



Université Larbi Tébessi. Tébessa

Faculté des Sciences Exactes, des Sciences
de la Nature et de la Vie



Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de

Docteur en Sciences

Filière : Géologie

Option : Géologie de l'Ingénieur

Par **Mr MOUICI Ridha**

THEME :

IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES EFFONDREMENTS KARSTIQUES DE L'EOCENE DE LA REGION DE CHERIA. NE ALGERIEN

Devant le jury

Pr. BOUMEZBEUR Abderrahmane
Pr. BAALI Fethi
Pr. BOUDOUKHA Abderrahmane
Pr. KACHI Slimane
Pr. FEHDI Chemseddine
Dr. BOUBAYA Djamel

Professeur U.L.T Tébessa
Professeur U.L.T Tébessa
Professeur U. Batna2
Professeur U. Guelma
Professeur U.L.T Tébessa
M.C « A » U.L.T Tébessa

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur
Examineur

Date de soutenance : 18 Avril 2019

التأثير البيئي للتجاويف الكارستية في منطقة الشريعة . شمال شرق الجزائر

ENVIRONMENTAL IMPACT OF KARST CAVITIES IN THE
CHERIA REGION. NE ALGERIA

IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES EFFONDREMENTS KARSTIQUES DE L'EOCENE
DE LA REGION DE CHERIA. NORD EST ALGERIEN

حدثت العديد من الانهيارات الناتجة عن -فراغات- في العديد من المواقع الحضرية و / أو محيطها الريفي ؛ في شمال الجزائر ، في السنوات القليلة الماضية. الانهيار المفاجئ يسبب أضرارا في الممتلكات والبنى التحتية ، وحتى الأرواح .في سنة 2009 حدث بمدينة الشريعة (ولاية تبسة) انهيار يعتبر الأكثر اثارة . وهو ناتج عن تمزق مفاجئ في سقف تجويف كارستى كبير تحت الأرض. وتسبب في حالة من الذعر بين السكان، الذين يعيشون فوق و قرب الفراغ، الذي انفتحت فوهته .

من أجل التحقق من أصل هذه الظاهرة ، نجمع بين العديد من طرق الاستكشاف الجيوفيزيائية و الجيوتقنية ، مثل الرادار المخترق الأرضي ، التصوير المقطعي للمقاومة الكهربائية ، اختبار الاختراق القياسي ، الحفر الميكانيكي ، علم المغارات والقياس بالتصوير. حيث أن كل طريقة توفر معلومات محددة.

تسمح المقارنة بين مختلف النتائج، المتحصل عليها، بتحديد النتائج بحد ذاتها، حدود استخدام كل طريقة ومجال التطبيق. حيث سمح هذا بالكشف عن عدد من الفراغات الكارستية المفتوحة والأجزاء المضطربة في منطقة الدراسة (حدود هذه الفراغات، هندستها و ابعادها).

تظهر النتائج ان انهيارات الفراغات الكارستية مرتبط بوجودها بالقرب من السطح. كما سمحت بمقارنة مختلف النتائج و امكانيات كل تقنية للتطبيق و الاستعمال في منطقة الدراسة كما سمحت (المقارنة) بتحديد التقنيات الممكن استخدامها لاحقا، (في مجال العمران و تهيئة الاقليم) الأكثر فعالية و الأكثر جدوى اقتصاديا.

Abstract

Environmental impact of karst cavities in the Cheria region. NE Algeria

Several sinkhole collapses were occurred in the many sites in urban areas and / or their rural periphery; in NE Algeria, in the last few years. The abrupt collapse causes damages to properties, infrastructures, and even lives.

The most spectacular one, occurred in february 2009, inside the Cheria city, Northwest of Tebessa department, with a diameter of more than a hundred meters. This abrupt collapse is due to a sudden rupture of the roof of a large underground karst cavity. It caused panic – stricken among the population living near the crater. In order to investigate the origin of this phenomenon, we combine several geophysical and geotechnical methods, such as Ground Penetrating Radar, Electrical Resistivity Tomography, Standard Penetration Test, Mechanical Drill Core, Cave Survey, Photogrammetry, etc. It appears that each method may provide specific information.

Their comparison allows to precise the results itself, the limits and the application field of each. Consequently a number of open karst voids and disturbed areas were detected in the study area. The results show that sinkholes originate from two different processes: a brutal collapse of karst voids located at shallow depth, by a gravitational effect, especially building surcharge on top of limestone. And progressive piping and erosion of the thick gravel cover, especially after storms, making large depressions. The drawdown of the aquifer following intense pumping could have accelerated these processes. The extension plans of the study area could be established with this methodical acquaintance of the underground conditions of the karst cavities such as: occurrence, depth, geometry and dimensions.

Résumé :

IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES EFFONDREMENTS KARSTIQUES DE L'EOCENE
DE LA REGION DE CHERIA. NORD EST ALGERIEN

Plusieurs effondrements de cavités ont été observés dans de nombreux sites, dans les zones urbaines et / ou dans leur périphérie rurale; Dans le nord - est de l'Algérie, ces dernières années ; L'effondrement brutal de quelques cavités karstiques a provoqué des dommages aux propriétés, aux infrastructures et même à la vie.

Le plus spectaculaire a eu lieu en Février 2009 dans la ville de Cheria, au nord - ouest de la wilaya de Tébessa, avec un diamètre de plus de cent mètres. Cet effondrement brutal est dû à une rupture soudaine du toit d'une grande cavité karstique souterraine. Il a causé la panique parmi la population, vivant près de la zone effondrée. Afin d'étudier l'origine de ce phénomène, nous combinons plusieurs méthodes géophysiques et géotechniques, telles que : Radar géologique, tomographie de résistivité électrique, test de pénétration standard, forage mécanique, photogrammétrie, spéléologie..., etc. Il semble que chaque méthode peut fournir des informations spécifiques.

Leur comparaison permet de préciser les résultats eux-mêmes, les limites et le champ d'application de chacun. Par conséquent, un certain nombre de vides karstiques ouverts et de zones perturbées ont été détectés dans la zone d'étude. Les résultats montrent que les gouffres proviennent de deux processus différents: Un effondrement brutal des vides karstiques situés à faible profondeur, par effet d'agression, en particulier la surcharge de la construction sur le calcaire. Suffosion, l'érosion de la couverture de gravier épais, surtout après les tempêtes faisant de grandes dépressions. Le rabattement de l'aquifère après un pompage intense aurait pu accélérer ces processus. Les plans d'extension de la zone d'étude pourraient être établis avec cette connaissance méthodique des conditions souterraines des cavités karstiques telles que: l'occurrence, la profondeur, la géométrie et les dimensions. La comparaison des différentes techniques utilisées a permis de déterminer les techniques, les plus efficaces et les plus économiques, en matière d'urbanisme et d'aménagement du territoire.

Dédicace

Je dédie ce travail à la mémoire de mon père et à la mémoire de ma mère, qui vient de nous quitter ;

A mon frère et à ma sœur ;

A ma femme et mes enfants ;

A la mémoire de mes amis ROUABHIA Abdelkader et ASSAL Azzedine ;

& à tout mes amis.

Remerciements

Avant tout je remercie le bon dieu qui m'a aidé à l'élaboration de ce travail.

A la fin de ce travail, je tiens à remercier tout particulièrement :

Mon directeur de thèse, Monsieur BAALI Fethi, Professeur à l'université de Tébessa, que n'a cessé de m'épauler le long de ce travail. Et de savoir, le cas échéant, ne pas trop insister et s'acharner sur certains détails et ultimatums. Il a su manifester une grande patience à mon égard et un vif intérêt pour ce travail.

Je tiens à remercier Mr. Abderrahmane BOUMEZBEUR professeur à l'université de Tébessa, d'avoir accepté d'honorer la présidence du mon jury.

Mes vifs remerciements et respect vont aussi à Mr BOUDOUKHA Abderrahmane, Professeur à l'Université de Batna, que j'ai l'honneur qu'il soit examinateur de mon Doctorat, comme je lui promis lors de ma soutenance de Magistère.

Mes vifs remerciements vont aussi à Mr KACHI Slimane, Professeur à l'Université de Guelma d'avoir donné son accord pour examiner ce travail.

Un remerciement particulier est dédié MM FEHDI Chemseddine, BOUBAYA Djamel, Professeurs à l'université de Tébessa.

Mes vifs remerciements s'adressent, aussi, à la D.U.C de Tébessa, spécialement Mr DHOUIB Mokdad.

Mes remerciements s'adressent, aussi, à tout le personnel de l'Université de Tébessa, particulièrement la Faculté des Sciences Exactes, des Sciences de la Nature et de la Vie et de façon plus particulière le Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, ainsi qu'à toute l'équipe du LEE, pour leur confiances et moyens dont on m'a fait profiter ;

Mes remerciements s'adressent, aussi, à tous ceux qui ont aidé, quelle que soit la façon, à l'élaboration de ce travail pour qu'il puisse voir le jour.

Table des Matières

ملخص	I
Abstract	II
Résumé	III
Dédicace	IV
Remerciements	V
Table des matières	VI
Liste des tableaux	IX
Liste des figures	IX
Liste des photographies	XI
INTRODUCTION.....	1
Chapitre I : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.....	2
I. CADRE GENERAL.....	3
1. Situation géographique	3
2. La population.....	4
3. Activités économiques et industrie	4
4. Les sources	4
II. GEOLOGIE	5
1. INTRODUCTION	5
2. ASPECT GEOMORPHOLOGIQUE.....	5
3. STRATIGRAPHIE.....	5
3.1 Secondaire	5
3.1. a. Crétacé supérieur.....	5
3.1. a.1 Turonien	7
3.1. a.2 Sénonien supérieur	7
3.1. a.2.1 Campanien	7
3.1. a.2.2 Maestrichtien	7
3.2 Tertiaire	7
3.2. a Éocène moyen inférieur.....	7
3.2. a.1 Danien-Eocène inférieur	7
3.2. a.2 Thanetien	7
3.2. a.3 Ypresien	7
3.2. a.4 Lutétien	8
3.2. b. Mio-Pliocène.....	8
3.3 Quaternaire.....	8
3.3. a Les alluvions actuels	8
3.3. a.1 Alluvions de remplissage	8
3.3. a.2 Alluvions de piedmont	8
3.3. a.3 Les éluvions	8
4. TECTONIQUE.....	8
5. PALEONTOLOGIE	9
III. TRAVAUX ANTERIEURS DE GEOPHYSIQUE	10
1. PROSPECTION GEOELECTRIQUE	10
1.1 Interprétation des résultats des sondages	10
1.2. Carte d'iso résistivités en ligne AB=1000m.....	11
1.3 Toit du substratum résistant	12

1.4. Interprétation des coupes géoélectriques	13
1.4.1 Formations anté-miocènes.....	13
1.4.2. Recouvrement.....	14
IV. ETUDE DE LA FISSURATION ET DE LA KARSTIFICATION.....	16
1. ETUDE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DE LA FRACTURATION	16
1.1. Etude quantitative.....	16
1.1.1 Définition des paramètres quantitatifs	16
1.1.1.a. Méthodologie	17
1.1.1.b Analyse et interprétation	17
V. CONCLUSION	19
Chapitre II : HYDROCLIMATOLOGIE & HYDROGEOLOGIE.....	20
I. HYDROLOGIE.....	21
Introduction.....	21
1. Paramètres physiques du Bassin Versant	21
2. Le réseau hydrographique	23
Conclusion	23
II. CLIMATOLOGIE.....	23
1. Etude des paramètres climatiques de la station de Chéria	24
1.1. Les précipitations	24
1.2. Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers	24
1.3. Les températures	25
1.4. Régime climatique	26
1.4.1 Méthode d'Euverte	26
1.4.2. Diagramme pluviothermique de Gaussen et Bagnouls.....	26
1.4.3. L'indice de l'aridité « I »	27
1.4.4 Le diagramme d'Emberger	28
1.5 Vent	29
1.6. Humidité	29
1.7. Bilan hydrologique	30
1.8. Interprétation des bilans hydriques.....	31
Conclusion	32
III. HYDROGEOLOGIE	32
Introduction	32
1. Géométrie de l'aquifère	32
1. 1. L'aquifère des calcaires maestrichtiens	33
1. 2. L'aquifère des calcaires éocènes	34
1. 3. L'aquifère Mio-Plio-Quaternaire.....	34
2. Hydrodynamiques des eaux souterraines.....	34
2.1. La piézométrie.....	34
3. Hydrochimie	39
3.1. Conductivité électrique	39
3.2. Potentiel hydrique (pH)	42
3.3. Paramètres chimiques.....	42
3.4. Evolution des minéraux et des éléments dissous.....	43
Conclusion.....	44
IV.ETUDE DE LA KARSTIFICATION	45
1. Introduction	45
2. Réactions chimiques.....	46
3. Morphologie karstique.....	47

3.1 Les lapiez	49
3.2 Les dolines	49
3.3 Les poljés.....	51
4. Signes de karstification des calcaires Eocènes de la région.....	51
4.1. Les forages réalisés dans la région.....	51
4.2. Les affaissements de Draa Douamis.....	52
CONCLUSION	54
Chapitre III : MOYENS MIS EN ŒUVRE.....	56
I. TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE.....	59
1. Principe.....	59
2. Résistivité des roches.....	60
3. La tomographie électrique.....	61
3.1. Acquisition des données de Tomographie électrique 2D.....	61
II. RADAR GEOLOGIQUE.....	62
1. Principes de la mesure radar	62
2. Traitement des données.....	64
3. Présentation des résultats.....	65
4. Codes de couleurs	66
III. SONDAGE CAROTTE.....	66
1. Carottier simple.....	67
2. Carottier double	68
3. Carottier triple	68
IV. PENETROMETRE DYNAMIQUE	70
V. SPELEOLOGIE.....	72
VI. PHOTOGRAMMETRIE.....	73
Chapitre IV : RESULTATS & DISCUSSION.....	75
I. TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE.....	77
1. Tomographie électrique des Douamis.....	77
2. Tomographie électrique de la ville de Cheria.....	80
II. RADAR GEOLOGIQUE.....	81
1. Radar Géologique de la ville de Cheria.....	81
2. Radar Géologique des Douamis.....	86
III. SONDAGE CAROTTE	88
IV. PENETROMETRE DYNAMIQUE	91
V. SPELEOLOGIE.....	94
VI. PHOTOGRAMMETRIE.....	101
1. Analyse de photographies	101
2. Travaux de cartographie.....	103
CONCLUSION.....	107
CONCLUSION GENERALE.....	109
RECOMMANDATIONS.....	112
BIBLIOGRAPHIE.....	114
ANNEXE.....	122

Liste des tableaux

01	Matrice et valeurs de corrélation	24
02	Moyenne mensuelle et trimestrielle interannuelle des précipitations de la station de Chéria. (1972 - 2014).....	24
03	Températures mensuelles corrigées de la station de Chéria (1982 - 2014)	26
04	Régime climatique du station de Chériapar la méthode d'Euverte (1982-2014)..	26
05	Type de climat selon de D. Marton	28
06	Différentes valeurs de Q2	28
07	Bilan hydrique à la station de Chéria (1982 - 2014)	30
08	Bilan hydrique pour l'année plus sèche à la Station de Chéria (2004)	30
09	Bilan hydrique pour l'année plus humide de la station de Chéria (2014)	31
10	Caractéristiques des forages captant les calcaires Eocènes	52
11	Récapitulatif des techniques de détection des cavités	58
12	Coordonnéesdes Sondages carottés	89
13	Description visuelle des logs des Sondages carottés	90

Liste des figures

01	Situation Géographique	3
02	Extrait de la carte géologique de la région de Cheria	6
03	Esquisse tectonique de la région de Tébessa.	9
04	Coupes géologiques du plateau de Cheria	10
05	Carte des Sondages électriques C.G.G 1970	11
06	Carte d'iso résistivités en ligne AB=1000m. C.G.G 1970	11
07	Coupe géo électrique. Profil H	13
08	Coupes géo électriques J et K	13
09	Coupe géo électrique N	14
10	Coupes géo électriques E et F	14
11	Coupe géo électrique M	15
12	Coupes géo électriques P, Q et R	15
13	Carte des sites choisis pour l'étude de la fracturation	17
14	Projection stéréographique des familles directionnelles	18
15	Réseau hydrographique du plateau de Chéria	21
16	Courbe hypsométrique et des fréquences altimétriques	22
17	Variation interannuelles des précipitations de la station de Chéria (1972–2014) ..	25
18	Courbe Pluviothermique à la station de Chéria (1982 - 2014)	27
19	Climagramme d'Emberger à la station de Chéria	28
20	Vents mensuels interannuels de la station de Chéria (1982 - 2014).	29
21	Humidité mensuelle interannuelle de la station de Chéria (1982 - 2014).	29
22	Carte des conditions aux limites	33
23	Carte piézométrique. Septembre 2002	35
24	Carte piézométrique. Septembre 2003	35
25	Carte piézométrique. Février 2005	36
26	Carte piézométrique. Septembre 2005	36
27	Carte piézométrique. Octobre 2010	37

28	Carte piézométrique. Octobre 2010	37
29	Carte des Conductivités de Mars 2002	39
30	Carte des Conductivités de septembre 2002	40
31	Carte des Conductivités de Février 2005	41
32	Carte des Conductivités de Septembre 2005	41
33	Diagrammes de Piper	42
34	Evolution de l'indice de saturation des minéraux février 2005	43
35	Régions karstiques dans le monde	45
36	Parties d'un karst.....	48
37	Morphologie Karstique.....	48
38	Types de lapiez.....	49
39	Genèse et transport dans une doline.....	50
40	Typologie des dolines.....	50
41	Situation des dolines de Douamis. Cheria.....	53
42	Dispositif Wenner	59
43	Résistivité de quelques roches.....	60
44	Arrangement des électrodes pour une acquisition 2D	62
45	Ondes électromagnétiques en fonction de leurs fréquences et leur utilisation dans la vie courante	63
46	Exemple de signal radar	64
47	Montage de l'antenne 400 MHz.....	65
48	Radargramme, exemple de cavité détectée	66
49	Table de couleur des signaux radar.....	66
50	Carottier rotatif	67
51	Différents types de carottiers rotatifs	69
52	Pénétrromètre dynamique	71
53	Position du profil tomographique sur Google Earth	77
54	Tomographie électrique, le long du grand effondrement de Cheria	78
55	Situation des tomographies de la ville.....	80
56	Profil tomographique Est T1.....	80
57	Profil tomographique Ouest T2.....	80
58	Radargramme montrant une cavité	82
59	Radargramme montrant une fracture	83
60	Radargramme montrant des cavités minuscules.....	83
61	Radargramme montrant des cavités minuscules.....	84
62	Radargramme montrant des cavités profondes.....	84
63	Radargramme montrant une cavité horizontale de 0.5m sur plus de 20m	84
64	Radargramme montrant un vide de 0.5 sur plus de 3 m	85
65	Radargramme montrant le vide du réseau d'assainissement	85
66	Géoradar et Profils radar.....	86
67	Profil (PR/a)	86
68	Profil (PR/b)	87
69	Profil (PR/c)	87
70	Implantation des sondages carottés.....	88
71	Sondages carottés 2, 14 et 15.....	90
72	Pénétrromètre N° 29.....	91
73	Confrontation du Sondage carotté 2 et Pénétrromètre 21	92
74	Pénétrromètre N° 26.....	93

75	Confrontation du Sondage carotté 15 et Pénétrromètre 7	93
76	Pénétrromètre N° 2.....	94
77	Données de base de Visual Topo, des deux dolines	95
78	Résultats du traitement de Visual Topo, des deux dolines	96
79	Carte du sous-sol des Douamis	96
80	Topographie souterraine des Douamis	97
81	Commentaires des coupes A, B, C, D, E et F de la carte du sous-sol	99
82	Erosion de la doline Ouest	103
83	Traitement d'images par Photoscan	104
84	Carte des affleurements sur Google Earth	105
85	carte des affleurements	106

Liste des Photographies

1	Photo des effondrements, prises le 27 Février 2009	54
2	Photo des effondrements, prises le 27 Février 2009	54
3	Photo des effondrements, prises le 27 Février 2009	54
4	Carottier simple	68
5	Couronne et carotte	68
6	Prélèvement et récupération des carottes	69
7	Récupération des carottes	69
8	Etiquetage des carottes	70
9	Etiquetage, paraffinage et mise dans les caisses	70
10	Magasins et maisons effondrés	76
11	Maisons effondrées	76
12	Maisons et biens engloutis par une cavité, maisons fissurées	76
13	Edition d'Echourouk du samedi 28.02.2009	76
14	Photographie montrant le miroir de faille, vide,	79
15	Photographie montrant les accidents dérivés	79
16	Osculation de la zone sinistrée	82
17	Osculation de la zone sinistrée.....	82
18	Carottier double DAIHATSU au Quartier Harkat Bouziane	88
19	Prise de notes au sous-sol	95
20	Premier gouffre présentant une faille de direction NE-SW	98
21	Brèches tectoniques du deuxième gouffre	98
22	Colonne de sédiment sous le toit.....	100
23	Miroir de la faille NW-SE, brèches visible sur plus de 30m	100
24	Bord de la doline Ouest en 2013	101
25	Bord de la doline W en 2014.....	102
26	Bord de la doline W en 2014.....	102

INTRODUCTION

Les instabilités liées à la présence des cavités souterraines génèrent des désordres qui peuvent se propager jusqu'à la surface. Les conséquences peuvent être très graves: ruines des constructions et des ouvrages de génie civil, pertes humaines et dégâts matériels, en cas de phénomène brutal.

La recherche de cavités s'inscrit dans une politique de prévention des risques naturels et technologiques. Elle a pour objectif de déterminer les zones sous cavées susceptibles de provoquer des dégâts en surface.

La détection, des cavités karstiques, nécessite la mise en place d'un dispositif gouvernemental, à l'amont, lors des travaux d'aménagement du territoire et lors des projets d'extension des agglomérations, qui se font, actuellement, de manière primitive et aléatoire au vu et au su de toutes les autorités.

Ce travail, j'espère, présente une contribution à l'éclaircissement du phénomène survenu le 26 Février 2009 à Cheria (Wilaya de Tébessa) où des effondrements ont englouti des maisons et des magasins, causant affolement des habitants et des autorités qui n'ont fait que mettre en quarantaine le quartier sinistré.

Pour mettre au clair, ce phénomène, on s'est inspirés des recommandations de certains organismes compétents et réputés, en matière de stratégie de reconnaissances et moyens mis en œuvre pour la détection des cavités, mais le déficit des moyens matériels, nous a laissé piétiner un certain temps.

Ce travail s'articule sur quatre chapitres, où chacun présente des informations utiles pour l'étude du phénomène ;

Le premier chapitre est consacré au cadre physique du secteur d'étude, sa situation géographique, géomorphologie, géologie et travaux de géophysiques réalisées dans la région.

Le deuxième chapitre est consacré à l'hydrologie, l'hydroclimatologie et l'hydrogéologie, à l'étude de la karstification et l'inventaire des faits cernés, qui concernent la région de Cheria.

Le troisième chapitre est dédié à la stratégie de reconnaissance pour la détection des cavités et la présentation des différentes techniques utilisées lors de la réalisation de ce travail, et les moyens mis en œuvre, à savoir : la tomographie électrique, le radar géologique, le sondage carotté, essai de pénétration standard, la spéléologie, et la photogrammétrie.

Le quatrième chapitre est consacré à la présentation, l'étude et la confrontation des différents résultats obtenus, à la discussion des résultats et le choix des moyens, à usage futur, les plus adéquats, les plus utiles et les moins coûteux.

CARACTERISTIQUES
PHYSIQUES

I. CADRE GENERAL

1. Situation géographique

Le plateau de Chéria fait partie du bassin versant du Chott-Melghir, il est situé à 47 km au sud-ouest de la ville de Tébessa (Fig.01). Il est de forme grossièrement triangulaire dont les rebords sont constitués des monts culminants de Dj.Doukkane à 1550m et M'Taguinaro 1712m, il occupe une superficie d'environ 722 km², limité au Nord par le fossé d'effondrement Hammamet-Tébessa-Morsott, à l'Est par le sous bassin versant d'El Malabiod, à l'Ouest par le bassin d'Ed Dalâa et au Sud par le bassin de Tlidjen.

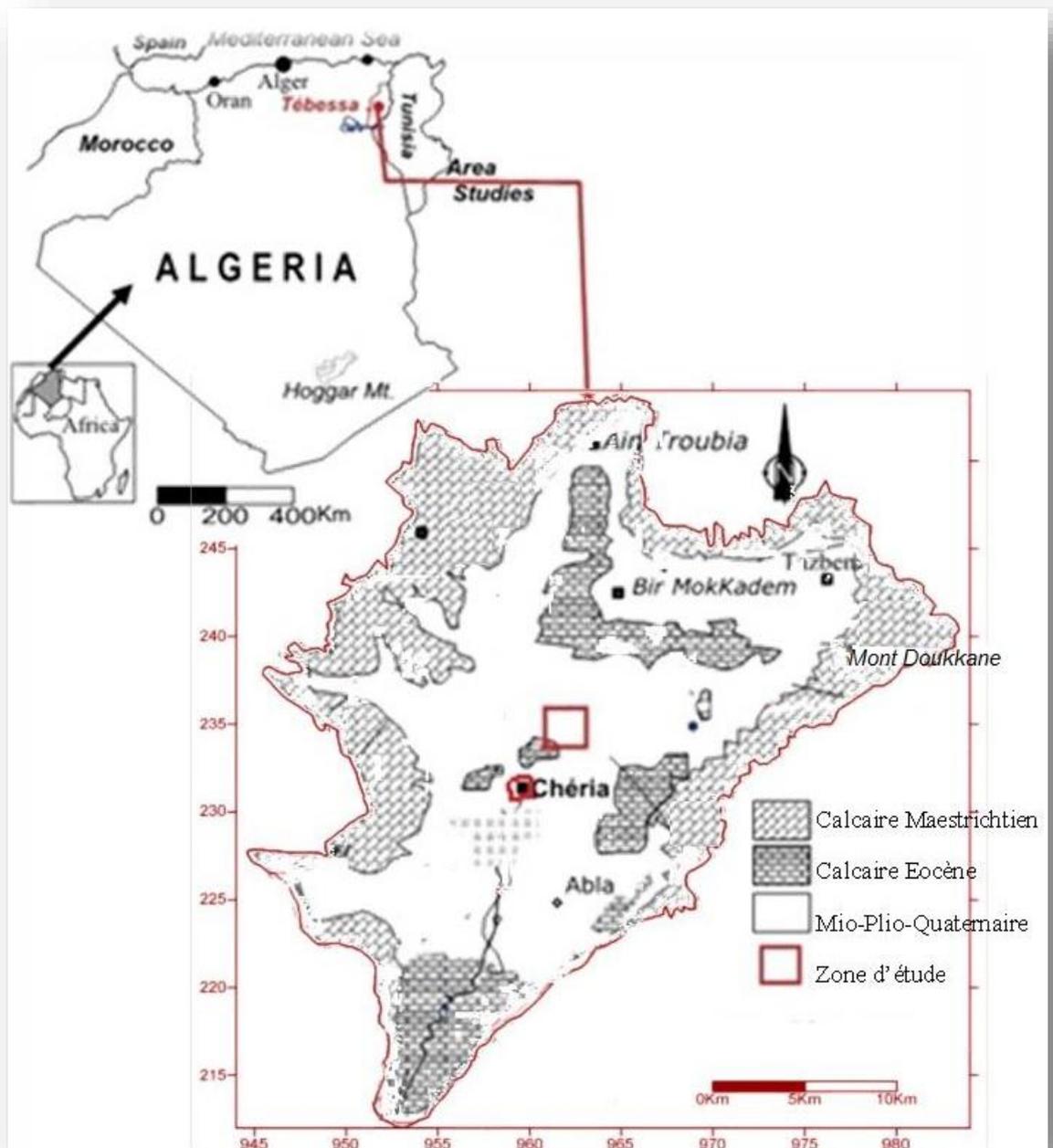


Figure01: Situation Géographique

2. La population

La population de la région de Chéria s'élève à environ 87.000 habitants d'après le rapport de la Direction de la Programmation et du Suivi du Budget (DPSB ex DPAT) d'Octobre 2017, avec une densité de 325 habitants/ km². Cette population est concentrée à la ville de Chéria, à BirMokkadem, M'Chentel, OuledSaïdane et à Abla, où se trouvent, essentiellement développées, les activités d'élevage, agricoles et agro-alimentaires.

3. Activités économiques et industrie

La zone, en question, appartient au domaine sub-saharien. Ce qui limite l'épanouissement de la végétation, donnant un paysage herbacé. Ce qui a fait développer dans la région l'activité de l'élevage ovin et bovin, qui sont l'activité la plus importante, dans la région, résultant un cheptel de réputation nationale.

Les surfaces agricoles utiles sont estimées à 27.126 hectares (87% de la surface totale in DPSB 2017). La céréaliculture représente l'activité principale de la commune. Le volume d'eau nécessaire pour l'irrigation s'élève à 5,99.10⁶ m³ d'après des récentes enquêtes sur la région. Les habitants procèdent à la culture de quelques légumes essentiellement pomme de terre, salade, fève.....etc, dont l'irrigation est assurée grâce aux eaux souterraines.

La culture des céréales est conditionnée par les précipitations qui sont très aléatoires. La principale ressource de la région provient de l'élevage qui est la principale activité de l'ensemble du secteur.

Le secteur industriel est moins important dans la région. Sauf, pour une petite industrie transformatrice des produits alimentaires pour bétail.

La végétation naturelle, à base de pin d'Alep, est développée au nord de la zone d'étude et devient de plus en plus rare vers le sud jusqu'à disparition en limite sud au Dj Allouchetes. Par opposition avec les plaines de Mellègue et les monts de Tébéssa, les montagnes, bordant la plaine de Chéria, se singularise, tout d'abord, par l'absence, presque totale, de végétation arbustive, ne font, vraiment exception, que les mont Est qui sont recouverts d'une forêt de pins.

On peut également citer les genévriers épais du Djebel Krâa et surtout des basses pentes du Djebel Arour. Partout, ailleurs, la roche ou les sols affleurent entre les touffes d'une steppe basse où domine l'Alfa

4. Les sources

Elles sont, principalement, localisées au contact entre les formations du Crétacé et celles du Danien et Campanien, au nord et au sud tel que la source de Salhi ben taeib et Ain Kadi. Actuellement, elles sont à sec, sauf pour celle de Ain Babouche au Sud et Ain Troubia au Nord.

