	5	4	2.9
Rabattement (m)	0.09	0.51	14.0	15.0	35.4	-	40	17.2

Tab.26 : Caractéristiques des forages ayant touchés les calcaires « **Éocène** »

III.8.3 : susceptibilité à l’effondrement

Pour étudier la répartition spatial des zones vulnérable à l’effondrement ,et vu le manque des donnés et les difficulté rencontrés, nous avons décidé de basé principalement sur Le traitement de la lithostratigraphie des forages d’eau, en utilisons le logiciel « SURPAC 6.2.2 » a fin de réalisée une représentation en 3D des formations souterraine suite a l’exploitation des donnés des forages réalisées (annexe 03) pour mieux visualisée les vides .

La récolte des données de base ont était récupérer, des travaux antérieurs faite sur la même zone et ont étudier le plateau de chéria.

La localisation des forages touchant l’aquifère éocène (figure 54),(tableau 25 et 26) et la représentation en 3D des formation traversées ,dans un environnement SIG en utilisons le logiciel **SURPAC6.2.2** ,et vue que ces forages sont installés d’une maniéré distancier l’un a l’autre, nous avons pus retenu que les forages qui peuvent nous donnés une bonne représentation graphique pour qu’on puissent les interprétés d’une manière trais claire.

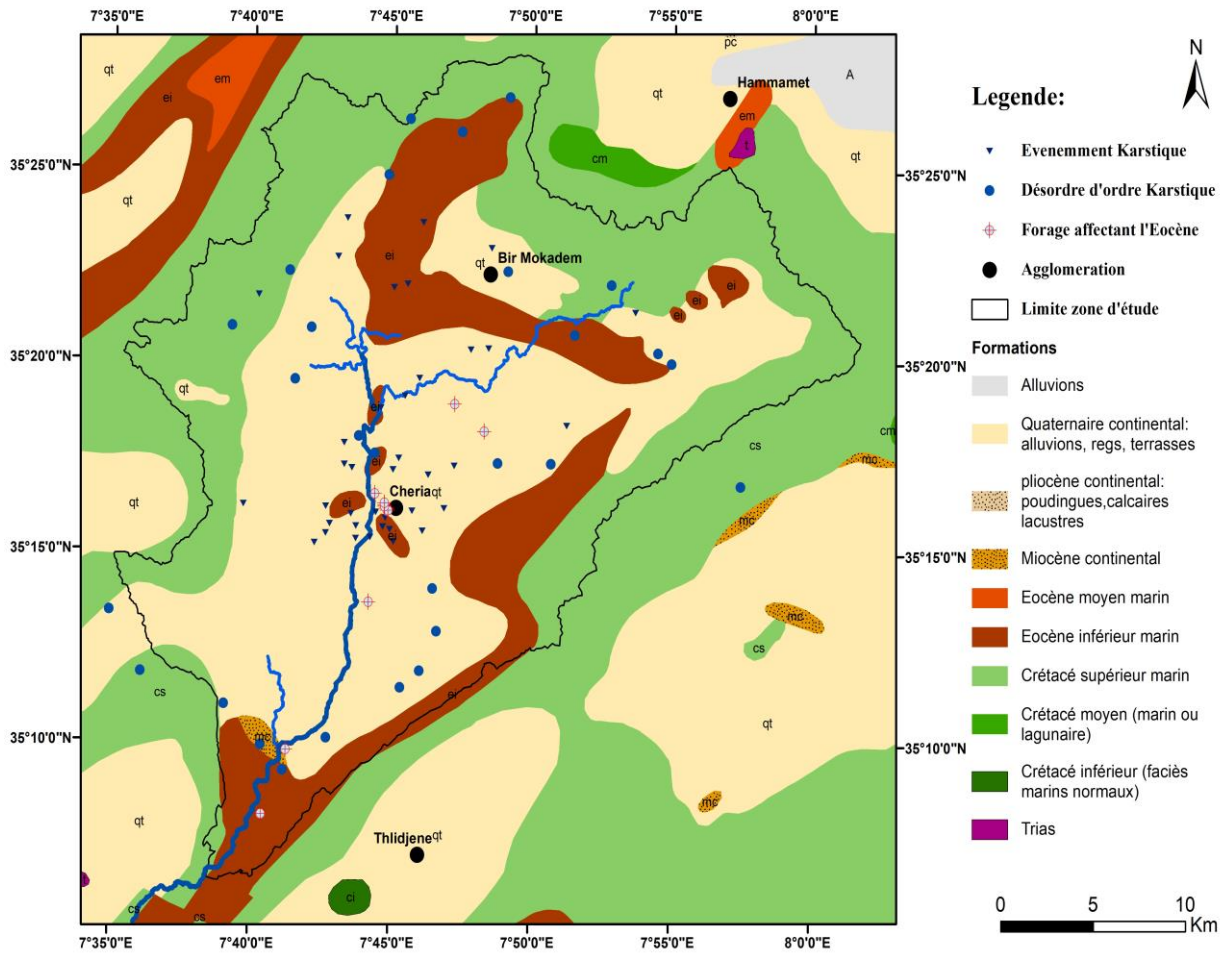


Fig.54 Disposition des forages affectant les calcaire (Éocène) et les phénomènes karstique

Les forages représentées sont localisées en leurs globalité au centre du plateau. Et qui ont permis une visualisation des vides et cavités souterraines, ainsi pas loin des activités connus des phénomènes de désordres karstiques, et les effondrement qu'a enregistré la région.

Notre but essentielle est de pouvoir schématiser d'une manière claire la répartition des vides rencontrés dans la région, et leurs situation par apport à la surface du sol.

La confrontation des résultats obtenus, avec celle des fracturations peuvent nous conduire à une zonation des secteurs pouvons les soupçonnées d'être vulnérable à effondrement par croisement de certaines indications de surfaces ainsi que les linéaments extrait des images satellitaire.

Une fois les interprétations seront finalisées on procédera à un zonage des secteurs qui ont la susceptibilité à effondrées en se basons sur les profondeurs des vides et des cavités et leurs

r
a
p
p
r

Résultats et discussions

[Étude de la vulnérabilité à la pollution et aux effondrements d'un milieu karstique fissuré (aquifère carbonaté de l'éocène), par l'utilisation d'un SIG d'une région semi-aride. Cas de la région de Chéria Tébessa]

IV.1 : vulnérabilité A LA POLLUTION (EPIK)

IV.1.1 Description des paramètres et des cartes

Pour le plateau de chéria la détermination des critères de la méthode employée dans le bassin d'alimentation (EPIK), est basée essentiellement sur l'analyse des coupes géo-électrique ressortent des profils des sondages électriques verticaux couvrant pratiquement la totalité de la région.

La méthode proposée pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu karstique est une méthode multicritère à indices, appelée EPIK, qui prend en compte quatre critères: l'Épikarst, la couverture Protectrice, les conditions d'Infiltration et le développement du réseau Karstique (Doerfliger 1996a). Ces critères correspondent quatre aspects spécifiques de l'organisation des écoulements au sein d'un aquifère karstique. Cette méthode permet d'évaluer la sensibilité des eaux souterraines des régions karstiques aux influences naturelles et anthropogènes de manière globale et rigoureuse.

Les quatre critères **E, P, I et K** correspondent à autant d'aspects spécifiques des aquifères karstiques et caractérisent ainsi leur vulnérabilité. La méthode EPIK permet donc d'évaluer – de façon reproductible – la sensibilité des eaux souterraines des régions karstiques aux influences naturelles et anthropogènes. Dans certains cas, notamment en présence de sous-bassins non karstiques et de zones urbanisées, la méthode devra être appliquée avec discernement.

IV.1.1.1 : Carte de paramètre E :

Le paramètre **E** intervient dans l'influence de la morphologie karstique observée dans la région d'étude (figure. 55).L'évaluation de la présence et du développement de l'épikarst (E) a été menée sans moyens d'investigation trop importants ni coûteux, principalement à l'aide d'observations de terrain (modèle karstique, affleurements), de l'examen des études géophysique. La carte, élaborée grâce à L'utilisation de système d'information géographique (SIG) par traitement avec le logiciel **ARCGIS 10.2**, après un travail de scanne de toutes les cartes d'implantation des profils des sondages verticaux recueillis auprès des services des ressources en eau de la wilaya de Tébessa, après un calage sur le logiciel (Mapinfo 8.0) selon le système de coordonnées géographique caractérisant la zone d'étude (UTM.N32° WGS84),

hémisphère Nord. Le **critère E** fait intervenir l'influence des morphologies karstiques sur la protection de l'aquifère.

L'analyse des sondages point par point, des formations géologique au dessous de la surface du sol, résultant de interprétation des données des profils électriques, nous a permis la discrétisation de critères E de la méthode EPIK.

- E1 = 1 : Gouffre creusé par les eaux d'infiltration caractéristique des régions karstiques, représente une majorité de la surface du plateau concentrer principalement dans la partie Est et Sud reflétant les zones de localisation des formations Éocène.

- E2 = 2 : fait intervenir les zones intermédiaires entre les champs de dolines, et les vallées sèches.

- E3 = 4 : caractérisera le reste de la zone

Sur la base des recherches sur le terrain, de la modélisation karstique et de l'interprétation des profils géo-électriques, nous avons délimité trois classes de développement de la morphologie karstique. Par conséquent, les épi karsts associés au réseau karstique, aux avens et aux grottes, situés dans le limites sud de la zone d'étude, où l'on remarque la présence de calcaire fissuré de L'âge Éocène a été spécifié comme hautement vulnérable et a donc attribué la valeur de E1. De même, pour les épi karsts associés aux zones matricielles fissurées (vallées sèches, alignement des gouffres, etc.); situé au nord et à la sortie du bassin, où des affleurements de calcaires maastrichtiens sont observés dans les lits de oued Belili, a reçu la valeur E2, tandis que le reste du bassin avec absence de morphologie épikarstique et présence de dépôt imperméable, a été attribué la valeur E3.

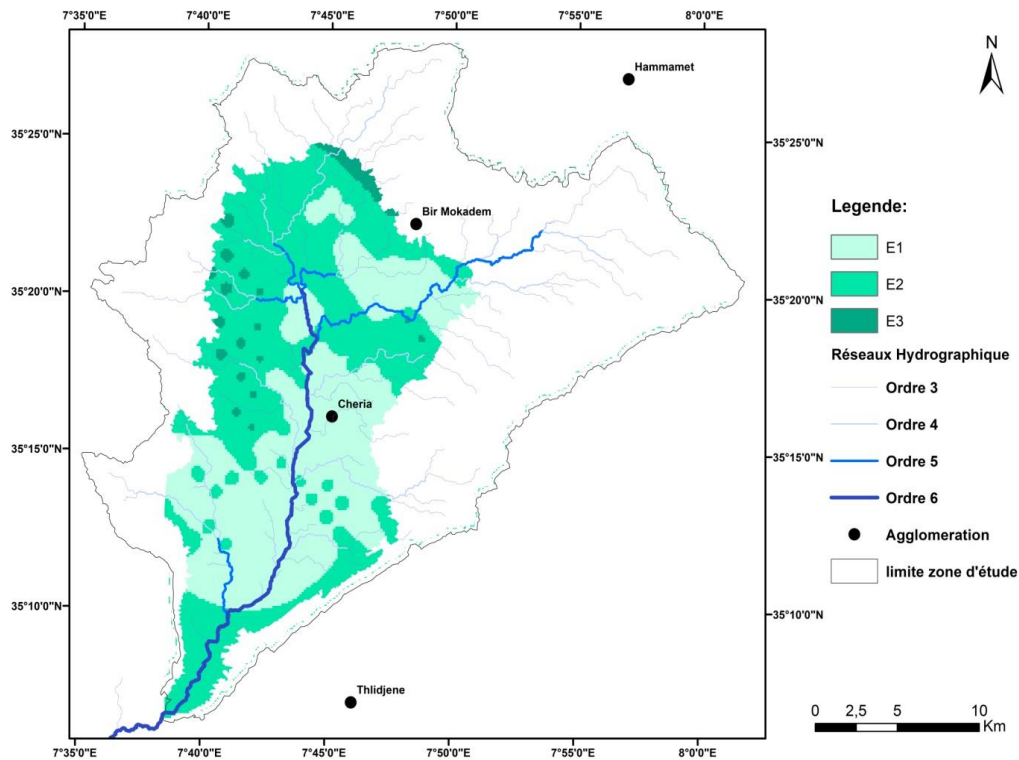


Figure 55 : Carte de paramètre Epikarte (E)

IV.1.1.2 : Carte de paramètre P :

Dans la région P fait intervenir la protection de la couverture pédologique et des formations géologiques de sols. Ces dernières constituent généralement une épaisseur de faible conductivité hydraulique. (fig. 34).

- P1 = 1 : correspond au littoral [0 – 20] cm
- P2 = 2: correspond à la plaine [20 – 100] cm
- P3 = 3: correspond à la montagne + 1 m

Dans la région étudiée, la couverture protectrice est constituée essentiellement de sol. On n'a observé que les formations quaternaires occupent la majeure partie de la superficie de la plaine s'observent localement dans les vallées et les bordures. L'évaluation du critère P est basée principalement sur l'épaisseur des sols, déterminée à l'aide de mesure de l'épaisseur à partir des coupes géo-électrique de différents profils (fig. 56).

Des valeurs sont affectées à la couverture de protection paramètre (P1, P2, P3 et P4) sur la base de l'épaisseur des sédiments sus-jacents. La partie nord de la zone d'étude (P1) a une valeur relative de poids de 1, révèle une vulnérabilité élevé qui s'explique par la faible

couverture protectrice et l'affleurement des formations calcaires fissurées.

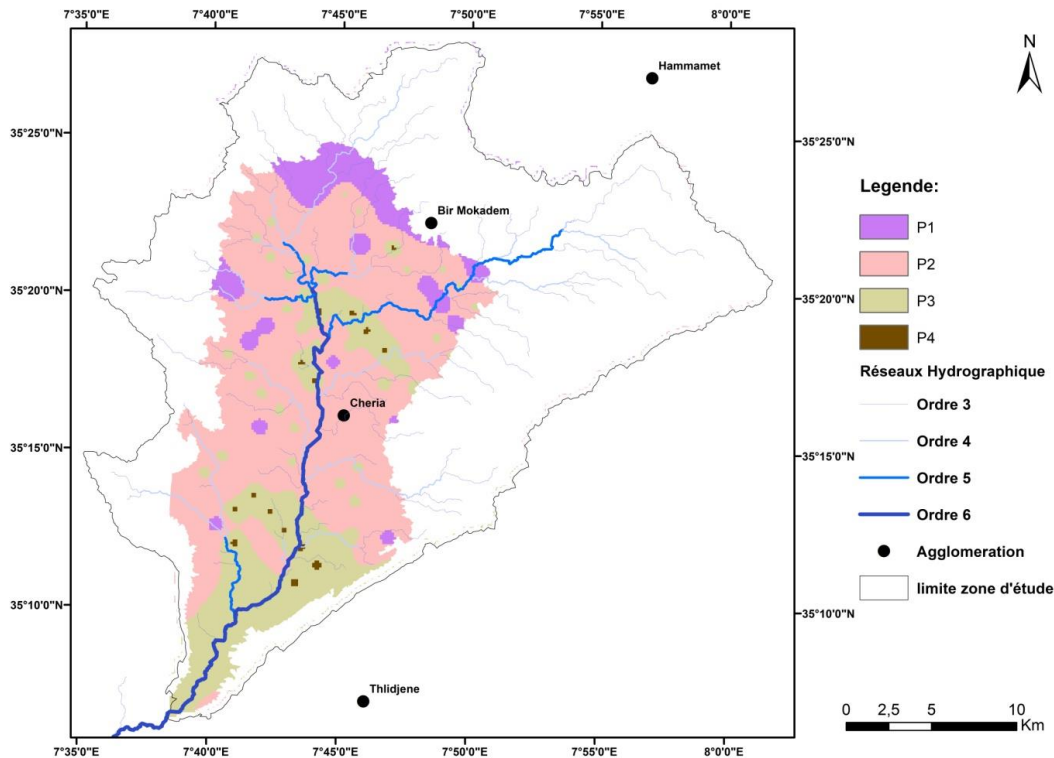


Figure 56 : Carte de paramètre Couverture Protectrice (P)

IV.1.1.3 : Carte de paramètre I :

(I) est un paramètre de distinction entre les zones d'infiltration diffuse et d'infiltration concentrée. (Fig. 57).

- $I_1 = 1$: zone autour des oueds où l'infiltration très concentrée comprenant des systèmes de drainage artificiel.
- $I_2 = 2$: zone intermédiaire entre les oueds non drainé artificiellement dont la pente est $>10\%$ où l'infiltration est moyenne.
- $I_3 = 3$: correspond à la pente $+25\%$ l'infiltration moins concentrée.

L'évaluation des conditions d'Infiltration est basée sur l'identification des zones d'infiltration concentrée (pertes ou lits de cours d'eau temporaires ou pérennes, zones drainées artificiellement) et l'appréciation des surfaces d'infiltration diffuse. Ces dernières sont caractérisées par leur coefficient de ruissellement. Qui dépend de la pente du terrain et de l'occupation du sol. La vulnérabilité est évaluée en fonction de la présence ou non d'un réseau karstique, et du degré de développement de ce réseau.

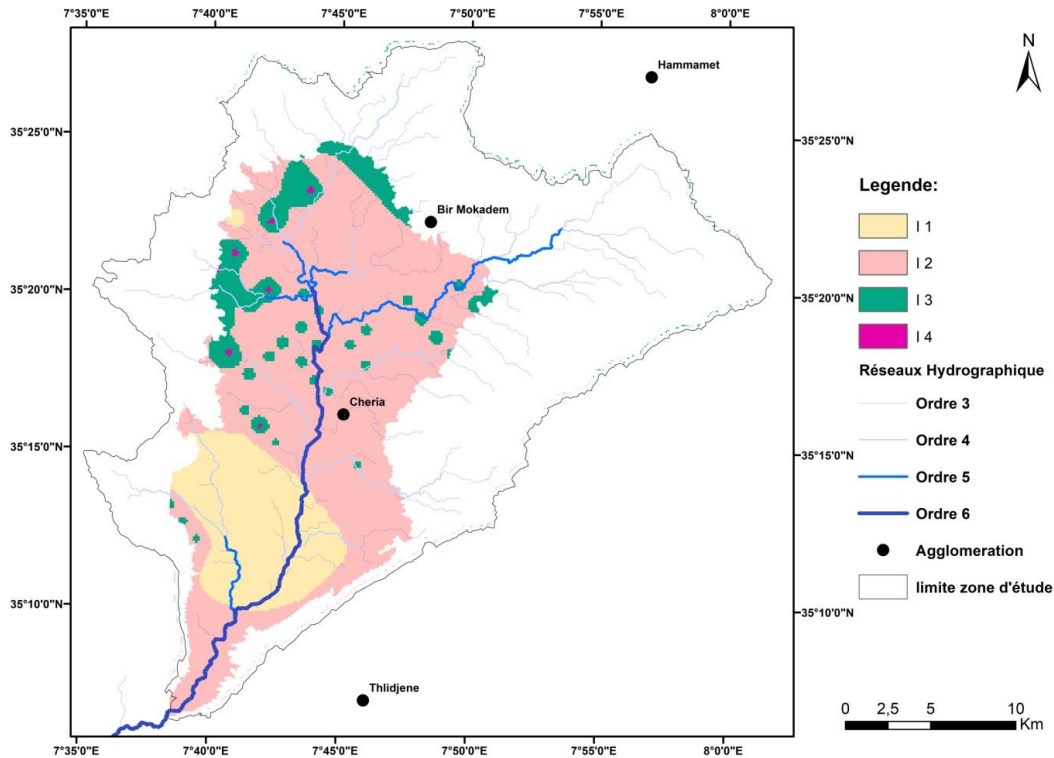


Figure 57 : Carte de paramètre conditions d'Infiltrations (I)

IV.1.1.4 : Carte de paramètre K :

(K) fait intervenir le développement de l'aquifère karstique en profondeur, (fig. 58).