II. GEOLOGIE

1. INTRODUCTION

L'étude géologique détaillée de la région ne fait pas l'objet de cette thèse. Nous nous contenterons de reprendre les anciens travaux, effectués par les différents auteurs tels que: Lambert et Durozoy (1947), Gaud (1977), Ricard (1979), qui sont bien cernés par la thèse de doctorat de F. BAALI, intitulée, Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région karstique de Chéria. W.Tébessa, (2007).

Au quatrième chapitre, nous avons essayé de préciser les contours géologiques et l'état de la fracturation, en utilisant la technique de la photogrammétrie.

2. ASPECT GEOMORPHOLOGIQUE

Un rappel du contexte géomorphologique est cependant nécessaire afin de mieux comprendre l'aspect géologique et structural de la région.

La région de Cheria est un synclinal orienté NE-SW, qui supporte un bassin versant avec une forme générale, grossièrement, triangulaire, dont la pointe est orientée vers le Sud Sud-Ouest. Le pourtour du bassin est limité par des chaînes de montagnes continues, à peine coupé de cols peu entaillés. Au Sud ces dernières convergent en entonnoir et laisse, entre elles, une vallée étroite. Le sommet le plus culminant est Dj. Doukkane à 1685 m, les flancs de ces montagnes présentent des pentes accentuées qui vont, en s'adoucisant, dans la plaine jusqu'à se confondre avec l'inclinaison générale de celle-ci. Descendant du Nord et du Nord-Est vers le Sud. Une chaîne de monts et de collines s'étend, à l'Est du plateau Nord, en forme d'arc, depuis le Dj. Tazbent (1418m) jusqu'à Kef Méchouar (1135m), en une série d'élévation de moins en moins hautes, au-dessus du plateau qui sont Draa Krerafi (1200 m), les collines de BirMokkadem, Kef hadjeraMenab et Drâa Douamis.

Le bassin présente, également, deux parties nettement séparées à hauteur de la ville de Chéria, en deux parties distinctes ; Celle du Nord est large et étendue, celle du Sud est de moindre surface.

Ceci est dû, probablement, à une phase qui a rejoué dont les contraintes sont orientées NE – SW, comme le montre les profils géo électriques réalisées par les sociétés « Compagnie Générale de Géophysique, 1970 » et « TRANSAKTA-GEOMETAL, 1971 ».

3. STRATIGRAPHIE

Si nous nous référons aux études suscitées ; La série stratigraphique peut être établie de la manière suivantes, des niveaux les plus bas aux niveaux les plus récent (Fig. 02):

3.1 Secondaire

3.1. a Crétacé supérieur

La période du crétacé est caractérisée par de puissants dépôts marneux, témoins d'une sédimentation vaseuse généralisée.

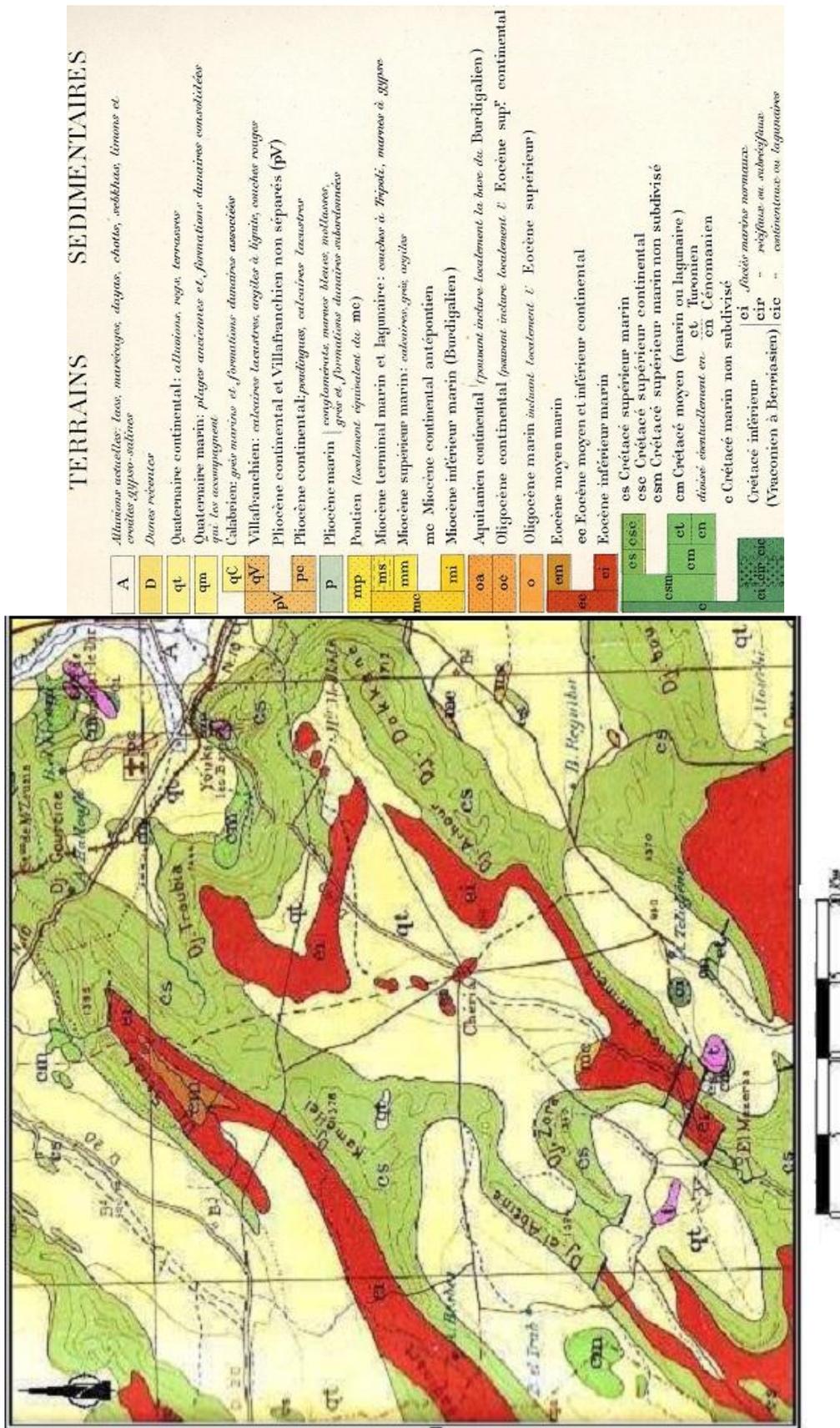


Figure.02 : Extrait de la carte géologique de la région de Cheria, à partir de la carte géologique de l'Algérie au 1 / 1.000.000^e

La fin de l'époque est marquée par une sédimentation essentiellement calcaire: Calcaires blancs à *Inoceramus regularis*.

3.1. a.1 Turonien

Affleure au Nord (Dj Es Senn, Dj Gaâga) et au Sud (Outa Oum Khaled) sous forme des calcaires beiges, roses à patine, parfois sombres, et piquetés d'hématite.

3.1. a.2 Sénonien supérieur

3.1. a.2.1 Campanien

D'après R. LAFFITTE(1956) ; il s'agit de marnes grises en profondeur, verdâtres à la surface, altérées et contiennent de nombreux cristaux de gypse, à la surface, qui provenaient de la décomposition des pyrites. Elles se localisent dans la plus grande bordure externe du bourrelet montagneux limitant le plateau de Chéria, d'une épaisseur variant entre 300 et 400m.

3.1. a.2.2 Maestrichtien

Des calcaires blancs crayeux surmonte ces marnes, subissant de notables variations de faciès du Nord au Sud. Les bancs supérieurs se chargent en silex et présentent une grande analogie de faciès avec certains niveaux de l'Éocène moyen. L'épaisseur peut être estimée à 250m ; les forages BirDroudj, J8-9 et F2 les ont traversés.

3.2 Tertiaire

3.2. a Éocène moyen inférieur

3.2. a.1 Danien-Eocène inférieur

Aux calcaires du Maestrichtien succèdent des dépôts marneux très argileux, noirâtres d'une épaisseur de 100 à 150m, particulièrement développées dans le mont de Tazbentau Nord-Est (fig. 2). Au sud, leurs épaisseurs deviennent très difficiles à évaluer mais elles ne dépassent pas les vingtaines de mètres et passent, latéralement, à des calcaires crayeux à silex.

3.2. a.2 Thanétien

Des formations lumachelliques calcaires et marneuses, affleurent au Sud, et sur les bordures des anticlinaux de Telidjene.

3.2. a.3 Ypresien

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

3.2. a.4 Lutétien

Un puissant système lagunaire subsident de calcaires à gypse, blanchâtres fragiles. Cas de l'affaissement des Douamis et l'affleurement de BirTouil.

3.2.b. Mio-Pliocène

Il est discordant et transgressif sur les calcaires de l'éocène moyen. Constitué, de bas en haut, par des alternances d'argiles gypseuses et de lentilles de sable et des sables siliceux jaunes. L'épaisseur moyenne est d'environ 60m.

3.3. Quaternaire

Affleure dans les parties Nord, aux abords de Dj Gagâa et Tazbent, y forme des plateaux inclinés vers le Sud-Ouest, consolidé, à la surface, par une croûte calcaire et découpé par l'érosion actuelle. En aval de Chéria, il est représenté par des cailloutis fluviaux formant un vaste plateau limité au Sud-Ouest par le talus DraâFidhEl Mahri, à l'Est par le marécage de Chéria.

3.3.a Les alluvions actuelles

3.3.a.1 Alluvions de remplissage

Constitue le marécage de Chéria en alternance avec des horizons argileux. Ce sont des cailloutis et petits galets enrobés dans un ciment plus ou moins argileux, elles peuvent atteindre une puissance, au minimum, de 50m.

3.3.a.2 Alluvions de piedmont

Elles sont constituées par des cailloutis très propres, elles occupent toute la périphérie de la plaine de Chéria. Elles peuvent atteindre des épaisseurs importantes au pied de Dj Doukkane

3.3.a.3 Les élévations

Ils sont constitués par des esquilles plates dont la taille peut varier entre la dimension de la main et celle de l'angle, provenant du gel sur les calcaires maestrichtiens. Leur faible épaisseur est, cependant, inversement proportionnelle à leur rôle hydrologique (Lambert 1946).

4. TECTONIQUE

De point de vue tectonique, la région a subi deux importantes phases ; La première est post-miocène ; La seconde est post-pontienne. Qu'on peut résumer comme suit :

Le plateau de Chéria est formé par deux cuvettes synclinales accolées au niveau de Chéria. La cuvette amont a tendance à se dégiter sur sa bordure Nord-Est ; La cuvette avale se prolonge vers le Sud-Ouest par le synclinal, compris, entre les dômes du HemimatQuerra et HemimatGuibeur ; Ces charnières synclinales sont allongées suivant des directions NE -

SW. Une autre direction tectonique ; sensiblement orthogonale à la première, se traduit par de grandes failles et des plis peu accusés sur le plateau (fig.04). Un de ces plissements partage, en deux, l'aire synclinale de Chéria, c'est celui qui va du Dj.Allouchette au Dj.Krah (fig.05, C.G.G 1970).

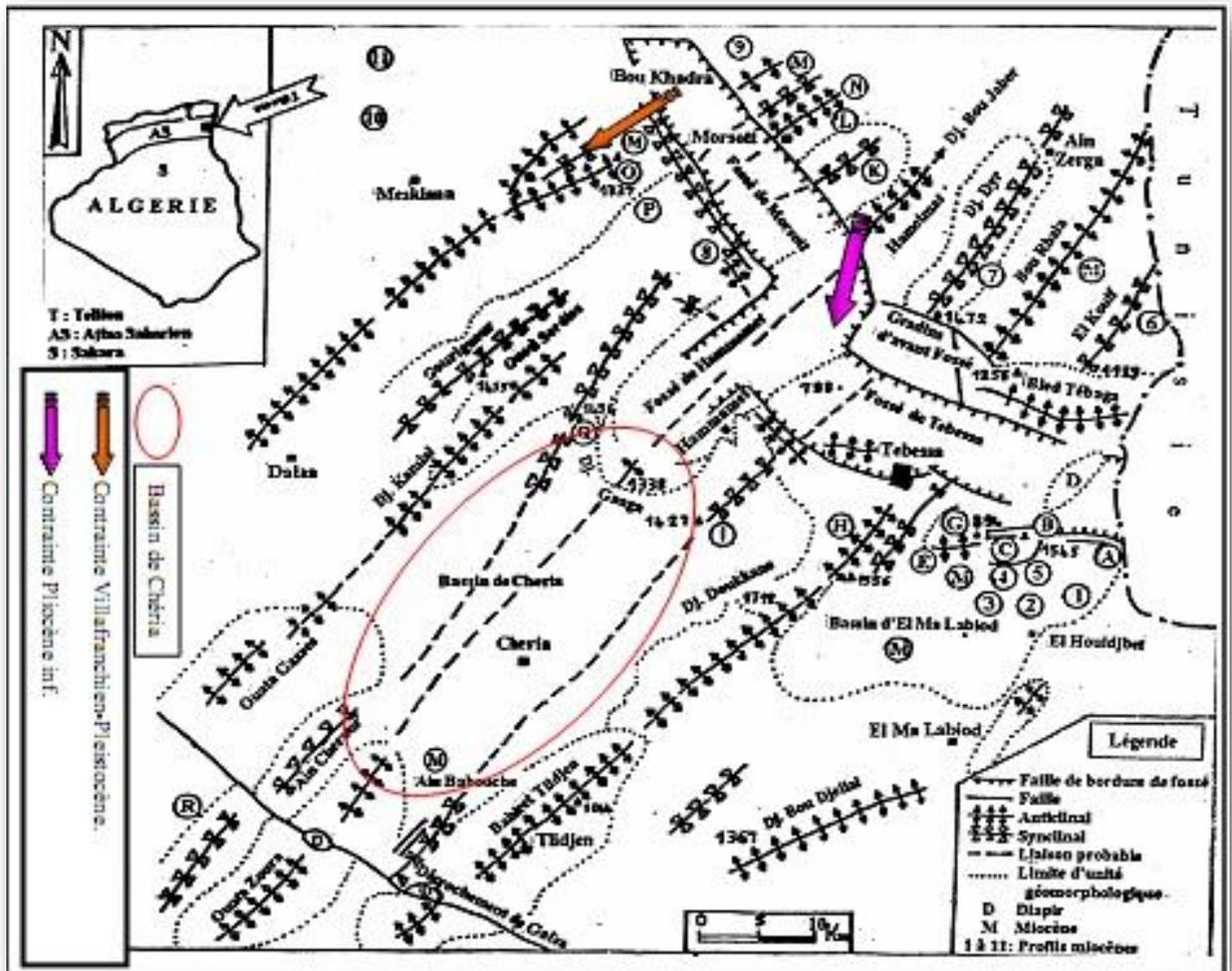


Figure.03 : Esquisse tectonique de la région de Tébessa. (N. DEFAFLIA. 2015)

5. PALEONTOLOGIE

Les niveaux phosphatés de l'éocène sont, comme ceux du maestrichtien, très riches en débris de vertébrés. Ils forment dans les régions du Sud Constantinois et du Sud Tunisien, d'importants gisements activement exploités. L'âge de leurs dépôts s'étend du Montien au Lutétien supérieur.

L'Éocène et l'Oligocène n'ont pas, encore, dans leurs totalité, fourni des documents certains. Les faunes du Miocène inférieur et moyen ne sont, elles-mêmes, connues que très partiellement. Nous citerons, en ce qui concerne les niveaux les plus inférieurs du miocène ; Les dents de *Proboscidiens* assimilées à celles découvertes, dans la région de khenchela (Aurès) et rapprochée, par Gaudry, aux *Mastodonturicensis* Schinz, et celles trouvées en Kabylie par Depéret (1897) et qu'Osborne (1936) a attribué au genre *Phiomia*.

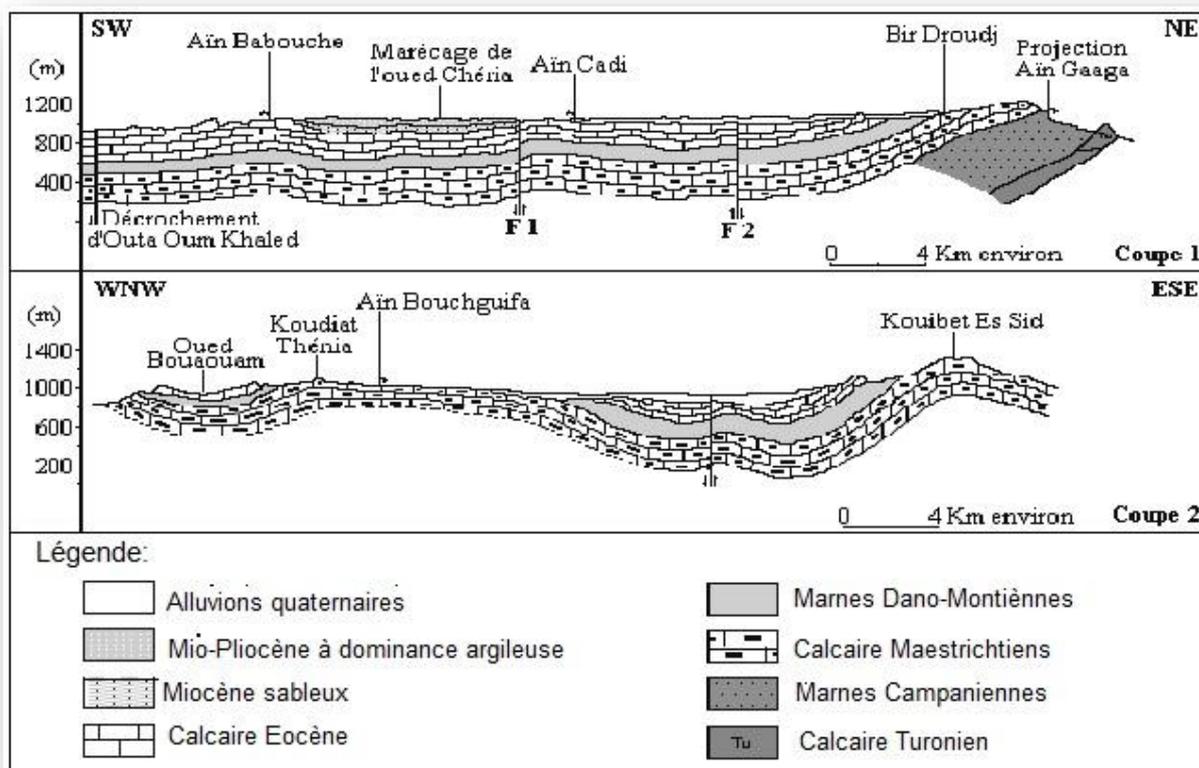


Figure.04 : Coupes géologiques du plateau de Chéria. (H. CHAFFAI et al, 2006)

III. TRAVAUX ANTERIEURS DE GEOPHYSIQUE

L'étude géophysique, dans la région de Chéria, est basée, principalement, sur la prospection géo électrique menée par la Société Générale de Géophysique 1970 (fig.05), sans oublier l'étude gravimétrique établie par Zerdazi (in BAALI 2007) sur la carte 205 d'El Hammamet, partie Nord du Bassin, ainsi que les diagraphies de quelques forages, réalisés par la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Annaba (D.H.W), de 1973 à 1977.

1. PROSPECTION GEOELECTRIQUE

La prospection géoélectrique suscitée recouvre une superficie de 790 km²(fig.5). Représentée par 291 sondages électriques, disposés suivants des profils Nord Ouest – Sud Est, distants, eux-mêmes, de 1 km. Lors de cette campagne, les lignes d'injection AB étaient de 2000m (68 S.E), 3000 m (64 S.E), 4000 m (158 S.E), (D'après le Rapport Géophysique Modifié. CGG. 1970).

1.1 Interprétation des résultats des sondages

Vu la difficulté d'avoir les données brutes, pour une éventuelle réinterprétation, on va se limiter à reprendre les anciennes interprétations.

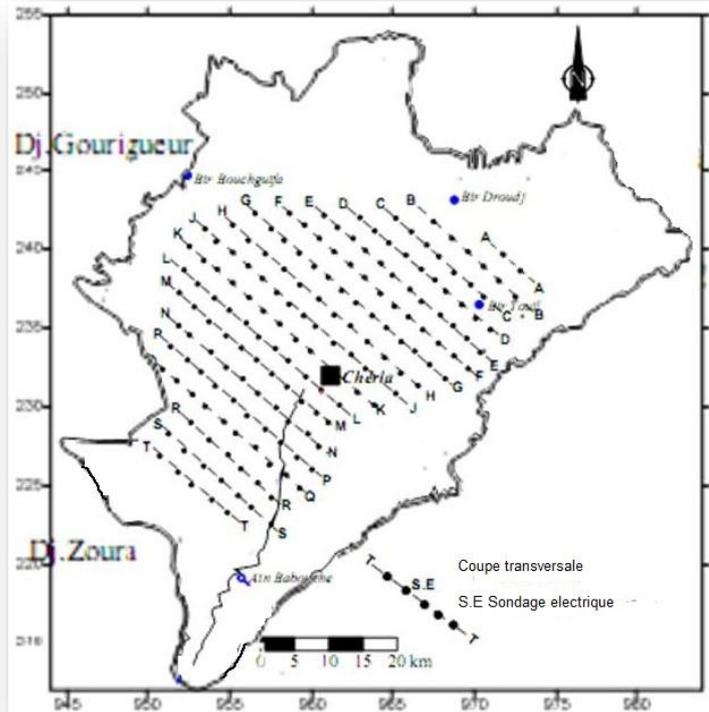


Figure 05: Carte des Sondages électriques C.G.G 1970

1.2. Carte d'iso résistivités en ligne AB=1000m (prof d'investigation 200m)

Cette carte, (fig.06) est caractérisée par une plage conductrice (moins de 20 ohm-m) étalée du nord au sud et qui correspond à la remontée des marnes daniennes, entre les calcaires de l'Eocène et du Maestrichtien (Figures.06 et 04).

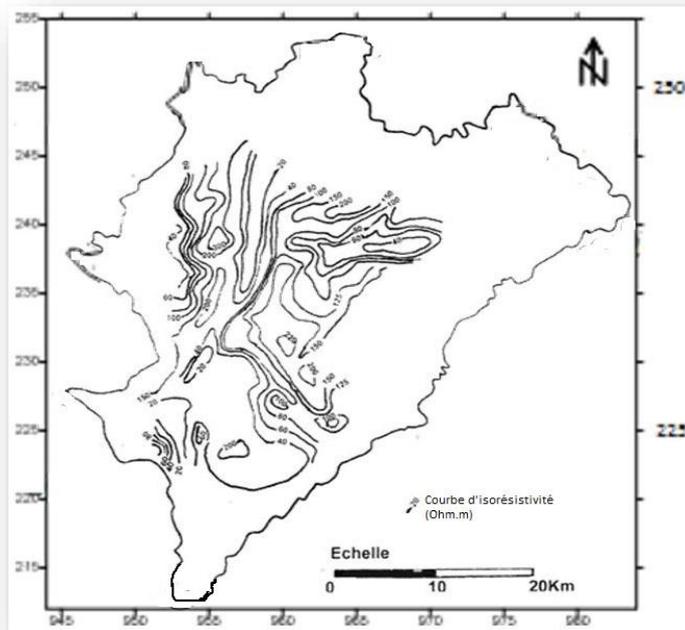


Figure 06: Carte d'iso résistivités en ligne AB = 1000m (C.G.G 1970)

Plus à l'ouest, on note la remontée des calcaires maestrichtiens, très résistants, et encore, plus à l'ouest, les marnes campaniennes se traduisant par la chute brutale des résistivités.

Cette carte limite, bien, les diverses profondeurs des couches. Elle met, d'autre part, en évidence, deux anomalies qui intéressent semble-t-il l'allure des calcaires éocènes sous le recouvrement.

Le fort gradient, des courbes de résistivités, au NordOuest (entre les S.E. DE8 et E9, CD, 4D9, C4 et CD5) peut représenter un accident, avec approfondissement vers le Nord des calcaires éocènes. Cet accident pourrait se prolonger au travers du bassin, vers l'Ouest, le dessin des courbes suggère, également, un affaissement Nord du Maestrichtien et du Campanien.

Au Sud, un gradient des courbes orienté NordOuest semble correspondre à un enfoncement brusque des calcaires éocènes vers le Sud, avec épaissement du remplissage miocène. Cet accident probable borderait, au sud, les affleurements de Chéria.

La carte traduit, ainsi, l'allure des calcaires éocènes. La partie Est, correspond aux zones les plus conductrices, qui sont les zones, les plus profondes. L'axe du bassin éocène est orienté, d'abord dans la partie nord du bassin suivant une direction Est – Ouest, puis prenait, ensuite, la direction NNE-SSW (figures 2 et 3).

1.3 Toit du substratum résistant

À l'Est, le toit résistant correspond aux calcaires éocènes ; À l'Ouest, il correspond aux calcaires maestrichtiens ; Il est, dans ces grandes lignes, identique à la carte des résistivités. Les accidents F1 et F2 y sont également reportés. L'accident F1 divise le bassin en deux structures bien distinctes (fig.04, fig.05, fig.06, fig.09 et fig.10) :

- L'une ; Au Nord, où le synclinal de Chéria, présente une direction NE – SW. L'accident F2 recoupe, transversalement, le synclinal, dans sa partie Nord, en approfondissant, les calcaires vers le Nord, de sorte qu'un synclinal secondaire apparaîtrait avec une direction Est- Ouest.
- L'autre ; Au Sud de l'accident F1, elle se décompose en deux bassins ; Le premier est centré sur les S.E. NP3 et P3, qui est le prolongement du synclinal de l'Oued El Ebetine. L'autre sur les S.E. RS4, RS5 et R6, où les calcaires atteignent 250 – 300m de profondeur. Il est le prolongement du synclinal de Dj Babouche. Entre les deux, un léger relèvement des calcaires éocènes (S.E. QR3, Q4, PQ5, P5 et MN9) représente le prolongement, rapidement amorti, de l'anticlinal médian d'El OutaGuibeur. À l'Ouest de cette zone, les calcaires éocènes se distinguent mal, des niveaux résistants du recouvrement et des calcaires maestrichtiens sous-jacents. Ce qui fait que dans cette zone leurs limites Ouestne sont pas claires, ainsi que leurs profondeurs, qui sont, difficilement interprétables.

Au-delà, de la limite des calcaires éocènes, dans la partie Ouest, le prolongement des calcaires maestrichtiens est assez clair, bien que leurs profondeurs soient considérées sous réserves, notamment en certains points de confusions entre les argiles miocènes et les marnes daniennes, qui les recouvrent. La surface d'érosion des calcaires maestrichtiens est d'une faible

profondeur et touche une grande superficie dans la partie NordOuest ; ce qui rend, difficile, voire impossible, la mise en évidence des éventuels accidents qui peuvent affecter ces calcaires. Ce n'est que l'étude du mur, de cette formation, qui nous a, éventuellement, renseigné sur ce point.

1.4. Interprétation des coupes géoélectriques

L'observation des coupes géoélectriques a permis la conclusion des résultats suivants:

1.4.1 Formations anté-miocènes

Dans la zone Nord, les coupes de B à L sont particulièrement simples. Elles traduisent bien la structure synclinale de l'éocène, du Danien et du Maestrichtien. Dans cette zone, les épaisseurs sont respectivement constantes (200 à 250m) pour des résistivités de l'ordre de 200 à 300 ohm.m.(fig.07).

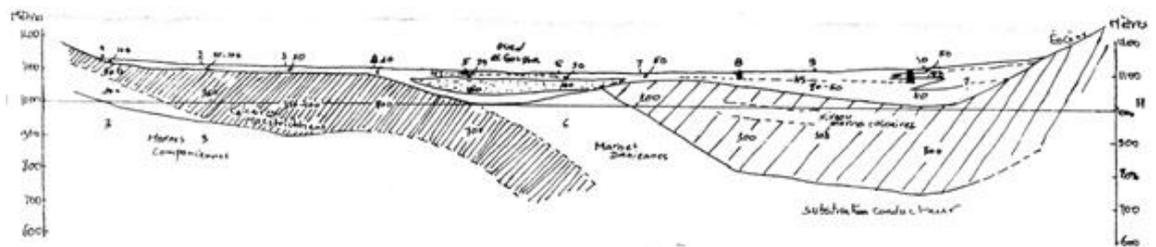


Figure 07 : Coupe géo électrique. Profil H

Les épaisseurs du Danien semblent plus variables et diminuent du Nord vers le Sud (400 à 250m).

L'épaisseur moyenne des calcaires maestrichtiens semble être de l'ordre de 250m, mais elle est difficile à vérifier (fig. 08), d'autant plus, qu'ils comportent, souvent, une partie sèche très résistante. Ils sont érodés dans la partie Ouest.

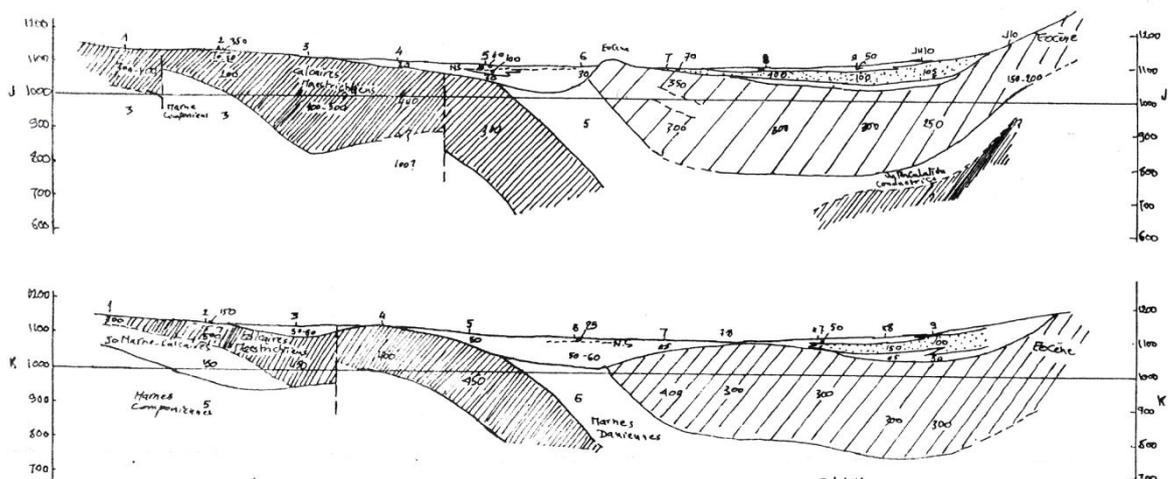


Figure08 : Coupes géo électriques J et K

Les calcaires se terminent en biseaux vers l'Ouest, (profil N) et leurs épaisseurs sont parfois inférieures à 100 m (figure. 09). Les marnes daniennes se trouvent réduites, en épaisseur, pour atteindre 100 m, ce qui peut paraître très faible, d'autant plus, qu'au Sud elles sont de l'ordre de 200 m, sur les profils Set T.