- K1 = 1 zone dont le karst est bien développé.
- K2 = 2 zone dont un karst peu développé (entre les failles).
- K3 = 3 zone est défini un aquifère fissuré ou poreux (autours des failles).

Le critère de développement du réseau karstique K a donc été évalué globalement, pour la totalité des zones caractérisées par la présence des formations de calcaire Éocène mis en évidence le caractère karstique des écoulements souterrains.

L'indice du critère K est généralement attribué globalement pour tout le bassin d'alimentation considéré cependant il peut être différencié par régions selon le développement du réseau karstique, lorsque celui-ci peut être caractérisé de manière spécifique.

La présence ou l'absence d'un réseau karstique peut être déterminée principalement par la méthode qui identifie les composants géomorphologiques clés tels que les grottes, les nids-de-poule, les systèmes de grottes, ou par des méthodes indirectes, telles que l'analyse de

l'hydrogramme de flux, le test des traceurs et l'eau

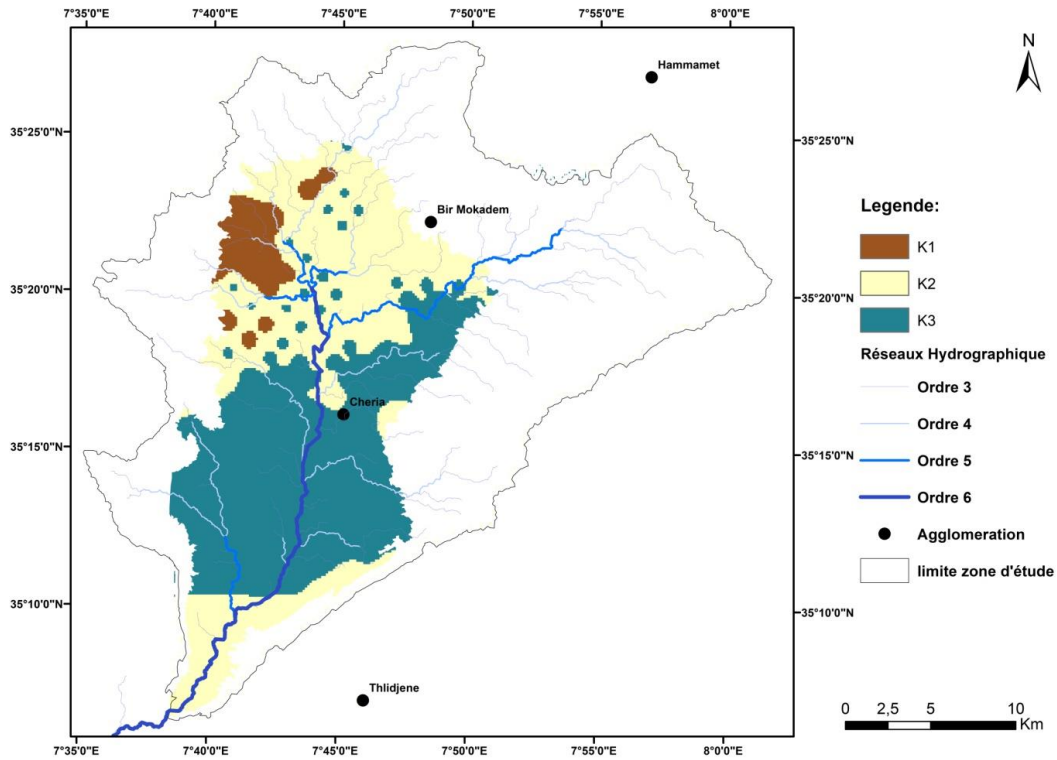


Figure 58 : Carte de paramètre de développement de réseau Karstique (K)

IV.1.2 : Calcul du facteur de Protection :

La valeur du facteur de protection F est déterminée après la combinaison des quatre cartes établies précédemment en tout point du bassin d'alimentation. Ceci nécessite:

- La transformation des indices des critères E, P, I et K en valeurs numériques ; celles-ci sont des constantes présentées et commentées ci-après (Tab22).

- La combinaison pour chaque élément de surface, des valeurs des critères; on utilise pour cela des coefficients de pondération constants, qui tiennent compte de l'importance relative de chaque critère; ces coefficients sont eux aussi représentés et Commentés ci-après (Tab23).

- La combinaison des quartes cartes peut, être sensiblement facilitée par l'utilisation du logiciel ARC-GIS pour la mise en relief de la carte de vulnérabilité selon la méthode EPIK.

La carte de vulnérabilité permis de visualiser les zones de protection proposées, S1 à S3 pour le plateau de Chéria. Elles doivent permettre la mise en œuvre de limitation plus efficace pour l'utilisation du territoire.

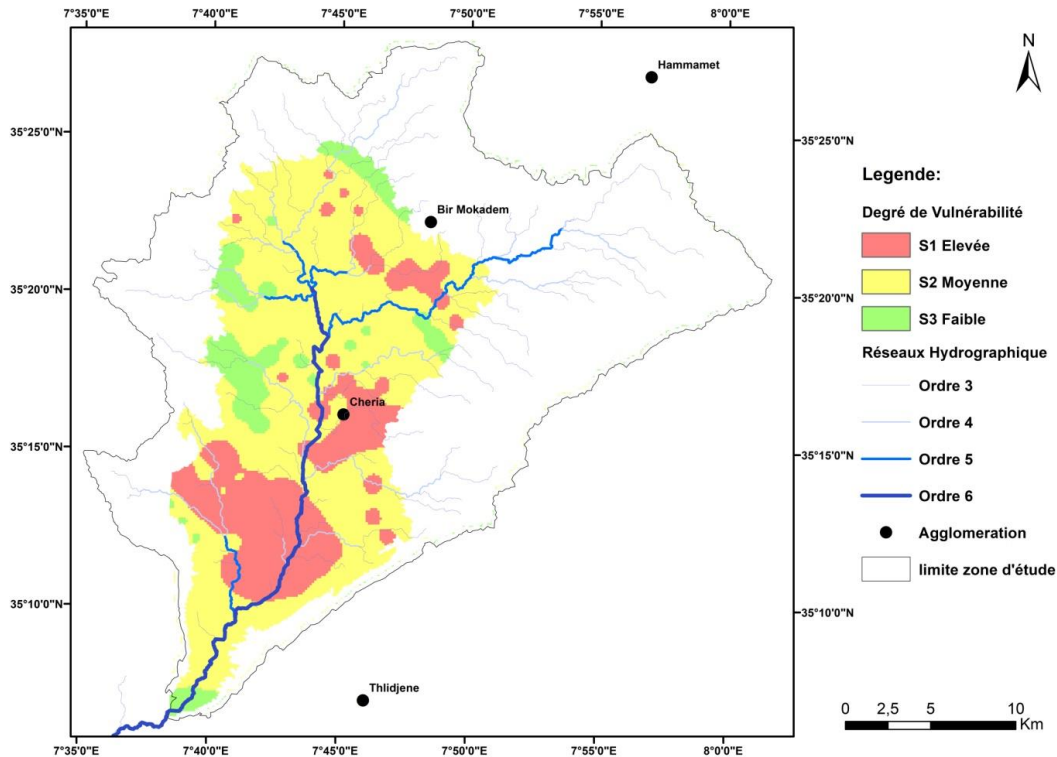


Figure 59 : Carte de vulnérabilité du plateau de Chéria (NE Algérie) Selon la méthode EPIK

La valeur du facteur de protection varie de 16 à 33. les plus grands secteurs à vulnérabilité élevée (facteur de protection $<$ à 19) correspondent aux formations d'éocène fissuré situé principalement au Sud et à l'Est du plateau correspondent à des zones de roches présentant des formes de karstification.

Le secteur le mieux protégé est celui de la partie Ouest, caractérisé par le critère indexé P_3 et P_4 (couverture protectrice) et un facteur de protection de 31 à 33. Certains secteurs situés dans les parties sud et Nord de la zone cartographiée sont également très bien protégés.

A partir de la carte de vulnérabilité (figure 59), les zones de protection ont été définies grâce à la relation d'équivalence figurant au (page 106). La zone de protection **S1** correspond à un secteur de vulnérabilité élevée situé en majorité à l'Est et Sud de la zone d'étude expliquée par la présence des formations calcaires Éocène.

Quant aux secteurs de moyennement vulnérables, en présence d'une couverture protectrice, et présence des pertes, se trouve en zone **S2**.

En ce qui concerne les secteurs de faible vulnérabilité comportant généralement une bonne couverture protectrice, situés hors des zones d'infiltration concentrée avec la présence des formations calcaire du Maestrichtien, de faible perméabilité ils se retrouvent logiquement en **S3** au niveau des bordures Nord et Ouest de la zone d'étude.

La zone S1 représente environ (30%) de la surface totale de la zone d'étude cartographiée par la méthode EPIK, tandis que la zone de protection S2 représente environ (60%).

Une nouvelle délimitation des zones S1, S2 et S3 a pu être établie. Elle est représentée sur la (figure 59) Elles devraient permettre la mise en œuvre de limitations efficaces pour la protection des eaux souterraines, qui tiennent compte des conditions hydrogéologiques de manière différenciée et qui ne compromettent pas de manière inutile l'utilisation du territoire.

Les affleurements fissurés, les trous d'hirondelle et les ruisseaux perdants alimentant les trous sont caractérisés par une catégorie de vulnérabilité très élevée. Oued Cheria où les eaux usées de La ville est directement rejetée, est en contact direct avec l'aquifère fracturé de l'Éocène. Ses ruisseaux tributaires traversant le calcaire. En plus de cela, Les gouffres de Drâa Douamis sont situés dans la zone la plus vulnérable. Également la Vallées de Tazbent et Bir Drouj et les pentes abruptes du Djebel Kemelal et du Djebel Troubia. Les (I) et (E) paramètres exerçant une forte influence sur le résultat. Cependant, les affleurements compacts ou ceux sans contact avec l'aquifère sont moins vulnérables que les zones entre dolines ou vallées sèches.

Nos résultats concordent avec les études menées dans la région prouvant que les fissures des formations de calcaires éocènes sont la principale cause de la contamination des eaux souterraines par les nitrates (utilisation de pesticides, eau usées...) dépassant les normes dans la partie sud du plateau (Baali, 2007). Les zones de faible vulnérabilité avec une bonne couverture protectrice sont situées au niveau des affleurements de calcaire maestrichtien dans les bords nord et ouest de la zone d'étude, en dehors des zones d'infiltration et de perméabilités.

On note que les linéaments dans les zones à forte vulnérabilité sont très développés. Cela explique la relation causale entre le degré de vulnérabilité à la contamination par polluants et la structure géologique existante dans la région (calcaire Éocène et Maestrichtien) (figure 60),

de plus, la tectonique (intensité de la fracturation) influence le développement du réseau karstique et la perméabilité dans un environnement karstique.

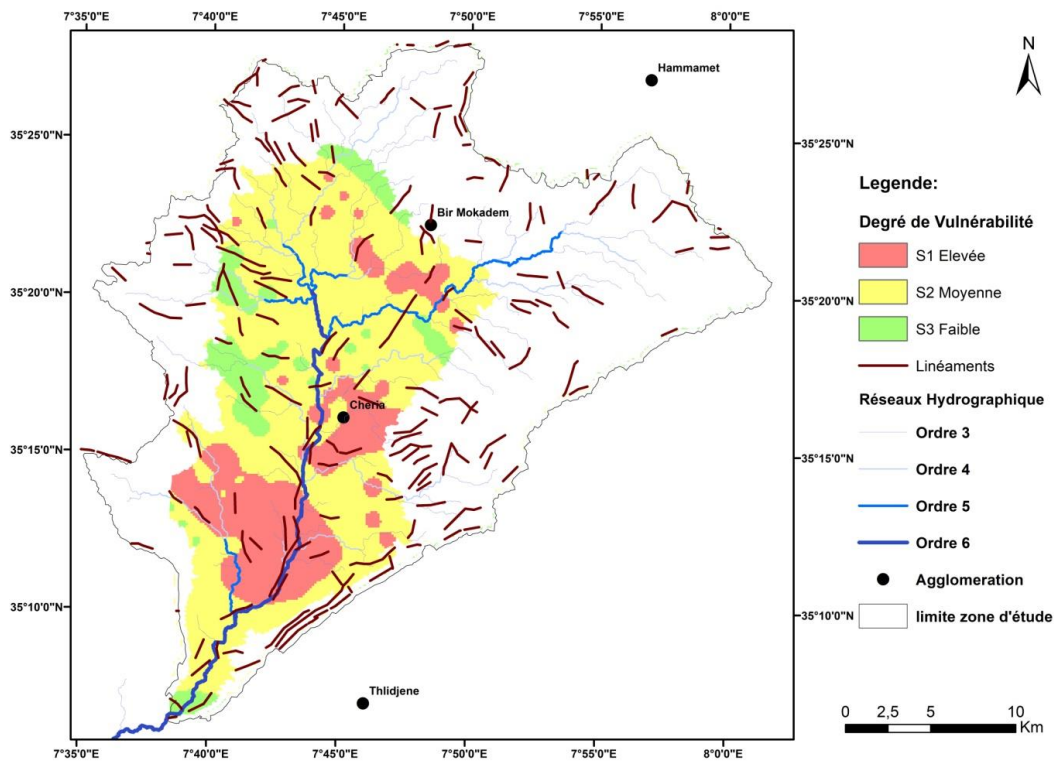


Figure 60: carte de validation par linéaments du plateau de Chéria.

La carte de vulnérabilité produite doit être validée afin d'estimer la confiance du modèle conceptuel de conditions hydrogéologiques dominantes (Jeannin et al. 2001). Plusieurs outils peuvent être utilisés pour la validation des évaluations de vulnérabilité telles que les hydrogrammes, les chimiogrammes et les traceurs.

La validation par le test de traceur et les outils hydrogéologiques (hydrochimiques) a déjà été appliquée dans l'aquifère du plateau de Chéria, en surveillant la variation de la qualité des sources ainsi que par la forte concentration de nitrates provenant d'analyses chimiques, dans des études antérieures (Chaffai et al.1986 ; Baali et al.2007; Benhammadi 2016; Chamekh et al.2018; Azizi, 2017; Benmarce et Khanchoul, 2019).

IV.1.3 : Conclusions, recommandations et perspectives

Les cartes de vulnérabilité sont un outil efficace pour la protection de la ressource en eau souterraine dans des aquifères carbonatés avec différents degrés de karstification. L'approche proposée pour la délimitation des zones de protection des eaux souterraines explique le comportement hydrogéologique du système aquifère de Cheria. Notre approche prend en compte quatre facteurs : l'Epikarst, la couverture protectrice, conditions d'infiltration et le développement du réseau karstique.

Nos résultats montrent que 40% de la nappe phréatique est caractérisée par une vulnérabilité très élevée à modérée. Les zones de grande vulnérabilité, concentrées principalement dans les zones agricoles. Ces résultats indiquent que la plaine du plateau de Chéria est menacée par la pollution par les nitrates due à l'utilisation de pesticides comme pratique courante dans la région.

Donc, des mesures sérieuses devraient être prises pour protéger les eaux souterraines à l'avenir, en évitant l'installation maximale des investissements industriels et la minimisation de l'utilisation des pesticides dans le domaine agricole, interdiction des rejets urbains dans la nature.

La méthode EPIK ne prend pas en compte certaines caractéristiques dynamiques, telles que la temporalité, variations d'infiltration. Il semble si raisonnable d'intégrer des méthodes indirectes telles que les tests d'infiltration et les tests de traceurs artificiels dans nos futures recherches. Néanmoins, notre étude doit être confirmée par une mise à jour des analyses de pesticides dans les sources et les eaux de puits. La méthode par le fait qu'elle est basée sur des critères hydrogéologiques spécifique, permettra à l'avenir une meilleure protection des sources de captages en milieu karstique.

Ainsi le rendre plus efficace, par une analyse de sensibilité pour les quatre paramètres de la méthode et en conséquence, évaluer leur importance et leur contribution aux résultats finaux selon (Vogelbacher et al.2019). Notre approche constitue un outil possible pour définir des zones de protection efficaces dans un environnement karstique. Cependant, la priorité doit être donnée aux actions de prévention.

Pour conclure, nos recherches se limitent au zonage de la vulnérabilité intrinsèque à la pollution, en Formations calcaires éocènes. La région a besoin de plus d'études hydrogéophysiques, comme tomographie électrique pour détecter et inventorier la profondeur et la

géométrie du sous-sol. En outre, il est nécessaire de traiter des études plus détaillées en termes d'équilibre de réserve karstique par l'exploitation rationnelle des ressources en eau de la région pour éviter tout abaissement intensif des niveaux piézométriques provoquant des effondrements brutaux et des gouffres.

Les trois zones de vulnérabilités à la pollution ressortie par l'application de la méthode (EPIK), nécessitent une intervention de vulgarisation et de sensibilisation a fin de pouvoir limitée les activités a entreprendront.

❖ **Au niveau de la zone (S1)** relative a une vulnérabilité à la pollution élevée situé en majorité au Sud et à l'Est du plateau, et face a ce risque il est strictement interdit tous constructions sauf celle liées à l'approvisionnement en eau potable. Seules les activités agricoles ne présentant aucun risque pour les eaux souterraines y sont autorisées.

❖ **Au niveau de la zone (S2)** occupons des zones de moyenne vulnérabilité, localisées sur la majorité du plateau, ils sont autorisés sauf les travaux liés au captage des eaux, ainsi qu'il faut encouragée la plantation des arbres au niveau des berges des oueds.

❖ **Au niveau de la zone (S3)** reflétant une zone de faible vulnérabilité à la pollution, situé à l'ouest et le nord de la zone d'étude, La construction de bâtiments d'habitation conformes à l'affectation de la zone y est possible moyennant la prise de mesures particulières. Les constructions de type artisanal et industriel dangereuses pour la protection des eaux y sont interdites. La plupart des activités agricoles y sont autorisées.

IV.2 : vulnérabilité A L'EFFONDREMENT

IV.2.1 Introduction

L'analyse des aléas, liée aux vides et réseaux karstiques, suppose une approche informative différente basée sur des recherches d'indices en surface (réseaux hydrologiques, alignement de failles, présence de gouffres bétoires avens...), sur la cartographie géologique.

Le déclenchement de ces événements ne représente que l'étape ultime d'une dynamique complexe dans laquelle des processus mécanique, hydraulique ou physico-chimique peuvent être successivement ou simultanément engagés (Toulemont M 1987).

Les instabilités de cavités souterraines génèrent des désordres qui peuvent se propager jusqu'à la surface. Les conséquences peuvent être très graves, les ruines de constructions des ouvrages de génie civil et les morts des hommes en cas des phénomènes brutaux (Fauchard et al., 2004).

IV.2.2 Cartographie des zones vulnérables à l'effondrement

Le sous-sol du plateau de Chéria se caractérise par la présence de nombreuses cavités d'origine naturelle. Il est maintenant bien connu que toute super structure dans la région de Chéria peut avoir sous ces fondations, à une profondeur donnée, une cavité souterraine qui menace sa stabilité.

Pour qu'un vide se crée au sein d'une formation gypseuse par le biais de processus de dissolution, il est nécessaire que le gypse soit en contact avec une eau sous-saturée vis-à-vis de celui-ci et que l'écoulement de cette eau soit suffisant pour qu'elle se renouvelle régulièrement et n'atteigne pas l'équilibre chimique au contact avec le gypse. Une eau sous-saturée peut être mise en contact avec du gypse dans différents contextes géologiques, des plus simples aux plus complexes. Pour les contextes les plus simples, deux cas de figure peuvent être illustrés :

- le premier, lorsque des horizons gypseux sont situés au sein d'un aquifère En effet, le phénomène de dissolution peut se mettre en place dans la tranche de terrain où la formation gypseuse est mise en contact avec l'eau sous-saturée de la nappe qui s'écoule.(Toulemont, 1974, 1981 et 1987).