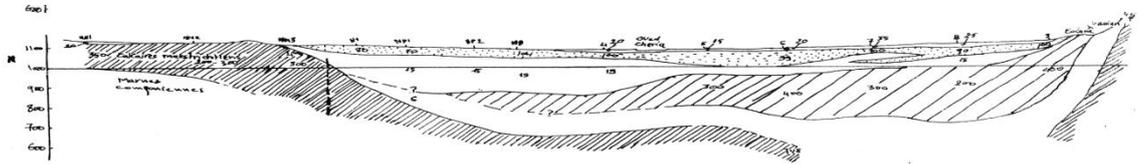


Figure09 : Coupe géo électrique N

1.4.2. Recouvrement

Le remplissage continental, dans la partie Nord, est constitué généralement de trois niveaux :

- Un niveau superficiel; Dont la résistivité est, en général, comprise entre 20 et 40 ohm.m.
- Un niveau résistant (70 – 100 ohm.m); Correspondant à des éléments grossiers (galets plus ou moins symétriques). Ce niveau est développé, d'avantage, le long de la bordure Est du bassin, et semble provenir de la destruction du massif (profils D, E, F, G et H). Son épaisseur pourrait atteindre 30 – 40 m (fig. 10).

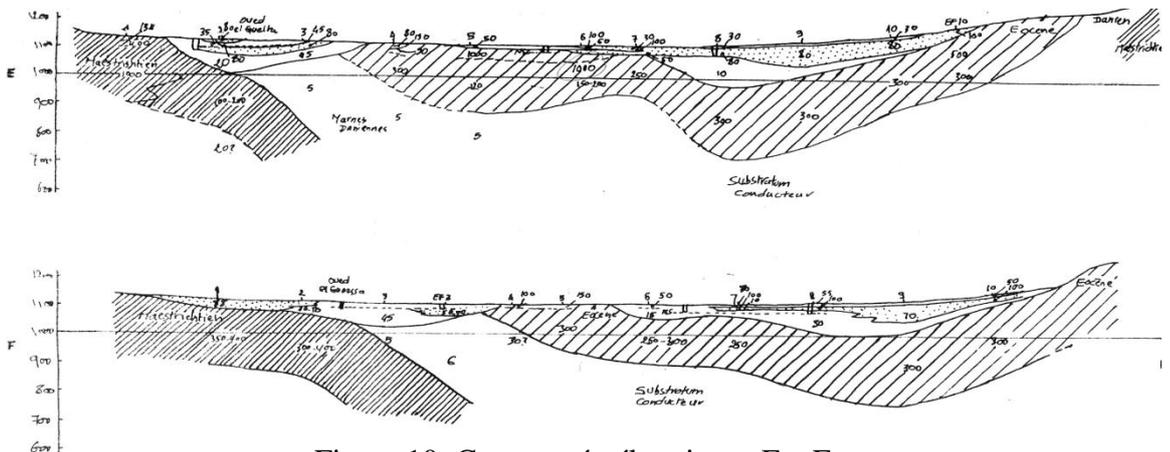


Figure 10: Coupes géo électriques E et F

- Un troisième niveau ; Plus conducteur (10-20 ohm.m), souvent épais, constitue le remplissage principal, au cœur du synclinal. Le remplissage des plaines dépasse parfois les cent mètres (Oued El Guelta, El Goussa à l'Ouest). En surface, il existe, également, un niveau grossier. Au niveau du sondage électrique M5, le

niveau résistant (150 ohm.m), peut être attribué, aussi, à un remplissage alluvionnaire (fig.11), ou à des éboulis provenant des calcaires maestrichtiens.

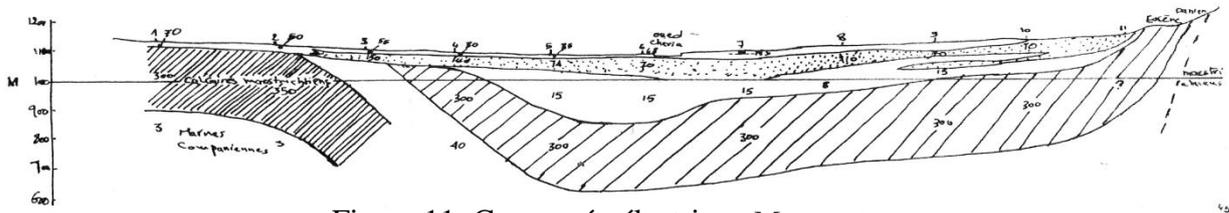


Figure 11: Coupe géo électrique M

Dans la partie Sud du bassin, le remplissage Mio-Pliocène prend de l'importance (formations argileuses). Mais, on note que, souvent, en profondeur, apparaît un autre niveau résistant, dont l'interprétation en termes de profondeur et d'épaisseur est assez délicate. Ce dernier serait particulièrement important (P3, Q3, Q7, QR7, R1, R2, R4 à R7, S1, S2, S5, S6, T3). Il se situerait en gros vers 100 m de profondeur et aurait une cinquantaine de mètres d'épaisseur (figure. 12).

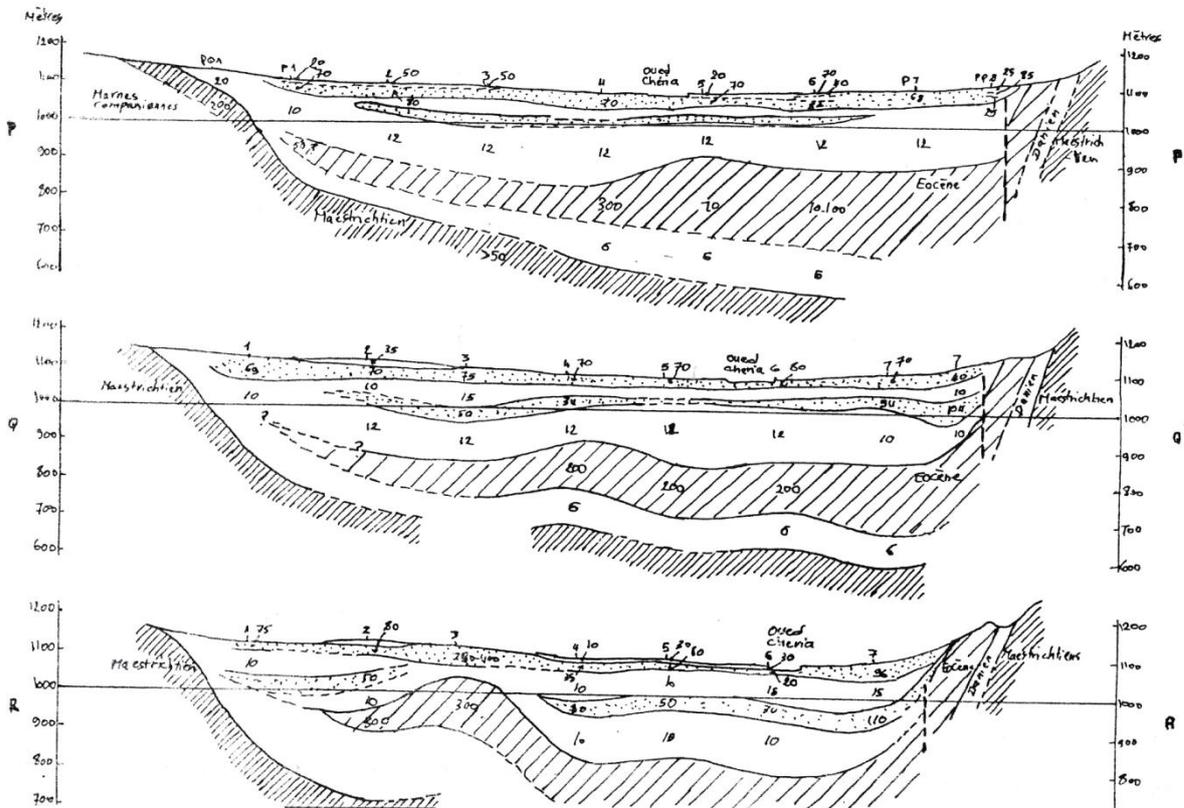


Figure 12 : Coupes géo électriques P, Q et R

Une formation plus compacte et plus dense (Dj Gâaga, Dj Bourouh, Dj Es Stah et Dj Bouziane) où la ligne de fort gradient, délimitant au Sud cette zone, illustre un contact anormal.

Une anomalie fortement négative, de forme semi-ovale, pas complètement délimitée au Sud, avec un axe, presque, Est - Ouest, occupe la moitié de la carte. Cette anomalie est due à une densité plus faible des sédiments quaternaires remplissant la plaine, qui peuvent atteindre une centaine de mètres.

IV. ETUDE DE LA FISSURATION ET DE LA KARSTIFICATION

1. ETUDE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DE LA FRACTURATION

La connaissance de la géométrie de la roche carbonatée est d'une grande importance dans l'étude des aquifères des milieux fissurés. Celle-ci conditionne, en effet, les travaux des hydrogéologues praticiens.

Dans les roches carbonatées, l'écoulement est fortement conditionné par la fissuration. (L. KIRALY, 1972).

Certaines techniques sont employées, afin de connaître la structure des formations carbonatées. Tel que la quantification et statistiques directionnelles des discontinuités affectant le milieu, par reconnaissance de terrain et par photo-interprétation, interprétation des champs de fractures à l'aide de programmes statistiques, l'inventaire et mesure des microstructures et, finalement, le traitement statistique des données permettant de reconstituer les champs de contraintes.

Le manque des moyens et de la documentation, nécessaires (carte géologique détaillée, couverture complète par photosaériennes, absence de carrières et d'études structurales antérieures) a rendu notre tâche plus difficile.

Pour cela on a essayé de répondre à cette exigence primordiale par des mesures, sur terrain, des pendages, des directions et leurs longueurs sur les affleurements des calcaires éocènes.

1.1. Etude quantitative

1.1.1 Définition des paramètres quantitatifs

Les paramètres numériques peuvent exprimer l'importance de la fracturation et individualiser les familles directionnelles les unes par rapport aux autres.

Les mesures de la fracturation ont été faites dans les affleurements les plus importants des calcaires éocènes dans la région de BirTouil et Ain Troubia.

1.1.1.a. Méthodologie

Pour les deux sites d'affleurement des calcaires éocènes (fig.13) choisies, il a mesuré les paramètres suivants :

- Direction ;
- Pendage ;
- Longueur (estimée) ;
- Ouverture ;
- Remplissage ;

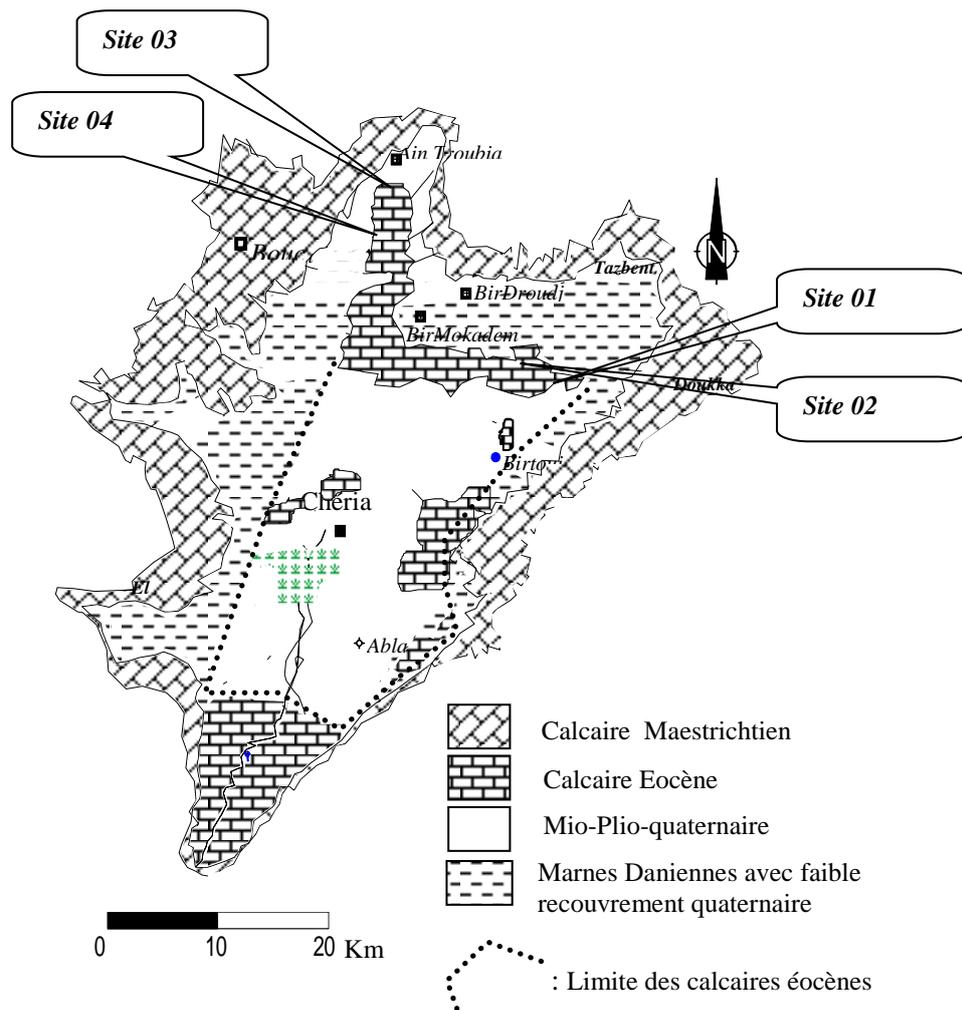


Fig.13: Carte des sites choisis pour l'étude de la fracturation
(In F.BAALI 2007)

1.1.1.b Analyse et interprétation

Les données ont été traitées par représentation graphique (projection sur le logiciel STERIO) pour déterminer les différentes familles directionnelles, qui sont représentées à la figure 14.

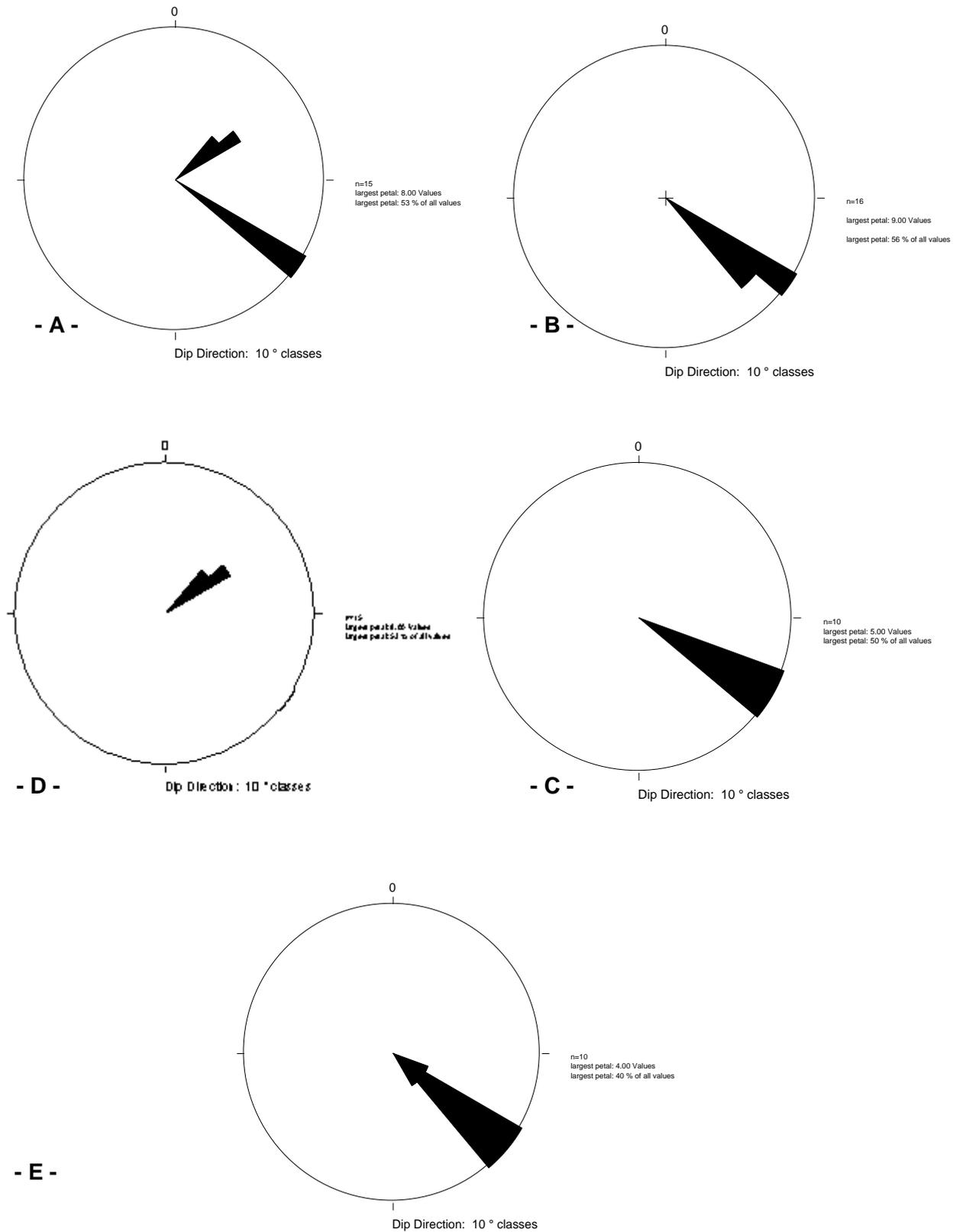


Fig. 14 : Projection stéréographique des familles directionnelles
 (In F.BAALI. 2007)

La représentation a été faite de sorte à donner une représentation globale (les différents secteurs sur la même rosace) et une représentation sectorielle (chaque secteur à part) ce qui a permis les interprétations suivantes :

Deux fourchettes de directions dominantes N40° -50°E (Fig. 13.A) et N130° -150°E, qui peuvent être expliquées comme suit :

La direction N130-150°E (Fig. 13. B, C et D), dont les mesures ont été effectuées aux affleurements de BirTouil, on peut les référencier parmi celles produites à partir des mouvements tangentiels (NW-SE) de compression qui déterminent le plissement général d'intensité moyenne. (M.HAMIMED, 2005)

La direction N40 - 50°E, représentée par la rosace D (Fig. 13.D), dont les mesures ont été effectuées aux affleurements des calcaires de Ain Troubia. Ces directions ont comme origine les failles Post-Miocène, qui ont donné naissance au fossé d'effondrement Tébessa-Morsott. Sachant que ces fractures sont situées à la limite Sud de ce dernier.

V. CONCLUSION

Les études géologiques et géophysiques évoquées, dans ce chapitre, ont confirmé la succession des formations suivantes dans le synclinal de Chéria : Les marnes d'âge Campanien, les calcaires du Maestrichtien, les marnes du Danien et les calcaires Eocènes recouverts par les alluvions et les sables du Mio - Plio-Quaternaire.

Les études géophysiques réalisées, par la C.G.G en 1970, montrent que le synclinal a rejoué en phase de compression N – S. Résultant un plissement de l'éocène, se traduisant par deux anomalies qui concernent, semble-t-il, l'allure des calcaires éocènes sous le recouvrement.

Une analyse sur terrain, des directions, des fissures et leurs représentations, sur les stéréogrammes, a montré deux directions dominantes la première est N40-50°E, affectant la région de Ain Troubia ; La deuxième est N130-140°E, affectant les affleurements de BirTouil (in Baali 2007).

L'étude de la fissuration et de la karstification a permis de localiser la fissuration dans les cent premiers mètres, et la karstification dans les cinquante premiers mètres. La karstification est liée à la fissuration, devenue chemin préférentiel d'écoulement, la karstification profite du fait que ces calcaires sont tufeux, au sommet et sont, par conséquent, plus vulnérables à l'altération chimique.

HYDROCLIMATOLOGIE

&

HYDROGEOLOGIE

I. HYDROLOGIE

Introduction

Le bassin versant a une fonction de collecteur, il recueille les pluies et les drainent, conformément au bilan hydrique, vers les zones les plus basses ou vers les nappes par infiltration. Pour l'étude de cette partie on s'est référé à la thèse du Docteur KhemissiCHAMEKH, intitulée « Influence de la fracturation sur l'évolution du réservoir karstique.Exemple des calcaires fissurés de la région de Cheria. (Nord - Est Algérien) », dont on a utilisé les données et on s'est permis de réinterpréter les résultats.

Le régime hydrographique, du plateau de Cheria, est très différent au Nord de ce qu'il est auSud. Au Nord les oueds convergent des bordures vers la cuvette avec un nombre important de talwegs, comme le montre la figure 15.

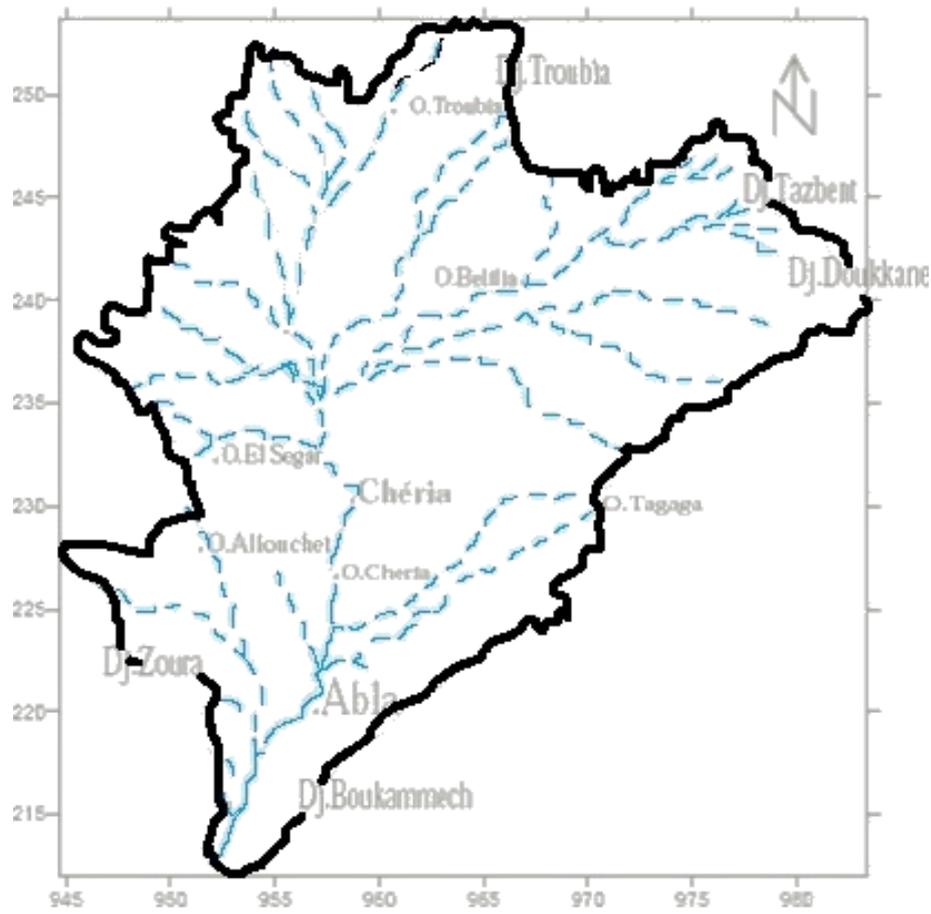


Figure 15: Réseau hydrographique du plateau de Chéria
(in BAALI 2007)

1. Paramètres physiques du Bassin Versant

Sur une carte à l'échelle topographique 1/250000^e, et par planimétrie; la superficie du bassin de Cheria est de l'ordre de 810 km². Le périmètre de ce bassin est 136 km. Ce qui donne un indice de compacité de 1.34, qui est supérieur à 1, donc le bassin versant de Cheria est de forme étalée, (In K. CHAMEKH. 2016)

La courbe hypsométrique de la région (fig.16) montre :

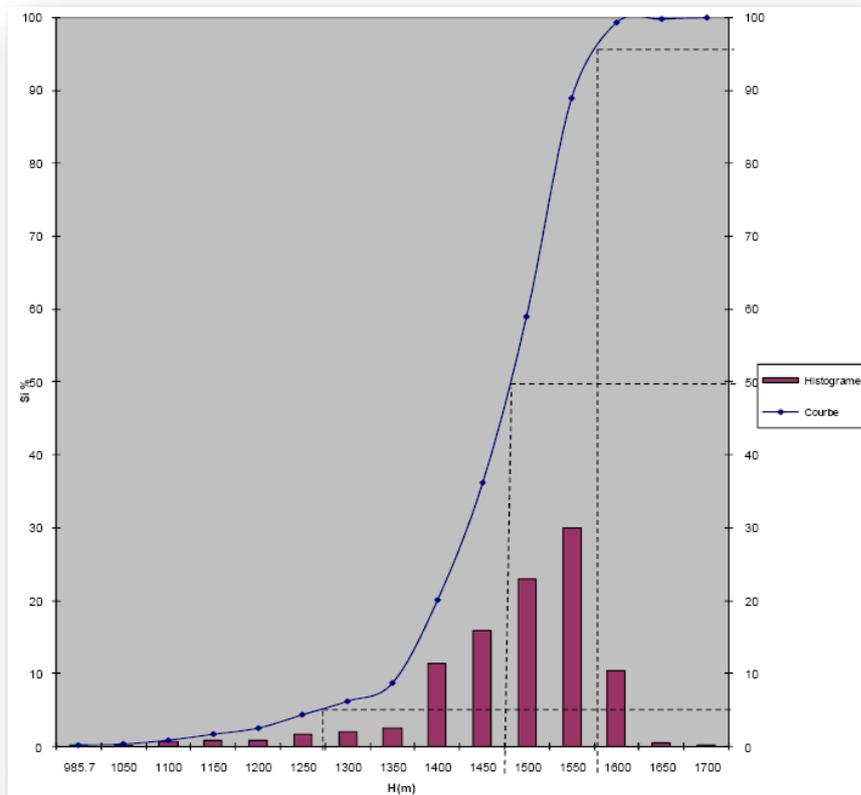


Figure 16: Courbe hypsométrique et des fréquences altimétriques (In K. CHAMEKH 2016)

- $H_5 = 1275\text{m}$;
- $H_{50} = 1475\text{m}$;
- $H_{95} = 1575\text{m}$;
- Les altitudes du bassin versant de Chéria varient entre 985m et 1712 m.

Le Rectangle équivalent est d'une longueur $L = 52,745\text{ km}$; sa largeur $I = 15,357\text{ km}$, (In K. CHAMEKH. 2016).

L'altitude médium correspond au point d'abscisse de la courbe hypsométrique, pour notre bassin elle est à l'altitude 1165 m(K.Chamekh 2016).

L'indice de pente I_p est de 0.9036 et l'indice de pente globale est de 5.40 m /km.

Les zones montagneuses sont situées aux contours, elles sont caractérisées par un relief très accidenté, où les pentes varient entre 12.5 %, et 40 %, elles s'étalent sur 30 % du bassin versant.

2. Le réseau hydrographique

L'Algérie orientale, au climat semi-aride très contrasté, est drainée par deux systèmes hydrographiques opposés, du Nord, où les oueds sont tributaires de la mer méditerranéenne et, au Sud où les oueds sont reliés aux dépressions fermées de l'intérieur.

Le réseau hydrographique représente l'ensemble des canaux naturels (permanents ou temporaires) par lesquels s'écoulent toutes les eaux (ruissellement, fonte de neige...etc.) et convergent, en un seul point de vidange du bassin versant (l'exutoire).

Le plateau de Cheria présente un régime hydraulique très différent du Nord au Sud :

1. Au Nord ; Les oueds convergent vers le centre du plateau et autour de lui, le nombre des ravins et des talwegs est important, sur les flancs inclinés, des montagnes, et à leurs pieds où, ils se perdent, pour la plupart dans les alluvions. Il s'agit d'un système dont le sens du drainage est NE-SW ou NW-SE, ou, au Nord central, un système N-S qui collecte les eaux des précipitations et les draine, jusqu'au centre du bassin.
2. Au Sud le drainage est, surtout, orienté N-S, présenté par l'oued Cheria, encadré par deux vallées affluentes importantes. A l'oued Allouchette, à l'Ouest et l'oued Tebaga à l'Est.

Au Sud de Cheria; L'Oued Cheria se présente, à cet effet, comme canal d'évacuation jusqu'à la plaine d'Outa-Oum Khaled résultant, ainsi, des marécages (K. CHAMEKH. 2016).

Conclusion

Les lignes des crêtes bordant, le bassin Cheria, sont bien distinguées comme en forme triangulaire, dont la base est au Nord allant de l'Est à l'Ouest, ce triangle est renversé présentant un troisième sommet au Sud. La région est une zone inondable, c'est-à-dire, elle est sensible aux crues, qui sont drainées par l'Oued Cheria, jouant le rôle de canal évacuateur.

L'Oued Cheria travaille du Nord au Sud, en collectant, au Nord du bassin, les affluents de directions NE-SW, N-S et NW-SE et, au Sud, les affluents de directions E-W et W-E.

II. CLIMATOLOGIE

Le climat de la région est semi - aride, avec un été chaud et sec prolongé et un hiver froid où des chutes de neige couvrent, fréquemment, les montagnes, pendant plusieurs jours, lors, des chutes de neige.

La région de Cheria est contrôlée par les stations pluviométriques de Cheria (Code 06.23.01, aux coordonnées (959.20, 231.10, 1087) où les données étaient enregistrées, de façon discontinue, depuis l'année 1946.

Les données, traitées par le Docteur K.CHAMEKH, dans sa thèse, et où il a comblé les lacunes et a corrigé, par plusieurs méthodes, en se référant aux stations de Ain Troubia,

Tébessa, BirTouila, BirMokadem et Ain Babouche, le tableau 01 montre les corrélations suivantes:

Tableau N°01: Matrice et valeurs de corrélation (In L.CHAMEKH.2016)

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

1. Etude des paramètres climatiques de la station deChéria

L'étude des paramètres climatiques est basée essentiellement sur les précipitations et la température.

1.1. Les précipitations

Les précipitations, jouent un rôle primordial dans l'alimentation du réseau hydrographique d'une région, ainsi, que son système aquifère. En plus elles forment un paramètre indispensable dans la réalisation des bilans hydriques.

1.2. Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers

Selon les données des précipitations mensuelles, représentées dans le tableau N°02 ; On remarque que la saison la plus pluvieuse est le printemps, avec des précipitations moyennes de 33 mm, et le mois le plus pluvieux est le mois de septembre, avec une précipitation moyenne 35.41 mm.

Tableau N° 02 : Moyennes mensuelles et trimestrielles interannuelles des précipitations de la station de Chéria. (1972 - 2014), (In K.CHAMEKH.2016).

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

Pour la station de Cheria, la figure 17, suivante, montre que l'année 1972 est une année exceptionnellement arrosée, où on a enregistré, 537 mm de Précipitations. Par contre, l'année 2004 était tellement sèche qu'on n'a enregistré que 106 mm.

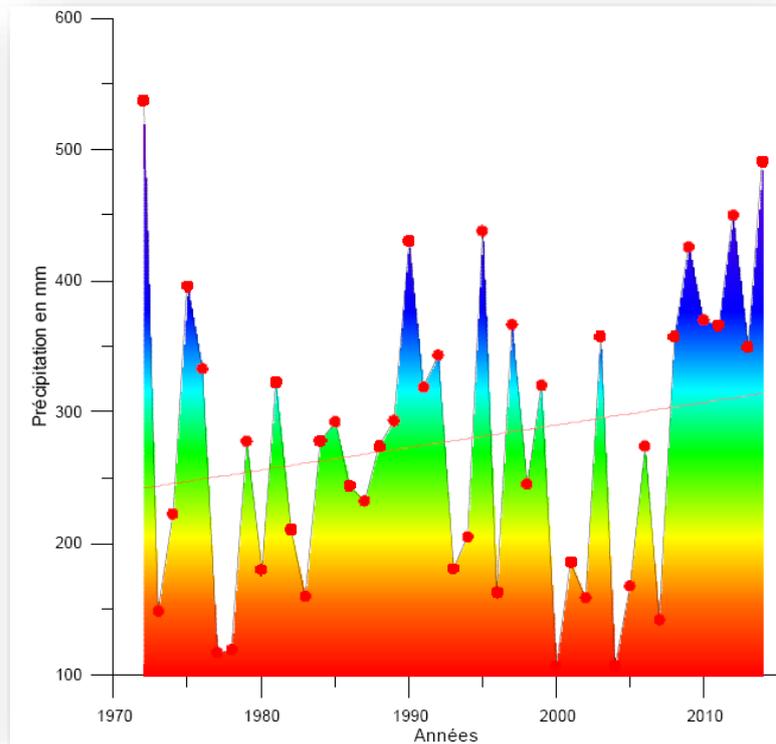


Figure 17 : Variation interannuelles des précipitations à la station de Chéria. (1972 – 2014). (In K.CHAMEKH. 2016)

1.3. Les températures

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

Nous avons utilisé les données de la station de Tébessa qui est la plus proche, de la région d'étude, avec une correction en fonction de l'altitude. Le manque des données des températures, du début de l'année 1972 jusqu'à l'année 1982, a engendré certaines difficultés pour le calcul du bilan hydrique; pour cela on a utilisé les données des précipitations et températures, de la même période d'enregistrement qui s'étale de 1982 jusqu'à 2014.

Les données des températures mensuelles corrigées, de la station de Tébessa, pour la période de 1982 à 2014 sont présentées au tableau suivant (tableau N° 03):

Les valeurs présentées, montrent:

Le mois le plus froid est le mois de janvier, avec une température moyenne interannuelle de 5.78°C, et le mois le plus chaud est le mois de juillet, avec une température moyenne interannuelle de 25.96°C.

Tableau 03 : Températures mensuelles interannuelles corrigées à la station de Chéria (1982 - 2014).

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

1.4. Régime climatique

Afin de préciser les conditions climatiques de la région de Cheria, nous avons utilisé plusieurs méthodes; la méthode d’Euverte, le Diagramme Pluviométrique de Gausson Bagnouls, l’Indice d’aridité de Martonne et le Diagramme d’Emberger.

1.4.1 Méthode d’Euverte

Le rapport précipitation / température établit mensuellement; permet de connaître l’évolution de l’humidité du sol, il permet, ainsi, de définir plusieurs régimes:

Tableau 04 : Régime climatique de la station de Chéria par la méthode d’Euverte. (1982 - 2014).

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

Où :

- $P / T < 1$: Régime très sec
- $1 < P / T < 2$: Régime sec
- $2 < P / T < 3$: Régime subhumide
- $P / T > 3$: Régime humide

1.4.2. Diagramme pluviothermique de Gausson et Bagnouls

On utilise cette méthode pour déterminer la période sèche et la période humide. Pour Gausson et Bagnouls, un climat sec est celui où la totalité des précipitations exprimées en (mm) est inférieure ou égale au double des températures moyennes ($P \leq 2T$).

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

La superposition de la courbe des précipitations et la courbe des températures mensuelles dans un même diagramme, nous conduit à l'établissement d'un diagramme qu'on appelle Digramme Pluviothermique, le diagramme établi, pour la région est représentée par la figure 18.

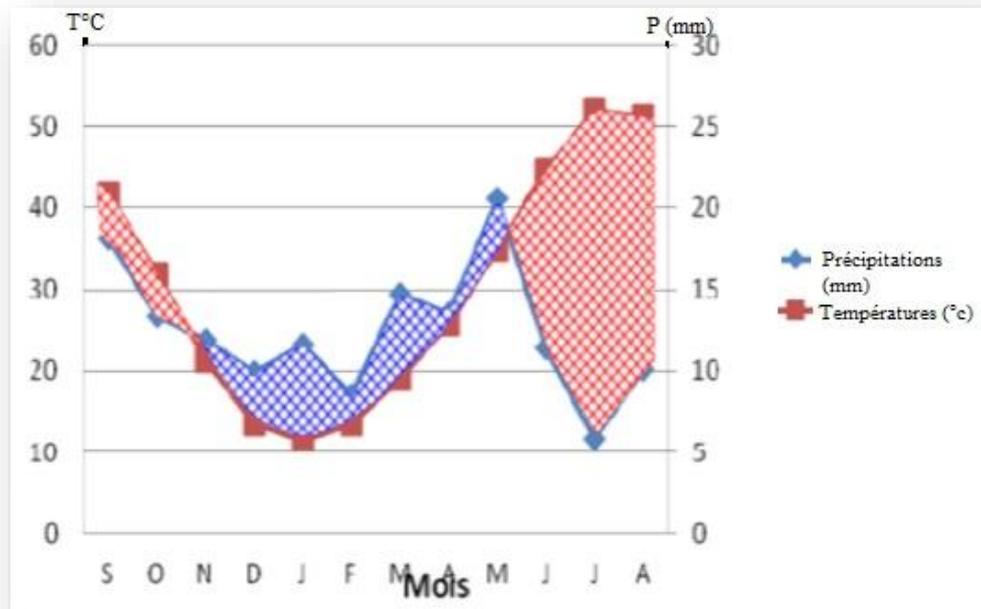


Figure 18: Courbe Pluviothermique de la station de Chéria (1982 – 2014. in K.CHAMEKH.2016).

L'analyse de ce diagramme montre que:

- La période humide s'étend du mois Novembre jusqu'au mois de Mai.
- Le reste des mois, de l'année, représente la période sèche.

1.4.3. L'indice de l'aridité « I »

L'indice de l'aridité « I » permet de déterminer le type de climat en fonction des précipitations moyennes annuelles P en (mm) et de la température moyenne annuelle T en °C.

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

Où:

P: Représente les précipitations moyennes annuelles;
T: Représente les températures moyennes annuelles.

Selon D. MARTON, les différents types des climats sont représentés au tableau suivant:

Tableau 05 : Type de climat selon D. MARTON

I	I=5	5 < I < 7.5	7.5 < I < 10	10 < I < 20	20 < I < 30
Type de climat	Hyperaride	Désertique	Steppique	Semi-aride	Tempéré

Les résultats du calcul de l'indice de l'aridité donne, pour des P = 300.95mm et T = 15.55mm, un indice d'aridité **I = 11.78** indiquant un régime de climat Semi-aride.

1.4.4 Le diagramme d'Emberger

Pour situer le climat de la région, on a, également, utilisé le diagramme d'Emberger qui est un abaque comportant, en ordonnées les valeurs de Q₂ données par la relation:

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

Avec:

P: Moyenne annuelle des précipitations en mm.

M: Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimées en degrés absolu.

m: Moyenne des températures minimales du mois le plus froid, exprimée en degrés absolu

(K°). (T.K°= T°c+ 273.2).

En abscisse la moyenne des minimales de la saison froide (en °c).

Le tableau, suivant, montre les résultats obtenus, à la station de Chéria:

Tableau 06 : Différentes valeurs de Q₂(In K.CHAMEKH.2016).

Station	P (mm)	M	m	Q ₂
Chéria	300.95	28.7	301.9	41.43

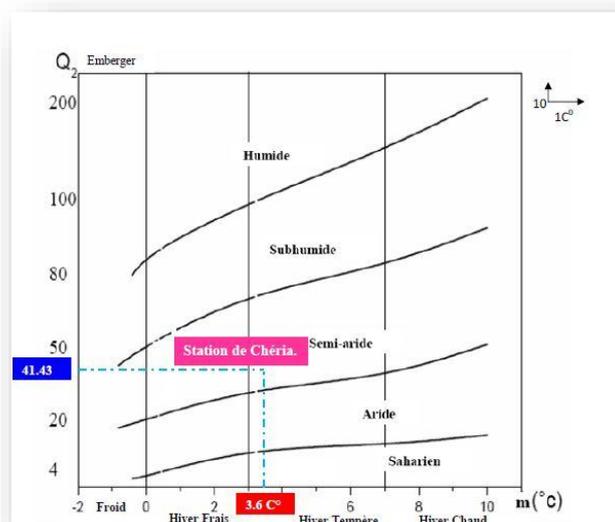


Figure 19: Climagramme d'Emberger à la station de Chéria (In K.CHAMEKH. 2016)

Il en résulte que la région de Chéria est semi-aride, avec un hiver tempéré.

1.5 Vent

Les valeurs maximales, des vents, sont enregistrées au printemps, les moyennes mensuelles interannuelles sont de l'ordre de 14 km/h, cependant les valeurs minimales sont enregistrées en automne, elles sont de l'ordre de 9 km/h. Les vitesses moyennes mensuelles interannuelles, du plateau de Chéria, de 1982 à 2014, sont représentées par la figure suivante:

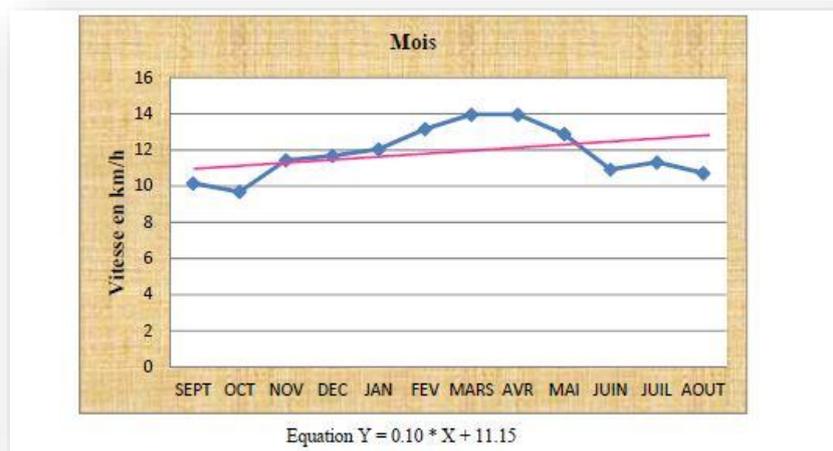


Figure 20: Vents mensuels interannuels à la station de Chéria (1982 – 2014. in K.CHAMEKH. 2016).

1.6. Humidité

La variation de l'humidité dépend de plusieurs facteurs climatiques; Température, précipitations, vitesse des vents, ...etc. Les valeurs de l'humidité varient entre 75 et 40 %, la comparaison entre la courbe des vents et de l'humidité montre que l'humidité est inversement proportionnelle aux vents.



Figure 21: Humidité mensuelle interannuelle à la station de

1.7. Bilan hydrologique

Les bilans hydriques ont été calculés par la méthode de Thorntwaite, en utilisant les données mensuelles interannuelles de 32 années, soit 1982 à 2014:

Tableau N°07 : Bilan hydrique à la station de Chéria (1982 - 2014)

Mois	Paramètres climatiques calculés												
	T (°c)	i	I	a	Ep	K	P (mm)	ETP	P-ETP	RFU	ETR	Ex	DA
S	21.34	9	7.27	1.66	96.55	1.03	36.2	99.45	63.25	0	36.2	0	63.25
O	16.44	6.06	7.27	1.66	62.62	0.97	26.68	62.62	35.94	0	26.68	0	35.94
N	11.19	3.39	7.27	1.66	3.39	0.86	23.67	33.06	9.39	0	23.67	0	9.39
D	7.34	1.79	7.27	1.66	1.79	0.85	19.87	16.42	3.45	3.45	16.42	0	0
J	6.28	1.41	7.27	1.66	1.41	0.87	23.11	12.67	10.44	13.89	12.67	0	0
F	7.32	1.78	7.27	1.66	1.78	0.85	17.11	16.34	0.77	14.66	16.34	0	0
M	10.07	2.89	7.27	1.66	2.89	1.03	29.4	27.75	1.65	16.31	27.75	0	0
A	13.35	4.42	7.27	1.66	4.42	1.09	27.08	44.32	17.24	0	43.39	0	0.93
M	17.98	6.94	7.27	1.66	9.94	1.21	41.02	72.65	31.63	0	41.02	0	31.63
J	22.77	9.93	7.27	1.66	9.93	1.21	22.84	107.53	84.69	0	22.84	0	84.69
J	26.46	12.46	7.27	1.66	12.46	1.23	11.73	137.97	126.24	0	11.73	0	126.24
A	26.09	12.2	7.27	1.66	12.2	1.16	20.2	134.78	114.58	0	20.2	0	114.58
Total	-	-	-	-	-	-	298.91	765.56	-	-	298.91	0	466.65

$$P = \sum ETR + \sum Ex = 298.91 + 0 = 298.91 \text{ mm ; Vérifié}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA = 298.91 + 466 = 765.56 \text{ mm ; Vérifié}$$

Le bilan de l'année la plus sèche donne :

Tableau N° 08: Bilan hydrique pour l'année plus sèche à la Station de Chéria (2004)

Mois	Paramètres climatiques calculés												
	T (°c)	i	I	a	Ep	K	P (mm)	ETP	P-ETP	RFU	ETR	Ex	DA
S	20.3	8.34	62.7	1.5	93.21	1.03	20.8	96.02	75.21	0	20.8	0	75.21
O	20	8.16	62.7	1.5	91.15	0.97	4.8	88.42	83.62	0	4.8	0	83.62
N	9.7	2.73	62.7	1.5	30.79	0.86	29.5	26.48	3.02	3.02	26.48	0	0
D	7.6	1.88	62.7	1.5	21.35	0.85	10.2	18.15	7.95	0	13.22	0	4.93
J	6.4	1.45	62.7	1.5	16.5	0.87	4.8	14.36	9.56	0	4.8	0	9.56
F	10.7	2.48	62.7	1.5	27.98	0.85	9.5	23.78	14.28	0	9.5	0	14.28
M	12.3	3.16	62.7	1.5	35.67	1.03	8.0	36.74	28.74	0	8.0	0	28.74
A	12.3	3.91	62.7	1.5	43.96	1.09	4.8	47.93	43.12	0	4.8	0	43.12
M	15.4	5.49	62.7	1.5	61.59	1.21	4.8	74.52	69.72	0	4.8	0	69.72
J	21.9	9.36	62.7	1.5	104.44	1.21	4.8	126.38	121.58	0	4.8	0	121.58
J	25.7	11.92	62.7	1.5	132.78	1.23	4.8	163.31	158.51	0	4.8	0	158.51
A	26.5	12.49	62.7	1.5	139.02	1.16	7.1	161.27	154.17	0	7.1	0	154.17
Total	-	-	-	-	-	-	113.9	877.34	-	-	113.9	0	763.44

$$P = \sum ETR + \sum Ex = 113.9 + 0 = 113.9 \text{ mm ; Vérifié}$$

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

Le bilan de l'année la plus humide donne :

Tableau N°09: Bilan hydrique pour l'année plus humide de la station de Chéria (2014)

Mois	Paramètres climatiques calculés												
	T (°c)	i	I	a	Ep	K	P (mm)	ETP	P-ETP	RFU	ETR	Ex	DA
S	20.63	8.55	51.66	1.32	99.52	1.03	42.70	102.5	-59.8	0	42.70	0	59.8
O	15.43	5.51	51.66	1.32	67.83	0.97	46.2	65.79	-19.59	0	46.2	0	19.59
N	10.4	3.03	51.66	1.32	40.29	0.86	49.0	34.65	14.35	14.35	34.65	0	0
D	5.6	1.19	51.66	1.32	17.80	0.85	33.9	15.13	18.77	29	15.13	4.12	0
J	6.8	1.59	51.66	1.32	23.0	0.87	12.0	20.01	-8.01	20.99	20.01	0	0
F	6.47	1.48	51.66	1.32	21.54	0.85	65.0	18.3	46.7	29	18.3	38.69	0
M	6.47	1.48	51.66	1.32	21.54	1.03	24.4	22.18	2.22	29	22.18	2.22	0
A	12.03	3.78	51.66	1.32	48.83	1.09	100.0	53.23	46.77	29	53.23	46.77	0
M	15.53	5.56	51.66	1.32	68.41	1.21	50.5	82.77	-32.27	0	79.5	0	3.27
J	21.83	9.31	51.66	1.32	107.23	1.21	2.9	129.75	-126.85	0	2.9	0	126.85
J	26.47	2.56	51.66	1.32	88.75	1.23	23.3	137.97	-114.67	0	23.3	0	114.67
A	25.33	0.36	51.66	1.32	130.48	1.16	4.08	151.36	-147.28	0	4.08	0	147.28
Total	-	-	-	-	-	-	453.98	833.64	-	-	362.18	91.8	471.46

$$P = \sum ETR + \sum Ex = 362.18 + 91.8 = 453.98 \text{ mm ; Vérifié}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA = 362.18 + 471.46 = 833.64 \text{ mm ; Vérifié}$$

1.8. Interprétation des bilans hydriques

Généralement, les mois déficitaires dépassent, largement, ceux qui sont excédentaires. L'analyse des bilans hydriques de la station de Chéria montre que:

- Pour les trente dernières années, de 1982 à 2014, la hauteur des précipitations est de 298.91 mm; Elles atteignent leur maximum au mois de Mai avec 41.02 mm. L'ETP atteint en Juillet 137.97 mm et le minimum est de 16.34 mm, au mois de Février. Par ailleurs, l'ETR est de l'ordre de 298.91 mm. L'excédent est nul ! Ce qui explique l'influence de l'évapotranspiration dans la région et notamment le déficit agricole qui est de 466.65 mm.
- Pour l'année la plus sèche, à savoir, l'année 2004; La hauteur des précipitations est de 113.90 mm; Elles ont atteint leur maximum au mois de Novembre avec 29.50 mm et où l'ETP a atteint 26.48 mm. Le minimum de l'ETP a été calculé au mois de Janvier, avec 14.36 mm avec des P = 4.80 mm et T = 6.2°C. Par ailleurs, l'ETR est de l'ordre 113.9 mm, ainsi, qu'un excédent nul, tous les mois ! Ce qui explique l'influence de l'évapotranspiration et la sécheresse qui a affecté la région.
- Pour l'année la plus humide, à savoir, l'année 2014, la hauteur des précipitations était de 453.98 mm; Elles ont atteint leur maximum au mois d'Avril avec 100 mm, donnant un ETP de 53.23 mm, par une T de 12.03°C, résultant un ETR de 53.23 mm et satisfaction de la RFU à 29 mm, ainsi qu'un excédent de 91.8 mm. En Août l'ETP était de 151.36 mm, avec une T = 25.33°C, le déficit était de 147.28 mm. Par ailleurs, l'ETR

était de l'ordre 362.18mm. L'excédent annuel de **91.8** mm, représente 20.22 % des précipitations. Le déficit agricole était de l'ordre de 471.46mm.

Conclusion

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

Le bilan hydrique, calculé sur une période de 32 années de 1982 à 2014, en utilisant la méthode de Thornthwaite montre que les bilans globaux sont généralement déficitaires. Avec, des précipitations mensuelles interannuelles de 298.91 mm; Les maximales sont enregistrées au mois de Mai avec 41.02 mm, les minimales en Juillet avec 11.73 mm. L'ETP atteint en Juillet 137.97 mm et un minimum de 16.34 mm, au mois de Février. Par ailleurs, l'ETR est de l'ordre de 298.91 mm. L'excédent est nul! Ce qui explique l'influence de l'évapotranspiration dans la région et notamment le déficit agricole qui est de 466.65 mm.

On note que la figure 17, représentant les variations des précipitations mensuelles interannuelles, montre :

Les périodes de très faibles précipitations sont observables en 1977, 1978, 2000, 2002, 2004, et 2008 ;

- Les effondrements des Douamis ont eu lieu en 2002, après un hiver et un été très secs. Une forte averse estivale qui a inondé la plaine, s'accumulant à la zone des Douamis, présentant les points les plus bas de la plaine amont, où les cavités se sont effondrées, brusquement, absorbant toutes les eaux accumulées.
- De même, les mêmes conditions, ont été observées l'année du sinistre de la ville ; Année très sèche, suivie de deux années pluvieuses, durant lesquelles le sinistre a eu lieu.

III. HYDROGÉOLOGIE

Introduction

Les données, qu'on va présenter, dans cette partie, sont les résultats des travaux de thèse du Pr Fethi BAALI, que nous nous sommes permis de présenter les données, qui sont utiles à la compréhension de l'hydrogéologie de notre région d'étude.

1. Géométrie de l'aquifère

trois terrains sont susceptibles d'être aquifères: Les calcaires maestrichtiens, les calcaires éocènes, et le remplissage Mio-Pio-Quaternaire (Fig.22).

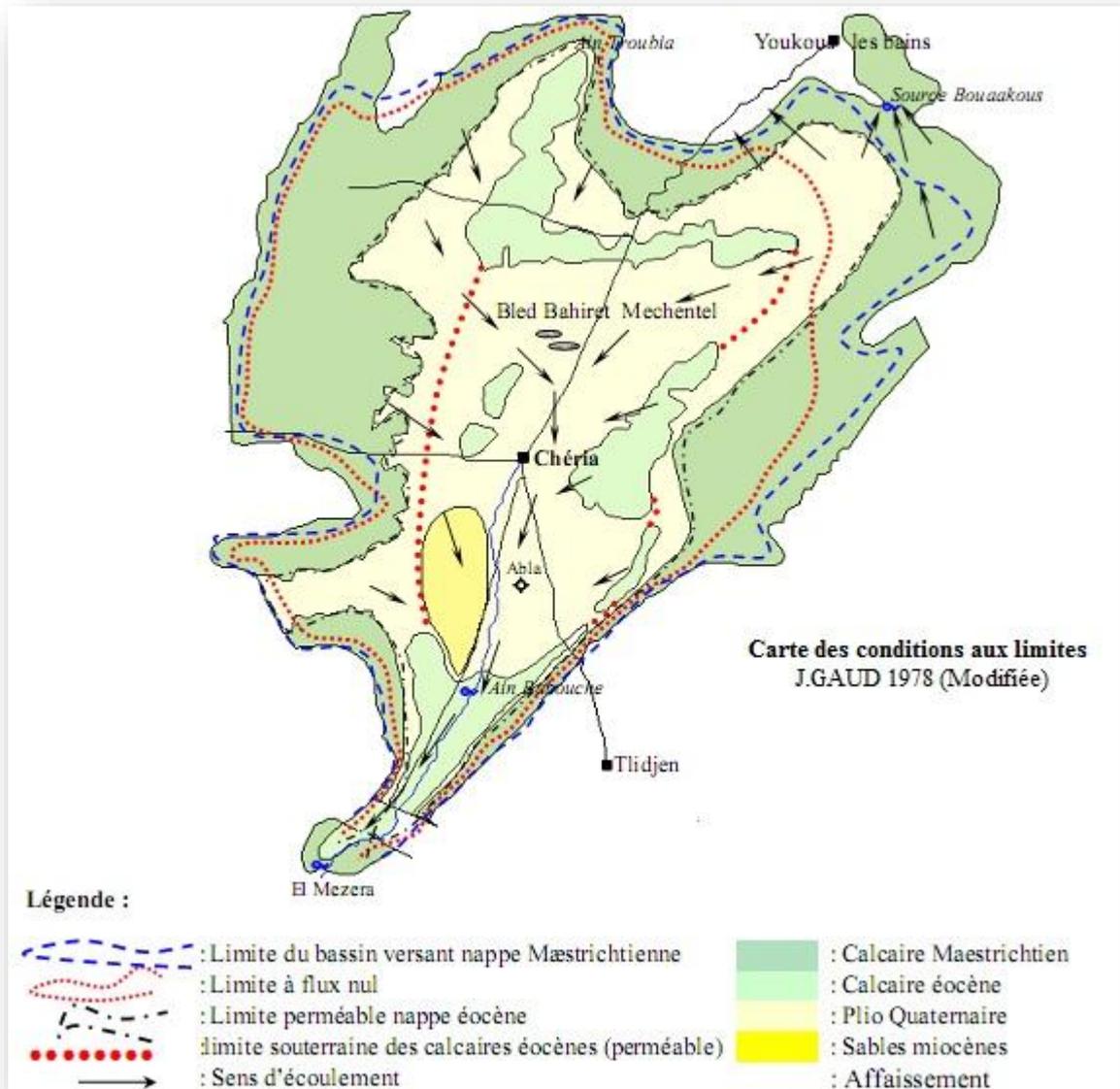


Figure 22 : Carte des conditions aux limites d'après J.GAUD 1978 modifiée (In BAALI.2007)

1. 1. L'aquifère des calcaires maestrichtiens

Les différents forages qui ont atteint les calcaires maestrichtiens, jusqu'à nos jours, ont montré que cette formation fissurée est aquifère dans les bordures (fissures et parfois des cavités ouvertes rencontrées. F502, F503, F2, F521) et imperméable au centre du bassin (calcaires massifs sans fissures rencontrés. F533, F536).

La géophysique n'a pas pu déterminer les paramètres caractéristiques des calcaires maestrichtiens aquifères, des résistivités très voisines (300 à 500ohm.m) indiquent, à la fois des calcaires très karstifiés ou faiblement fissurés. On a, plus de chance, de rencontrer des zones fissurées ou karstifiées que l'on se place sur des discontinuités tectoniques. Dans les zones, où le calcaire est recouvert directement par le quaternaire, où il a été émergé, et attaqué selon la fissuration, par les eaux de ruissellement.

Le nombre de forages ayant traversé les calcaires sous les marnes Dano-Montiennes étant très faible, il est difficile d'affirmer, qu'il n'existe aucune fissuration, et donc aucune possibilité d'aquifère dans toute l'étendue du réservoir soumis à ces conditions.

1. 2. L'aquifère des calcaires éocènes

C'est l'aquifère principal de Chéria. Il a été reconnu par de nombreux forages, spécialement autour de la ville de Chéria, et a fait l'objet d'une importante exploitation pour l'alimentation en eaux potable et pour l'irrigation. La perméabilité est liée aux fissures et un système karstique bien développé, autour de la ville.

Les caractéristiques des forages, qui ont traversés ou touchés les calcaires Eocènes, ont permis d'établir certaines remarques ;

- les zones fissurées se rencontrent, en général, dans les cent premiers mètres de l'éocène, et les zones karstifiées sont, encore, plus localisées dans les 50 premiers mètres.
- Pour la géophysique, le même problème que pour les calcaires maestrichtiens, pas de différence de résistivités entre les calcaires fissurés et compacts. Par contre, pour le carottage électrique l'onde normale, semble donner des résistivités de l'ordre de 200 ohm.m pour les calcaires fissurés et 400 à 600 ohm.m pour les calcaires non fissurés.

1. 3. L'aquifère Mio-Plio-Quaternaire

Particulièrement, cet aquifère rassemble deux aquifères:

1. L'aquifère des niveaux sableux du Miocène : Le petit nombre de forages exécuté dans cet aquifère (523 et 524) rendent les informations moins précises. Le niveau, compris entre 53 et 80 m, est attribué aux graviers et sables quartzeux du Miocène.
2. L'aquifère des alluvions quaternaires et actuelles. Composées, suivant Lambert de cailloutis fluviaux, colmatage, de bas-fonds, alluvions de piémont. Ces formations occupent la majeure partie du plateau de Chéria. Elles jouent, dans la partie Nord, le rôle d'alimentation des calcaires maestrichtiens et éocènes par infiltration.

Cet aquifère est devenu, actuellement, sans intérêt ; Vu la sécheresse qui a sévi pendant les trois dernières décennies, ainsi que la surexploitation des ressources hydriques.