- le second, lorsque des fractures préexistantes servent d'intermédiaires. En effet, si des discontinuités structurales existent au sein de la formation gypseuse, celles-ci peuvent permettre à une eau sous-saturée d'atteindre le gypse. Si l'eau circule au sein de ces discontinuités, le phénomène de dissolution peut se produire permettant ainsi le développement de vides en périphérie de celles-ci.

D'après le diagnostic, de la lithostratigraphie des forages implantés dans le plateau de chéria, ayant touchés les calcaires éocènes, l'origine de ces effondrements est liée aux effets combinés entre la circulation des eaux superficielles dans la nappe libre et le phénomène du karst se développant dans les calcaires et les gypses de l'éocène.

La majorité des désordres est située au centre du plateau, pour une profondeur de calcaires entre 2 et 14 m, cela semble logique au regard du phénomène : plus le substratum karstique est près de la surface plus le risque d'affaissements / effondrements est élevé ainsi on observe une décroissance avec la profondeur.

Un second désordre apparaît pour une profondeur de calcaires au delà de 20m, il s'explique parfaitement par le nombre d'événements karstiques présents au centre du plateau et au préférer du centre, prenant les axes de fissurations préférentielle un acquis pour le développement du processus, superposant l'écoulement superficiel et souterraines faisant accentuant le phénomène malgré la profondeur du substratum karstique.

En profondeur, les éventuels effondrements dans le substratum calcaire éocène ne semblent plus avoir d'impact en surface vue L'absence de désordres.

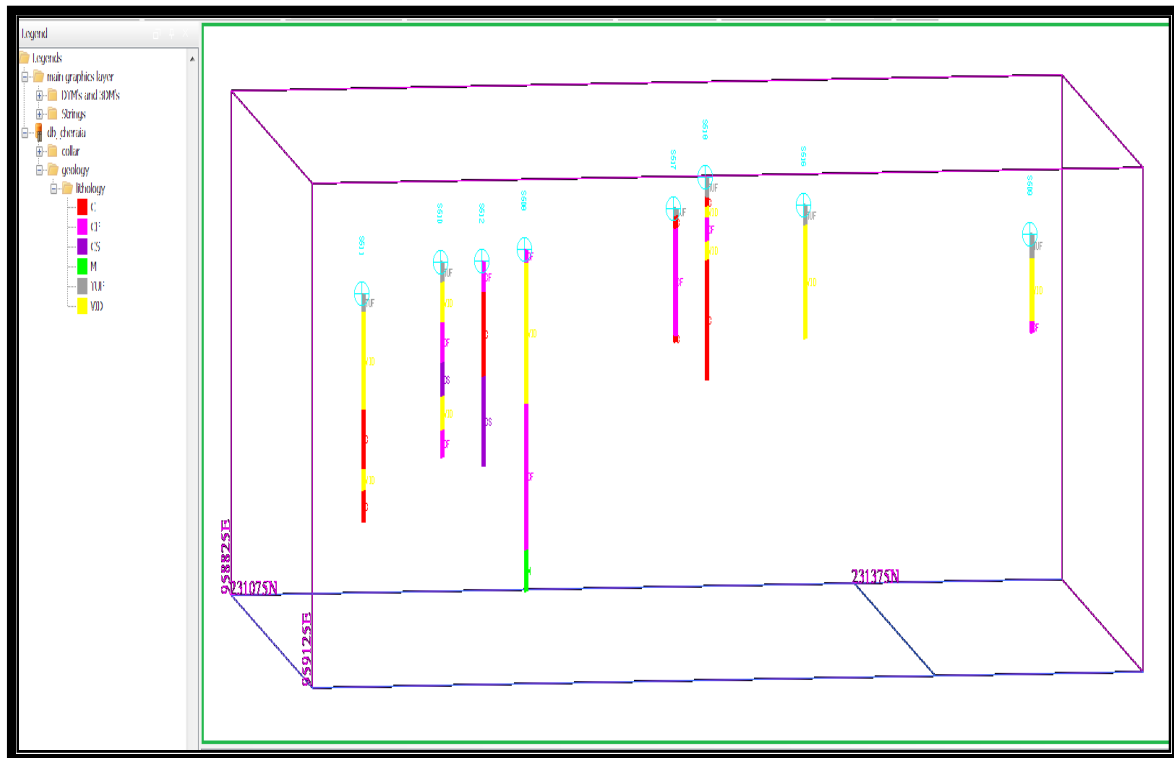


Fig. 61 Visualisation en 3D des forages touchant l'aquifère Éocène sur SURPAC

IV.2.3 Discussion des résultats

L'analyse et la cartographie menée à l'échelle de la région relative à la localisation des vides, a pu délimiter d'une manière générale les zones susceptibles de présenter des cavités naturelles instables qui se trouvent principalement au sens des axes d'écoulements souterrains où les calcaires Éocènes sont en subsurface. Ces cartes permettent de cerner les zones à risque à l'échelle de la région de Chéria (figure 61).

La carte de susceptibilité à l'effondrement doit permettre aux gestionnaires locaux d'établir des plans d'occupation de sols qui intègrent ce risque en priorité.

Nous remarquons que les forages d'eaux localisées au centre du plateau, visualisent bien les vides et les cavités proches de surface du sol, ce qui rend ces zones vulnérable à un phénomène d'effondrement localisés. Ainsi la concentration des événements et les désordres d'ordre karstique (figure 52), favorisent cette interprétation.

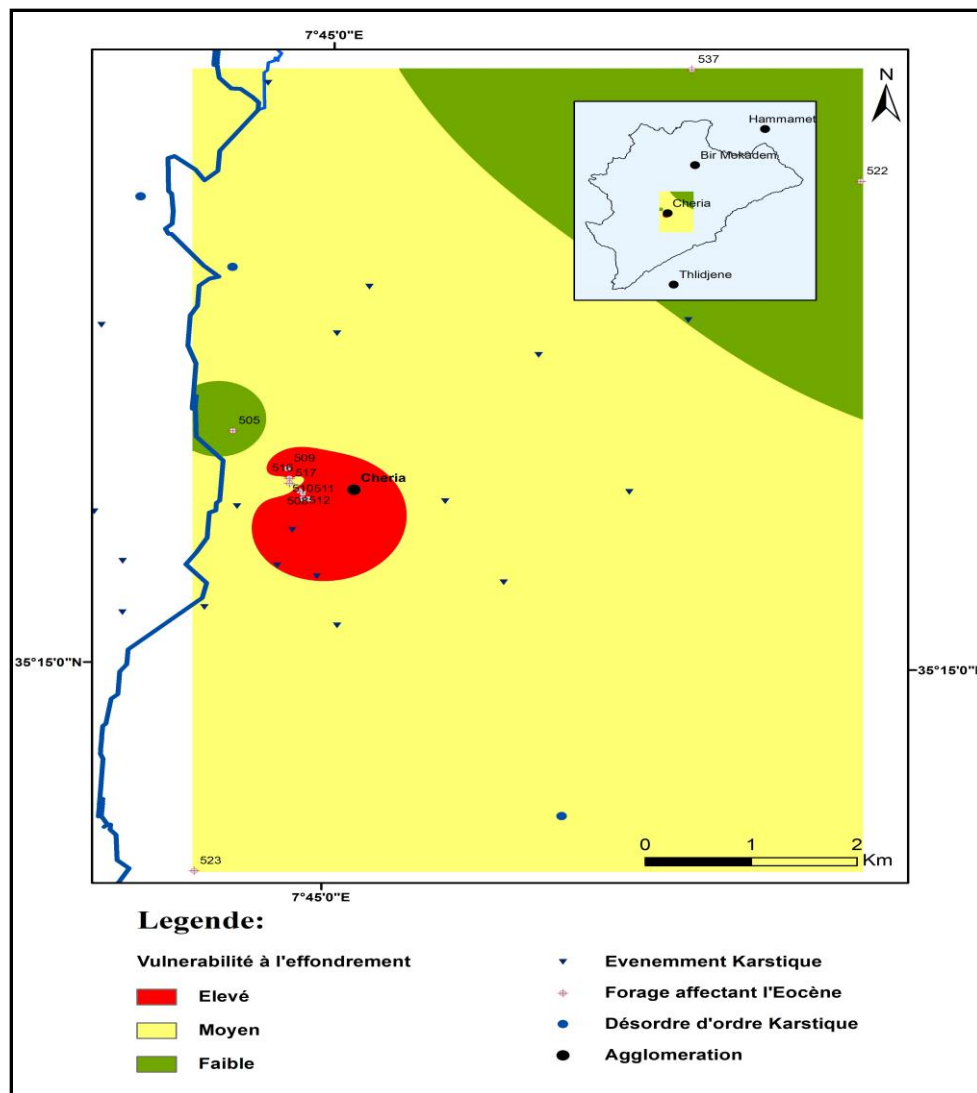


Fig. 62 Carte de délimitation des zones susceptibles à l'effondrement

On allant vers les péréféréés du centre, la première constatation c'est la diminution de nombre de désordre, et leurs dispersion, l'une a l'autre .Ainsi que la profondeur important des vides enregistrés dans les forages d'eau, ce qui résulte une susceptibilité faible pour effondrement.

IV.2.4 Conclusion et recommandation

Les résultats obtenue par l'analyse de la lithologie des forages affectant l'aquifère Éocène, mettent en évidence, un zonage de différentes sensibilités, caractérisées essentiellement par des instabilités pouvant entraîner des effondrements liés aux cavités souterraines.

La ville de chéria ainsi que le centre du plateau est exposées, aux risque d'effondrement suite au présence des désordres karstique apparente, en plus qu'elle était affectée par ce genre de mouvement de terrain.La zone coloré en rouge représente un danger réel d'instabilité, inversement au couleur jaune et vert qui signifie que le danger est moin important.

Enfin cette synthèse représente un avis technique, qui ne prend pas en considération l'occupation de sol et la vulnérabilité, ainsi que d'autres paramètres qui rentre en jeux dans le traçage des cartes de susceptibilités. Il nécessite une étude de fond pour permettre le tracer d'une carte de risque traduisant réellement les zones instables et à risque de mouvement de sol et de sous/sol.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était de mettre en évidence l'utilisation de critères tenant compte du fonctionnement hydrogéologique du karst, tels que *l'épi karst, la couverture protectrice, les conditions d'infiltration et le développement du réseau karstique*, permet d'obtenir des cartes de la vulnérabilité des captages en milieu karstique. Ces cartes constituent une nouvelle base pour l'établissement des zones de protection en terrain karstique. Ainsi sa fiabilité dans l'étude de la vulnérabilité des ressources en eau du plateau de Chéria et particulièrement le réservoir Éocène des calcaires karstiques à la pollution.

L'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) pour l'étude, a permis de mettre au point les différents aspects quantitatifs de la méthode. Cet outil a également permis de simplifier largement l'obtention de la carte du facteur de protection (carte de vulnérabilité).

La contamination des aquifères karstiques n'est pas une fatalité. Des zones de protection délimitées en adéquation avec le fonctionnement hydrogéologique du karst, combinées avec leurs mesures de protection respectives, peuvent à l'évidence réduire considérablement les risques de pollution. La méthode EPIK, basée sur des critères hydrogéologiques spécifiques, permettra à l'avenir une meilleure protection des sources et captages en milieu karstique.

Dans ce but la démarche qui a été entreprise consistait à utiliser en premier les connaissances disponibles émanant des études antécédentes, ces connaissances qui nous ont servi de socle à notre travail, n'ont pas cependant levé toutes les indéterminations relatives aux différents aspects de cet aquifère. Pour ce qui est de la méthodologie suivie, nous avons opté pour les outils spécifiques à la démarche, mais également disponibles et accessibles et que nous avons puisé dans le socle bibliographique consulté dans le domaine des aquifères karstiques. Autrement dit, toutes les méthodes appropriées à l'étude de cette problématique n'ont pu être mises à contribution pour l'atteinte de l'objectif poursuivi. Cet inconvénient qui est hors de notre volonté laisse un goût d'incomplet au résultat de notre travail. Dans les différentes littératures que nous avons consultées, notre travail était globalement inspiré des différents exemples traités par différents auteurs, dans le domaine.

Selon l'aperçu de la littérature, la méthode EPIK peut être un outil important pour la vulnérabilité l'évaluation, Dans l'ensemble, l'application de la méthode EPIK peut fournir une caractérisation générale de la vulnérabilité de l'aquifère karstique même en sites avec un manque de données. Cependant, la comparaison des résultats à l'aide de méthodes différentes ou la validation des paramètres uniques utilisant des analyses de sensibilité sont des outils

précieux pour augmenter la fiabilité des cartographies de la vulnérabilité et parvenir à une gestion durable de l'aquifère karstique.

L'étude géologique démontre que le plateau de chéria 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 de recouvrement moi-plio-quaternaire, sont séparés par une couche des marnes d'âge daniennes.

Le climat de la région est semi aride, avec un hiver froid et été chaud et sec la moyenne des précipitations est de l'ordre moyenne 383.67 mm/an, les calculs de bilan hydrique de la région d'étude des années allant de 1990-2019 démontrent que la région de chéria Est déficitaire, et l'évapotranspiration est 328.2 mm avec un déficit qui atteint une valeur 581.21mm.

Les études géophysiques et hydrogéologiques ont permis de définir trois aquifères : un premier caractérisé par les calcaires de maestrichtien, perméable au bordure et stérile au centre. Un second qui est le plus important pour la région et ces alentours avec une épaisseur qui peut atteindre des centaines de mètres. La dernière c'est celle de moi-plio-quaternaire qui se considère comme une aquifère sans intérêt hydraulique. L'écoulement souterrain se fait dans sa généralité vers le sud.

Les zones très vulnérables sont liées à un degré élevé de karstification et absence de couverture du sol. L'aquifère karstique de Cheria est caractérisé par une grande vulnérabilité et sa protection est évidemment de la plus haute importance. Ainsi, un ensemble de mesures de protection est proposé, visant à maintenir le système. Ces mesures devraient inclure un programme de surveillance de la quantité d'eau souterraine et la qualité, ainsi que la délimitation des zones de protection des forages et des sources qui sont exploités pour couvrir les demandes d'usage domestique. De plus, tout changement d'affectation des terres, ainsi que l'installation d'élevages avicoles et d'élevage, doit être accompagnée des éléments hydrogéologiques nécessaires et études environnementales.

Les données lithologiques des forages confirment que les calcaires éocènes sont affectés par la fracturation et la karstification. L'étude de la fissuration et la karstification a permis de localiser la fissuration dans les cent premiers mètres et en allant jusqu'à l'exutoire, tandis que la karstification dans les cinquante premiers mètres et en allant jusqu'à l'exutoire.

Les zones se trouvent au centre du plateau courent un risque d'effondrement, plus que les zones à l'entour du centre, ce risque aille vers la partie sud.

Par mesure de prévention et de protection et sauvegarde, certaine mesure facile peut être mis en œuvre dans les zones soumise a des instabilités ou effondrements, telle l'interdiction de nouveau battisse qui peut aggraver ou en créent de nouveaux ou ils conduisent à une augmentation de la population exposée.

- Achour, Y., Boumezbeur, A., Hadji, R. et al.** (2017) Landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and information value methods along a highway road section in Constantine, Algeria. *Arab J Geosci* 10: 194.
- Anis, Z., Wissem, G., Riheb, H., Biswajeet, P., & Essghaier, G. M.** (2019). Effects of clay properties in the landslides genesis in flysch massif: Case study of Aïn Draham, North Western Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, 151, 146-152.
- Aquilina, L., Ladouche, B., & Dörfliger, N.** (2006). Water storage and transfer in the epikarst of karstic systems during high flow periods. *Journal of Hydrology*, 327(3-4), 472-485.
- Azizi Yacine** collapses in the karstic terrains of the plateau de chéria (North-East of Algeria): genesis, geotechnical and environmental impacts and mapping of the vulnerable zones to the phenomenon 2017.
- Baali F.** (2007). Contribution à l'étude hydrogéologique, hydrochimique et Vulnérabilité d'un système aquifère karstique en zone semi aride. Cas du plateau de Chéria NE Algérien (Doctoral dissertation, Université de Annaba-Badji Mokhtar).
- Baali, F., Fehdi, C., Rouabhia, A., Mouici, R., & Carlier, E.** (2015). Hydrochemistry and isotopic exploration for a karstic aquifer in a semi-arid region: case of Cheria Plain, Eastern Algeria. *Carbonates and evaporites*, 30(1), 99-107.
- Baali, F., Rouabhia, A., Kherici, N., Djabri, L., Bouchaou, L., & Hani, A.** (2007). Qualité des eaux souterraines et risque de pollution en milieu semi-aride. Cas de la cuvette de Chéria (NE Algérien). *Estudios Geológicos*, 63(2), 127-133.
- Belfar, D., Fehdi, C., Baali, F., & Salameh, E.** (2017). Results of a hydrogeological and hydrogeochemical study of a semi-arid karst aquifer in Tezbent plateau, Tebessa region, northeast of Algeria. *Applied Water Science*, 7(3), 1099-1105.
- BELKEBIR Hania, DEBBOU Fahima,** Evaluation de la vulnérabilité à la pollution de la commune d'Aokas par la méthode EPIK, 2015 .
- BENAZZOUC Ibrahim & KHATIR Othman.**(2016) Périmètre de protection des eaux souterraines en milieu karstique. Cas du système karstique de GharBoumaza.
- BENHAMADI Hocine,**(2016). Effets de la variabilité climatique sur les ressources en eau d'un aquifère karstique-cas du plateau de cheria.
- BENYETTOU Mohamed Abdelkader, BOUKLIKHA Abdellah .**(2017) Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie.
- Besser, H., Mokadem, N., Redhaounia, B., Hadji, R., Hamad, A., Hamed, Y.,** (2018) Groundwater mixing and geochemical assessment of low-enthalpy resources in the geothermal field of southwestern Tunisia. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* 3:16.
- Besser, H., Mokadem, N., Redhouania, B., Rhimi, N., Khelifi, F., Ayadi, Y., ... & Hamed, Y.** (2017). GIS-based evaluation of groundwater quality and estimation of soil salinization and land

- degradation risks in an arid Mediterranean site (SW Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 10(16), 350.
- BRGM** Méthodologie de l'évaluation départemental du risque lié aux effondrement de cavités souterraines abondonnées (Rapport final BRGM /RP-56275-FR 2008).
- CGG , (compagne generale de géophysique 1970):** Prospection géophysique sur le plateau de Chéria. Rapport interne R.A.D.P. Paris VII 26p.
- Chaffai H, (1986) :** Evaluation des ressources en eaux de la plaine de Chéria (NE Algérie).
- Chaffai H., Laouar R., Hani A., Baali F. (2006)** Les formations Karstique du plateau de chéria (Algérie). Identification et évaluation des ressources en eau (*Larhyss Journal* ISSN 1112-3680)
- Chamekh, K., Baali, F., Yahiaoui, A. E. W., & Kerboub, D. (2018).** Hydrogeological setting of a karstic aquifer in a semi-arid region: a case from Cheria plain, Eastern Algeria. *Carbonates and Evaporites*, 33(4), 697-704.
- Chamekh, K.,**Influence de la fracturation sur l'évolution du réservoir karstique.Exemple des calcaires fissurés de la région de Chéria. (Nord-est Algérien) ;2016
- Civita, M., & De Maio, M. (2004).** Assessing and mapping groundwater vulnerability to contamination: The Italian combined approach. *Geofísicainternacional*, 43(4), 513-532.
- Coulibaly Lacina,1996,** Interprétation structurale des linéaments par traitement d'image satellitaire : cas des sous provinces d'abitibi et d'opatica (québec).
- Dahoua L., Savenko VY., Hadji R. (2017)** GIS-based technic for roadside-slope stability assessment: an bivariate approach for A1 East-west highway, North Algeria. *Mining Science*, 24, 81-91.
- Dahoua L., Yakovitch S.V., Hadji R., Farid Z. (2018)** Landslide Susceptibility Mapping Using Analytic Hierarchy Process Method in BBA-Bouira Region, Case Study of East-West Highway, NE Algeria. In: Kallel A., Ksibi M., Ben Dhia H., Khélifi N. (eds) *Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions. EMCEI 2017. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development)*. Springer, Cham
- Demdoum, A., Hamed, Y., Feki, M., Hadji, R., Djebbar, M. (2015).** Multi-tracer investigation of groundwater in El Eulma Basin (Northwestern Algeria), North Africa. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(5):3321-3333.
- Doerfliger, N., Jeannin, P. Y., & Zwahlen, F. (1999).** Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology*, 39(2), 165-176.
- El Mekki, A., Hadji, R., & Chemseddine, F. (2017).** Use of slope failures inventory and climatic data for landslide susceptibility, vulnerability, and risk mapping in souk Ahras region. *Mining Science*, 24.