2. Hydrodynamiques des eaux souterraines

2.1. La piézométrie

La cartographie piézométrique, faite par le Pr F.BAALI, à partir de relevés piézométriques sur 116 puits en Juillet et Octobre 2000, puis, des relevés jusqu'à 2005, sur un

réseau réduit de puits et forages et ce, jusqu'à septembre 2005. Ces relevés ont permis de réaliser les cartes piézométriques suivantes :

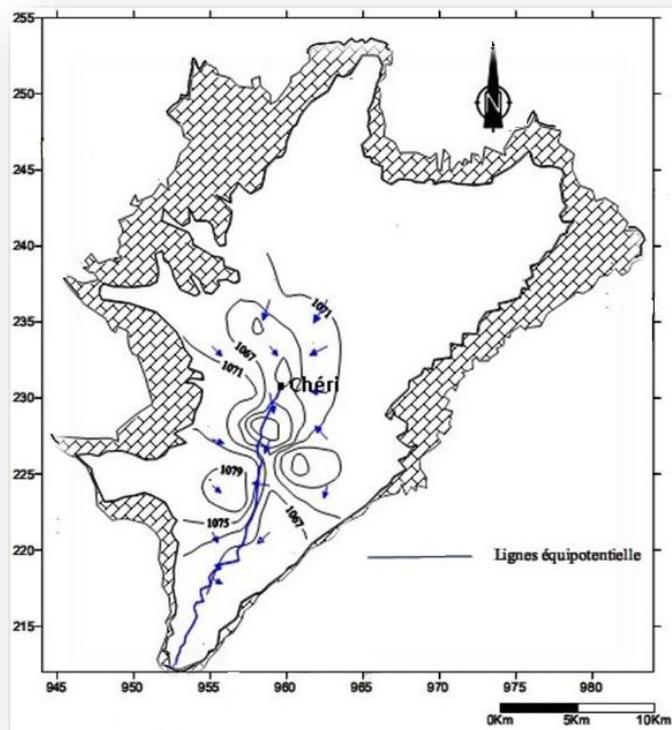


Figure 23 : Carte piézométrique. Septembre 2002 (in F.BAALI. 2007)

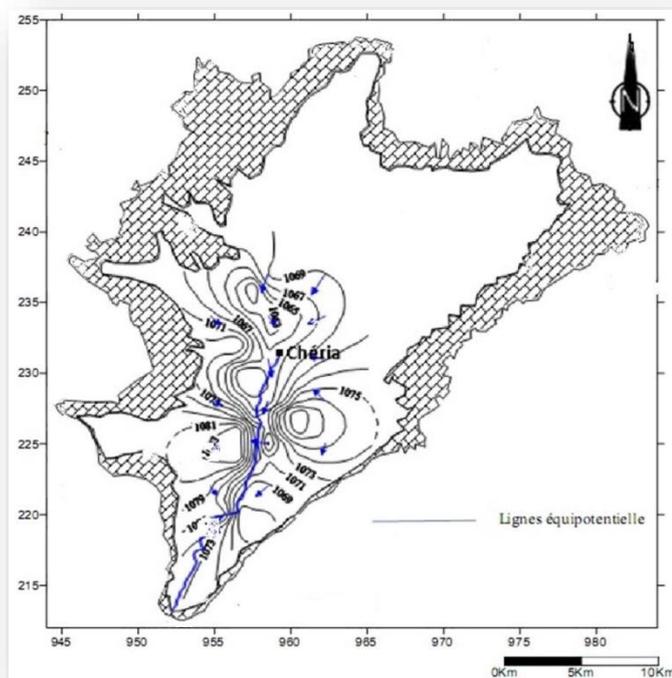


Figure 24 : Carte piézométrique. Septembre 2003(in F.BAALI. 2007)

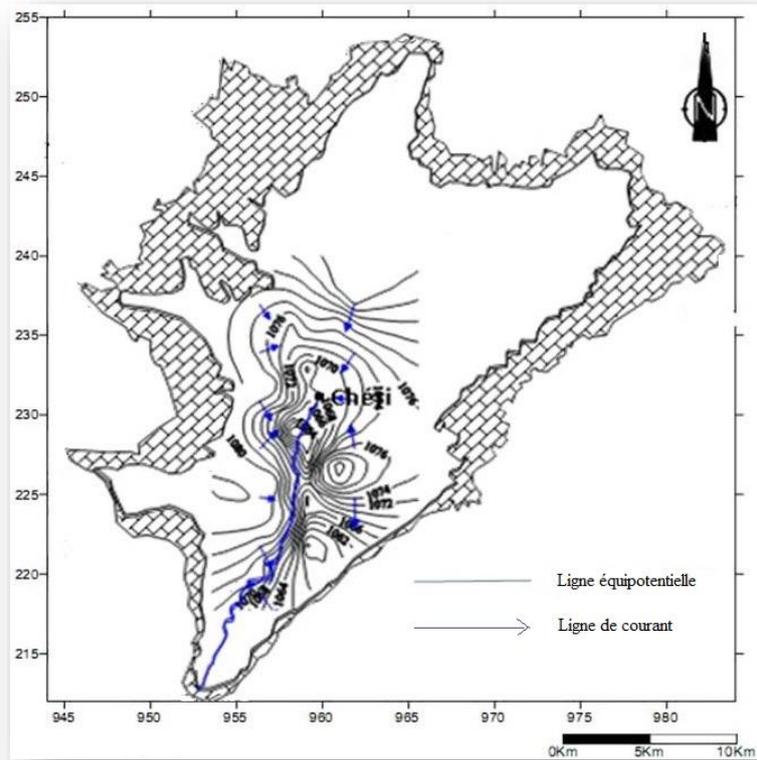


Figure 25 : Carte piézométrique. Février 2005(in F.BAALI. 2007)

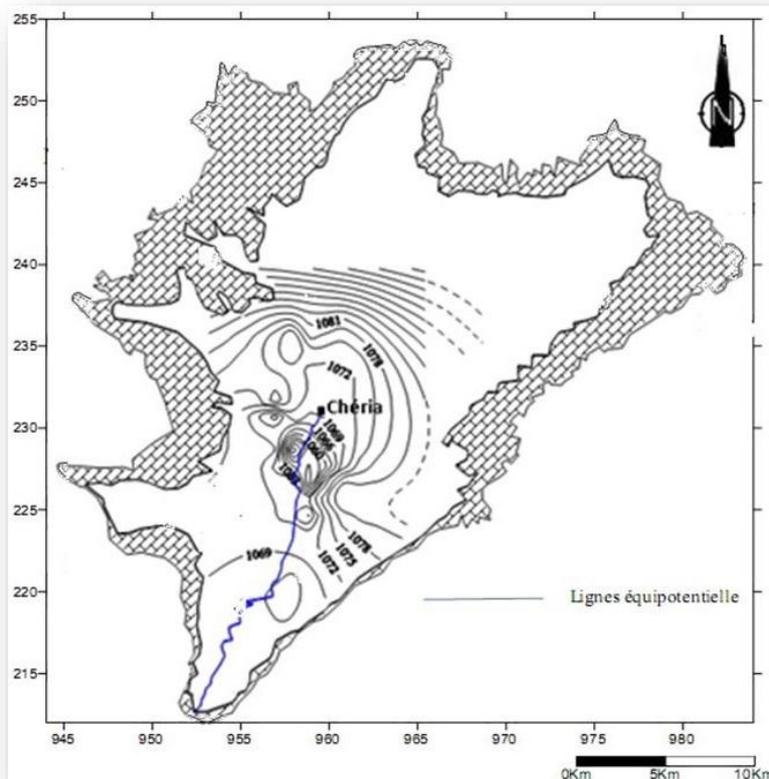


Figure 26: Carte piézométrique. Septembre 2005(in F.BAALI. 2007)

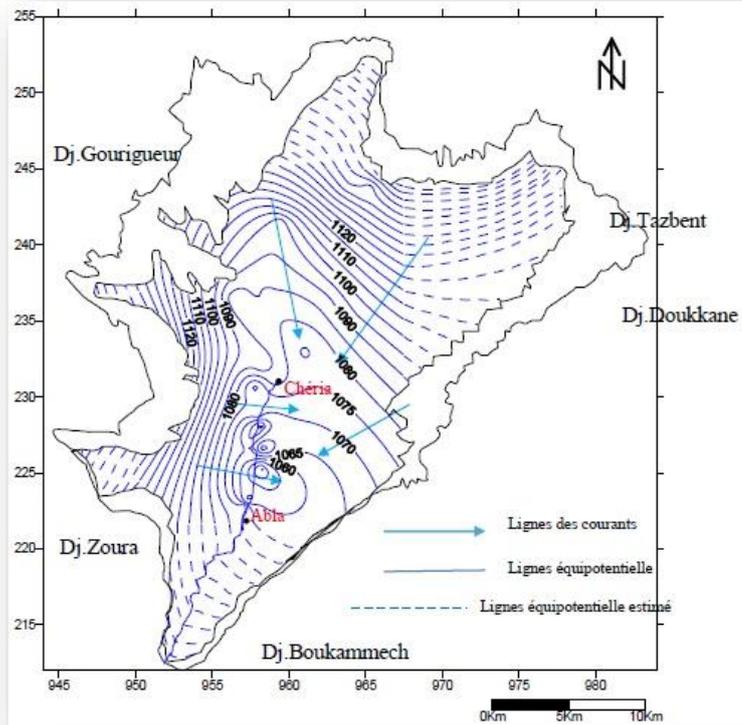


Figure 27: Carte piézométrique. Octobre 2010 (In K.CHAMEKH.2016)

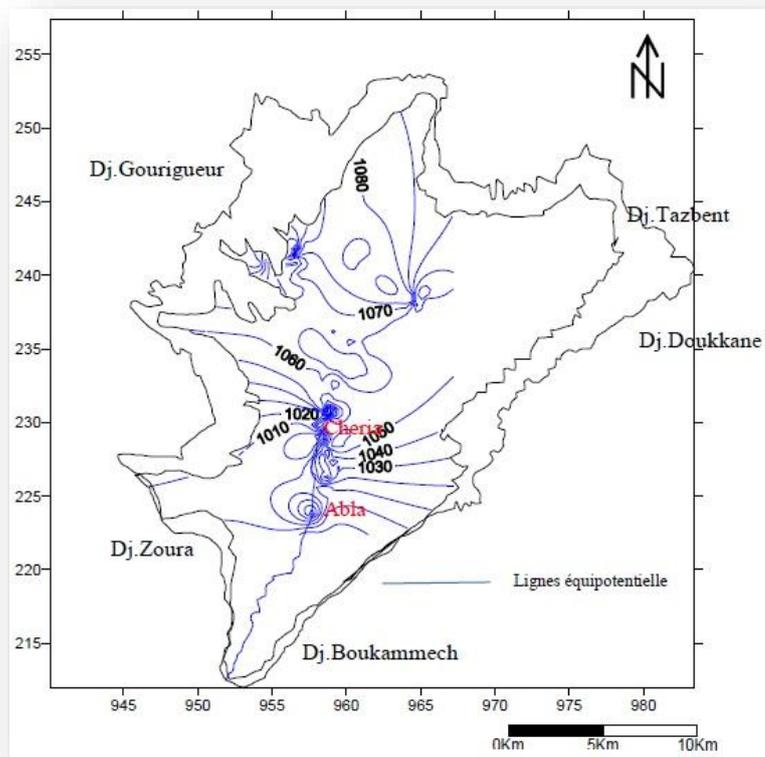


Figure 28: Carte piézométrique de l'aquifère éocène. Octobre 2010 (In K.CHAMEKH.2016)

Les différentes cartes piézométriques élaborées ont révélé deux sens d'écoulement, le premier est dans la partie Nord, dans le Sous Bassin Nord, il s'écoule du Nord vers le Sud. L'autre est dans le sous bassin Sud dont l'écoulement se fait de part et d'autre, de l'est et de l'ouest, vers un axe de drainage qui coïncide avec la trajectoire de l'Oued Cheria.

L'examen des cartes piézométriques fait ressortir deux zones distinctes :

1. La première, centrale, caractérisée par une sur exploitation marquée par une dépression au niveau de la ville et ces alentours. Cette dernière est expliquée par le nombre de forages alimentant la population.
2. La deuxième zone est localisée en aval du plateau. Elle est, aussi, marquée par deux dépressions de part et d'autre de l'Oued, où une partie de l'écoulement converge vers l'axe de l'Oued de Cheria.

L'écoulement se fait, de manière générale, du Nord vers le Sud.

La carte piézométrique de septembre 2003 (fig.24) est presque identique à celle de septembre 2002 (fig.23), sauf que la recharge de l'aquifère, en cette année, et l'importance du gradient hydraulique. Résultant l'épuisement, dans l'aquifère, pour la même raison qu'en 2002, où il est nettement visible, car les forages, continuent à épuiser la nappe, ainsi que le nombre des nouveaux puits, forés dans le cadre du programme FNDRA.

La carte piézométrique de février 2005 (fig.25), montre le même axe principal de l'écoulement Nord-Sud, dans le sous bassin nord avec un fort gradient hydraulique. Avec une convergence localisée dans le secteur de Bhiret M'chentel, où d'importantes quantités d'eau, sont livrées pour l'irrigation de la pomme de terre, en cet endroit. Tandis que dans la partie Sud l'écoulement se fait dans deux sens opposés du Sud-Ouest et Sud-Est vers l'axe de drainage, l'Oued Chéria.

La carte piézométrique du mois de septembre 2005 (fig.26), est caractérisée par un écoulement du Nord-Sud au Nord avec des courbes iso pièzes très serrées, témoignant l'importance de la vitesse d'écoulement. En aval, au Sud, les courbes espacées signifient un écoulement lent. Avec, une zone de surexploitation, très remarquable, au centre.

Il est à noter que l'étude hydrogéologique de Mr Gaud (B.GAUD et J.RICHARD.1978) sur la région a conclu que les calcaires éocènes alimentaient le Mio-Plio-Quaternaire, spécialement dans la périphérie de Chéria, vu les niveaux légèrement plus élevés dans les calcaires éocènes que dans le quaternaire. Alors que dans notre cas, on a trouvé l'inverse; Ce qui peut confirmer la sécheresse aigue qui a touché la région.

D'une façon générale, on peut dire, que le niveau d'eau est en abaissement pour la période entre 2000 et 2005, ce qui peut être expliqué, par la sécheresse qui a touché la région. Cette variation des niveaux n'est pas régulière, ce qui peut être du soit à une alimentation temporaire ou une surexploitation et un taux bas des précipitations (in F.BAALI. 2007).

Les deux cartes piézométriques d'octobre 2010 (fig.27 et fig.28) montrent que le sens général de l'écoulement, dans la partie aval est ;

NNW-SSE, à l'ouest de la carte et NNE-SSW à l'est de la carte (fig.27);

Celle de l'aquifère éocène (fig.28) montre un écoulement général NNE-SSW, à l'ouest de la partie avale et E-W, dans la partie Est, les courbes traduisent un écoulement différentiel, qui est peut-être dû, à un réseau des fractures, mais le comportement général de la plaine nord ne traduit pas le comportement d'un terrain karstique du fait que le réseau des ouvertures, qui n'est pas encore cerné, est communiquant et se comporte comme un terrain granulaire.

3. Hydrochimie

L'étude de hydrochimie des eaux souterraines, apporte un concours précieux à l'hydrogéologie et à la géologie, elle permet, au minimum de connaître la nature chimique des eaux qui circulent. Mais, étant donné que la problématique traitée, dans cette thèse et du domaine de la géologie de l'ingénieur, et dont l'hydrochimie n'est pas de notre ressort ; on s'est référé à la thèse du Pr F.BAALI et on s'est permit de présenter la situation hydrochimique à travers ses travaux.

3.1. Conductivité électrique

La relation entre la conductivité électrique et la composition chimique est basée sur le fait que la conductivité électrique d'une solution saline complexe est la somme des conductivités attribuées à chacun des ions qu'elle renferme (H. Schoeller, 1962).

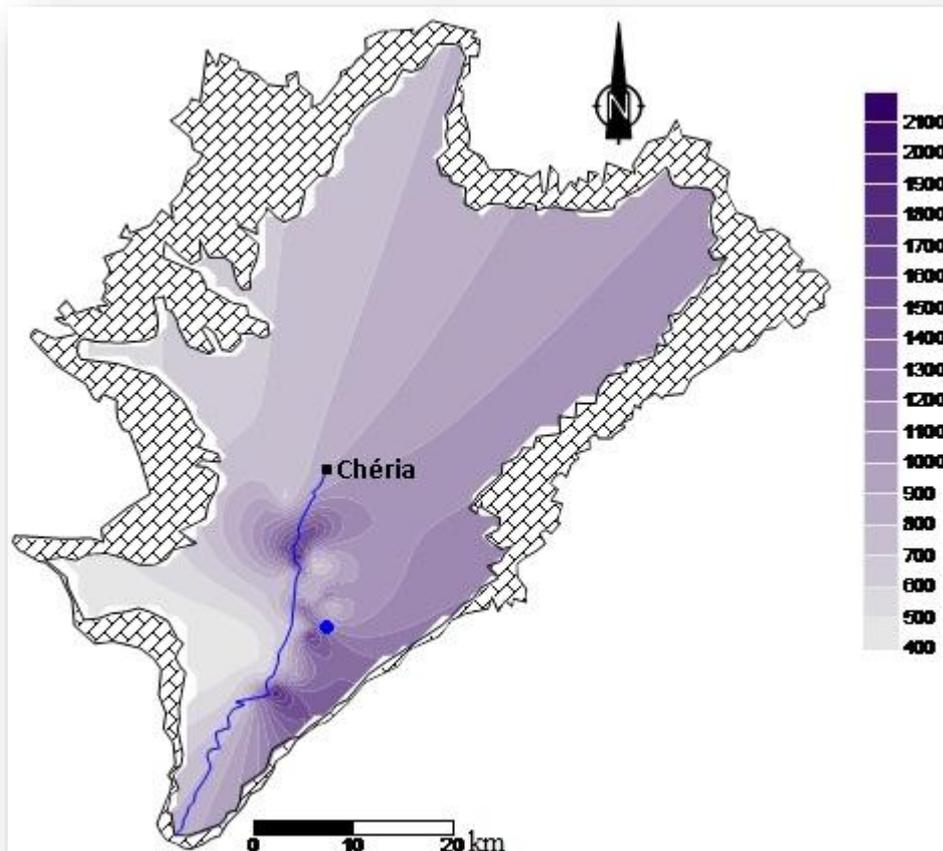


Figure 29: Carte des Conductivités de Mars 2002 (in F.BAALI. 2007)

Les valeurs enregistrées montrent que, pour la quasi-totalité des points d'eau (puits et forages), elles dépassent la norme recommandée pour les eaux d'alimentation en eaux potables. La cartographie de ce paramètre montre une élévation remarquable dans la partie sud du terrain (2000 – 5000 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et peut atteindre, parfois, 10000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, septembre 2005, comme le montre la figure 32 (in F.BAALI. 2007).

La variation de la conductivité est très remarquable au sud, notamment au lieu-dit Abla, ce qui peut être expliqué par plusieurs facteurs d'ordre hydrodynamique tel que la recharge, en cet endroit et les écoulements du nord qui sont très chargés et qui permettent la concentration des éléments chimiques, ainsi qu'une éventuelle contamination par les eaux de l'Oued Chéria, qui draine les eaux usées de la ville.

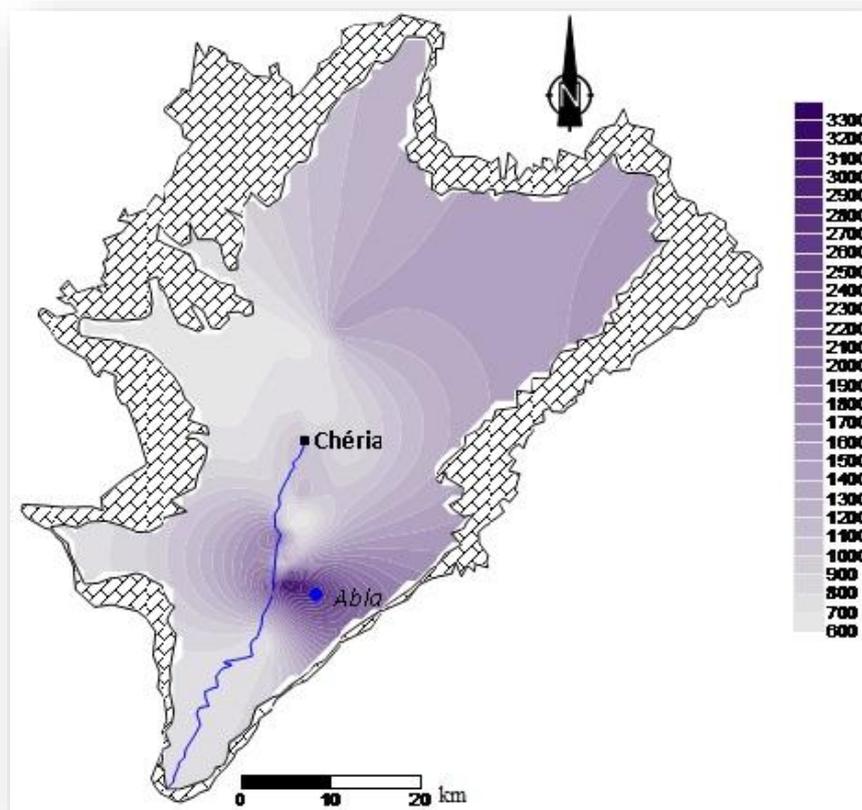


Figure 30: Carte des Conductivités de Septembre 2002 (in F.BAALI. 2007)

Les valeurs des conductivités prélevées en Septembre 2005, représentées sur la figure 32, ont été doublées par rapports aux valeurs des conductivités de Février 2005, de la même année, représentées sur la figure 31, ce qui est, probablement, dû au phénomène de l'évapotranspiration.

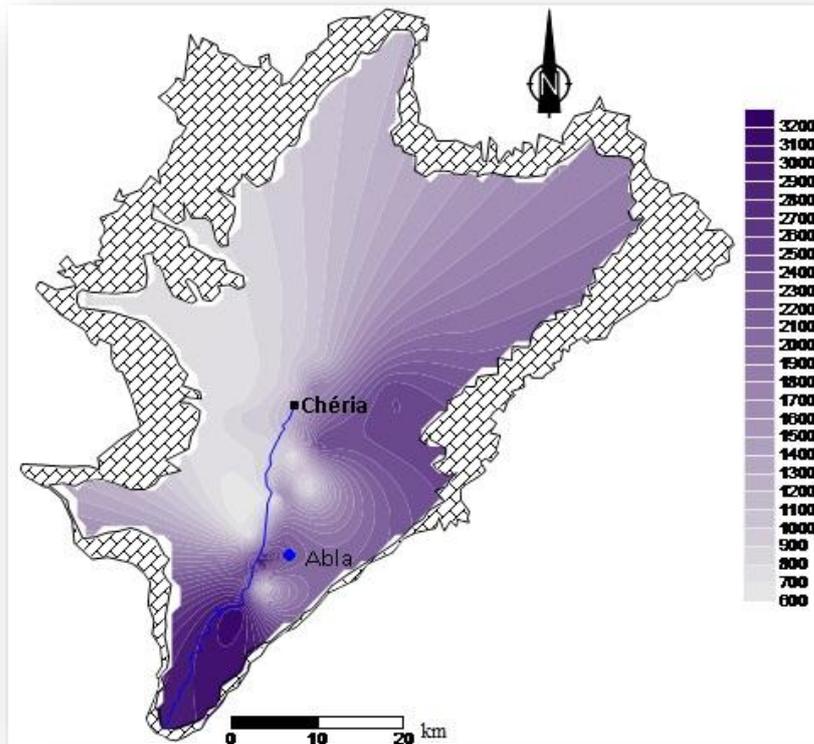


Figure 31 : Carte des Conductivités de Février 2005 (in F.BAALI. 2007)

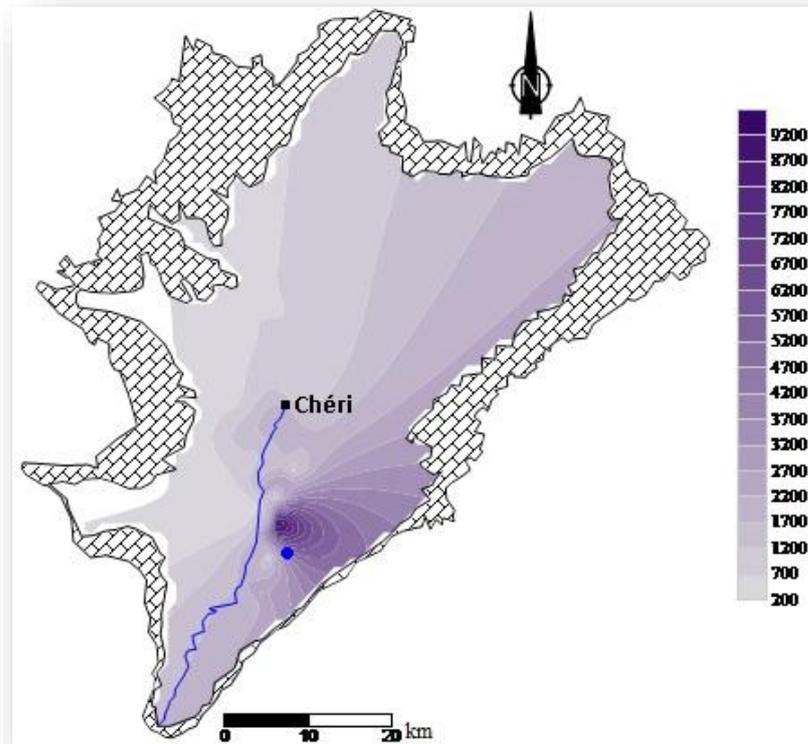


Figure 32: Carte des Conductivités de Septembre 2005 (in F.BAALI. 2007)

3.2. Potentiel hydrique (pH)

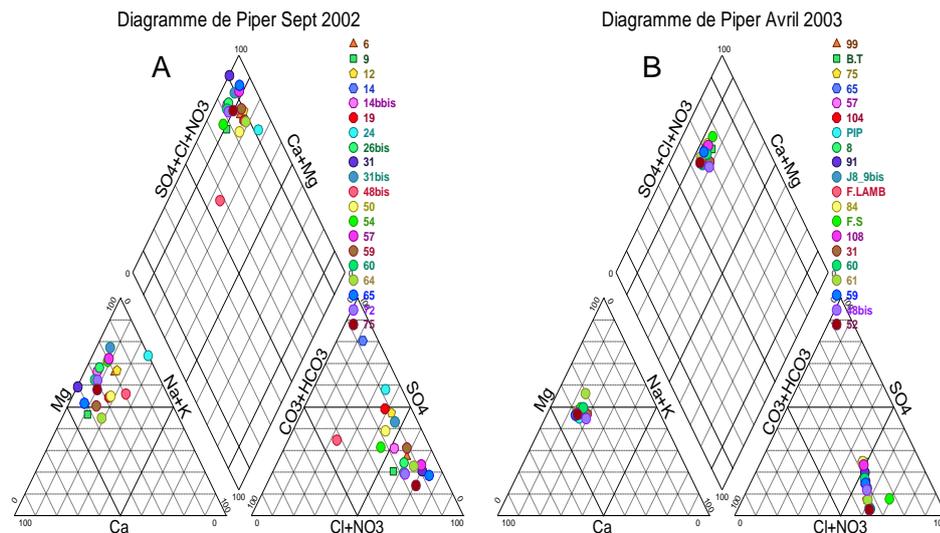
On l'utilise pour déterminer l'alcalinité et l'acidité des eaux. Le pH est cologarithme de (H^+) et correspondant à la concentration $[H^+]=[OH^-]=10^{-7}$. Cependant, certains auteurs ont de bonnes raisons de penser que, H^+ étant une particule subatomique, un proton ne peut exister à l'état libre. Il faudrait remplacer la notion d'ion H^+ par celle d'ion $[H_3O^+]$, l'hydroxynium ou hydronium (H. SCHOELLER). Presque toutes les eaux de la région d'étude étaient admissibles car elles oscillent dans les compagnes de mesure entre 6,5 et 8,5 (in F.BAALI. 2007)

3.3. Paramètres chimiques

Les données de l'hydrochimie sont représentées sur des cartes, les principaux éléments cartographiés dans notre étude, sont les éléments majeurs (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^-). D'une manière générale, la cartographie chimique, pour tous les éléments, étudiés, révèlent clairement deux zones distinctes. Une au Nord pour des concentrations moins importantes que dans la seconde zone, qui est au Sud, théâtre de concentrations élevées et dans la majorité des cas au-dessus des seuils de potabilité (in F.BAALI. 2007).

Les faciès chimiques des eaux de la région, sont représentés par les diagrammes triangulaires de PIPER (Fig.33), effectués à partir des résultats d'analytiques obtenues pour les compagnes Septembre 2002, Avril 2003, Février et Septembre 2005.

Cette représentation a montré une dominance remarquable du faciès chloruré magnésien ou chloruré calcique, qui masque le faciès bicarbonaté dans les eaux de la région connue par une présence abondante de roches carbonatées (calcaires maestrichtiens et éocènes).



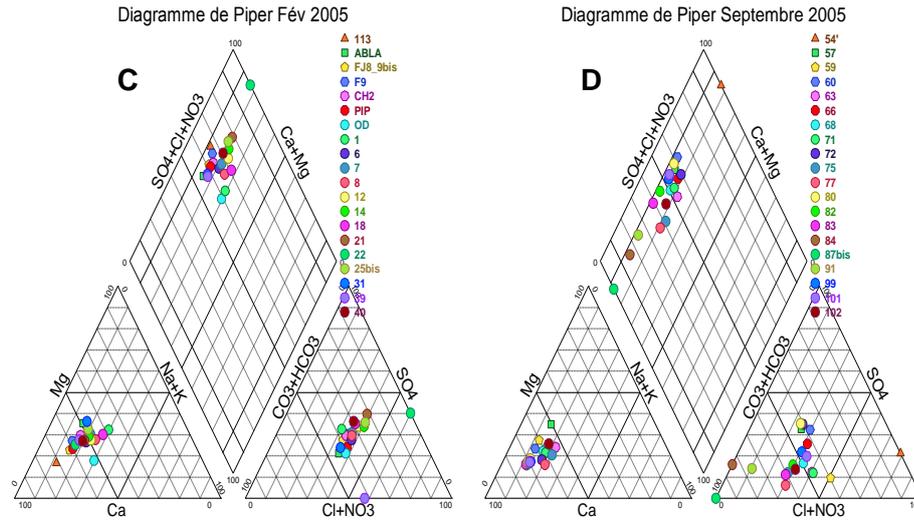


Figure 33 : Diagrammes de Piper (in F.BAALI. 2007)

3.4. Evolution des minéraux et des éléments dissous

L'indice de saturation atteint une valeur zéro, quand la saturation est en équilibre avec une phase solide. Un indice de saturation positif indique une sursaturation et un indice négatif indique une sous-saturation vis à vis des minéraux. Sachant que ces derniers peuvent influencer la composition chimique de l'eau (in F.BAALI 2007).

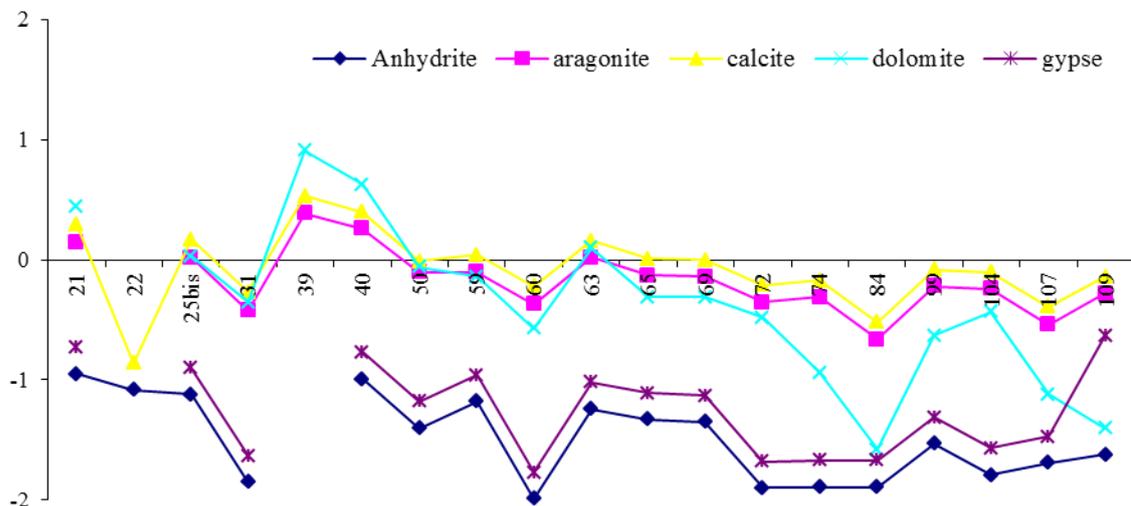


Figure 34 : Evolution de l'indice de saturation des minéraux février 2005 in F.BAALI. 2007

On constate que l'aragonite, la calcite et la dolomite évoluent de la même manière. Tandis qu'on constate, une sous-saturation, qui règne, pour le reste des minéraux (fig. 34).

Le gypse et l'anhydrite présentent une sous-saturation au niveau de tous les points d'eau échantillonnés.

La répartition dans l'espace de l'indice de saturation, de la calcite montre, que la sursaturation ou l'équilibre se fait dans la partie nord, ce qui explique la dissolution de la calcite, due à la présence des formations calcaires de l'éocène, contrairement à la partie avale (Sud) expliqué par la présence des formations Mio-Plio-Quaternaires (des alluvions).

La cartographie de l'indice de saturation des gypses, montre un scénario tout à fait différent, que celui de la calcite (la saturation du gypse au Sud). Cette dernière est due à la présence des formations Mio-Plio-Quaternaires, qui peuvent contenir des passages argileux, à l'origine de la dissolution des gypses.

Conclusion

Le plateau, de Cheria, abrite, essentiellement, trois aquifères :

1. Le premier est au sein des calcaires du Maestrichtien, perméables aux bordures et stérile au centre.
2. Le deuxième, qui est le plus important pour la région et sa périphérie, siège aux calcaires éocènes, d'une épaisseur qui s'étale de quelques dizaines à une centaine de mètres.
3. Le troisième est l'aquifère du Mio-Plio-Quaternaire, devenu sans intérêt hydraulique, vu la sécheresse aigue, qui a touché la région, ces dernières décennies.

Les cartes piézométriques, de la région, montrent un sens d'écoulement général Nord Sud, et un gradient hydraulique très variable, d'une période à l'autre. Elles montrent, aussi, plusieurs dépressions piézométriques, qui peuvent être expliquées par le sur-pompage.

L'hydrochimie de la région a permis de tirer plusieurs conclusions, entre autres :

- Une salinité importante traduite par les valeurs excessives de la conductivité, notamment dans la partie avale au Sud de la région.
- Des concentrations élevées, pour la quasi-totalité, des éléments chimiques, particulièrement dans la partie Sud, ceci peut être expliqué par l'écoulement long, et l'enrichissement progressif, le long du parcours traversé.
- Un faciès chimique chloruré magnésien ou calcique dominant.

IV. ETUDE DE LA KARSTIFICATION

1. Introduction

Le mot karst provient du terme allemand, karst, désignant un plateau calcaire de Slovénie, le kras. Plus précisément, le karst est un ensemble de terrains à hydrographie et hydrologie particulières, marqué par des modèles spécifiques, liés au fait que certains sont à la fois solubles et affectés par une porosité secondaire bien développée (Ford et Williams, 1989). Le karst se distingue par des paysages souvent étranges (parcs naturels). Ces derniers sont caractérisés par les disparitions de rivières, les grottes les arches naturelles, de grosses sources, des dépressions fermées et des roches sculptées et dont la genèse relève de la dissolution.

L'importance de l'étude de karst intéresse, de plus en plus, de disciplines (spéléologues, géologues et géomorphologues, hydrologues, archéologues et préhistoriens, biologistes et écologistes, ingénieurs et aménageurs).

La karstification se produit dans toute roche soluble (les calcaires, les marbres, les dolomies, le gypse... etc), de ce fait, la distribution des karsts est fonction de l'affleurement de ces roches, qui sont exposées aux solvants naturels ou artificiels.

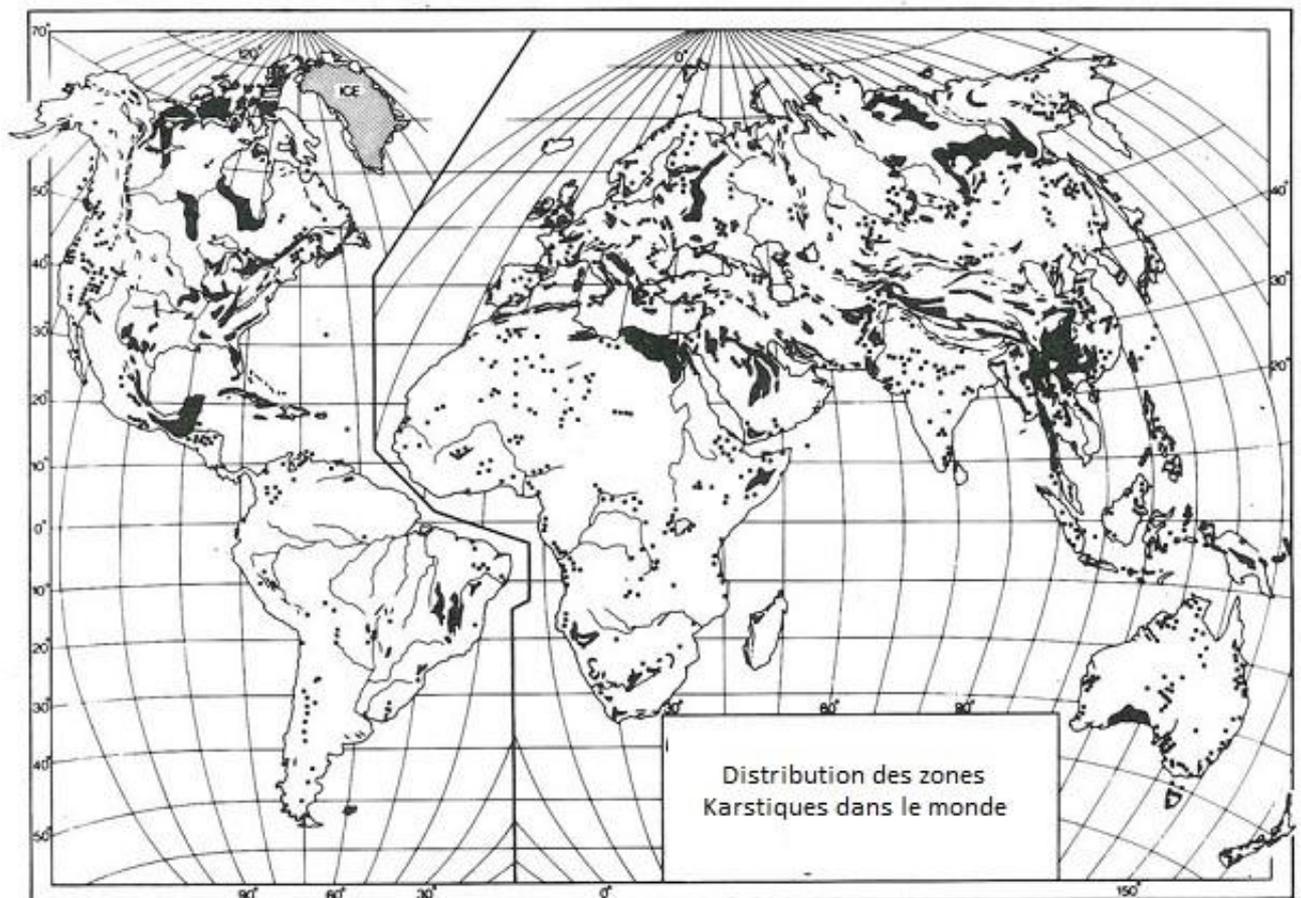


Figure 35: Régions karstiques dans le monde (in Monbaron Michel Géomorphologie générale)

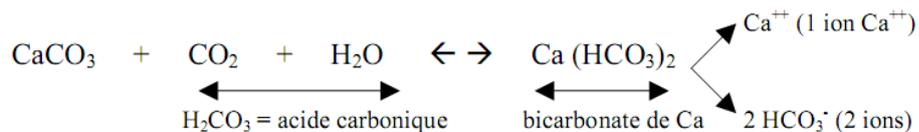
2. Réactions chimiques

Les processus de météorisation chimique contribuent à dissocier les minéraux, à les réduire en produits solubles. Mais certaines roches sont solubles sans action d'un réactif : elles « fondent » véritablement dans l'eau à l'état brut, comme le sel de table. Ce mécanisme très simple, la dissolution, consiste en une mise en solution d'éléments solides solubles dans l'eau. Les roches perdent ainsi de la substance par la dissolution, due au passage de l'eau. De plus, plus l'eau est acide (lors de son passage dans le sol, de présence de polluants...), plus elle dissout. Les types de roches concernées par la dissolution (c'est à dire particulièrement solubles):

- Le calcaire (rarement pur, roche la plus présente à la surface de la terre), roche sédimentaire carbonatée contenant au moins 50% de calcite (CaCO_3).
- La dolomie, roche sédimentaire carbonatée contenant 50% ou plus de carbonate, dont la moitié sous forme de dolomite ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$), carbonate de Mg et de Ca. Les dolomies ne font pas effervescence à froid avec un acide dilué (HCl 10%) ce qui les différencie des calcaires.
- Les évaporites : gypse, anhydrite (CaSO_4), halite (NaCl), sylvine (KCl)...

En se dissolvant, ces roches abandonnent des impuretés (argiles, quartz (silex, SiO_2 = silice cristalline = quartz), oxydes...).

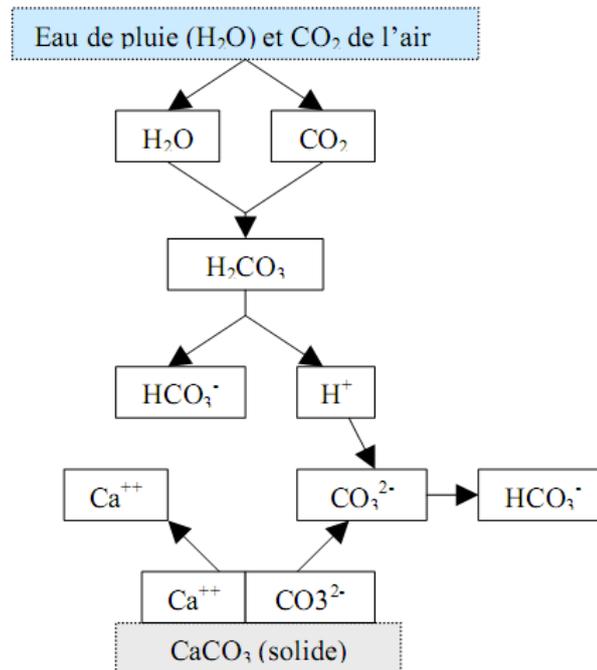
L'eau pure est susceptible de dissoudre le calcaire, en faible quantité, mais son pouvoir dissolvant est renforcé par la présence de CO_2 dissous, qui accroît l'acidité. Dans le cas du calcaire, la solubilité est maximum à 0°C (une eau froide est plus efficace pour la dissolution) suivant la réaction chimique suivante :



Le CO_2 dissous provoque la libération d'ions H^+ par l'intermédiaire de l'acide carbonique (H_2CO_3). L'eau joue, donc, le rôle d'un solvant (libération de Ca^{++} et CO_3^{--} à partir de la roche) et réactif par transformation de CO_3^{--} HCO_3^-). Le carbonate de calcium est solubilisé en bicarbonate de calcium $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ qui est pris en charge par l'eau circulant dans le sol ou les roches (soluble dans l'eau). Les produits dissous ne sont pas détruits car, en cas d'évaporation de l'eau, les sels solubles se déposent (par précipitation), comme le calcaire dans une casserole d'eau ou le sel de mer dans les marais salants. Dans la dissolution, il y a dissociation des ions qui composent une molécule sans qu'elle ne soit détruite !

A peu près tous les minéraux sont susceptibles d'être dissous mais, en général, ce processus est très lent et imperceptible car l'eau est rapidement saturée. Les sels solubles Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , ... sont facilement dissous et les roches les mieux concernées par la

dissolution sont les roches sédimentaires, en particulier les roches salines (le gypse par exemple), ainsi que les roches carbonatées, en particulier les calcaires. Les ions extraits des minéraux sont exportés sous forme soluble : c'est la lixiviation (exportation d'ions solubles).



Les calcaires constituent des roches particulièrement solubles du fait de la grande solubilité du CaCO_3 sous l'action de l'agressivité des eaux chargées en CO_2 . Dans les conduits souterrains, en régions calcaires, l'eau sous pression peut même être encore plus chargée en CO_2 , ce qui augmente le pouvoir de dissolution. Mais, là où la pression diminue, dans les salles souterraines, les cavités, ou à la sorties des eaux, les résurgences, les dépôts sont importants ;

Ce sont les spéléothèmes, stalactites, stalagmites, concrétions, croûtes, pisolithes, tufs, travertins, gours... Par précipitation (dépôt en raison de l'évaporation), il y a reconstitution du minéral sous ces diverses formes.

3. Morphologie karstique

La morphologie karstique se distingue des autres paysages par un ensemble de formes de surface (exokarst) et de formes souterraines (endokarst) intégrées les unes aux autres, avec une absence des vallées, sinon, elles sont démantelées et sèches, avec des dépressions fermées plus ou moins profondes et plus ou moins étendues, de 10 m à plusieurs km de diamètre.

Un modelé karstique présente trois zones (fig.36) :

1. Exokarst : les formes externes (en surface)
2. Epikarst : zone de transition (qui reçoit l'eau) entre exo- et endo- (en sub-surface)
3. Endokarst : les formes internes, les cavités souterraines

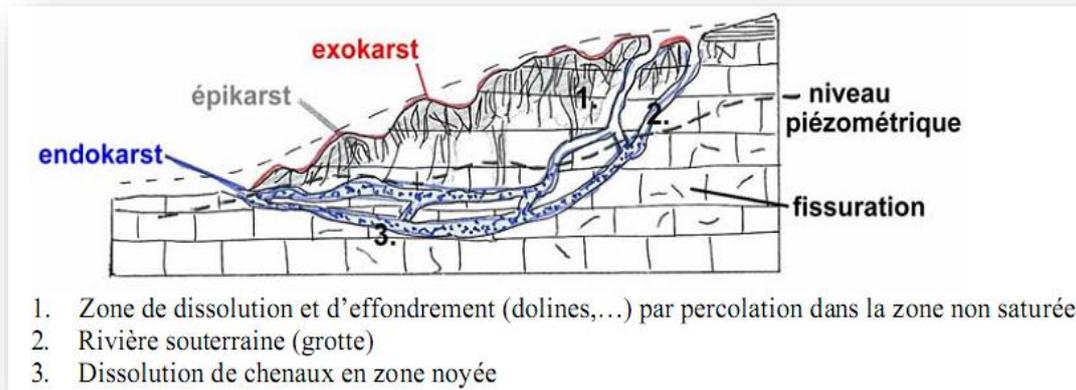


Figure 36: Parties d'un karst(in Monbaron Michel Géomorphologie générale)

Les formes d'érosion (fig.37) principales sont:

- Les lapiés (ou lapiez, ou encore lapiaz).
- Les petites dépressions fermées (dolines, ouvalas, cénotes, cockpits).
- Les grandes dépressions karstiques (poljés).
- Autres formes de surface.

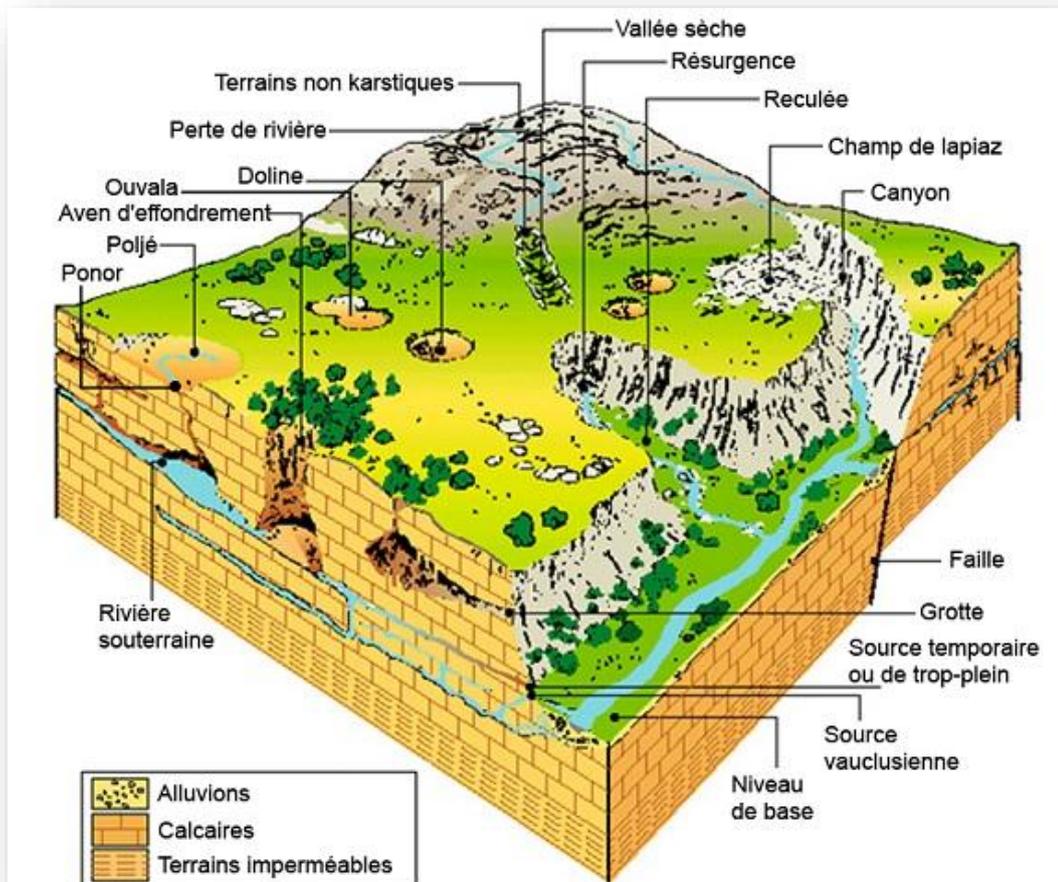


Figure 37: Morphologie Karstique(M. Bakalwicz; 2002).

3.1 Les lapiez

(Nom originaire des Préalpes). Les surfaces des plateaux calcaires sont accidentées de fissures, lapiez, avens (gouffre conduisant à un réseau souterrain), gouffre, qui sont les orifices, les plus évidents, permettant l'infiltration des eaux. Les lapiez sont des formes d'érosion résultant de la dissolution, à la surface et sur les fronts, des couches calcaires, donnant une typologie très variée (fig.38). La surface calcaire burinée est un lapiez (qui correspond à une cavité superficielle).

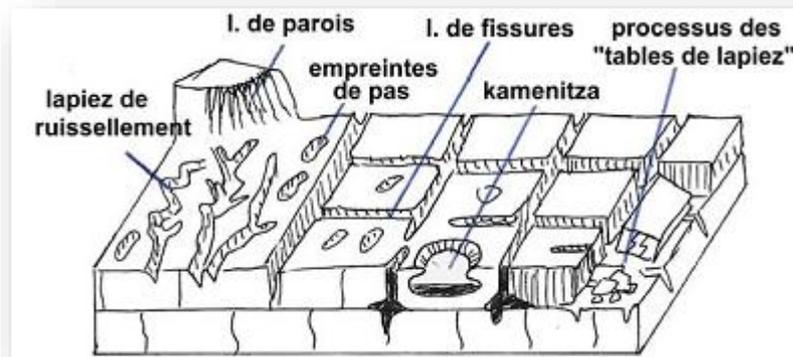


Figure 38:Types de lapiez(M. Bakalwicz; 2002)

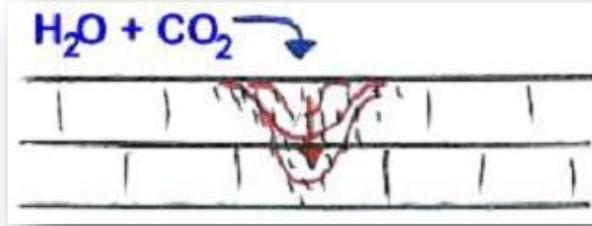
La formation et l'évolution des lapiez se nomme la lapiézation. C'est le principal mécanisme de disparition, de dissolution du calcaire, soit à l'air libre (lapiez nu), soit enfoui (lapiez couvert).

3.2 Les dolines

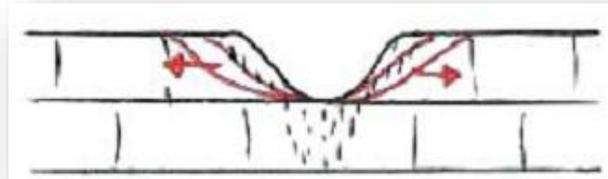
(Du serbo-croate «dolina» = vallon, dépression fermée). La dissolution aboutit, en surface, à la formation de dolines (fig.39). Dépressions fermées souvent tapissées d'argile de décalcification, la terra fusca, élaborée sous climat humide tempérée, ou la terra rossa, produit de l'altération sous climat plus chaud. Plusieurs dolines coalescentes donnent naissance à une ouvala (uvala), car les dolines agrandissent leur bassin de réception et se réunissent ainsi. Là, où la fissuration est plus importante, il y a formation d'un creux (doline) sous l'influence de l'infiltration de l'eau (chimique), puis de la gélifraction sur les bords (mécanique). Deux mécanismes d'érosion qui donnent à la doline une forme circulaire et en entonnoir.

Le transport se manifeste par deux mécanismes :

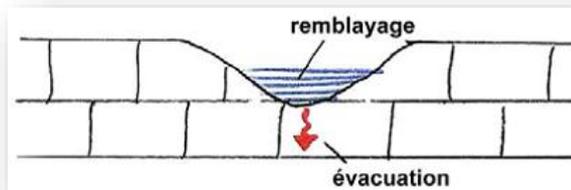
1. Le remblayage par apports externes.
2. L'évacuation des bicarbonates ou des matériaux accumulés par soutirage, via le fond.



La dissolution chimique



Érosion latérale



Transport

Figure 39: Genèse et transport dans une doline

Il y a colmatage par le remblayage d'argiles, ce qui implique que le soutirage ne peut plus se faire (accumulation de terra rossa). On assiste alors à la formation de dépressions pouvant être utilisées pour des cultures sur les plateaux secs et calcaires (sotchs) et pouvant être inondées lors de forte pluie avec formation de mares.

La typologie des dolines (fig. 40) est selon

- La genèse où on a des dolines de dissolution où des dolines d'effondrement.
- La présence d'une couverture non karstifiable où on aura des dolines de subsidence, ou des dolines de suffosion où le soutirage enlève, par infiltration, le matériel dans le terrain non-karstique provoquant un phénomène de tassement.

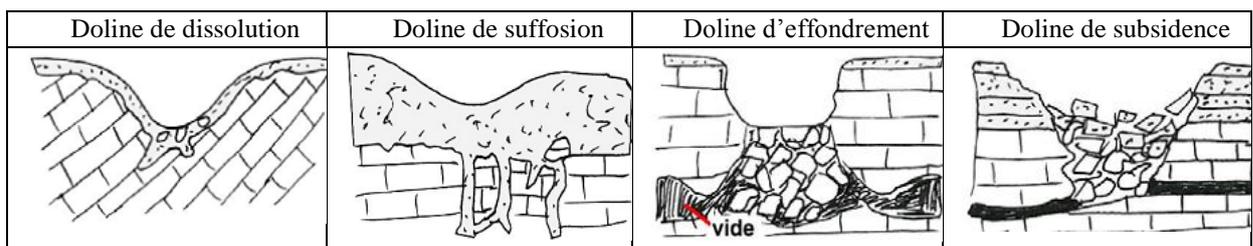


Figure 40: Typologie des dolines

3.3 Les poljés

Les poljés correspondent à de vastes dépressions karstiques allongées de plusieurs kilomètres, dominés par des versants abruptes et des reliefs résiduels ; Les hums. Le terme signifie en serbo-croate : champ (pas forcément en zone karstique), c'est à dire l'endroit où l'on peut cultiver. Il y a d'autres noms pour des formes semblables : plans (France), campo (Italie), ojos (Cuba).

Les eaux superficielles se perdent dans des ponors, en lien avec un système de drainage souterrain, et ressortent à la faveur de résurgences, après avoir parcouru des conduits et des galeries souterraines. Un poljé peut s'élargir avec l'infiltration (ponor et versant raide où disparaissent les eaux).

Les poljés sont caractérisés par :

- Un fond plat, rocheux ou composé de sédiments meubles par colmatage détritique.
- Un bassin fermé avec, au moins, une bordure raide d'un côté.
- Un drainage karstique par les ponors avec une zone d'infiltration préférentielle (endroit où une rivière disparaît).

4. Signes de karstification des calcaires Eocènes de la région

La plus grande surface des calcaires Eocènes de Chéria se trouve, généralement, couverte par des formations Quaternaires. Cela ne permet pas la visualisation du karst nettement par des lapiés, des grottes ou des grandes ouvertures, les tassements surmontant des dolines disséminées n'ont pas éveillé la population. De ce fait la karstification, de cette formation, est restée douteuse jusqu'au début des travaux de recherche et exploitation hydrogéologique dans la ville. On résume les signes de karstification en trois événements à savoir :

1. Les forages hydrauliques réalisés
2. Les affaissements de Drâa Douamis (2002)
3. Les effondrements de la ville de Cheria (2009)

4.1. Les forages réalisés dans la région

Lors de la réalisation de nombreux forages, dans les calcaires Eocène et, spécialement autour de la ville de Chéria, l'objet d'une importante exploitation pour l'alimentation en eau des mines de Djebel Onk et pour l'irrigation, on a remarqué une chute de l'outil de quelques centimètres à quelques mètres et une perte totale et partielle de la boue de forage, ce qui permet de dire qu'il y a une zone de fissuration et de karstification, qui peut être importante. Le tableau suivant résume les différents cas rencontrés.

Tab N° 10 : Caractéristiques des forages captant les calcaires Eocènes d'après Gaud.
DHW-Tébessa 1978 (In Baali 2007)

N° Forage	Date Exploit	Profondeur Totale (m)	Calcaire profond du toit (m)	Epaisseur de calcaire traversé (m)	Débit L/s	Etat actuel	Profondeur des zones fissurées	Profond Des zones karstifiées (m)
508	1959	51.0	0	51	16	A sec	19.7 – 23	19,7 – 23
509	1959	14.8	2.9	11.9	Rec	-	2.9 à 3.6 12 – 13	3,6 à 4,9 12 – 13
510	1959	29.15	0	29.15	13.6	A sec	3 – 5 9,10,15,18 20-20,5	3 – 5 9,10,5,18 20 – 20,5
511	1959	34	2.6	31.4	15	A sec	2,6 – 17,2 26,5 – 29,2	2,6 – 17,6 26,5–29,2
512	1959	30.6	0	30.6	44.5 (110)	A sec	10,3 – 11,6 19,7 – 23,30	10,3-11,6 19,7 – 23,30
513	1961	30.0	0	30.0	0.1 (0.3)	A sec	0 – 6 9 – 18,5	
514	1961	31.95	0	31.95	2.4	A sec	2 – 8 11 - 20	/
515		12	3.5	8.5	0.2	A sec	3,5 - 12	3,5 – 12
516	1964	20,0	1,10	18,9	109.7	A sec	3 – 5,1 6,5 – 8 9 – 19,0	3 – 5,1 6,5 – 8 9 – 19,0
517	1964	20,0	1,10	18,9	111.1	A sec	5,1 – 19	5,1 – 19
518	1967	30,2	3,0	27,2	128	A sec	4,3 – 6 9,5 – 12,3 17 – 18,7 21,7 – 23,2	4,3 – 6 9,5 – 12,3
534	1976	100	0	100	70.3	A sec	44 – 100	44 – 45
Jk8	1989	100	11	89	08.14	En arrêt	27- 100	15 – 27

4.2. Les affaissements de Draâ Douamis

En 2002, la région de Cheria, dans la zone nord dite Draa Douamis, a connu l'apparition de deux grands affaissements, dus, d'après une première interprétation, au pompage et l'abaissement du toit de la nappe karstique qui en résulte, la diminution de pression interne, ce qui a entraîné ces deux effondrements à quelques kilomètres au Nord de la ville de Cheria (de 15 à 20 m de diamètre). Le deuxième fait est que, les effondrements ont eu lieu suite à une forte averse estivale qui a inondé la plaine, s'accumulant à la zone des Douamis, présentant les points les plus bas de la plaine, ou les cavités se sont effondrées, brusquement, absorbant toutes les eaux accumulées, (Fig.41).



Figure 41: Situation des dolines des Douamis. Cheria

Le 26/02/2009, d'autres affaissement ont eu lieu, mais cette fois au centre de la ville de Cheria, au quartier habité de Harkat Bouziane causant ruine, effondrement et engloutissement d'une dizaine de biens immobilier, et heureusement, sans pertes humaines.

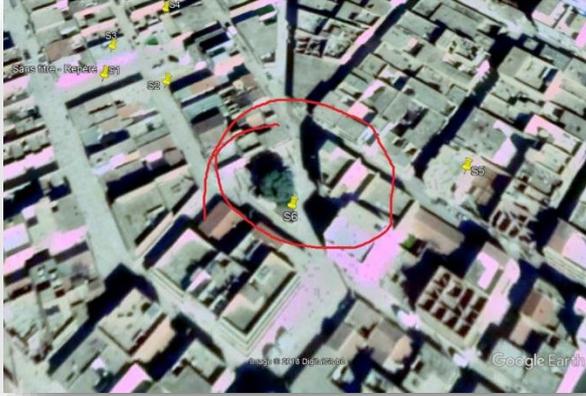


Image google 2018



Photo 1,2, et 3 : Des effondrements, prises le 27Fevrier 2009

C'est cet événement, qui a déclenché cette étude suite à l'affolement de la population et des autorités locales et wilayales, vu l'importance des dégâts matériels et l'enjeu économique que ça représente, ce qui doit être pris en compte, vu la croissance extra rapide de la ville qui est en plein extension.