- Fehdi, C., Baali, F., Boubaya, D., & Rouabhia, A. (2011).** Detection of sinkholes using 2D electrical resistivity imaging in the Cheria Basin (north–east of Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*, 4(1-2), 181-187.
- Gadri L, Hadji R, Zahri F, Raïs K (2015)** The quarries edges stability in opencast mines: A case study of the Jebel Onk phosphate mine, NE Algeria. *Arabian Journal of Geosciences Arab J Geosci* 8:8987–8997.
- GUERAIDIA Nour el Houda, (2018)** Caractérisation géomorphologique et structurale de quelques glissements de terrain dans la région de Souk Ahras : Apport des outils d'imagerie et de la télédétection ,
- Gogu R., Dassargues A., (2000),** Current and future trends in groundwater vulnerability assessment, *Environmental Geology*, 39, 6, p. 549-559.
- Hadji R, Boumazbeur A, Limani Y, Baghem M, Chouabi A, (2013)** Geologic, topographic and climatic controls in landslide hazard assessment using GIS modeling: A case study of Souk Ahras region, NE Algeria. *Quaternary International*. 302: 224-237.
- Hadji R, Chouabi A, Gadri L, Raïs K, Hamed Y, Boumazbeur A (2016)** Application of linear indexing model and GIS techniques for the slope movement susceptibility modeling in Bousselam upstream basin, Northeast Algeria, *Arabian Journal of Geosciences* 9:192.
- Hadji R, Limani Y, Boumazbeur A, Demdoum A, Zighmi K, Zahri F, Chouabi A (2014a).** Climate change and their influence on shrinkage - swelling clays susceptibility in a semi - arid zone: a case study of Souk Ahras municipality, NE-Algeria. *Desalination and Water Treatment* 52 (10-12): 2057-2072.
- Hadji R, Raïs K, Gadri L, Chouabi A, Hamed Y (2017a)** Slope failures characteristics and slope movement susceptibility assessment using GIS in a medium scale: a case study from Ouled Driss and Machrouha municipalities, Northeastern of Algeria, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42:281–300.
- Hadji, R., Achour, Y., & Hamed, Y. (2017b).** Using GIS and RS for slope movement susceptibility mapping: comparing AHP, LI and LR methods for the Oued Mellah Basin, NE Algeria. In *Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration*(pp. 1853-1856). Springer, Cham.
- Hadji, R., Limani, Y., & Demdoum, A. (2014b).** Using multivariate approach and GIS applications to predict slope instability hazard case study of Machrouha municipality, NE Algeria. In *Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM), 2014 1st International Conference on* (pp. 1-10). IEEE.
- Hamad, A., Baali, F., Hadji, R., Zerrouki, H., Besser, H., Mokadem, N., ... & Hamed, Y. (2018a).** Hydrogeochemical characterization of water mineralization in Tebessa-Kasserine karst system (Tuniso-Algerian Transboundry basin). *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 3(1), 7.

- Hamad, A., Hadji, R., Bâali, F., Houada, B., Redhaounia, B., Zighmi, K., ... & Hamed, Y. (2018b).** Conceptual model for karstic aquifers by combined analysis of GIS, chemical, thermal, and isotopic tools in Tuniso-Algerian transboundary basin. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(15), 409.
- Hammad, Nabila .(2016)** Cartographie géologique et analyse linéamentaire de la région d'El Kseïbat (Sahara du sud-ouest) à partir des images spatiales. Incidence sur l'exploration minière.
- Hamed Y, Redhaounia B, Ben Sâad A, Hadji R, Zahri F, Zighmi K. (2017a)** Hydrothermal waters from karst aquifer: Case study of the Trozza basin (Central Tunisia). *Journal of Tethys*: 5:1, 33–44.
- Hamed Y., Ahmadi R., Hadji R., Mokadem N., Ben Dhia H., Ali W. (2014)** “Groundwater evolution of the Continental Intercalaire aquifer of Southern Tunisia and a part of Southern Algeria: use of geochemical and isotopic indicators” *Desalination and Water Treatment* 52(10-12): 1990-1996.
- Hamed, Y., Dassi, L., Ahmadi, R., & Dhia, H. B. (2008).** Geochemical and isotopic study of the multilayer aquifer system in the Moulares-Redayef basin, southern Tunisia/etude géochimique et isotopique du système aquifère multicouche du bassin de Moulares-Redayef, Sud tunisien. *Hydrological sciences journal*, 53(6), 1241-1252.
- Hamed, Y., Hadji, R., Redhaounia, B., Zighmi, K., Bâali, F., & El Gayar, A. (2018).** Climate impact on surface and groundwater in North Africa: a global synthesis of findings and recommendations. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 3(1), 25.
- Hamed, Y., Redhaounia, B., Ben Sâad, A., Hadji, R., & Zahri, F. (2017c).** Groundwater inrush caused by the fault reactivation and the climate impact in the mining Gafsa basin (southwestern Tunisia). *J Tethys*, 5(2), 154-164.
- Hamed, Y., Redhaounia, B., Sâad, A. B., Hadji, R., Zahri, F., & El Hidouri, B. (2017b)** Groundwater Inrush Caused by the Fault Reactivation and the Climate Impact in the Mining Gafsa Basin (Southwestern Tunisia). *Journal of Tethys: Vol, 5(2)*, 154-164.
- Hani, A., Bouchaou, L., Djabri, L., Kherici, N., Rouabhia, A., & Baali, F. (2007).** Underground water quality and contamination risk. The case of the basin of Chérea (NE Algeria). *Estudios Geologicos*, 63(2), 127-133.
- IMS (Ingénierie des Mouvements de Sol et des Risques Naturels),** Etude de caractérisation de l'aléa effondrements karstiques commune de roquefor (France),Rapport final [Dossier 2014/M2/40/1204]
- Karim, Z., Hadji, R., & Hamed, Y. (2019)** GIS-Based Approaches for the Landslide Susceptibility Prediction in Setif Region (NE Algeria). *Geotechnical and Geological Engineering*, 37: 359. <https://doi.org/10.1007/s10706-018-0615-7>.

- Khemissi, C., Djawhar, K., & Fathi, B. (2015).** Relation entre fracturation et morphologie et leurs implications hydrogéologiques: Exemple des calcaires fissurés de la région de Chéria,(NE Algérien). *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 11(1), 252-259.
- Knouz, N., Boudhar, A., Bachaoui, E. M., & Aghzaf, B. (2016).** Étude de la vulnérabilité des nappes à la pollution en zones semi-arides: cas de la nappe phréatique des Béni Amir au Maroc. Méditerranée. *Revue géographique des pays méditerranéens/Journal of Mediterranean geography*.
- LEKRINE Yacine.(2015)** Hydrodynamisme et minéralisation du complexe aquifère du bassin frontalier D'EL MA EL ABIODH wilaya de TEBESSA,(S-E Algerien)
- Matthieu Fournier. (2013)** Identification des modalités de transport et de la vulnérabilité du karst de la craie. Application de nouveaux outils statistiques d'analyse des données au système du Hannetot (Seine-Maritime, France)
- Mahdadi, F., Boumezbeur, A., Hadji, R., Kanungo, D. P., & Zahri, F. (2018).** GIS-based landslide susceptibility assessment using statistical models: a case study from Souk Ahras province, NE Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(17), 476.
- Manchar, N., Benabbas, C., Hadji, R., Bouaicha, F., & Grecu, F. (2018).** Landslide Susceptibility Assessment in Constantine Region (NE Algeria) By Means of Statistical Models. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 40(3), 208-219.
- Martonne, E. D. (1925).** *Traité de géographie physique. I. Notions générales. Climat. Hydrographie.*
- Mokadem N, Demdoum A, Hamed Y, Bouri S, Hadji R, Boyce A, Laouar R, Saad A. (2016)** Hydrogeochemical and stable isotope data of groundwater of a multi-aquifer system: Northern Gafsa basin e Central Tunisia, *Journal of African Earth Sciences* 114, 174-191
- Mouici R, Baali F, Hadji R, Boubaya D, Audra, P., Fehdi, C. É., ... & Arfib, B. (2017)** Geophysical, Geotechnical, and Speleologic assessment for karst-sinkhole collapse genesis in Cheria plateau (NE Algeria). *Mining Science*, 24, 59-71.
- N. Hammad, M. Djidel, N. Maabedi,** Cartographie des linéaments géologiques en domaine aride par extraction semi-automatique à partir d'images satellitaires: Exemple à la région d'El Kseïbat (Sahara algérien), *Estudios Geológicos*, Vol 72, No 1 (2016).
- Nejema Zergaoui et Sylvain Haussard** Cartographie de l'aléa karstique Commune de Saint Vit (mars 2016)
- NEKKOUB Abdelaziz,** Synthèse statistique appliquée à la caractérisation du milieu karstique de Dyr-Gastel à travers le traitement des données physico-chimique des sources (Ain zerga-Ain Erkel),1999.
- Nouioua, I., Boukelloul, M. L., Fehdi, C., & Baali, F. (2013).** Detecting sinkholes using ground penetrating radar in Drâa Douamis, Cherea Algeria: A case study. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18, 1337-1349.

OMM (Organisation Météorologique Mondiale) Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé OMM -N°1090.

Pierre Guérémy, Alain Marre, Une nouvelle méthode de cartographie géomorphologique applicable aux aléas naturels ,Travaux de l'Institut Géographique de Reims

Rouabhia A., Djabri L., Hadji R., Baali F., Fahdi Ch., Hanni A. (2012) Geochemical characterization of groundwater from shallow aquifer surrounding Fetzara Lake NE Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 5(1), 1-13.

Sarra Ouerghi Hermi, Ranya Fadlalla Abdalla Elsheikh, Maher Aziz, Samir Bouaziz,

Structural

Interpretation of Lineaments Uses Satellite Images Processing: A Case Study in North-Eastern Tunisia, (*Journal of Geographic Information System*, 2017, 9, 440-455)

Savenko, V.Y., Dahoua, L., Hadji, R., Zahri, F., Ossitchenko, O. (2018). Application of geochemical, mineralogical and geotechnical methods to site characterization for road construction purposes at A1 highway Northeastern Algeria. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4) (2018) 2940-2944.

Schnebelen, N., Platel, J. P., Le Nindre, Y., & Baudry, D. (2002). Gestion des eaux souterraines en Aquitaine Année 5. Opération sectorielle. Protection de nappe de l'Oligocène en région bordelaise.(ERIC Document Reproduction Service No ED 98-01) 51178.

Tamani, F., Hadji, R., Hamad, A., & Hamed, Y. (2019) Integrating Remotely Sensed and GIS Data for the Detailed Geological Mapping in Semi-Arid Regions: Case of Youks les Bains Area, Tebessa Province, NE Algeria. *Geotechnical and Geological Engineering*, 1-11.

Vrba, J., & Zaporozec, A. (1994). Guidebook on mapping groundwater vulnerability. Heise.

Yacine, A., Ridha, M. M., Laid, H. M., & Abderahmane, B. (2014). Karst sinkholes stability assessment in Cheria Area, NE Algeria. *Geotechnical and Geological Engineering*, 32(2), 363-374.

Zahri F. Boukelloul M, Hadji R, Talhi K (2016) Slope Stability Analysis In Open Pit Mines Of Jebel Gustar Career, Ne Algeria – A Multi-Steps Approach. *Mining Science*, 23 : 137–146.

ANNEXES

*[Etude de la vulnérabilité à la pollution et aux effondrements d'un milieu karstique fissuré (aquifère carbonaté de l'éocène),
par l'utilisation d'un SIG d'une région semi-aride. Cas de la région de Chéria Tébessa]*

Annexe 01

N°	Sondage	Coordonnées			Critères				F
		X	y	Z	E	P	I	K	
1	H1	952720	242042	1128	4	2	1	1	19
2	H2	953943	241054	1114	3	3	2	1	20
3	H3	954869	240013	1106	3	3	2	1	20
4	H4	955958	239012	1103	3	3	2	1	20
5	H5	956940	237942	1098	1	3	3	3	21
6	H6	957943	236971	1096	1	4	3	3	22
7	H7	958871	236078	1101	3	2	2	2	21
8	H8	959842	235065	1100	3	3	3	3	27
9	H9	960840	233962	1105	3	2	3	3	26
10	H10	961944	232962	1125	1	3	2	3	18
11	J1	952778	240037	1130	4	2	4	1	28
12	J2	953882	239021	1128	4	2	2	1	22
13	J3	954897	238023	1112	4	2	4	1	28
14	J4	955971	237008	1103	3	3	2	3	24
15	J5	956896	235966	1094	1	3	3	3	21
16	J6	957941	234937	1102	3	3	3	2	25
17	J7	958915	234087	1094	1	1	2	3	16
18	J8	959785	232961	1094	1	2	2	3	17
19	J9	960853	231928	1105	1	2	2	3	17
20	J10	962987	230656	1188	1	1	2	2	14
21	K1	951698	239003	1150	4	1	4	1	28
22	K2	952832	238046	1126	4	1	3	3	28
23	K3	953921	237046	1122	3	2	3	3	26
24	K4	954886	235985	1114	4	1	2	1	21
25	K5	955891	234990	1098	3	2	3	3	26
26	K6	957068	233929	1091	3	4	3	3	28
27	K7	957919	232874	1090	3	4	3	3	28
28	K7-8	958725	232302	1090	1	2	3	2	18
29	K8	960775	229925	1126	1	2	2	3	17
30	L1	952524	236070	1129	4	2	3	1	25
31	L2	953928	234930	1116	4	1	2	1	21
32	L3	955176	234091	1102	4	2	3	3	29
33	L4	956019	232954	1096	1	2	2	3	17
34	L5	958149	231147	1084	1	2	2	3	17
35	L7	959671	228922	1099	1	2	2	3	17
36	L8	960734	228041	1115	1	3	3	3	21
37	L9	961731	226923	1133	1	2	2	3	17
38	L10	962821	225923	1146	3	2	2	3	23
39	L11	963596	224780	1150	3	2	2	3	23

N°	Sondage	Coordonnées			Critères				F
		X	y	Z	E	P	I	K	
40	P1	953865	228875	1108	3	2	1	3	20
41	P2	954833	228038	1102	3	2	1	3	20
42	P3	955653	227088	1091	3	2	1	3	20
43	P4	956870	226031	1077	1	3	1	3	15
44	P5	957820	225071	1082	1	3	1	3	15
45	P6	958754	224080	1095	1	3	1	3	15
46	P7	959532	223023	1100	1	3	1	3	15
47	Q1	952811	228161	1124	1	3	1	3	15
48	Q2	953885	226897	1112	3	2	1	3	20
49	Q3	954768	226024	1097	1	4	1	3	16
50	Q4	955794	225054	1086	1	4	1	3	16
51	Q5	956666	224027	1084	1	4	1	3	16
52	Q6	957748	223103	1082	1	4	1	3	16
53	Q7	958720	222104	1106	1	4	1	3	16
54	R1	951802	227067	1114	3	3	1	3	21
55	R2	952974	226057	1118	3	2	1	3	20
56	R3	953670	225110	1117	1	4	1	3	16
57	R4	954957	224035	1094	1	2	1	3	14
58	R5	955784	223086	1088	1	2	1	3	14
59	R6	956655	222073	1070	1	2	1	3	14
60	R7	957495	221015	1094	1	4	1	3	16
61	S1	950742	226122	1118	1	2	1	3	14
62	S2	951692	225147	1105	1	2	1	3	14
63	S3	952695	224147	1092	3	1	1	3	19
64	S4	953829	223083	1112	3	4	1	3	22
65	S5	954807	222061	1092	1	3	1	3	15
66	S6	955726	221094	1080	1	3	1	3	15
67	T1	949943	225102	1126	3	2	3	3	26
68	T2	950755	224160	1128	3	2	3	3	26
69	T3	951581	223180	1117	3	2	3	3	26
70	G1	954798	242031	1115	3	2	3	3	26
71	G2	955952	240882	1107	3	2	2	3	23
72	G3	956958	240029	1104	3	3	2	3	24
73	G4	958006	238991	1101	3	3	2	3	24
74	G5	958924	237977	1107	3	3	2	3	24
75	G6	959859	237010	1103	3	4	2	2	23
76	G7	960746	236020	1105	3	4	3	2	26
77	G8	961863	234926	1111	3	4	2	3	25
78	G9	962988	233886	1135	3	3	2	3	24

N°	Sondage	Coordonnées			Critères				F
		X	y	Z	E	P	I	K	
79	G10	963813	232820	1166	3	3	2	3	24
80	E1	956972	243998	1124	3	1	4	1	24
81	E2	958005	242929	1121	1	2	2	3	17
82	E3	958964	242023	1117	3	2	2	3	23
83	E4	960059	241022	1121	1	1	2	2	14
84	E5	960862	240018	1114	1	2	2	2	15
85	E6	962357	238971	1120	1	2	2	3	17
86	E7	963051	237962	1121	1	2	3	3	20
87	E8	963945	236895	1126	4	2	3	3	29
88	E9	964902	235881	1143	4	3	3	3	30
89	E10	965974	234895	1171	4	3	3	3	30
90	A1	969871	238938	1186	3	1	2	2	20
91	A2	970920	237809	1218	3	1	2	2	20
92	B1	966994	239780	1149	3	1	2	2	20
93	B2	968000	238927	1160	1	3	3	3	21
94	B3	969009	237843	1180	1	1	3	3	19
95	B4	969913	236914	1203	1	3	3	3	21
96	C1	964956	239911	1137	1	3	2	2	16
97	C2	966022	238972	1140	1	3	3	3	21
98	C3	967015	237872	1158	1	3	3	3	21
99	C4	968352	236249	1190	1	3	3	3	21
100	D1	957979	244968	1131	3	1	2	1	18
101	D2	958951	244000	1131	1	3	2	3	18
102	D3	959862	242987	1126	1	3	2	3	18
103	D4	961976	240986	1124.5	3	4	2	2	23
104	D5	962928	239794	1126	1	3	2	2	16
105	D6	964136	238984	1129	1	1	2	3	16
106	D7	964985	238010	1134	1	1	2	3	16
107	D8	965990	236717	1155	1	1	2	3	16
108	D9	966991	235625	1180	1	3	2	3	18
109	VIIIa	980500	254200	791	3	1	2	1	18
110	VIIIb	980700	254000	790	3	4	1	1	18
111	VIIIc	980900	253800	788	3	4	1	1	18
112	VIII d	981000	253600	786	3	4	1	1	18
113	VIII e	981100	253400	784	3	4	1	1	18
114	VIII f	981400	253000	780	3	4	1	1	18
115	VIII g	981600	252800	780	3	4	1	1	18
116	VIII h	981700	252600	779	3	4	1	1	18