CONCLUSION

Les lignes des crêtes bordant, le bassin Cheria, sont bien distinguées comme en forme triangulaire, ce triangle est renversé avec trois sommets NE, NW et Sud. La région est une zone inondable, les eaux sont drainées du nord vers le sud, par l'Oued Cheria, en collectant, au Nord du bassin, les affluents de directions NE-SW, N-S et NW-SE et, au Sud, les affluents de directions E-W et W-E

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

Le bilan hydrique, calculé sur une période de 32 années de 1982 à 2014, en utilisant la méthode de Thornthwaite montre que les bilans globaux sont généralement déficitaires. Avec, des précipitations mensuelles interannuelles sont de 298.91 mm, L'ETP atteint en Juillet 137.97 mm et un minimum est de 16.34 mm, en mois de Février. Par ailleurs, l'ETR est de l'ordre de 298.91mm. L'excédent est nul ! Ce qui explique l'influence de l'évapotranspiration dans la région et notamment le déficit agricole qui est de 466.65 mm.

Le plateau, de Cheria, abrite, essentiellement, trois aquifères :

1. Le premier est au sein des calcaires du Maestrichtien, perméables aux bordures et stérile au centre.
2. Le deuxième, qui est le plus important pour la région et sa périphérie, siège aux calcaires éocènes, d'une épaisseur qui s'étale de quelques dizaines à une centaine de mètres.
3. Le troisième est l'aquifère du Mio-Plio-Quaternaire qui est devenu sans intérêt hydraulique, vu la sécheresse aigue, qui a touché la région ces dernières décennies.

Les cartes piézométriques, de la région, montrent un sens d'écoulement général Nord Sud, et un gradient hydraulique très variable. Elles montrent, aussi, plusieurs dépressions piézométriques, qui peuvent être expliquées par le sur-pompage.

L'hydrochimie de la région a permis de tirer les conclusions suivantes:

- Une salinité importante traduite par les valeurs excessives de la conductivité, notamment dans la partie avale au Sud de la région.
- Des concentrations élevées, pour la quasi-totalité, des éléments chimiques, particulièrement dans la partie Sud, ceci peut être expliqué par l'écoulement long, et l'enrichissement progressif, le long du parcours traversé.
- Un faciès chimique chloruré magnésien ou calcique dominant.
- L'abondance de la teneur en calcium témoigne un phénomène de dissolution des roches carbonatées.

Deux faits ont marqués la région de Cheria ; le premier est survenu en 2002 avec l'affaissement des Douamis le deuxième est survenu en 2009, l'apparition de ces cavités déclare la région de Cheria comme Zone Karstique.

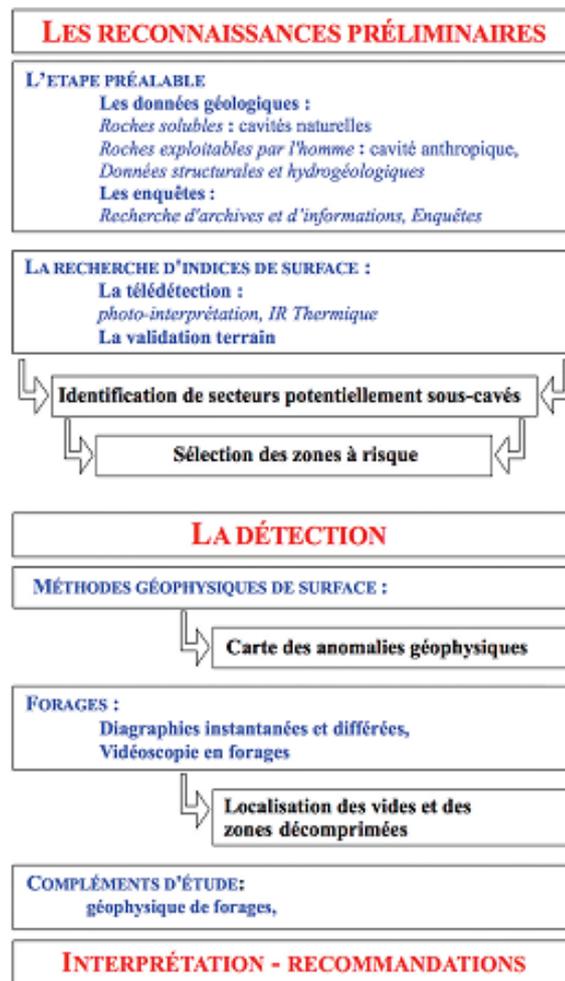
MOYENS MIS EN ŒUVRE

Les instabilités, liées à la présence des cavités souterraines, génèrent des désordres qui peuvent se propager jusqu'à la surface. Les conséquences peuvent être très graves : ruines des constructions et des ouvrages de génie civil et pertes humaines, en cas de phénomène brutal.

La recherche de cavités s'inscrit dans une politique de prévention des risques naturels et technologiques. Elle a pour objectif de déterminer les zones sous cavées susceptibles de provoquer des dégâts en surface. La méthodologie de recherche préconisée comporte les étapes suivantes : des études préliminaires, une campagne de mesures géophysiques, une campagne de forages. Elle doit mener à des solutions techniques de traitements.

Les cavités rencontrées habituellement dans le domaine du génie civil sont de deux types :

1. Naturelles (de dissolution)
2. Anthropiques (les carrières souterraines, les mines peu profondes).



Les études préliminaires réalisées mènent à une première définition de l'aléa cavité et à un premier zonage. Les méthodes géophysiques sont appliquées après la réalisation des études préliminaires, à savoir l'analyse des archives (disponibles) et de la géologie. Elles

apportent des informations supplémentaires sur le modèle géologique et permettent de réaliser un second zonage plus précis, au droit des anomalies mesurées susceptibles d'être des cavités.

Elles consistent à relier les mesures d'un champ physique aux propriétés intrinsèques du sous-sol et, en particulier, à la présence de cavité. Les forages sont ensuite implantés sur le second zonage (c'est pas le cas de cette étude, qui est limitée en matière de moyens). Ils permettent de contrôler, localement, les hypothèses faites sur le modèle géologique et la nature des anomalies mesurées par les méthodes géophysiques.

Le tableau suivant, récapitule les différentes techniques géophysiques, la profondeur d'investigation, rendement, type de cavité détectée et conditions d'utilisation de chacune, ce qui permet d'estimer, au préalable, l'efficacité des différentes techniques à projeter sur site.

Tableau 11 : Récapitulatif des techniques de détection des cavités (LCPC. 2009)

	Profondeur d'investigation indicative	Rendement	Type de cavités	Milieu urbain	Sensibilité au bruit	Sources de leurre	Conditions nécessaires de détection
Slingram		moyen, en général les mesures sont conduites à la vitesse de marche	karst argileux avec remontée verticale (par cheminées argileuses)	oui, mais contraintes fortes	Lignes et clôtures électriques	Environnement métallique	Milieu plutôt conducteur
VLF-R	Quelques mètres, comparable à celle obtenue en panneau électrique pour une anomalie ponctuelle	faible si électrodes inductives piquées dans le sol, grand si électrodes capacitatives tractées	Conducteurs ou vides avec remontée verticale (par ex. puits de catiche)	non	Emetteur radio, environnement métallique	Environnement métallique	Réception des émetteurs
VLF-EM		moyen, en général les mesures sont conduites à la vitesse de marche	karst argileux avec remontée verticale	non	Emetteur radio, environnement métallique	Environnement métallique	Réception des émetteurs
Infrarouge	Quelques mètres	Très grand rendement	Puits de marnière et karsts affleurants	non		Surfaces boisées, eau	Vol d'été après 17h00 Vol d'hiver en fin de nuit
Panneau électrique	$z \sim 1R$ pour une sphère vide de rayon R $z \sim 1,5R$ pour une sphère conductrice de rayon R	Quelques centaines de mètres par jour, pour des dispositifs d'une centaine de mètres et une distance de 1 mètre entre électrodes	Plutôt anomalies conductrices (failles, pendage, stratification,...)	non (1)	/	A-coups de prise	/

	Profondeur d'investigation indicative	Rendement	Type de cavités	Milieu urbain	Sensibilité au bruit	Sources de leurre	Conditions nécessaires de détection
Microgravimétrie	$z \sim 2R$ pour une sphère vide de rayon R	50 points de mesure / jour	Vides francs, cavités partiellement ennoyées	oui, mais contraintes fortes	Activité humaine, séismes, chocs	Hétérogénéités massiques du sol	Topographie connue au cm près en z
Sismique réflexion très hautes résolution	jusqu'à 50 m	Quelques centaines de mètres par jour, pour des dispositifs d'une centaine de mètres et une distance de 1 m entre géophones	Vides francs, carrières exploitées en chambre et piliers	non	Activité humaine, séismes, chocs, ondes de surface	Zone décomprimée, mauvais traitement	Présence d'un horizon réflecteur sous la cavité
Sismique réfraction	Entre 20 et 30 m			non			Milieu de vitesse croissant
Sismique en ondes de surface	10 m, dépend uniquement de la longueur d'onde dominante	Idem, plus si dispositif glissant	Vides proches de la surface, 10 m ² de section	oui	Activité humaine, séismes, chocs, ondes de surface	/	/
Radar géologique	Inversement proportionnelle à la conductivité. Jusqu'à 20 m	Plusieurs centaines de mètres à quelques kilomètres par jour	Cavités vides et cavités conductrices	oui	Faible sauf si antennes non blindées	/	Milieu encaissant supérieur à 100 m

Les méthodes géophysiques les plus appropriées au milieu urbain sont la sismique en onde de surface, le radar géologique et, mais avec des contraintes fortes, la micro gravimétrie et le slingram (LCPC 2004).

I. TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE

La méthode électrique pour l'étude d'un milieu non homogène comme le sous-sol a été très tôt appliquée par Maxwell, qui suggère l'emploi de quatre électrodes, plutôt que deux, pour mesurer la résistance au flux de courant dans un milieu conducteur. Mais c'est seulement à partir de 1912 que Conrad Schlumberger posa les bases de la prospection électrique en dégageant en particulier la notion de résistivité apparente (Mahammed, 2012).

En effet, quand le demi-espace est constitué de couches stratifiées, son idée a été de considérer cette résistivité apparente qui est la résistivité du milieu homogène donnant avec le même dispositif d'émission et de mesure, le même potentiel. Pour une structure horizontale, cette valeur dépend de la configuration d'électrodes.

1. Principe

En prospection électrique, on fait circuler un courant électrique dans le sol entre deux électrodes de courant et de mesurer la différence de potentiel induite entre deux autres électrodes, appelées électrodes de potentiel, à proximité des électrodes de courant. Puisque l'intensité du courant est connue et que la différence de potentiel est mesurée, il est alors possible de déterminer quelle est la résistivité apparente du sol étudié. Cette résistivité électrique apparente dépend de la configuration des électrodes de courant et de potentiel. La résistivité électrique apparente ρ_a peut être exprimée en fonction de la différence de potentiel (ΔV) en Volt et de l'intensité du courant (I) en Ampère.

$$\rho_a = K * \frac{\Delta V}{I}$$

Ici K désigne le coefficient géométrique du dispositif utilisé. La résistivité apparente présente trois propriétés principales (Dubois et al. 2011):

- ρ_a ne dépend pas de I .
- ρ_a dépend de la configuration géométrique utilisée.
- ρ_a est une sorte de moyenne des résistivités du milieu.

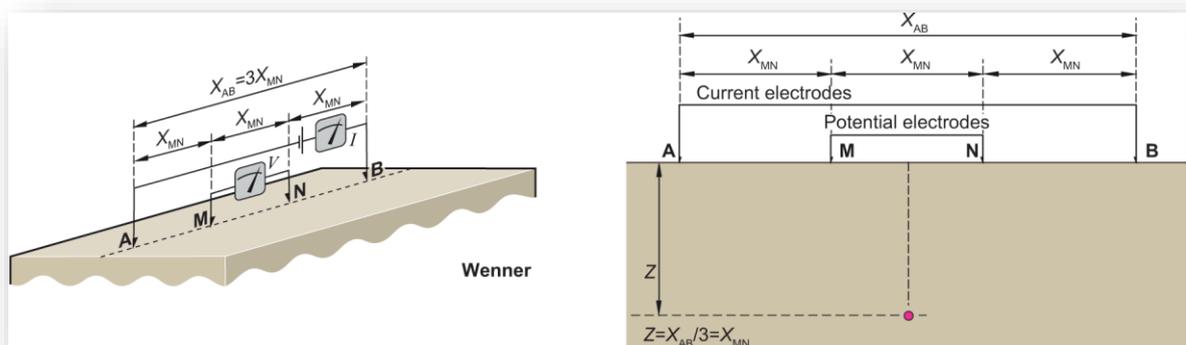


Figure 42 :Dispositif Wenner, à gauche, la configuration géométrique, et à droite, le point de lecture ou de report sur la pseudo-section (D'aprèsDenith and Mudge,2014)

La résistivité apparente ρ_a est aussi fonction de la résistivité du milieu, de la géométrie des diverses couches et de la disposition des électrodes. Il existe plusieurs dispositifs d'électrodes utilisés en pratique : Wenner , Schlumberger, Wenner-Schlumberger, pôle- pôle et dipôle-dipôle sont les plus couramment utilisés. Le choix du meilleur dispositif dépend de la structure à imager, du bruit de fond et de la sensibilité de l'appareil de mesure (Loke, 1994). Les différentes caractéristiques de chaque dispositif sont aussi à prendre en considération : par exemple la sensibilité du dispositif aux changements verticaux et horizontaux, la profondeur effective d'investigation, la couverture horizontale ou, encore, l'intensité du signal. La figure 42 représente le dispositif Wenner et sa caractéristique géométrique.

2. Résistivité des roches

La résistivité, peut varier (fig.43):

- De 1 à quelques dizaines d'ohms.m pour les argiles et les marnes
- D'une dizaine à quelques milliers d'ohms.m pour les grès
- D'une centaine à plusieurs milliers d'ohms.m pour les calcaires et les roches éruptives.

La correspondance entre la résistivité et le faciès géologique est une notion d'une grande importance pratique. Parfois, certains faciès, des argiles par exemple, gardent pratiquement la même résistivité sur des centaines de kilomètres; En général, la résistivité d'une formation est moins constante et peut évoluer progressivement le long d'une même formation, spécialement, dans les dépôts quaternaires (Chapellier, 2000).

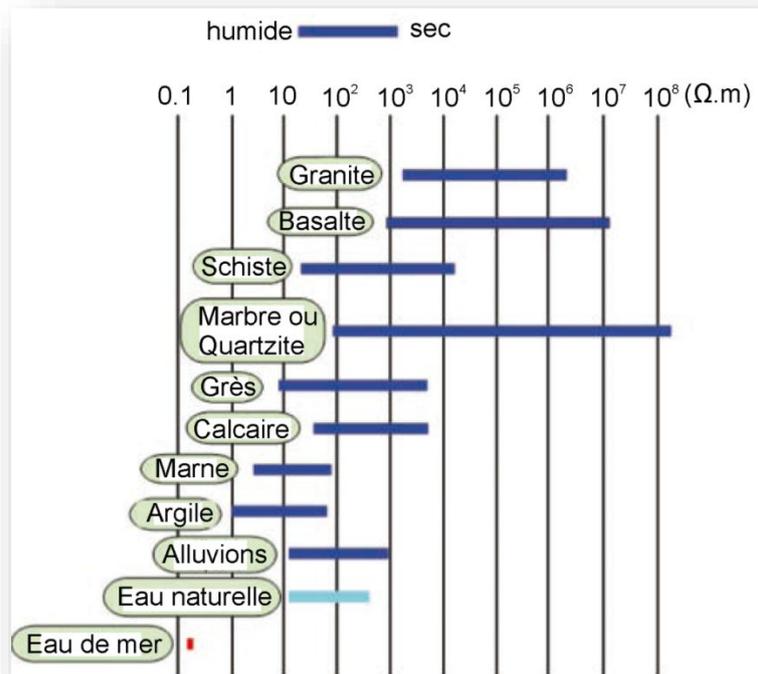


Figure 43: Résistivité de quelques roches (d'après Florsch and Muhlach, 2018)

3. La tomographie électrique

Cette méthode est, relativement, récente et doit son principal développement aux progrès effectués en informatique et en traitement mathématique (Marescot, 2008). Depuis quelques années, la tomographie électrique tend à devenir l'outil indispensable de toute personne concernée par des problèmes d'environnement, d'hydrogéologie, de génie civil, de géologie, de recherche de matière première ou d'archéologie. Des applications se développent, de plus actuellement, dans le domaine de la recherche minière et pétrolière. Les principaux atouts de cette méthode sont son faible coût, de mise en œuvre, ainsi, que la rapidité du traitement.

Une des limitations, des sondages électriques, vient du fait qu'ils ne prennent pas en compte, les variations latérales de la résistivité du sous-sol. La méthode, d'imagerie électrique 2D, fut mise au point dans le but d'obtenir un modèle du sous-sol où la répartition de résistivité varie verticalement et horizontalement le long du profil. Dans ce cas, on suppose que la résistivité ne change pas dans la direction perpendiculaire au profil. Cette supposition est raisonnable pour beaucoup de corps géologiques allongés et dans ce cas la méthode pourra être appliquée. Il faudra alors tenter de placer les profils perpendiculairement au corps à étudier ce qui nous permettra également de déterminer les vraies dimensions de ce corps. En théorie, une étude 3D devrait être encore plus précise. Si, pour un sondage, on emploie quelques dizaines de points, il en faudra entre 100 et 1000 pour un profil 2D et plusieurs milliers pour une acquisition 3D. Cette évolution, bien qu'elle permette une amélioration considérable de notre connaissance du sous-sol, pose différents problèmes: le temps d'acquisition important, le coût du matériel toujours plus élevé et l'interprétation des données de plus en plus nombreuses. L'imagerie 2D semble donc être actuellement un bon compromis

entre obtenir des données fiables tout en maintenant un coût d'acquisition et de traitement raisonnable.

3.1. Acquisition des données de Tomographie électrique 2D

Une acquisition 2D utilise, en général, un grand nombre d'électrodes connectées à un câble multi-conducteurs et placées selon un profil. Un ordinateur portable, dans lequel est programmée la séquence de mesures, est relié à une boîte de commutation et sélectionne automatiquement les électrodes utilisées pour l'injection du courant et la mesure du potentiel (Figure 44). Chaque électrode possède en effet une adresse numérique unique dans le dispositif, ce qui lui permet d'être identifiée par l'ordinateur. La séquence de mesure est généralement créée sous forme de fichier texte dans lequel est contenu diverses informations tel que le type de dispositif utilisé. Les formats de ces fichiers dépendent du constructeur. Les câbles multi-conducteurs sont reliés à la boîte de commutation. Un contact galvanique est assuré avec le sol au moyen de piquets métalliques (acier inoxydable) ou encore d'électrodes spéciales éliminant la polarisation spontanée. Un espacement constant est, généralement, utilisé d'une électrode à l'autre.

Lorsqu'on lance l'acquisition, le programme sélectionne automatiquement les électrodes utilisées pour l'injection du courant et la mesure du potentiel. La mesure est ensuite stockée dans la mémoire de l'ordinateur (ou du résistivimètre). La plus grande partie du temps d'acquisition est donc passée à attendre que le résistivimètre effectue la séquence de mesure. Pour le dispositif Wenner (fig.44), la première mesure (pour le niveau 1) va se faire à l'aide des électrodes 1,2,3 et 4; les électrodes 1 et 4 serviront à l'injection du courant (A et B), les 2 et 3 à la mesure du potentiel (M et N). Tout le dispositif va ensuite se déplacer d'une distance égale au tiers du dispositif. Les électrodes 2 et 5 serviront alors d'injection du courant et les 3 et 4 de mesure du potentiel. Le processus se répète jusqu'à la dernière électrode. Pour le niveau 2 (level 2), les dimensions du dispositif seront doublés. La première mesure (pour le niveau 2) va se faire à l'aide des électrodes 1,3,5 et 7; les électrodes 1 et 7 serviront à l'injection du courant (A et B), les 3 et 5 à la mesure du potentiel (M et N). Le processus se répète à nouveau jusqu'à la dernière électrode.

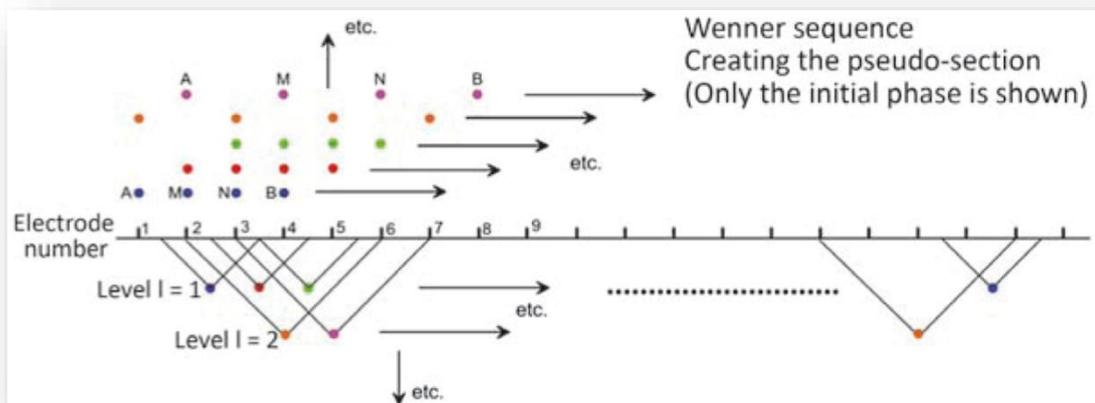


Figure 44 : Arrangement des électrodes pour une acquisition 2D et séquence de mesure pour le dispositif Wenner (D'après Florsch and Muhlach, 2018)

II. RADAR GEOLOGIQUE

On appelle Radar, l'ensemble des procédés qui permettent de détecter l'existence, la forme, la position ou la nature d'un objet, grâce à l'étude de la réflexion des ondes électromagnétiques sur celui-ci (voir, par exemple : Doolittle, 1987 ; Daniels, 1989). Basé sur ce principe, le radar géologique est une technique d'auscultation non destructive permettant d'obtenir des indications sur la structure du sous-sol (position et nature des couches) ou sur les hétérogénéités présentes (cavités, conduites...).

Les ondes utilisées pour les auscultations géologiques ou géotechniques s'étendent sur un spectre allant de 20 MHz à 5 GHz. La méthode dispose ainsi d'une certaine souplesse pour s'adapter à différents problèmes d'auscultation. L'utilisation des radars géologiques a connu une forte croissance. À l'heure actuelle, on dénombre environ 3 systèmes radar, en service, en Algérie.

1. Principes de la mesure radar

Une impulsion électromagnétique est transmise à la structure auscultée par l'intermédiaire d'une antenne. Dans le cas d'un milieu géologiquement stratifié, par exemple, cette onde se propage en s'atténuant et se trouve réfléchi par les interfaces des couches présentant un contraste de caractéristiques électromagnétiques.

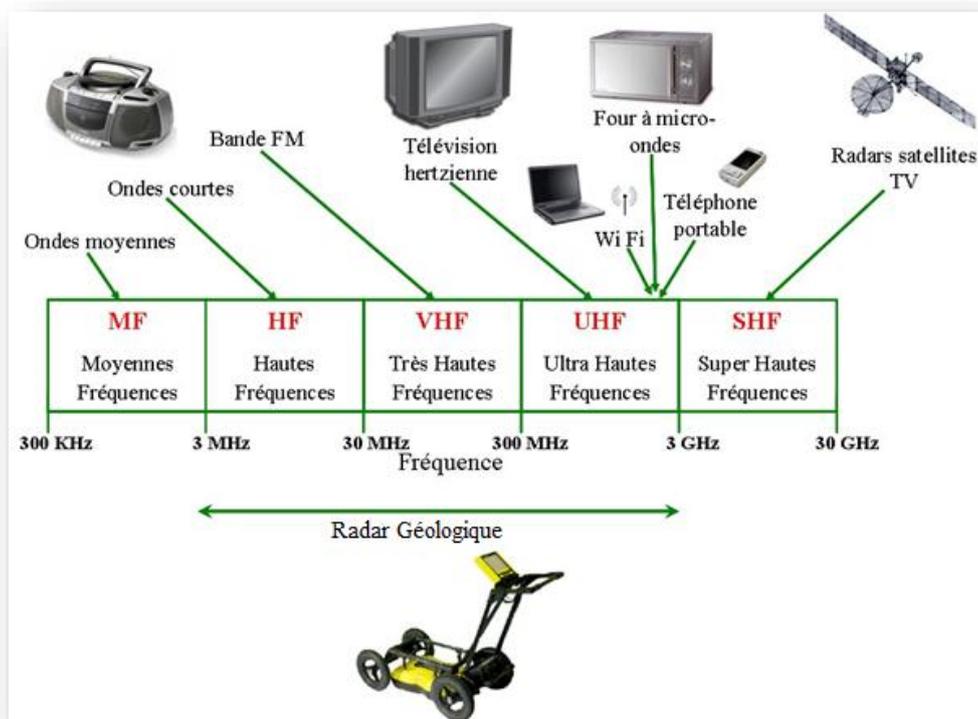


Figure 45: Ondes électromagnétiques en fonction de leurs fréquences et leur utilisation dans la vie courante (N.BOUBAKI. 2013)

Lorsque l'atténuation par le matériau n'est pas trop forte, l'onde réfléchie peut être détectée, à la surface par la même antenne (fonctionnement en mode monostatique), ou par une seconde antenne (fonctionnement en mode bistatique). L'observation, du signal temporel résultant, permet de visualiser la succession des échos, correspondant aux différentes interfaces géologiques. Les profondeurs auscultées, par ces méthodes, varient de un à plusieurs mètres. Elles dépendent de trois facteurs :

- la conductivité du matériau, qui est la principale cause de l'absorption de l'onde électromagnétique. Ainsi, les argiles et certains limons limitent très fortement la profondeur d'investigation de la méthode ;
- la fréquence de l'onde électromagnétique utilisée ; Plus la fréquence émise est basse, plus la profondeur d'investigation est importante ;
- la dynamique du radar ; Cette dynamique est le rapport entre la puissance du signal émis et la puissance du plus petit signal détecté.

La dynamique, des radars impulsionsnels, est très liée à leur mode de fonctionnement (monostatique ou bistatique). Elle est, également, liée aux opérations de filtrage et de traitement du signal, qui peuvent améliorer notablement le rapport signal/bruit.

Les mesures en réflexion représentent la quasi totalité des investigations opérationnelles par radar. Toutefois, des activités de recherche nécessitent, parfois, d'opérer en transmission. Le matériau est, alors, placé entre l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice. Le résultat est, dans ce cas, un temps de parcours, ou une vitesse de propagation puisque l'on connaît, généralement, l'épaisseur traversée.

Ce type de mesure donne une information globale, sur le matériau traversé, et permet de le caractériser par l'intermédiaire de sa constante diélectrique. Un examen de l'amplitude du signal permet également de décrire l'absorption de l'onde électromagnétique par le matériau.

Pour chaque position du radar impulsionsnel, la mesure est un signal constitué d'une succession d'échos d'amplitudes variables en fonction du temps (fig. 46). La juxtaposition de signaux successifs enregistrés, lors du déplacement du radar, permet d'obtenir une représentation (distance, amplitude radar, temps de propagation) donnant des informations géométriques sur les interfaces entre les couches ou les hétérogénéités du matériau. Pour plus de lisibilité, une représentation fréquemment utilisée traduit chaque niveau d'amplitude par des couleurs différentes ou par des niveaux de gris différents. C'est ce que l'on appelle une « coupe temps ».

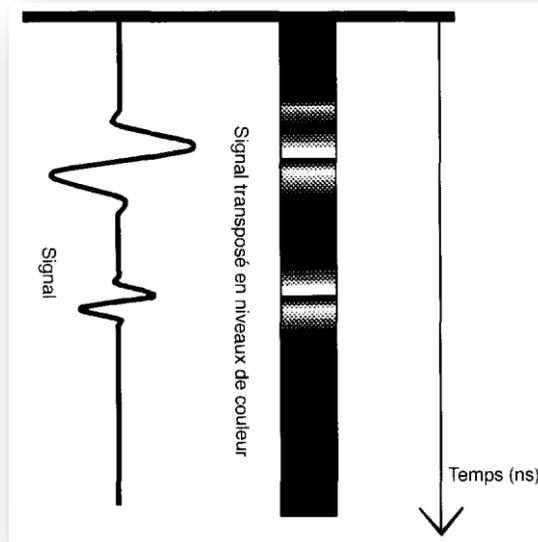


Figure 46 : Exemple de signal radar

Pour une meilleure lecture de la juxtaposition d'un grand nombre de signaux, les amplitudes radar sont, la plupart du temps, traduites en niveaux de couleur (fig.49). La traduction de l'échelle des temps de propagation en échelle des profondeurs exige la connaissance de la vitesse de propagation de l'onde électromagnétique dans le matériau. Différentes méthodes permettent d'estimer cette vitesse de propagation, à partir de mesures *in situ* ou à partir de sondages de référence. Cette vitesse de propagation est directement reliée à la constante diélectrique, qui dépend du matériau et de sa teneur en eau. Lorsque le matériau est très hétérogène (géologie, géotechnique), on se limite souvent à une représentation temporelle du signal. On se contente alors d'une estimation des profondeurs. Dans les cas de matériaux plus homogènes (chaussées par exemple), les mesures permettent d'obtenir une évaluation plus précise des profondeurs.

2. Traitement des données

Pour permettre un contrôle des opérations *in situ*, les signaux obtenus, sur chantier, sont, déjà, le résultat d'un prétraitement. Ces prétraitements sont destinés :

- A compenser la diminution de l'amplitude des signaux, en fonction de la profondeur (temps). Ce résultat est obtenu en appliquant un gain croissant en fonction du temps. La définition de la courbe $\text{gain} = f(\text{temps})$ est, donc, une opération de réglage préliminaire très importante pour la qualité des signaux à venir.
- A éliminer des composantes continues du signal ou de certains bruits. Ces composantes sont liées à l'électronique et sont supprimées par l'utilisation de filtres temporels.

Ces opérations permettent d'optimiser le rapport signal/bruit, avant même, l'enregistrement des données.

L'équipement radar utilisé est composé de :

- Une unité centrale radar type SIR-3000 ;
- Une antenne 400Mhz et 150Mhz ;

L'antenne 400MHz (fig.47) permettant une acquisition jusqu'à 3m de profondeur dans de bonnes conditions, avec une très grande précision, celle de 150Mhz peut aller a plus de 12m de profondeur d'investigation.

Nous entendons par bonnes conditions, un sol sec et homogène, en effet, plus le sol sera hétérogène, mouillé, ou argileux, et moins bonne sera la pénétration et la qualité du signal.