N°	Sondage	Coordonnées			Critères				F
		X	y	Z	E	P	I	K	
117	VIIIi	981800	252400	778	3	4	1	1	18
118	VIIIj	982000	252200	777	3	4	4	1	27
119	VIIIk	982100	252000	775	3	4	4	1	27
120	VIIIl	982200	251800	779	3	4	4	1	27
121	VIIIm	982400	251600	784	3	4	4	1	27
122	VIII n	982600	252400	790	3	4	4	1	27
123	Vo	980000	253500	794	3	4	3	3	28
124	Vp	980100	253300	792	3	4	3	3	28
125	Vq	980300	253100	788	3	4	3	3	28
126	Vr	980400	252900	786	3	4	3	3	28
127	Vs	980500	252700	782	3	4	3	3	28
128	Vt	980700	252700	781	3	4	3	3	28
129	Vu	980900	252300	780	3	4	3	3	28
130	Vw	981000	252100	780	3	4	3	3	28
131	IIIa	979800	252700	810	1	4	3	2	20
132	IIIb	980000	252600	808	1	4	3	2	20
133	IIIc	980200	252300	806	1	4	3	2	20
134	III d	980500	252000	806	1	4	3	2	20
135	IIIe	980700	251800	804	1	4	3	2	20
136	III f	980800	251600	804	1	4	3	2	20
137	IIIg	980900	251500	797	1	4	3	2	20
138	IIIh	981200	251000	802	1	4	3	2	20
139	a1	957380	248100	1174	4	1	3	3	28
140	a2	958200	247300	1153	4	1	3	3	28
141	a3	959000	246700	1151	4	1	3	3	28
142	a4	959700	246000	1150	4	1	3	2	26
143	a5	960400	245400	1149	4	1	3	2	26
145	a6	961100	244800	1154	4	1	3	2	26
146	a7	961800	244100	1166	4	1	3	2	26
147	a8	962500	243400	1152	4	1	3	2	26
148	a9	963300	242800	1174	4	1	3	2	26
149	b1	958300	248700	1180	4	1	3	3	28
150	b2	959100	247900	1164	4	1	3	3	28
151	b3	959800	247300	1160	4	1	3	3	28
152	b4	960500	246600	1163	4	1	3	2	26
153	b5	961300	245900	1172	4	1	3	2	26
154	b6	961900	245300	1169	4	1	3	2	26
155	b7	962600	244700	1180	4	1	3	3	28

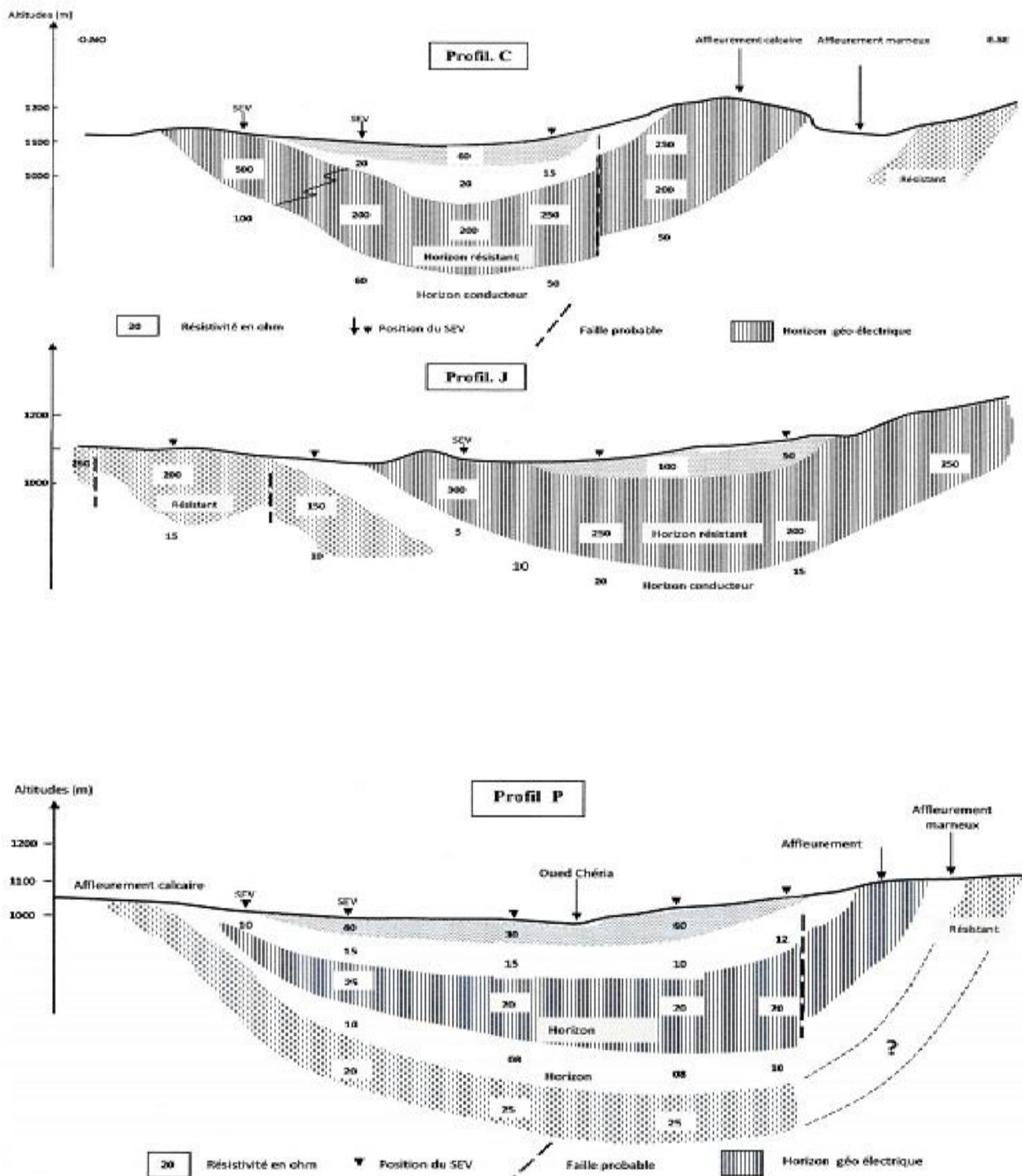
N°	Sondage	Coordonnées			Critères				F
		X	y	Z	E	P	I	K	
156	b8	963400	244000	1170	4	1	3	3	28
157	b9	964000	243400	1164	4	1	3	3	28
158	C1	959100	249100	1178	4	1	3	3	28
159	C2	959900	248500	1176	4	1	3	3	28
160	C3	960600	247800	1172	4	1	3	3	28
161	C4	961300	247200	1179	4	1	3	2	26
162	C5	962100	246500	1200	4	1	3	2	26
163	C6	962740	245900	1192	4	1	3	2	26
164	C7	963430	245250	1192	4	1	3	2	26
165	C8	964150	244600	1192	4	1	3	2	26
166	C9	964820	243990	1182	4	1	3	2	26
167	D1	960100	249700	1190	4	4	3	3	31
168	D2	960740	249040	1188	4	4	3	3	31
169	D3	961440	248410	1205	4	1	3	2	26
170	D4	962150	247780	1198	4	1	3	2	26
171	D5	962880	247090	1216	4	1	3	2	26
172	D6	963540	246470	1220	4	4	3	3	31
173	D7	964240	245820	1222	4	4	3	3	31
174	D8	964800	245200	1222	4	1	3	3	28
175	D9	965570	244560	1213	4	1	3	3	28
176	E1	961480	249570	1201	4	1	3	3	28
177	E2	964940	245150	1207	4	1	3	2	26
178	E3	962900	248300	1224	4	1	3	2	26
179	E4	963620	247630	1234	4	1	3	2	26
180	F1	967110	242570	1170	4	1	3	3	28
181	F2	967930	241830	1180	4	1	3	3	28
182	F3	968620	241170	1162	4	1	3	2	26
183	F4	969330	240470	1180	4	3	2	1	23
184	F5	970060	239790	1186	4	3	2	1	23
185	G1	967910	243160	1192	4	1	3	3	28
186	G2	968670	242470	1178	4	1	3	3	28
187	G3	969370	241790	1185	4	1	3	2	26
188	G4	970110	241130	1174	4	1	3	2	26
189	G5	970820	240450	1200	4	1	3	2	26
190	G6	971540	239810	1204	4	1	3	2	26
191	H1	968670	243810	1202	4	2	4	3	32
192	H2	969400	243110	1185	4	2	4	3	32
193	H3	970150	242390	1182	4	2	4	3	32
194	H4	970850	241740	1177	4	1	3	2	26

N°	Sondage	Coordonnées			Critères				F
		X	y	Z	E	P	I	K	
195	H5	971550	241070	1203	4	1	3	3	28
196	H6	972200	240410	1228	4	1	3	2	26
197	H7	972970	239710	1230	4	4	4	2	32
198	I1	969520	244460	1214	4	1	3	3	28
199	I2	970190	243780	1198	4	1	3	3	28
200	I3	970940	243060	1196	4	1	3	3	28
201	I4	971620	242390	1188	4	1	3	3	28
202	I5	972280	241720	1206	4	1	3	3	28
203	I6	972940	241070	1248	3	1	3	2	23
204	I7	973670	240310	1253	4	1	3	3	28
205	J1	970420	245170	1241	4	1	3	3	28
206	J2	971100	244470	1212	4	1	3	3	28
207	J3	971800	243750	1195	4	1	3	3	28
208	J4	972450	243050	1198	4	1	3	3	28
209	J5	973090	242400	1212	4	1	2	3	25
210	J6	973740	241740	1225	4	1	3	3	28
211	J7	974480	240940	1260	4	1	3	3	28
212	K1	971790	245040	1245	4	1	3	3	28
213	K2	972540	244320	1206	4	3	3	3	30
214	K3	973240	243660	1202	4	3	3	3	30
215	K4	973860	243050	1220	4	1	3	3	28
216	K5	974560	242350	1232	4	1	3	3	28
217	K6	975270	241640	1258	4	1	3	3	28
218	L1	973290	244980	1217	4	1	3	3	28
219	L2	974010	244280	1220	4	3	2	3	27
220	L3	974660	243680	1268	4	3	2	3	27
221	/	956070	206720	958	4	3	4	3	33
222	/	955300	206000	972	4	3	4	3	33
223	/	954660	206780	926	4	3	4	3	33
224	/	953910	207490	939	4	3	4	3	33
225	/	953210	208210	950	4	3	4	3	33
226	/	954620	205560	920	4	3	4	3	33
227	/	953920	206060	933	4	3	4	3	33
228	/	953190	206780	946	4	3	4	3	33
229	/	952490	207580	966	4	3	4	3	33
230	/	952320	208690	960	4	3	4	3	33
231	/	968800	221100	1076	4	4	3	3	31
232	/	968000	221700	1061	4	2	3	3	29
233	/	969530	220400	1180	4	4	3	3	31

N°	Sondage	Coordonnées			Critères				F
		X	y	Z	E	P	I	K	
234	/	968800	219800	1126	4	4	3	3	31
235	/	968100	220400	1071	4	4	3	3	31
236	/	967100	221000	1052	4	4	3	3	31
237	/	966400	221800	1059	4	2	3	3	29
238	/	968000	219000	1110	4	4	3	3	31
239	/	967300	219700	1068	4	4	3	3	31
240	/	967100	221000	1047	4	4	3	3	31
241	/	966000	221200	1051	4	4	3	3	31
242	/	967900	217500	1152	4	4	3	2	29
243	/	967200	218400	1094	4	4	3	2	29
244	/	966200	218900	1055	4	4	3	2	29
245	/	965900	219800	1042	4	4	3	2	29
246	/	965200	220500	1044	4	4	3	3	31
247	/	967200	216800	1111	4	4	3	2	29
248	/	966500	217700	1074	4	4	3	2	29
249	/	965700	218500	1046	4	4	3	2	29
250	/	965100	219100	1034	4	4	3	2	29
251	/	964400	219900	1036	4	4	3	3	31
252	/	963900	220400	1048	4	4	3	3	31
253	/	966500	216200	1082	4	4	3	2	29
254	/	965800	217000	1058	4	4	3	2	29
255	/	965000	217800	1036	4	4	3	2	29
256	/	964400	218400	1024	4	4	3	2	29
257	/	963700	219200	1028	4	4	3	2	29
258	/	963100	219900	1042	4	4	3	3	31
259	/	965700	215480	1061	4	4	3	2	29
260	/	965020	216330	1040	4	4	3	2	29
261	/	964330	217080	1025	4	4	3	2	29
262	/	963650	217810	1020	4	4	3	2	29
263	/	962930	218520	1025	4	4	3	2	29
264	/	962210	219260	1042	4	4	3	2	29
265	/	965000	214830	1050	4	4	3	2	29
266	/	964310	215640	1027	4	4	3	2	29
267	/	963630	216370	1016	4	4	3	2	29
268	/	962880	217090	1012	4	4	3	2	29
269	/	962200	217850	1021	4	4	3	2	29
270	/	961470	218600	1038	4	4	3	2	29
271	/	964230	214130	1047	4	3	3	2	29
272	/	963500	214900	1021	4	3	3	2	29

N°	Sondage	Coordonnées			Critères				F
		X	Y	Z	E	P	I	K	
273	/	963000	215700	1008	4	3	3	2	29
274	/	962100	216400	1006	4	3	3	2	29
275	/	961500	217100	1013	4	3	3	2	29
276	/	960700	217900	1030	4	3	3	2	29
277	/	963490	213490	1044	4	3	3	2	28
278	/	962700	212800	1036	4	3	3	2	28
279	/	962080	213570	1008	4	3	3	2	28
280	/	961480	214490	993	4	3	2	2	25
281	/	960920	215150	996	4	3	2	2	25
282	/	959970	215770	1008	4	3	2	2	25
283	/	959300	216500	1030	4	3	2	2	25
284	/	962800	214300	1014	4	3	3	2	28
285	/	962100	215100	998	4	3	3	2	28
286	/	961400	215700	999	4	3	3	2	28
287	/	960800	216500	1009	4	3	3	2	28
288	/	960000	217200	1030	4	3	3	2	28
289	/	958300	208700	974	4	4	3	3	31
290	/	957500	209400	952	4	4	3	2	29
291	/	956900	210200	955	3	3	3	2	25
292	/	956200	211000	965	3	1	2	2	20
293	/	955600	211700	978	3	1	2	2	20
294	/	954890	212460	1000	3	2	3	2	24
295	/	963596	224780	1150	3	2	2	3	23
296	/	952768	234202	1123	4	3	4	3	33
297	/	954089	232968	1112	4	3	3	3	30
298	/	954852	231951	1102	4	3	2	3	27
299	/	955950	231040	1092	3	3	2	3	24
300	/	956899	230035	1084	3	3	2	3	24
301	/	957575	228775	1080	1	2	2	3	17
302	/	958817	227995	1095	1	2	2	3	17
303	/	959751	226983	1106	3	3	2	3	24
304	/	960751	225977	1120	3	3	2	3	24
305	/	961835	225103	1130	1	2	2	3	17
306	/	962781	223979	1157	1	1	2	3	16
307	/	953926	230863	1111	4	2	3	3	29
308	/	954885	230013	1100	4	1	4	3	31
309	/	955901	229074	1089	1	2	3	3	20
310	/	956873	228105	1079	3	3	2	3	24
311	/	958020	227045	1086	3	2	2	3	23
312	/	958768	226036	1094	3	2	2	3	23
313	/	959700	225032	1104	3	2	2	3	23
314	/	960710	224025	1113	3	3	2	3	24
315	/	961680	222997	1139	3	2	2	3	23

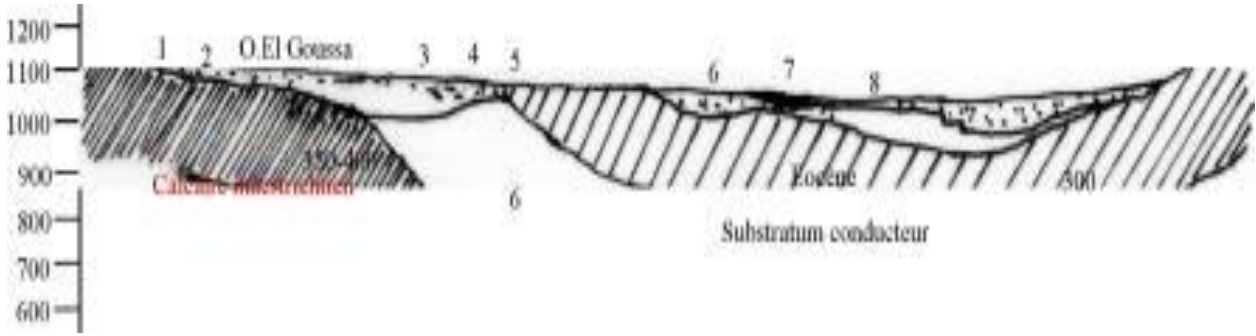
Annexes 02 Profils géo-électriques



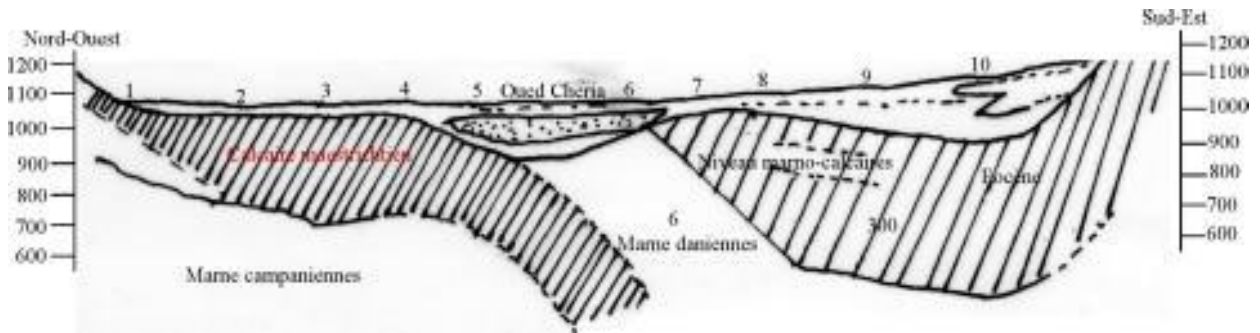
Nord-Ouest

Profil.F

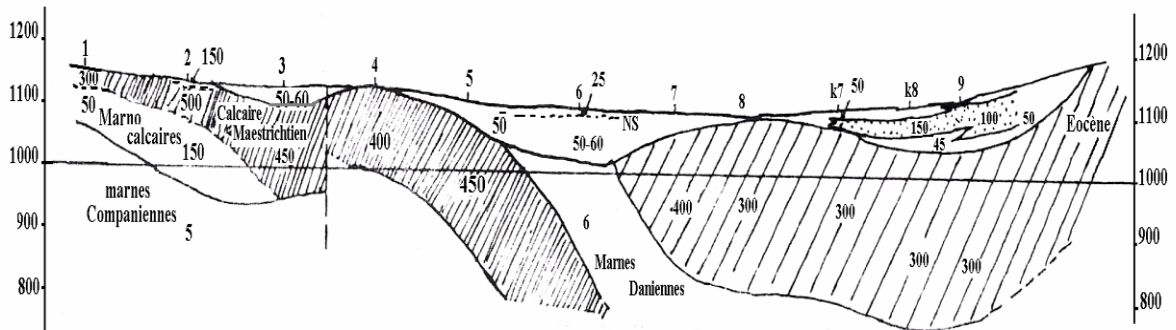
Sud-Est



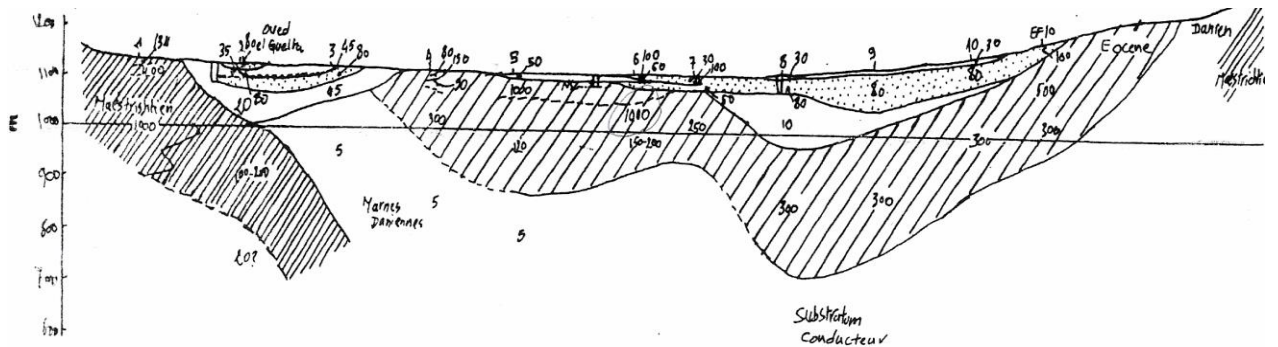
Profil.H



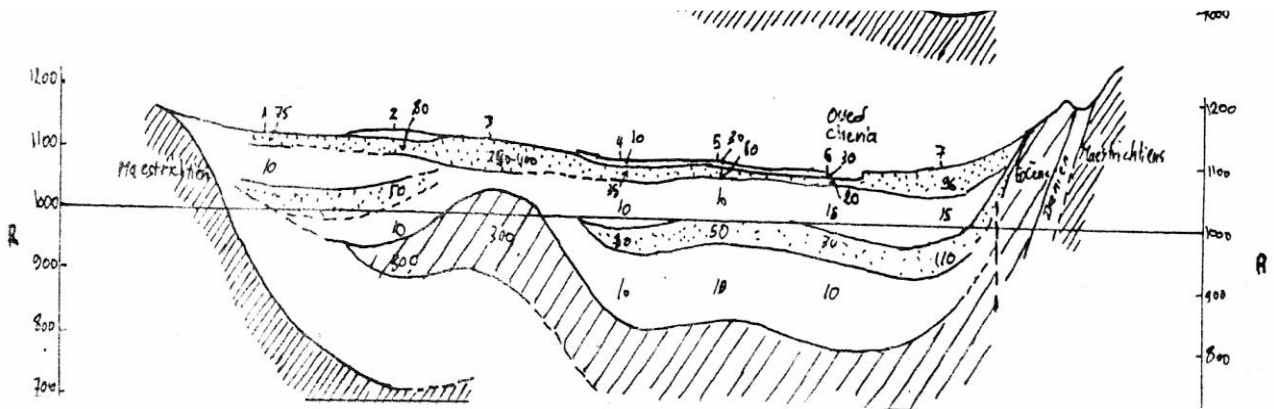
Profil K



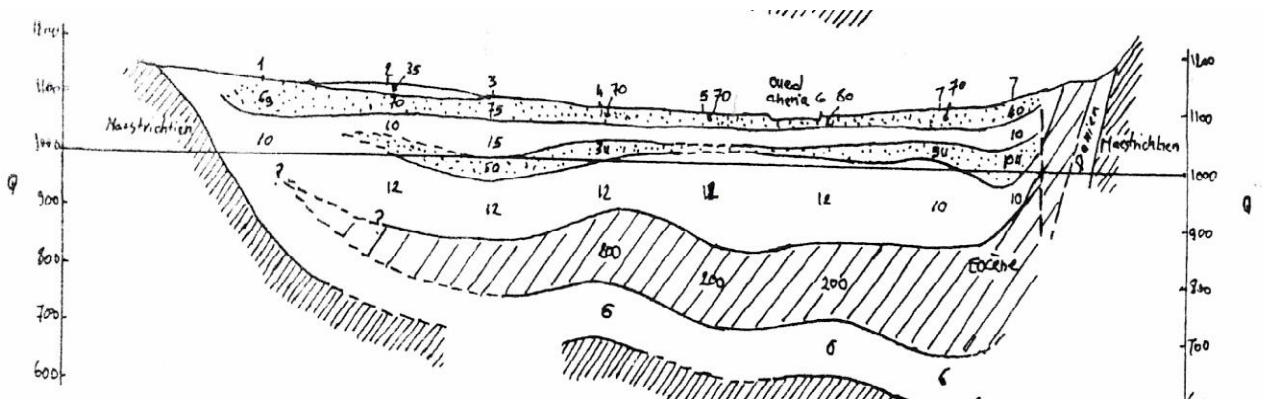
Profil E



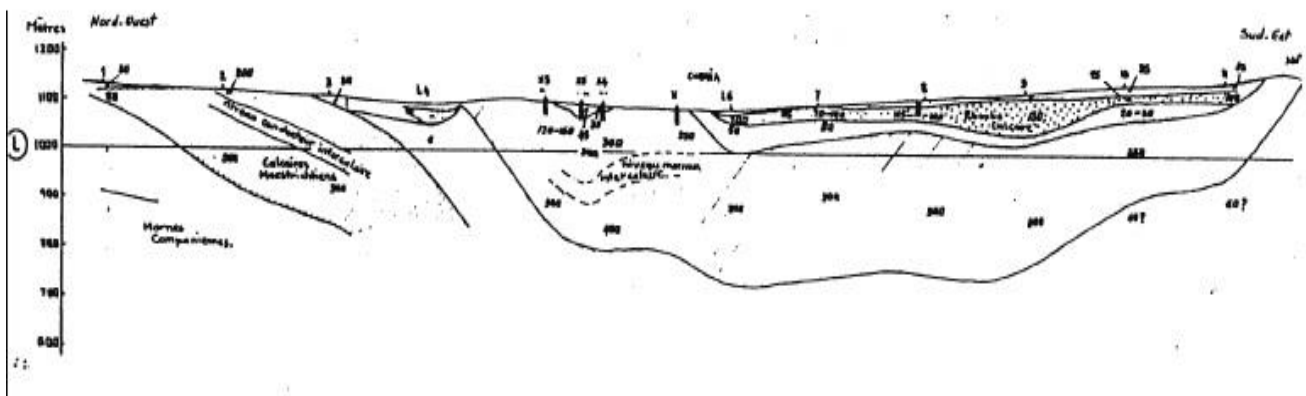
Profil R



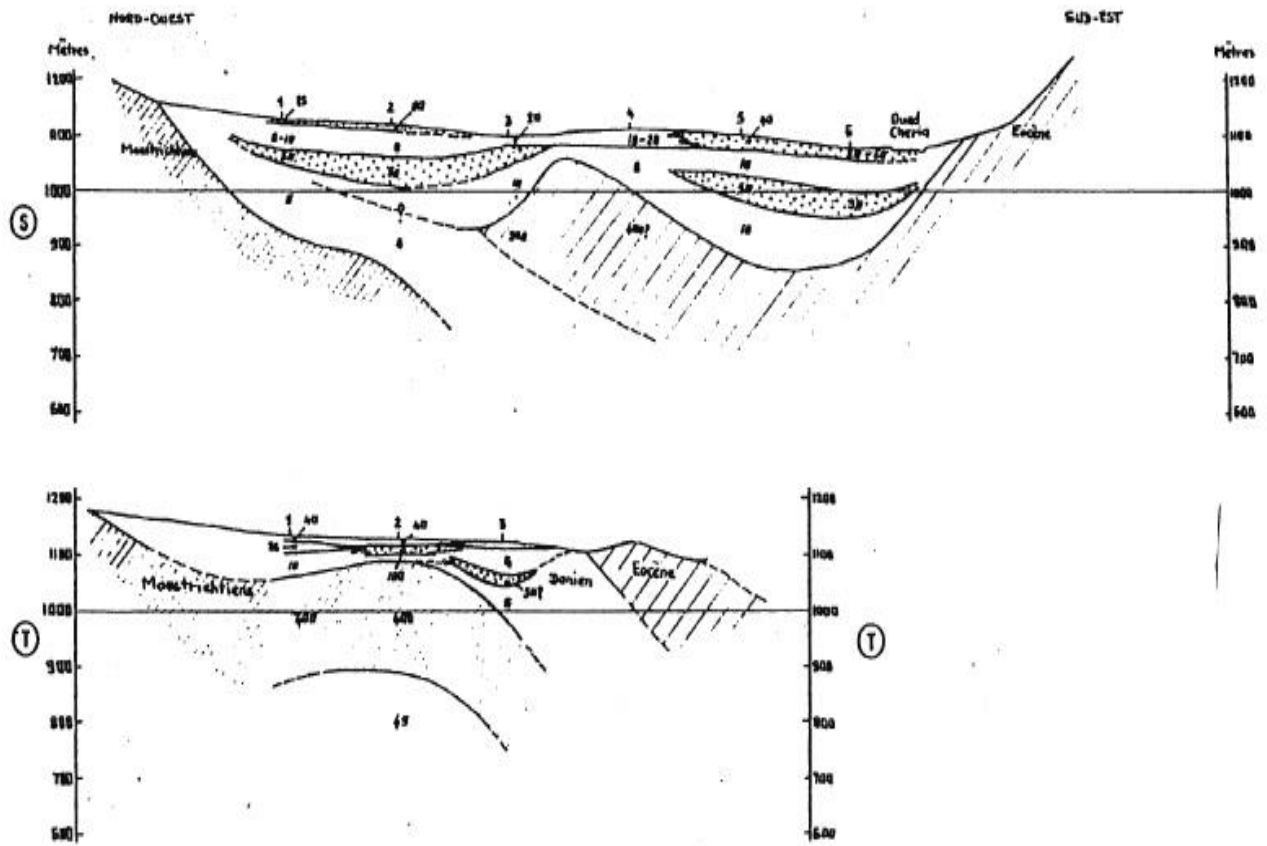
Profil Q



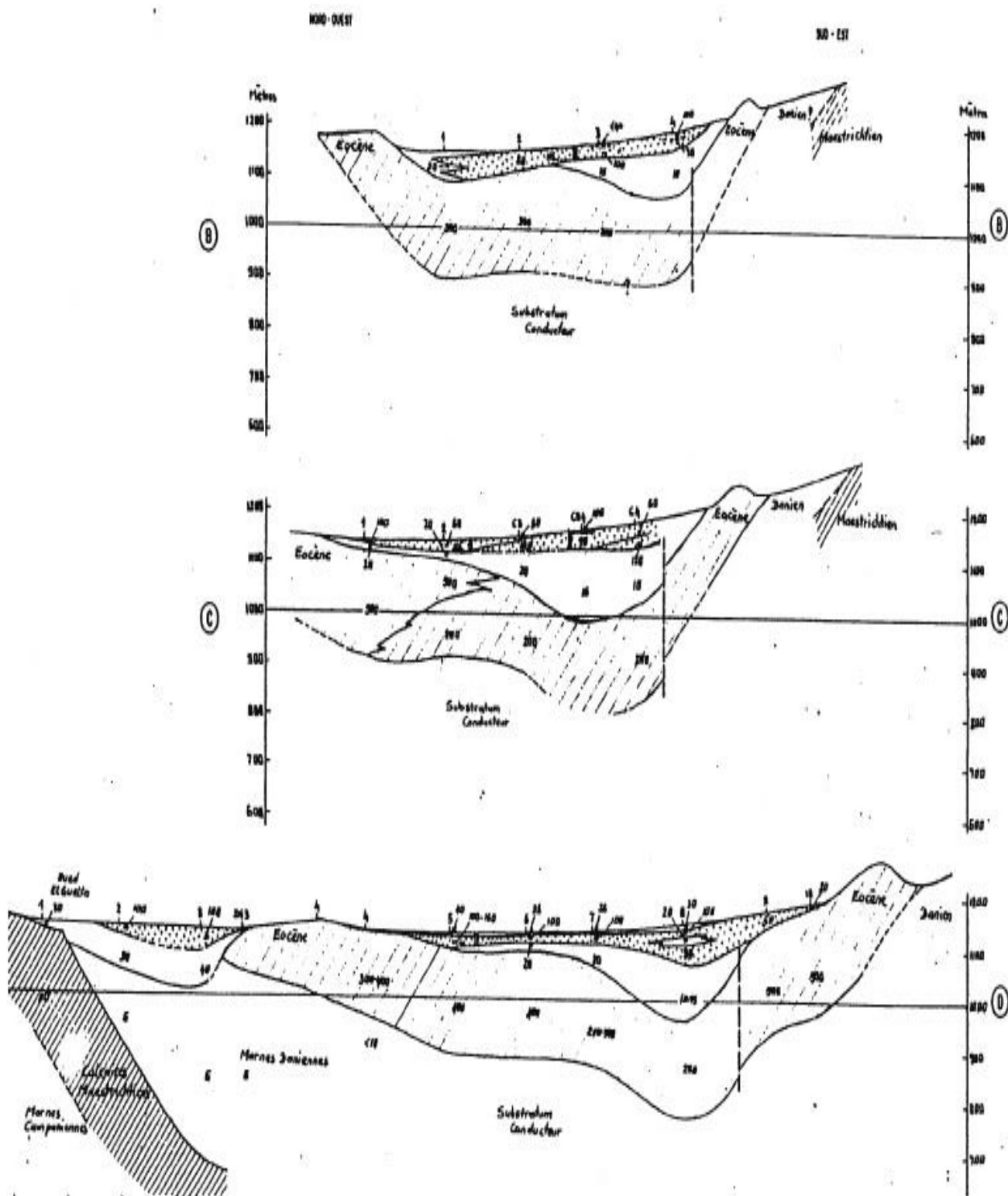
Profil L



Profil S-T



Profil B-C-D



SONDAGE SOVIETIQUE N°103

Carte: Topo 1/50.000 CHERIA N° 234

Date des travaux: du 14 juin au 6 août 1973

Echelle de la coupe: vert 1/1000 horiz 1/10

N° 524 234

Long.: X 958.325 Z# 1085m

Latit.: Y 226.600

Profondeurs et cotes	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Échant.	Coupe	DESCRIPTION GÉOLOGIQUE	Épave
0						
10	Φ 4.30	-6m			10.30	Mio Pliocène
20	Tube 14"				16.30	
30					21.30	
40					32.10	
50	4.5m					
60	Φ 17 3/4				51.30	
80	8m				81.30	
90	Tube 10"				92.30	
100	8m				93.30	
110	9 1/4"				100m	
120	122m					Aptésien
130						
140						
150						
160						
170						
180						
190	9 1/4"					
200	125m					
210						
220						
230						
240						

Limons argileux très décolorés, sable et graviers fins.
Lenticule de 2-3mm sans doute de la zone des taches pol.
miculaires blanchâtres.

Identique qu'au 10.30, mais présence d'argile au
niveau des 16.30. Gravier calcaire plus
grossier.

Gravier calcaire avec présence d'arêtes de silex.

Gravier calcaire très grossier présence de galets calcaires
grossiers sans les uns par un calcaire rugueux très caracté-
ristique. Matrice argileuse présente, mais imprégnée d'arêtes
de silex.

Gravier calcaire (beige clair) sans silex et matrice argileuse.
On trouve quelques grains de quartz ronds et très petits.
L. 1cm.

Lenticule de graviers calcaires dans une matrice
argileuse peu imprégnée, au-dessus de la zone des
petits grains de quartz se font plus importants.
Présence de lentilles gréseuses ferrugineuses.

Terno-calcaire bleu verd très clair à blanchâtre.

Lenticule très grossière, calcaire blanchâtre.

Terno-calcaire bleu verd.

Lenticule gris clair à grain fin à intermédiaire
de marbre dans la partie supérieure contenant
une grande quantité de fossiles.

Épave
Mio Pliocène
Aptésien

TRAVAUX DE RECONNAISSANCE S2 DUROZOY N° 505 234
 te : CHERIA N° 234 1/50000 Long. : X958.350 - Z 1092.57
 de des travaux : 1948 Latit. : Y231.870
 de la coupe : 1/500

Profondeurs (mètres)	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Échant.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Épais
10						
15					Terre végétale et T.F.	
35					Tuf et calcaire rose	
14.7					Calcaire blanc fissuré (vide)	
40.85					Calcaire blanc compact et cristallin	
54.65					Argo calcaire compact et cristallin	

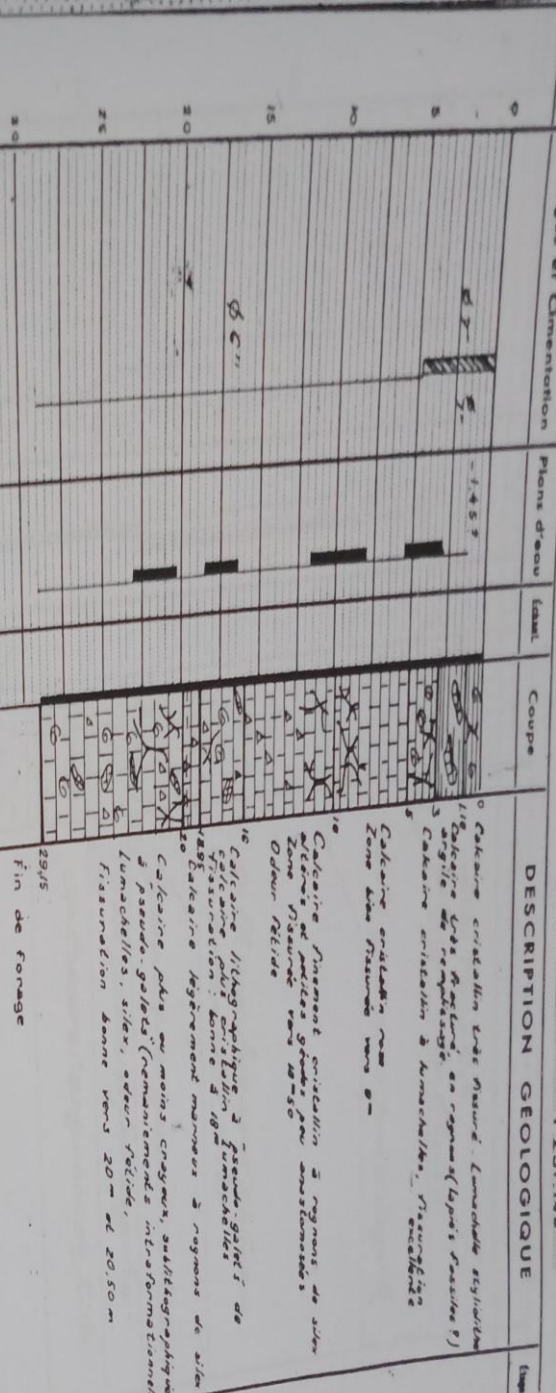
Plans d'eau : 5.5 mètre au-dessus de la coupe
 Échant. : 5.5 mètre au-dessus de la coupe

mis à jour par B. GAUD le 18-5-76

SONDAGE CHERIA n° 3
 Carte : CHERIA au 1/50,000° n° 234
 Date des travaux :
 Echelle de la coupe : 1/250°

Long.:
 Latit. :
 N° Ancien 0 209 F 13
 X 559 060 Y 251 145 Z + 1095
 510 254

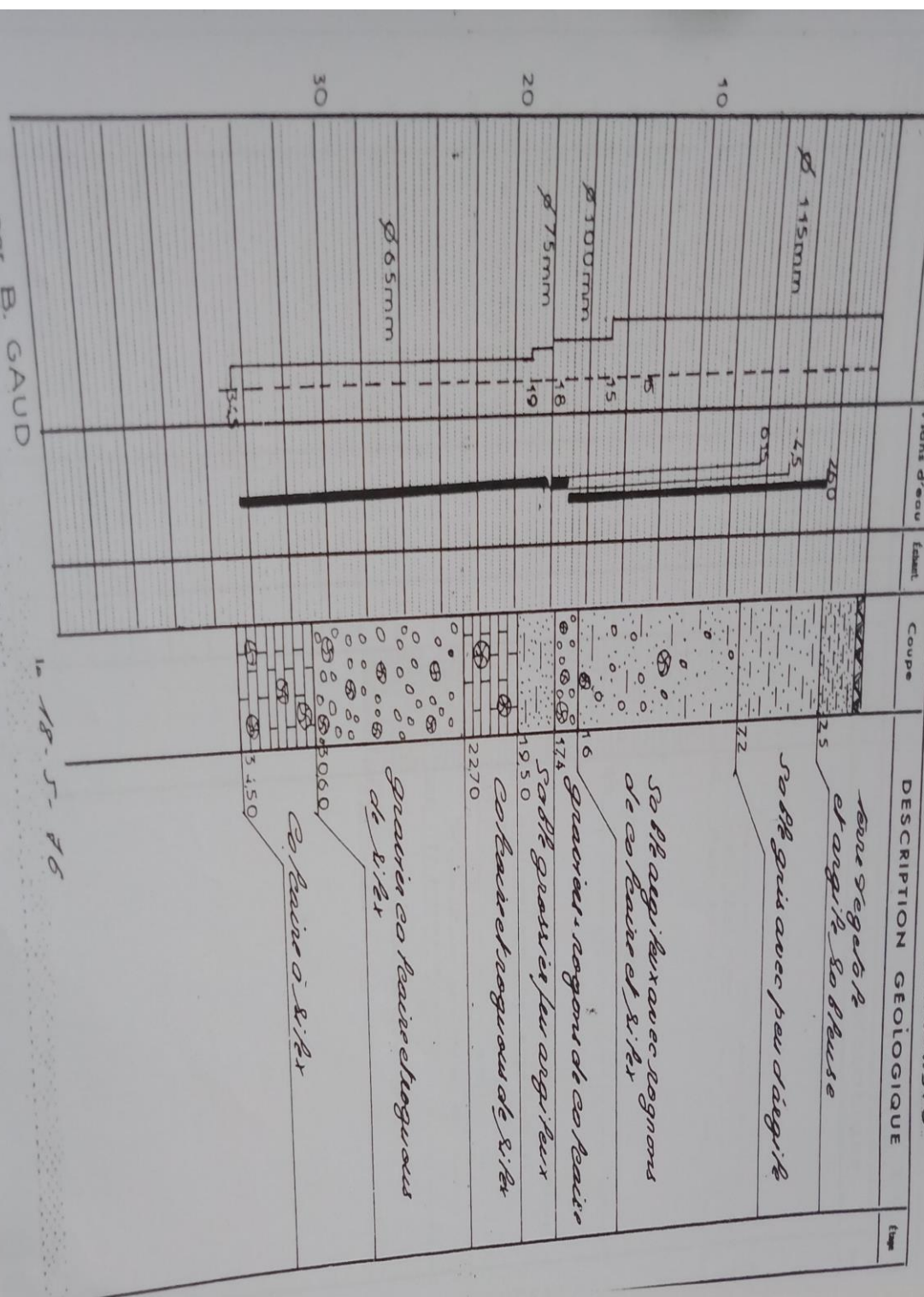
DESCRIPTION GEOLOGIQUE



mis à jour par L. ESSARD

Carte: **AGE RECONNAISSANCE**
 Date des travaux: **CHERIA**
 Echelle de la coupe: **N° 834 1948**
 Projections et cotes: **1/200**

Long: **506**
 Latit: **834**
 X: **958.885**
 Y: **1948.978**
 Z: **109488%**



mis à jour par B. GAUD

10 18-5-76

SONDAGE Puit N°5 CHERIA
 Carte: 1/50000 CHERIA N° 234
 Date des travaux: du ... au Avril 1967
 Echelle de la coupe: vert. 1/100 ϕ 1/

N° **518** | **23**

Long.: X 958.850 Z
 Latit.: Y 231.300

Profondeur et cotes	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Essai	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE
0	Puits bétonné ϕ 2,50m	-2,70		0-1,20	Sable grossier
1,20-1,50				Sables limoneux	
5				1,50-2,00	Sables limoneux
				2,00-2,50	Sable compact très nombreux de plusieurs centimètres de diamètre contenant de l'argile limoneuse
				2,50-3,00	Sable compact fin et moyen en grand
				3,00-3,50	Sable de finesse horizontale
				3,50-4,00	Sable compact
				4,00-4,50	Sable compact
				4,50-5,00	Sable à fines sarruses
				5,00-5,50	Sable compact fin et moyen (semblable à celui de 4,50)
				5,50-6,00	Sables fins et moyens
				6,00-6,50	Sable fin et moyen
10	Craquelage (76 Tons)			6,50-7,00	Sable fin et moyen petites sarruses fines
				7,00-7,50	Sable fin et moyen petites sarruses fines
				7,50-8,00	Sable fin et moyen petites sarruses fines
				8,00-8,50	Sable fin et moyen petites sarruses fines
				8,50-9,00	Sable fin et moyen petites sarruses fines
				9,00-9,50	Sable fin et moyen petites sarruses fines
				9,50-10,00	Sable fin et moyen petites sarruses fines
				10,00-10,50	Sable fin et moyen petites sarruses fines
				10,50-11,00	Sable fin et moyen petites sarruses fines
				11,00-11,50	Sable fin et moyen petites sarruses fines
15				11,50-12,00	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				12,00-12,50	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				12,50-13,00	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				13,00-13,50	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				13,50-14,00	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				14,00-14,50	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				14,50-15,00	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				15,00-15,50	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				15,50-16,00	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				16,00-16,50	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
20				16,50-17,00	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				17,00-17,50	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				17,50-18,00	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				18,00-18,50	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				18,50-19,00	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				19,00-19,50	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				19,50-20,00	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				20,00-20,50	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				20,50-21,00	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines
				21,00-21,50	Sable à grain moyen avec sarruses fines et petites sarruses fines

SONDAGE J8-3 bis CHERIA
 Carte: 1/50000 N: 234 CHERIA
 Date des travaux: du 17.7.76 au 11.09.76.
 Echelle de la coupe: 1/1000

N° 534 234

Long.: X 960.280 Z 1095.5
 Latit.: Y 232.000

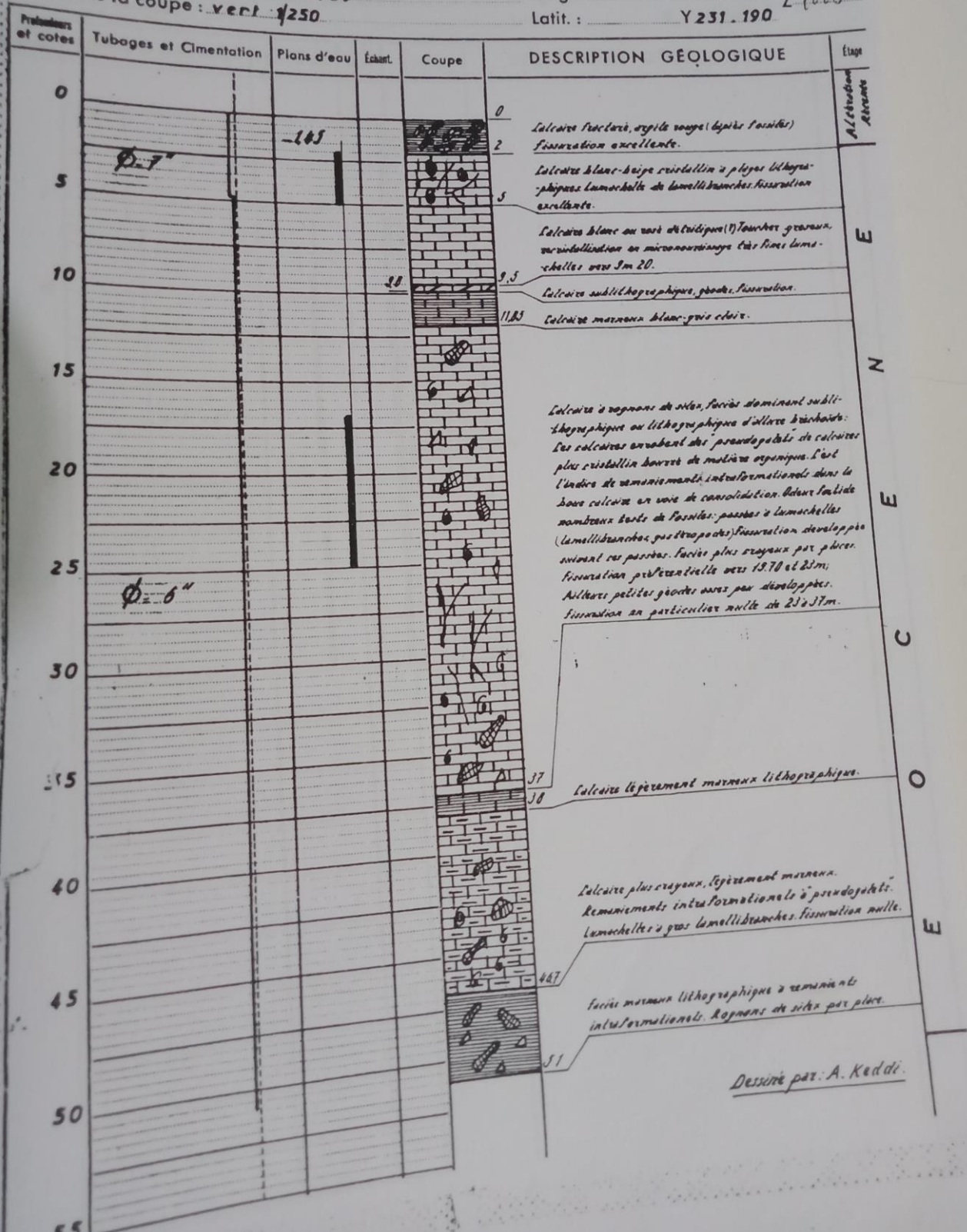
Profondeurs et cotes	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GÉOLOGIQUE	Ép.
		-13,80m			Calcaire blanc microcristalline Fissuré à partir de 44m (Parttotale)	
50						
	Trou NU				Calcaire blanc	
100						
	Motte de tricone					

EC CENE

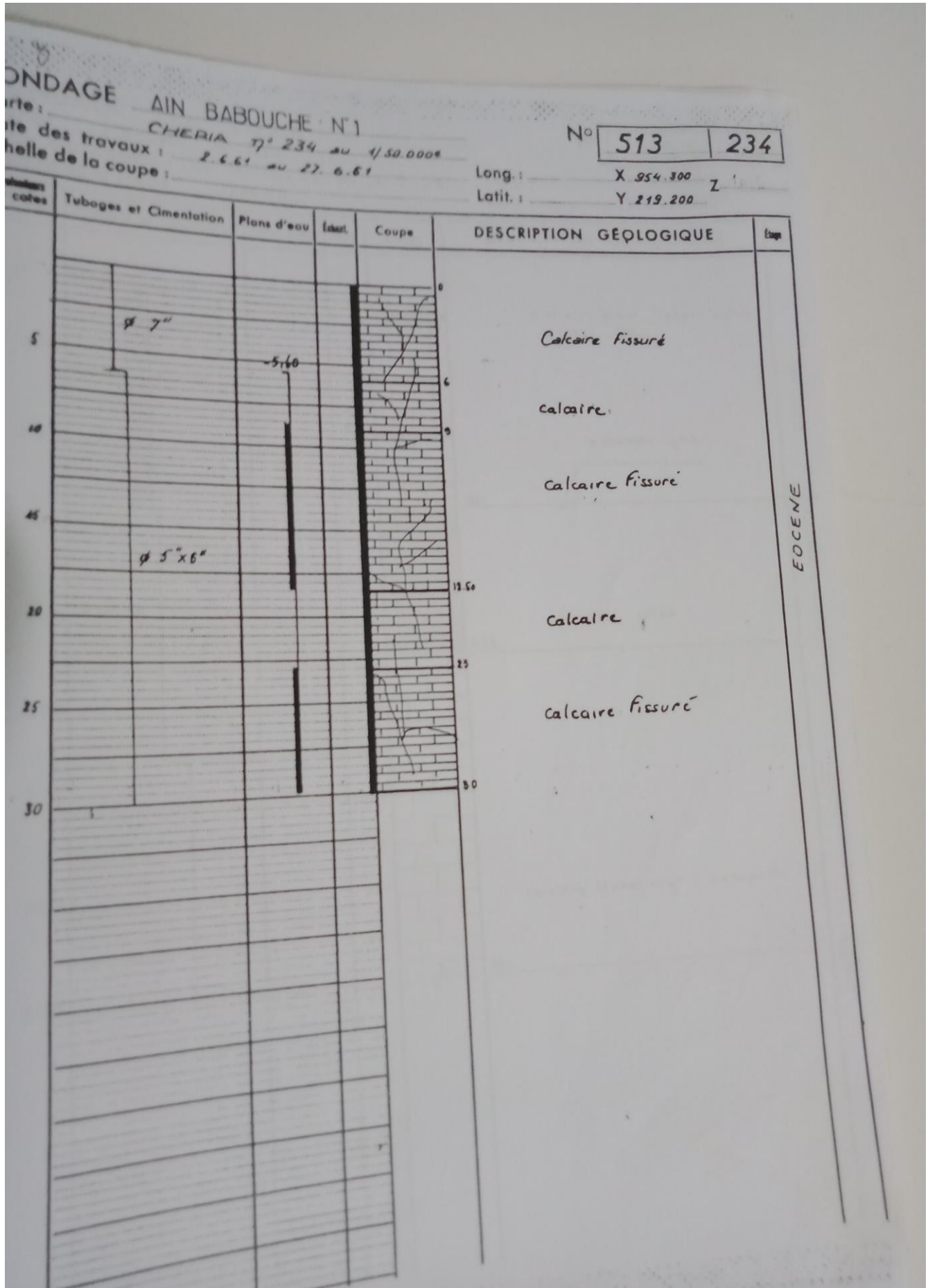
SONDAGE N°1bis à CHERIA N° 234
 Carte: 1/50.000 Chéria n° 234
 Date des travaux: Octobre 1959
 Echelle de la coupe: vert 1/250

N° 508 234

Long: X 959.025 Z 1085
 Latit: Y 231.190

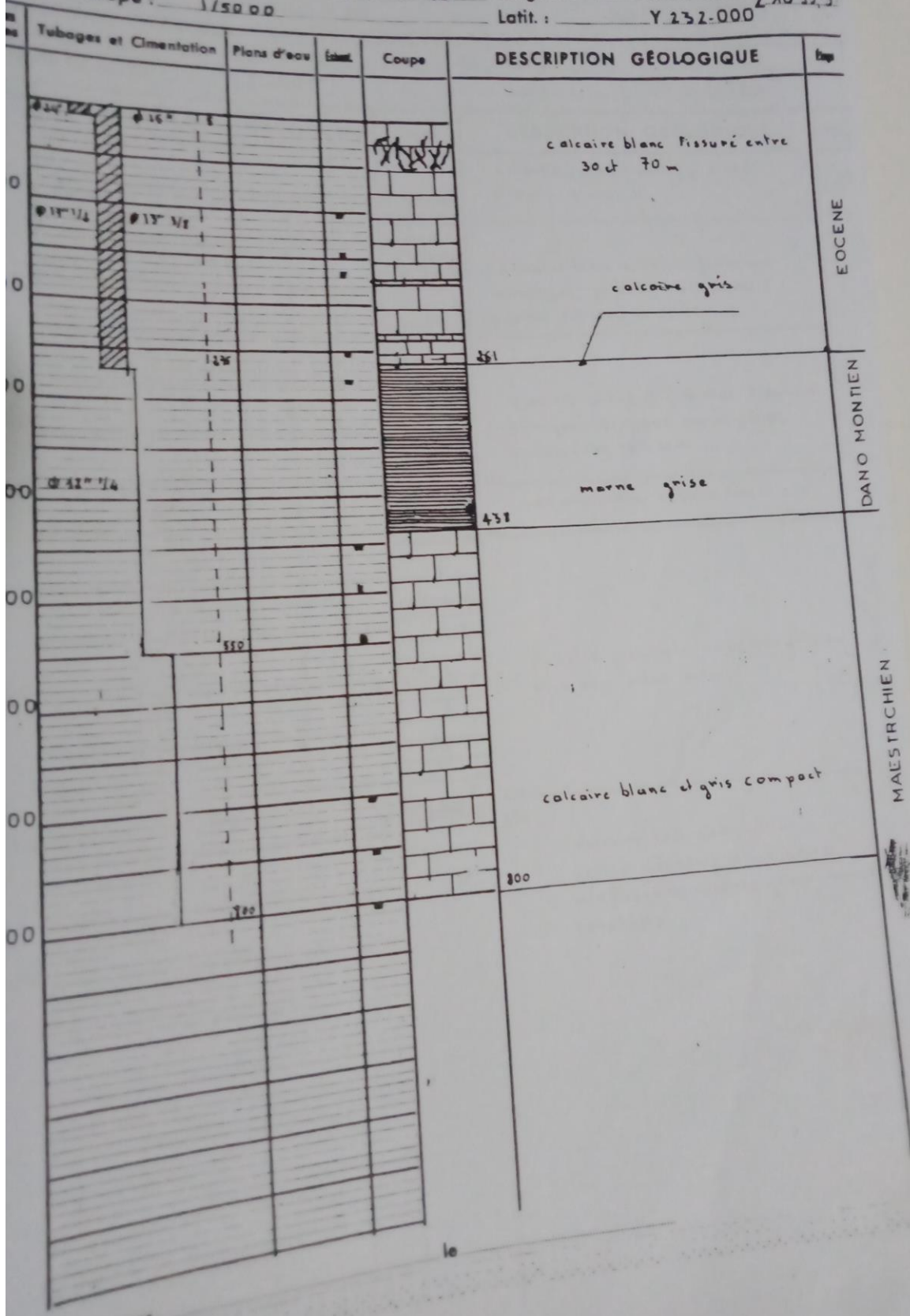


Dessiné par: A. Kaddi.



DAGE J 33 CHERIA
 1/50000 N° 234
 des travaux : du 15-12-75 au 16-7-76
 de la coupe : 1/5000

N° 533 | 234
 Long.: X 960.300 Z 1095.5
 Latit.: Y 232.000



SONDAGE N°4 CHERIA
 Carte: 1/50000 Chéria n°234
 Date des travaux: du au dec 1959
 Echelle de la coupe: Vert. 1/500 H. 1

234-5-7F
 N° 511 | 234
 Long.: X 959.115 Z
 Latit.: Y 251.100 Z

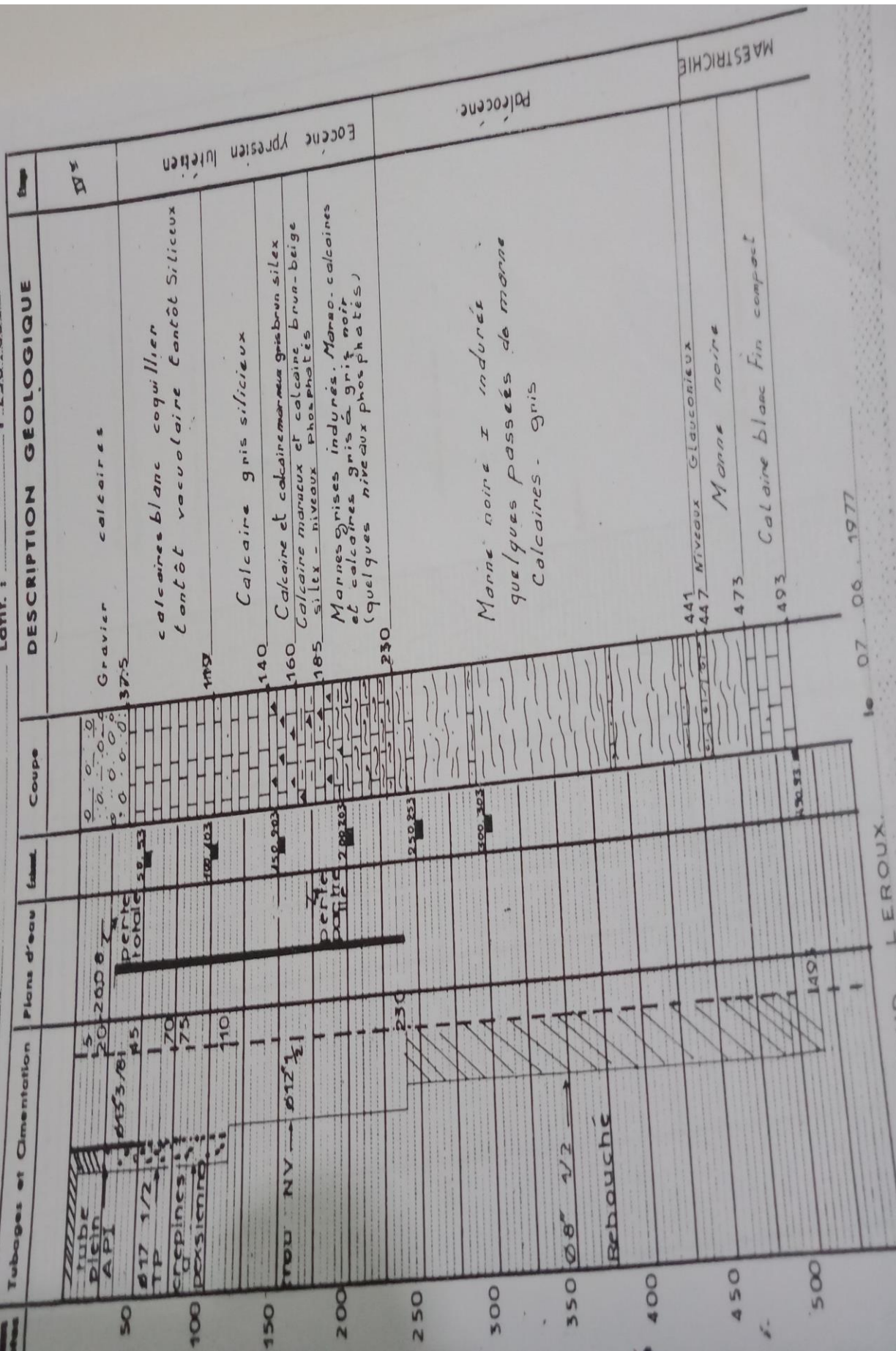
Profondeurs et cotes	Tubages et cimentation	Plans d'eau (chart.)	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Étage
5	Tub. 7" 1.8	-1.20		Altération galeuse et massive	
15	6"			Altération très fine	
25				Calcaire	
35	3.4			Calcaire massive Calcaire	
Dessiné par: R. Keldat.					

mis à jour par

NDAGE E 7 (CHERIA)
 N° 1/50 000 N° 234
 des travaux : du 20.02.77 au 30.05.1977
 file de la coupe : 1/2500

N° 536 234

Long.: X 963.150 Z 1120.m
 Latit.: Y 238.600



le 07.06.1977

LEROUX.

SONDAGE Puits N°6 CHERIA

Carte : 1/50000 Cheria n°234
 Date des travaux : du 6.4.65 au 2.5.67
 Echelle de la coupe : vert. 1/100

N° 519. | 234
 Long. : X 958.400 Z
 Latit. : Y 231.800

Profondeurs et cotes	Tubages et cimentation	Plans d'eau	Echell.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE
5	0"				<p>Aluvenat purpuré et partiellement dans couleur argilo-sableuse.</p>
10	124m				<p>1m. 124m Argiles rouges</p>
15	4 1/2"				<p>222m 422m Sableuse brune argileuse</p>
20					<p>426m Sableuse brune.</p>

ONDAGE N°2 CHERIA ET 2 Bis (Pied de Range) N° 512 234
 Carte: 1/50000 Cheria n° 234
 Date des travaux: du ou Dec 1959
 Echelle de la coupe: vert 1/500 1/3

Long.: X 959.060 Z 10.85
 Latit.: Y 231.165

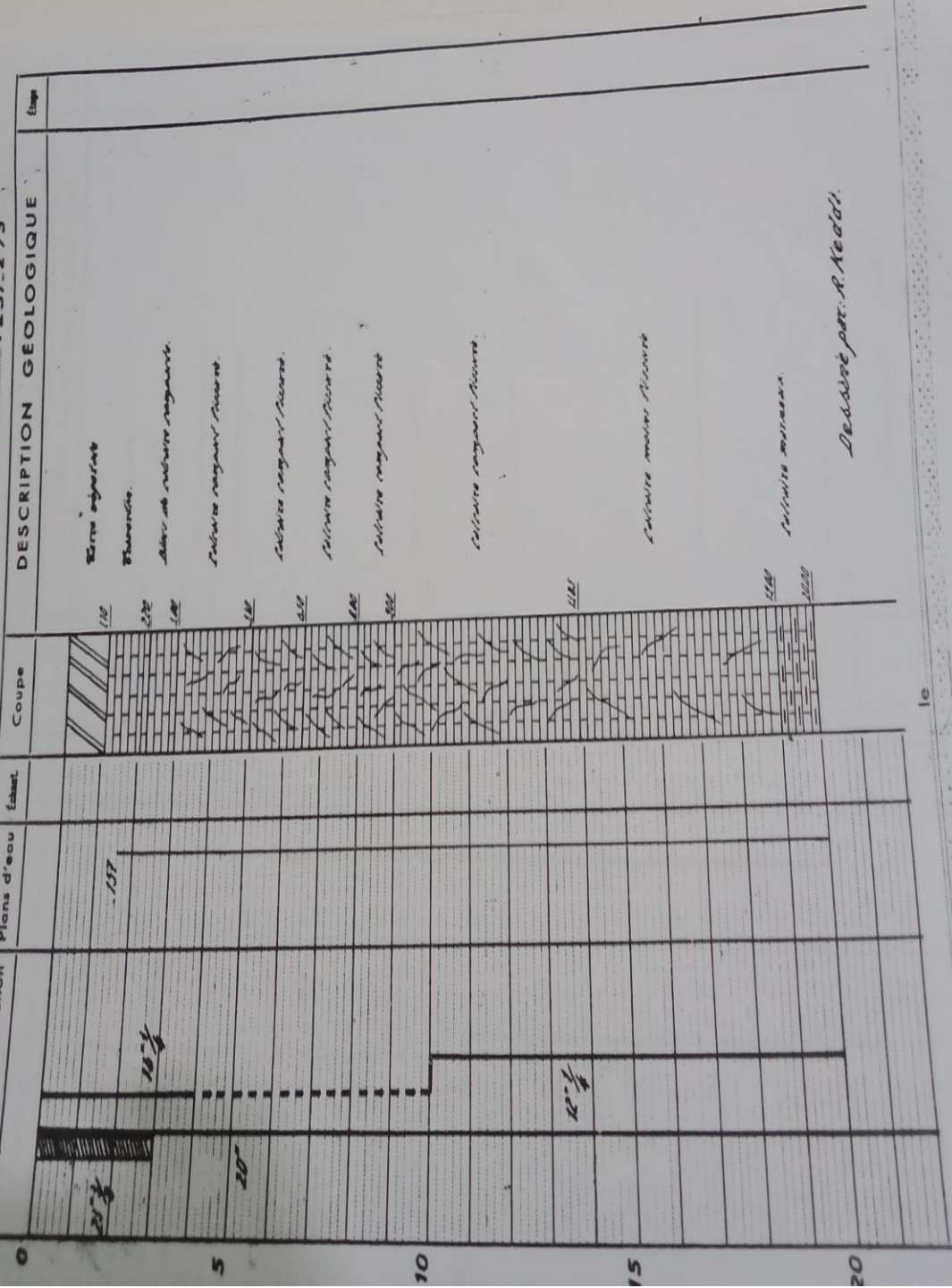
Profondeurs en mètres	Tubages et cimentation	Plans d'eau	Essai	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Altération récente
5						
10						
15						
20						
25						
30						

Decoupe par: A. Kerlat.

mis à jour par

ONDAGE DJEBEL-ONK N°2 CHERIA
 échelle: 1/50000 cheria n° 234
 Ville de la coupe: du 13.3.64 au 29.4.64.
 Tubages et Cimentation ϕ 11

N° 517 234
 Long: X 958.825 Z 1336
 Latit: Y 231.275

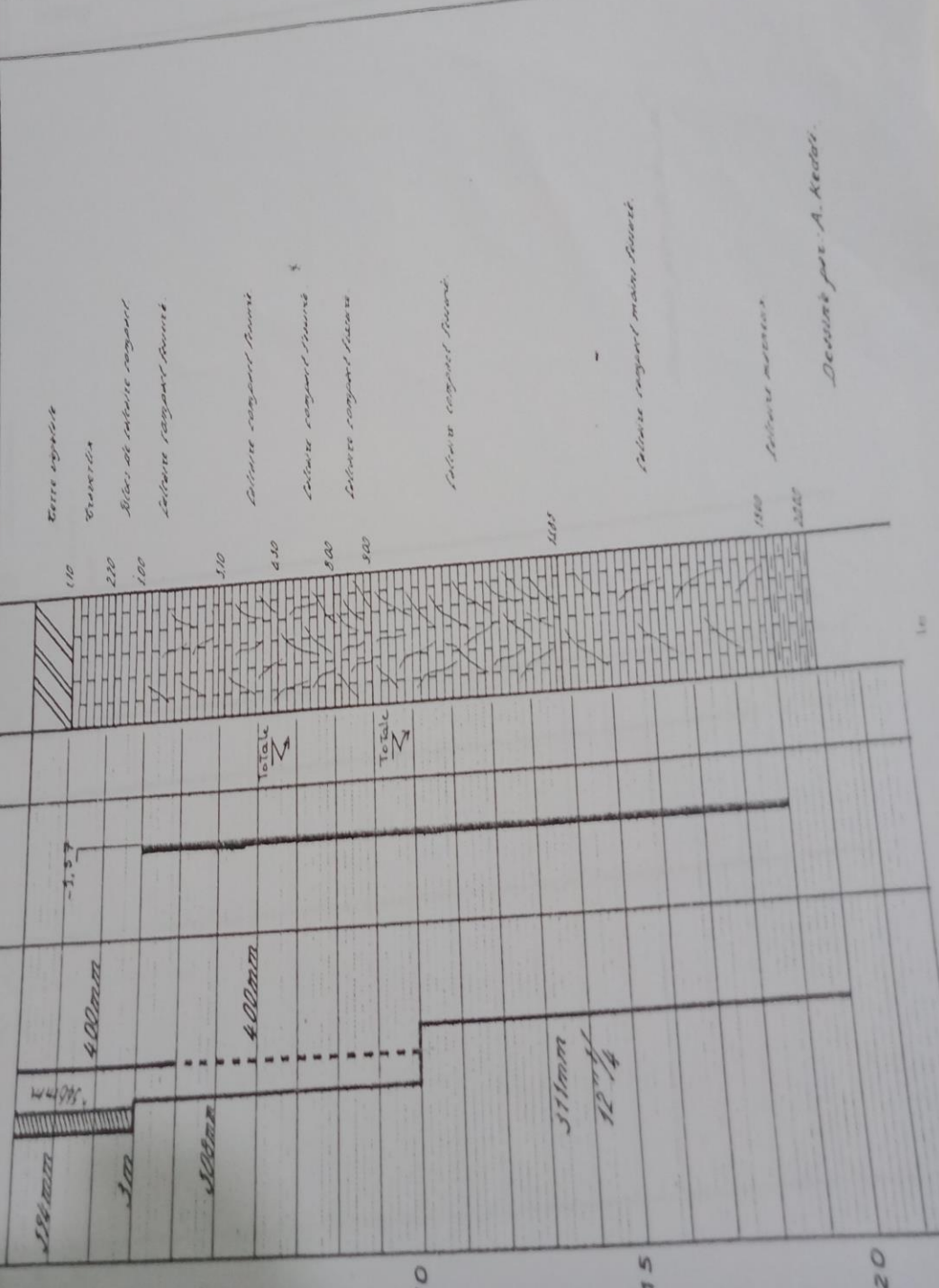


is à jour par

DAGE DJEBEL-ONK N°1 CHERIA
 1/50000 Chéria n°234
 les travaux: du 13.3.64 au 29.4.64.
 de la coupe: vers 1/100 ϕ 1/

275-F 13
 N° 516 : 234
 Long: X 956.522 Z = 1086
 Latit: Y 231.338

Tubages et Alimentation	Pièces d'eau	Echut	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
-------------------------	--------------	-------	-------	------------------------	-------



ANNEXE 04/Caractéristiques lithostratigraphiques des forages réalisés sur le plateau de CHERIA

Forage	x	y	N	E	z	lim sup	lim inf	formation	Age	prof total	prof toit	OBS
502						0	130	Calcaire	Maestrichien	255	0	Profondeur Fissuré
503						3	23	Calcaire	Maestrichien	24,5	13,5	
521						37	153	Calcaire	Maestrichien	153	37	
525						190	300	Calcaire	Maestrichien	300	21	
526						100	300	Calcaire	Maestrichien	300	7,5	
533	960,300	232,000	35°16'31.3"	007°45'41.6"	1095,50	-	-	Calcaire	Maestrichien	800	261	
535	951,450	213,125	35° 6' 34.2"	007°39'13.8"	1000,00	-	-	Calcaire	Maestrichien	490	470	
504	957,195	232,400	35° 16' 49.4 "	7° 43' 39.7 "	1100,04	0	17,75	Calcaire blanc compact peu fissuré	Eocène	25,5	0	Profondeur de Karst
						17,75	17,8	Marne grise				
						17,8	25,5	Calcaire grise à silex				
505	958,350	231,870	35° 16' 30.3 "	7° 44' 24.3 "	1092,57	0	1,5	Terre végétale et tuf	Eocène	54,6	1,5	
						1,5	3,5	Tuf et calcaire rosé				
						3,5	14,7	calcaire blanc fissuré (vide)				
						14,7	40,85	Calcaire blanc compact à silex				
						40,85	54,65	Marno calcaire compact et calcaire fissuré				
508	959,025	231,190	35° 16' 7.2 "	7° 44' 49.6 "	1085,00	0	2	calcaire fracturé argile rouge(fissuration exelent)	Eocène	51	0	
						19,7	23	vide				
						23	44,7	calcaire blanc-beige cristallin avec fissuration				
						44,7	51	facies marneux lithographique				
509	958,900	231,450	35° 16' 15.8 "	7° 44' 45.1 "	1080,00	0	3,6	Alluvions	Quaternaire		Profondeur de Karst	
						3,6	4,9	calcaire fissuré (vide)	Eocène	14,8		3
						12	13	calcaire fissuré (vide)				
						1	14,8	calcaire fissuré				
510	959,060	231,145	35° 16' 5.6 "	7° 44' 50.8 "	1085,00	3	5	calcaire cristalin a lumachelles fissuré (vide)				
						9	10	calcaire zone très fissuré				
						15	18	calcaire finement cristallin à rongnons de silex				
						20	29,15	calcaire moine crayeu fissuration bonne (vide 20-25m)				
511	959,115	231,100	35° 16' 4.1 "	7° 44' 52.9 "	1083,00	0	2,6	Alluvion galets et marnes	Eocène	34		2,6
						2,6	17,2	calcaire très fracturé (vide)				
						17,2	26	calcaire				
						26	29,2	calcaire fracturé (vide)				
						29,2	34	calcaire				
512	959,060	231,165	35° 16' 6.3 "	7° 44' 50.9 "	1085,00	0	4,6	calcaire fracturé altérée	Alteration	30,6	0	
						4,6	12	calcaire cristallin rosé recristalliser	Eocène			
						12	17,2	calcaire legerement marneux				
						17,2	30,6	calcaire de silex				

513	954,300	219,200	35 ° 9 ' 46.4 "	7 ° 41 ' 18.5 "	1070,00	0	6	calcaire fissuré	Eocène	30	0
						6	9	calcaire			
						9	18,5	calcaire fissuré			
						18,5	23	calcaire			
514	954,300	219,200	35 ° 9 ' 46.4 "	7 ° 41 ' 18.5 "	1070,00	23	30	calcaire fissuré	Eocène	31,95	0
						0	31,95	calcaire fissuré (vide)			
515	958,350	231,870	35 ° 16 ' 30.3 "	7 ° 44 ' 24.3 "	1092,57	1,5	3,5	Tuf et calcaire rosé	Eocène	12	3,5
						3,5	12	calcaire à silex (vide)			
516	958,922	231,338	35 ° 16 ' 12.1 "	7 ° 44 ' 45.8 "	1086,00	0	1,1	Terre végétale	Eocène	20	1,1
						3	5,1	calcaire compacte fissuré (vide)			
						6,5	8				
						9	19				
517	958,925	231,275	35 ° 16 ' 10.1 "	7 ° 44 ' 45.8 "	1086,00	0	1,1	Terre végétale	Eocène	20	1,1
						1,1	3	Blocs de calcaire rougâtre			
						3	13,85	Calcaire compacte fissuré			
						13	19	Calcaire moins fissuré			
						19	20	Calcaire marneux			
518	958,850	231,300	35 ° 16 ' 11.06 "	7 ° 44 ' 42.9 "	1087,00	0	1,2	limons graleux	Eocène	30,2	2,8
						1,2	1,9	gravier limoneux			
						1,9	3	blos limono-argileux			
						3	4,3	calcaire compact contenant de l'argile limoneux			
						4,3	6	calcaire fissuré en grand (vide)			
						6	9,5	calcaire compacte fossilifère fissuré			
						9,5	12,3	calcaire a grain grossier contenant fissures (vide)			
						12,3	16	calcaire a grain fin contenant de lamelibranche			
16	30,2	calcaire compacte a grain fin									
522	964,075	235,225	35 ° 18 ' 9.4 "	7 ° 48 ' 17.5 "	1133,00	0	96	cailloutis calcaire	Eocène	123,5	96
						96	123,5	calcaire craveux (vide)			
523	958,325	226,600	35 ° 13 ' 39.5 "	7 ° 44 ' 12.5 "	1089,00	-	-	vide	Eocène	100	80
524	958,325	226,600	35 ° 13 ' 39.5 "	7 ° 44 ' 12.5 "	1045,00	0	16,3	limons regide très détritique	Quaternaire	317,7	80
						16,3	21,3	gravier calcaire			
						21,3	53,3	gravier calcaire très grossier	Moi-pliocène		
						53,3	81,3	cutingue de grossier calcaire dans une matrice	Eocène		
						81,3	106	marno-calcaire blanchâtre			
106	317,7	calcaire gise claire a gravier fin à intercalation de									
527	953,150	216,000	35 ° 8 ' 4.6 "	7 ° 40 ' 26.7 "	1040,00	-	-	vide	Eocène	121,3	6,2
534	960,280	232,000	35 ° 16 ' 31.3 "	7 ° 45 ' 40.8 "	1095,50	0	44	calcaire blanc microcristaline fissuré a partir de 44m	Eocène	100	30
						44	100	calcaire blanc (vide)			
537	962,400	236,450	35 ° 18 ' 52.01 "	7 ° 47 ' 13.8 "	1115,00	0	55	gravier calcaire	Quaternaire	250	64
						55	64	argile			

			"			64	125					
						125	197	calcaire gris à module siliceux et brèche	Eocène			
						197	226	marno-calcaire gris marne et calcaire				
						262	250	marno-calcaire et marne grise				
501						-	-	Alluvion		Quaternaire	30	-
506	958,285	231,978	35 ° 16 ' 33.9	7 ° 44 ' 21.9 "		-	-	Alluvion	Quaternaire	19,5	-	
507	956,925	241,250	35 ° 21 ' 36.8 "	7 ° 43 ' 47.1 "	1112,00	0	3,3	Argile	Quaternaire	50,3	38	
						3,3	8,3	gros graier et sable				
						8,3	11,75	Argile sableuse				
						11,75	17,75	Gros gravier				
						17,75	30,55	Argile rougâtre sableuse	alteration des calcaire			
						30,55	34,5	calcaire grisâtre				
						34,5	38	argile rouge				
						38	48,5	calcaire altérer + argile				
48,5	50,3	calcaire blanc compate	Eocène									
519	958,400	231,800	35 ° 16 ' 28.02"	7 ° 44 ' 26.1 "		0	3	Alluvion gossier et galet calacaire	Quaternaire	23	3,5	
						3	3,5	Alluvion calacaire	Eocène			
						3,5	14,6	calcaire fissuré				
						14,6	23	calcaire compacte				
520						-	-	Alluvion	Quaternaire	47	-	
521						37	68	Alluvion	Quaternaire	37	-	
522	964,075	235,225	35 ° 18 ' 9.4 "	7 ° 48 ' 17.5 "	1133,00	-	-	Alluvion	Quaternaire	96	-	
525						-	-	Alluvion	Quaternaire	21	-	
529						-	-	Alluvion	Quaternaire	33	-	
531						-	-	Alluvion	Quaternaire	43,8	-	
536	963,150	238,600	35 ° 20 ' 0.4"	7 ° 47 ' 47.9 "	1120,00	-	-	Alluvion	Quaternaire	37,5	-	

Profondeur de la formation et le karst