Figure 47 : Montage de l'antenne 400 MHz

3. Présentation des résultats radar

Les signaux radar se présentent sous la forme d'une coupe 2D, avec, en exemple, la coupe suivante (fig.48):

- En abscisse, la distance à l'origine (les profils radar ont été effectués de haut en bas) ;
- En ordonnée la profondeur d'investigation estimée au travers de la constante diélectrique (étalonnage sur site ou tableaux de valeurs caractéristiques) ;
- Le zéro horizontal est à l'origine du Profil ;
- La profondeur est donnée depuis la surface du sol.

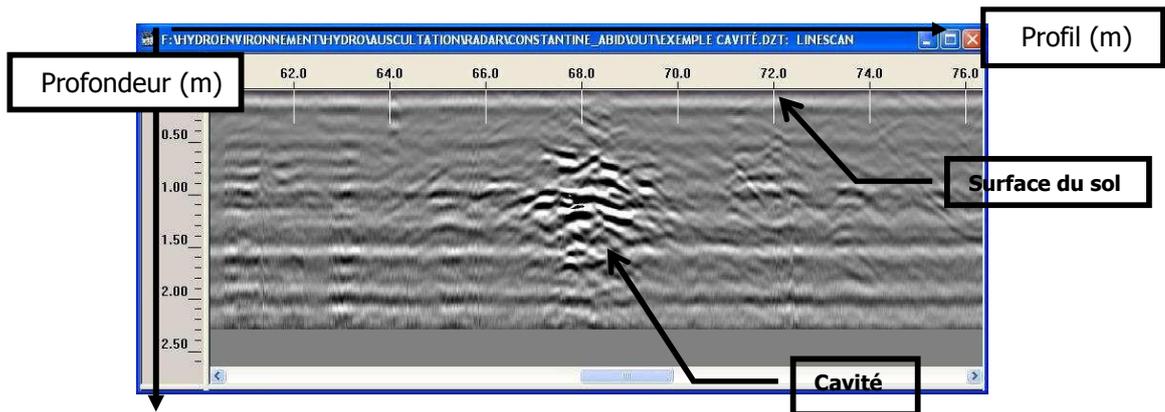
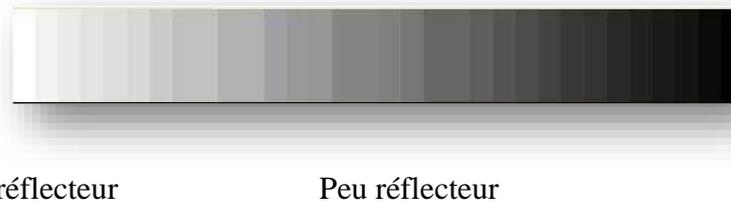


Figure 48 : Radargramme, exemple de cavité détectée

4. Codes de couleurs

Les signaux radar enregistrés par l'antenne réceptrice sont des signaux réfléchis dans la structure auscultée. Les fortes amplitudes correspondent à des interfaces, les signaux faibles à un matériau homogène. Les amplitudes sont définies par le code des couleurs suivant (fig.49) :



Très réflecteur

Peu réflecteur

Figure 49: Table de couleur des signaux radar

Les amplitudes élevées (couleur blanche) correspondent à des couches fortement réfléchissantes, soit conducteurs (argileux par exemple), soit résistants et généralement plus raides (calcaire, dans notre cas). Elles peuvent, également, correspondre à des vides ou à des décompressions. La distinction entre ces différents cas se fait par un traitement du signal en amplitude, en temps et en fréquence. Les amplitudes moyennes et faibles correspondent à des terrains faiblement réfléchissants, généralement meubles (sable par exemple).

III. SONDAGE CAROTTE

Le sondage carotté est le moyen de reconnaissance le plus précis, mais aussi, le plus coûteux. Il consiste à forer, en enfonçant un cylindre creux (le carottier) dans le sol, ou la roche, afin de prélever un échantillon de sol, ou de roche. Ce type de forage n'est fait que lorsque l'on a besoin de connaître précisément la roche, sa structure et/ou de procéder à des mesures précises dessus, comme pour faire des essais physiques et mécaniques. C'est une opération relativement lente, la progression est limitée par la taille du cylindre du carottier ou du train de tiges (LCPC 2004).

Le principe des sondages carottés est de venir découper un cylindre de terrain, le plus intact possible, afin de réaliser des observations et des essais représentatifs, des formations en

place. Le découpage des terrains peut être fait par fonçage ou battage (carottier poinçonneur) ou par rotation (carottier rotatif).

Cette technique consiste à venir découper les terrains et faire pénétrer l'échantillon dans l'outil, par pression, vibration, battage ou rotation.

Les carottiers rotatifs sont constitués d'un tube cylindrique à l'extrémité, duquel, se trouve un outil appelé couronne. L'ensemble est mis en rotation et en appui par la tête de forage via le train de tige. La couronne, munie d'éléments d'abrasion (carbure de tungstène, diamants synthétiques, ...), découpe le terrain qui entre à l'intérieur du tube du carottier. En fin de passe, à la remontée de l'ensemble, un extracteur rompt le contact entre la carotte et le terrain en place, puis maintient la carotte à l'intérieur du tube du carottier (Fig. 50).

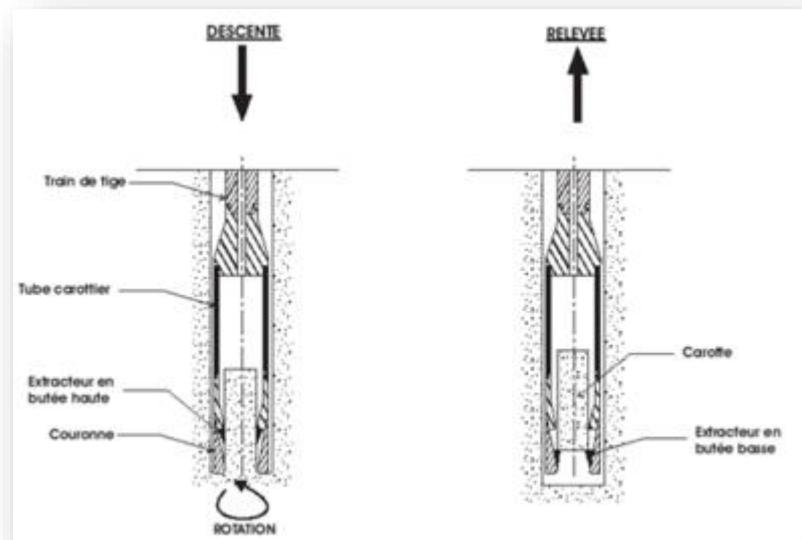


Figure 50: Carottier rotatif(in Ph. REIFFSTECK 2012)

Selon la nature des terrains à prélever et la qualité des échantillons recherchés, différents carottiers rotatifs seront mis en œuvre (Fig. 51) ; Il existe des carottiers simples, doubles et triples, qui sont normalisés par les normes XP P 94-202, ISO 22475-1 (in Philippe REIFFSTECK. 2012).

1. Carottier simple

Le système se limite à un tube carottier muni d'une couronne. Lors du forage, le fluide de forage passe le long de l'échantillon qui peut également être en contact avec le tube du carottier en rotation, de telle sorte que la qualité de l'échantillon est limitée et ne permet qu'une caractérisation de la nature des sols. Cette technique est couramment pratiquée en carottage de chaussée (in Ph. REIFFSTECK. 2012).



Couronne et carotte

Carottier simple

Photo 4 et 5: Carottier simple (in Ph. REIFFSTECK. 2012)

2. Carottier double

Le système comporte un tube extérieur entraîné en rotation portant la couronne et un tube intérieur monté sur pivot en partie haute qui ne tourne pas et emmagasine l'échantillon. Le fluide de forage circule entre le tube extérieur et le tube intérieur. À l'exception des sols mous, les prélèvements réalisés par cette méthode permettent de caractériser la nature et partiellement l'état des sols (à l'exception des caractéristiques mécaniques). Cette méthode est la plus couramment appliquée en géotechnique (Fig.51, in Ph.REIFFSTECK. 2012).

3. Carottier triple

Ce carottier ajoute au carottier double un étui amovible qui recueille l'échantillon et permet l'extraction d'une carotte directement conditionnée. À l'exception des sols mous et fins, cet outil assure le meilleur type de prélèvement et autorise la caractérisation de la nature et de l'état des sols. L'échantillon n'est jamais en contact avec le fluide de forage et il est directement protégé par une gaine en PVC. Cette gaine peut être fendue ou non, translucide ou non.

Les sondages carottés fournissent la meilleure qualité d'échantillon permettant de caractériser à la fois la nature et l'état des sols. Cependant, leur réalisation est longue et coûteuse et leur emploi est généralement destiné à répondre à des questions spécifiques posées par les études (calage géologique de référence, échantillons pour fixer les calculs de stabilité ...).

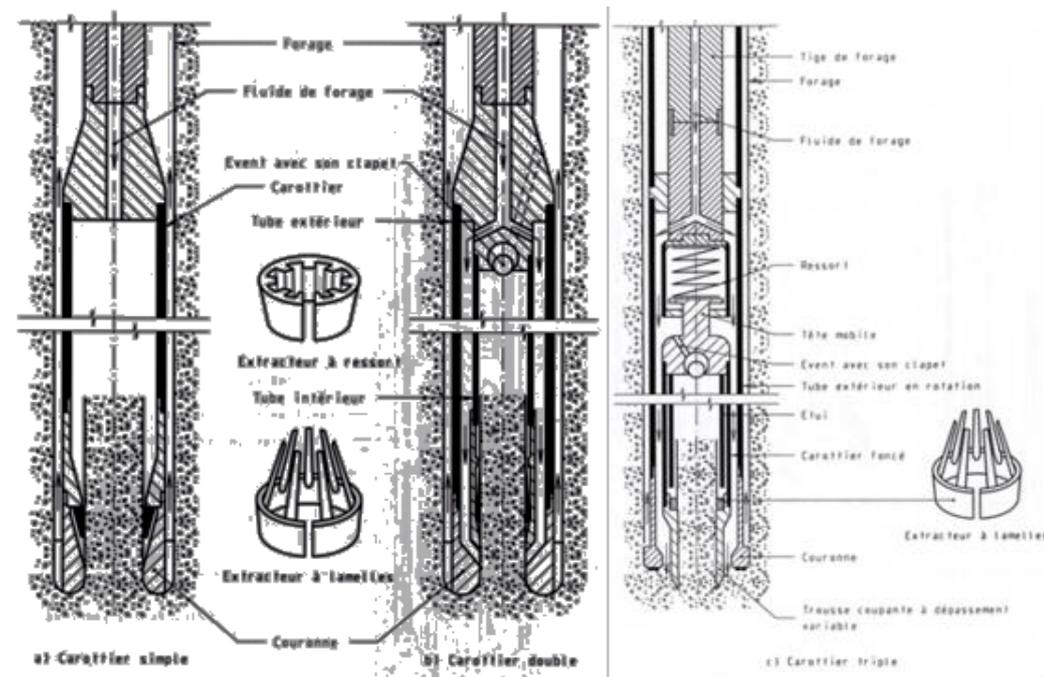


Figure 51 : Différents types de carottiers rotatifs
(in Ph. REIFFSTECK 2012)



Photo 6 : Prélèvement et récupération des carottes



Photo 7 : Récupération des carottes



Photo 8 : Etiquetage des carottes



Photo 9 : Etiquetage, paraffinage et mise dans les caisses

Photo 6,7,8 et 9: Prélèvement de carottes (in Ph. REIFFSTECK 2012)

Il faut souligner que la qualité du sondage carotté dépend également de son objectif: dans le cas de prise d'échantillons pour essais en laboratoire, l'échantillon doit être le moins remanié possible (tant lors du prélèvement que lors de son transfert au laboratoire) mais surtout avoir un diamètre suffisant pour confectionner des éprouvettes : carotte de 92mm de diamètre minimum soit un carottier de 116mm.

IV. PENETROMETRE DYNAMIQUE

Le pénétromètre dynamique (SPT Standard Penetration Test. Fig 52) est un sondage géotechnique qui consiste à faire pénétrer dans le sol un échantillonneur standard (une tige) sous les coups d'un marteau-pilon d'un poids « P » et d'une hauteur « H », qui tombe en chute libre sur l'outil échantillonneur. Trois mesures sont effectuées en comptant le nombre de coups nécessaire à chaque fois pour l'obtention d'une pénétration de l'outil et ce jusqu'au refus (la tige ne s'enfonce plus). Cet essai présente divers avantages, à savoir, coût réduit ; S'effectue sur tout terrain, tout au plus, en changeant l'échantillonneur cylindrique creux avec une extrémité conique pour les matières grossières ; Interprétation sûre du résultat (LCPC 2004).

Le sondage au pénétromètre dynamique est, certainement, l'une des plus anciennes méthodes d'investigation, dérivant directement de la mise en œuvre des pilotis en bois, il y a de nombreux siècles. Le domaine d'application du pénétromètre dynamique va de la reconnaissance des sites, à la prévision de la pénétrabilité des terrains, par les palplanches et les pieux battus. Il est utilisé également pour le contrôle de la qualité du compactage des remblais, en particulier les remblais déstranchés, après pose de canalisations.

Cet appareil a été, longtemps, considéré comme un appareil de reconnaissance rudimentaire, car fondé sur un principe simple. L'essai au pénétromètre dynamique revêt surtout un aspect qualitatif.

Le pénétromètre dynamique est constitué de quatre éléments importants :

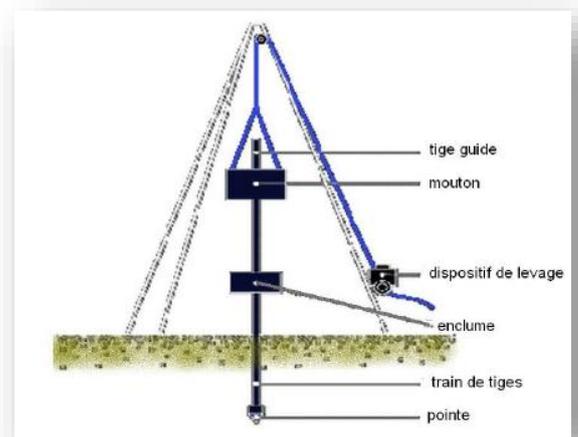


Figure 52 : Pénétromètre dynamique

- Le mouton : c'est la source d'énergie, le plus souvent à chute libre, tombant d'une hauteur constante ou non.
- L'enclume: solidaire du train de tiges, comporte parfois un amortisseur.
- Le train de tiges: il présente une masse variable en fonction de sa longueur.
- La pointe: elle comporte une géométrie très particulière (diamètre et angle au sommet). Elle peut être perdue ou récupérable.

Il existe une grande variété de pénétromètres dynamiques. Les normes françaises distinguent deux types de pénétromètres :

- Le pénétromètre PDA (NF P 94-114) : C'est l'appareil de référence, dans lequel, le frottement entre la tige et le sol est rendu négligeable grâce à l'injection d'une boue de forage à proximité de la pointe.
- Le pénétromètre PDB (NF P 94-115) : C'est le plus simple et le plus économique, mis en œuvre, sans boue de forage. On évalue le frottement éventuel entre la tige et le sol, en mesurant le couple nécessaire pour entraîner la rotation du train de tiges à l'aide d'une clé dynamométrique.

L'essai consiste à compter le nombre de coups de moutons N_d nécessaire pour l'enfoncement Δh constant. La fin du sondage correspond à la satisfaction de l'une, des conditions suivantes :

1. La profondeur déterminée, préalablement, est atteinte ;
2. L'enfoncement sous 100 coups est inférieur ou égal à 20 cm ou l'enfoncement sous 50 coups est inférieur à 10 cm ;
3. Le rebond du mouton est supérieur à 5 cm.

L'interprétation quantitative des résultats de pénétration dynamique doit être faite avec prudence en raison du caractère aléatoire des mesures. Par contre l'analyse qualitative des diagrammes de pénétration permet :

- D'apprécier la compacité des sols pulvérulents
- D'apprécier l'homogénéité d'un site, de déceler des zones d'hétérogénéité (recherche de cavités karstiques ou des zones de terrain décomprimé), de positionner les couches dures. En général, dans les sols homogènes, la valeur de la résistance à la pointe augmente très légèrement avec la profondeur.
- De vérifier la faisabilité du battage de pieux, chemises métalliques, palplanches et de déterminer quelle sera la cote approximative de leur refus absolu. Vérifier aussi l'existence de faux refus.
- D'obtenir de bons résultats pour le dimensionnement des fondations superficielles.

V. SPELEOLOGIE

La Spéléologie est un nom composé d'origine latine issue des expressions « *Spelaion* » et « *logos* ». *Spelaion* qui signifie Caverne ou Grotte et *logos* qui désigne savoir ou science. La spéléologie rassemble donc l'ensemble des activités liées à l'exploration et l'étude des cavités souterraines naturelles, anthropiques ou artificielles, du sous-sol (gouffres, cavernes, rivières souterraines, etc.).

La spéléologie se pratique particulièrement dans les régions karstiques. Toutefois les spéléologues s'intéressent aussi aux cavités tectoniques, volcaniques, glaciaires et anthropiques.

Elle a pour objectif l'exploration du karst et des milieux souterrains, naturels, artificiels afin de contribuer de manière active à l'étude, la connaissance et la conservation des grottes gouffres et abîmes tout en tenant compte des éléments du patrimoine de surface.

La spéléologie est une activité pluridisciplinaire à forte valeur ajoutée éducative, elle allie à la fois des aspects scientifiques, environnementaux, sportifs et de loisirs. Elle permet l'étude géologique, Hydrogéologique et Biologique des cavernes.

Conformément aux techniques spécifiques liées à la diversité des obstacles, la discipline requiert un matériel adapté. L'équipement individuel comporte, sur un sous-vêtement protégeant du froid et de l'humidité, une combinaison et des gants en plastique imperméable, des bottes en caoutchouc. Le casque, protégeant du choc ou des chutes de pierres, est muni d'un éclairage frontal, souvent double. Le matériel d'exploration est varié : cordes ou échelles souples en Nylon, autobloqueurs, canots pneumatiques gonflables, scaphandres autonomes, appareils de mesure variés (pour l'orientation, l'inclinaison, le développement des galeries), naturellement matériel de camping souterrain, etc.

La spéléologie intéresse des disciplines et des sujets d'études très variés : la géologie, la minéralogie et la cristallographie, puisque les spéléologues évoluent au sein des roches, de

même que l'hydrogéologie (formation et datation des cavernes, étude des cours d'eau souterrains) et ses applications aux chapitres de l'hydraulique des travaux publics et de l'industrie hydroélectrique.

Les problèmes de pollution ou de recherche d'eau potable peuvent être aussi tributaires de la spéléologie. Les sciences physiques et chimiques sont concernées par les phénomènes propres aux cavernes, et on y fait étudier la radioactivité, les ondes telluriques, les rayons cosmiques, les rayons gamma, et procéder à des mesures d'hydrotimétrie, de résistivité, de géothermie et d'ionisation. Les naturalistes étudient la faune et la flore cavernicoles (les mœurs des chauves-souris y ont fait l'objet d'études particulières).

La météorologie des cavernes, l'étude et l'observation des anomalies de températures, renversement de courants d'air, formation de brouillards, géothermie, etc..., constituent un autre pôle d'intérêt.

La paléontologie et l'archéologie préhistorique doivent beaucoup aux spéléologues, dont les recherches ont aussi permis l'aménagement de grottes à des fins touristiques (Padirac ou Aven Armand, en France, grotte de Postojna, en Slovénie, par exemple). La médecine s'intéresse aux grottes à cause de leurs climats et des radiations qui y existent. L'air y est remarquablement pur, exempt de poussières et de microbes, fortement ionisé et souvent radioactif. Enfin, des expériences d'isolement en l'absence de tout repère temporel (notamment celles de Michel SIFFRE) ont fourni des éléments de compréhension de l'horloge interne humaine (internet, ffspléolo.fr).

VI. PHOTOGRAMMETRIE

De tout temps l'homme a cherché à saisir et à construire une représentation de la nature. L'art d'abord, la science ensuite. Aujourd'hui plus encore, l'image et les représentations spatiales de cette « nature » sont au cœur des travaux de recherches tant dans le domaine des géosciences que des sciences de l'homme.

La photogrammétrie ou l'iconométrie, permet la mesure géométrique d'objets dont on possède des images. Ce terme est un peu vague et nécessite une définition précise dans le cadre de la photogrammétrie : « une image est une transformation géométrique de l'espace R^3 dans l'espace R^2 (fonction image) ». Peu importe la réalisation physique de cette transformation, très souvent photographique.

Bien entendu, la fonction image ne peut pas être directement inversée, l'inverse d'un point étant sauf exception une ligne. Il est donc nécessaire d'ajouter une autre information pour permettre la localisation à partir de l'image.

Lorsqu'une telle information n'est pas disponible on peut utiliser plusieurs images qui couvrent l'objet, et qui permettent ainsi de le localiser par intersection. C'est la base de la stéréophotogrammétrie.

Quelle que soit l'utilisation des images dans un but de mesure (stéréo restitution, redressement, ortho photo, corrélation, texturation de nuages 3D), il est nécessaire de reconstituer les conditions géométriques dans lesquelles ces images ont été acquises. Plus précisément, il s'agit de déterminer la position et l'orientation de la caméra à chaque photo.

Cette opération constitue le géo référencement des images, et revient à déterminer toutes les formules d'image des photographies.

Le géo référencement des images peut être réalisé à la demande pour deux images, dans le cas de la stéréo restitution d'un couple, mais il est plus économique de traiter simultanément l'ensemble des images.

On utilise alors une méthode d'aérotriangulation, dont les résultats peuvent être employés pour la fabrication des produits finaux. Pour cela plusieurs logiciels sont utilisés, mais la plupart sont payant et très chers et il n'y a pas de logiciel qui fait tout le traitement, pour cela on va utiliser au minimum deux logiciels, à savoir :

1. Photoscan
2. Cloud Compare

Le logiciel de photogrammétrie par corrélation dense « Photoscan », de la société « Agisoft », pour l'acquisition numérique d'un objet. La technique de photogrammétrie par corrélation dense permet de réaliser la numérisation tridimensionnelle de la surface d'un objet réel à partir des photographies de cet objet (nombre de photos > 2). C'est une sophistication de la technique de photogrammétrie classique qui consistait à mesurer un objet réel à partir de plusieurs photographies. Il permet aussi de générer un nuage de points dans l'espace donnant une représentation 3D de l'objet, qu'on peut l'habiller d'une texture.

Le logiciel « CloudCompare » est un logiciel libre de l'éditeur « 3D », permet de comparer deux nuages de points dans l'espace, par superposition tridimensionnelle, ce qui permet, ensuite, la comparaison et la mesure des déplacements des points et des surfaces du même objet.

RESULTATS

&

DISCUSSION

Ce travail, j'espère, présente une contribution à l'éclaircissement du phénomène survenu le 26 Fevrier2009 à la ville de Cheria, construite sur les calcaires éocènes, au quartier Harkat Bouziane, situé au centre-ville. Les habitants entendaient, depuis quelques jours, des craquements inexplicables. La nuit du jeudi 26/02/2009, les bruits s'amplifient et les habitants, affolés quittent leurs maisons. Dans quelques heures des dizaines de maisons sont englouties ou effondrées, Avec l'apparition de fissurations au sol et au niveau de plusieurs autres maisons, et l'ouverture de cavités souterraines dont on ne soupçonnait même pas l'existence.



Photo 10 : Magasins et maisons effondrés



Photo 11 : Maisons effondrées



Photo 12 : Maisons et biens engloutis par une cavité, maisons fissurées



Photo 13 : Edition d'Echourouk du samedi 28.02.2009

Photos 10, 11, 12 et 13 : Photographie du sinistre + coupure de presse

Dans ce chapitre, on va présenter tout les résultats des travaux d'investigation faites sur terrain d'étude, auxquels j'ai eus, parfois, du mal à faire aboutir ; Il s'agit de :

1. Deux compagnes de tomographie électrique ;
2. Deux compagnes de radar géologique ;
3. Une compagne de quinze sondages carottés ;
4. Une compagne de trente pénétrètres dynamiques ;
5. Deux compagnes de spéléologie ;
6. Photogrammétrie ;

I. TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE

Trois profils de tomographie électrique ont été réalisés, dans la région de Cheria ; Le premier profil a été réalisé dans la région des Douamis, deux profils parallèles ont été réalisés par Y. AZIZI, (in Y.Azizi, geotech and geol Engineering,2014).

1. Tomographie électrique des Douamis

La tomographie électrique, le long du grand effondrement de Cheria a été réalisée avec le dispositif Wenner.

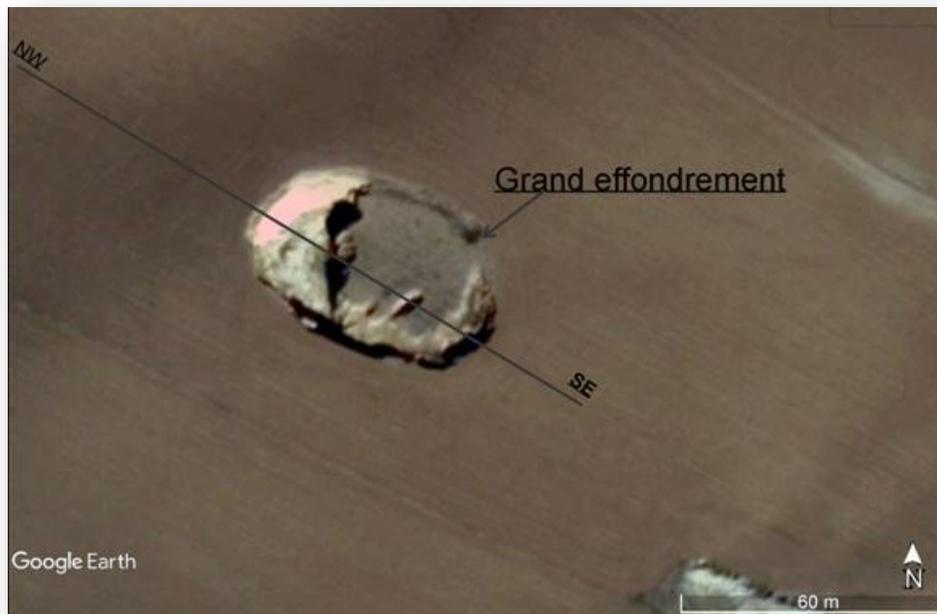


Figure 53 : Position du profil tomographique sur Google Earth

La figure 53 représente la position du profil, de tomographie, sur Google Earth. L'inter-électrode est de 5 m. La longueur totale du profil, de direction NW-SE est de l'ordre de 195m. Ceci, nous a permis d'avoir une profondeur d'investigation effective de l'ordre de 16m.

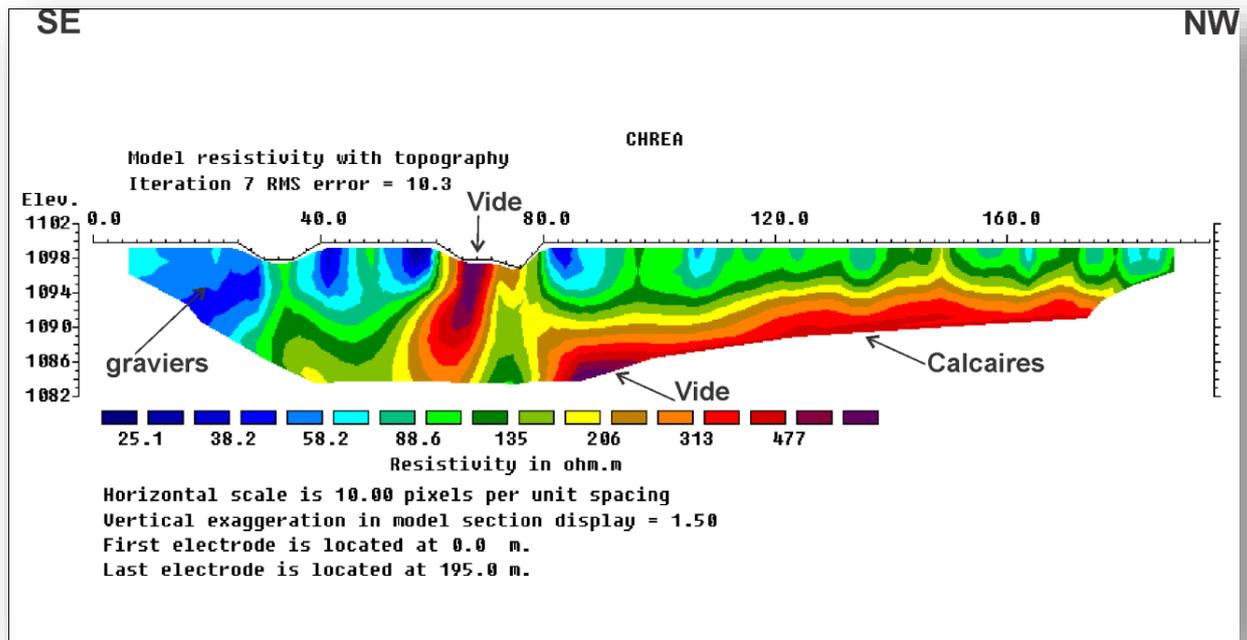


Figure 54 : Tomographie électrique, le long du grand effondrement de Cheria

La tomographie électrique, représentée, sur la figure 54, permet de distinguer des zones conductrices (couleur bleu sur la palette de couleur), visibles sur le début du profil, de la station 0 à la station 60 (inférieur à 60 ohm.m). Les zones résistantes sont situées à l'aplomb des stations 70 et 85. Elles sont causées par les vides. Les calcaires de l'Eocène semblent s'enfoncer tout en allant vers le SE (couleur rouge 400 ohm.m). Vers la fin du profil du côté NW, les calcaires s'approchent de la surface du sol.

- Les formations de couleurs variant du bleu sombre au bleu clair, au vert se traduisant par des valeurs de 25 à 140 ohm.m correspond à un remplissage alluvionnaire et tufs sableux.
- Les formations de couleur jaune, présentant des valeurs autour de 200 ohm.m semble appartenir à des calcaires tufeux du toit de l'éocène.
- Les formations de couleurs orange et rouge, semble plus compactes, elles présentent des valeurs de 300 à 500 ohm.m ; Elles correspondent au toit éocène.
- Les zones, les plus résistantes mauves, se traduisent par des vides dans les calcaires éocènes, cela a été étalonné et vérifié sur terrain.

Le vide de la station 70 correspond à un vide qui a été créé au niveau d'une faille de direction NE-SW qui est perpendiculaire à l'axe du profil tomographique et d'autres accidents parallèles et perpendiculaires ne sont loin que de quelques mètres.



Photo 14: Photographie montrant le miroir de faille, vide, compartiment soulevé à gauche et compartiment abaissé à droite.



Photo 15: Photographie montrant les accidents dérivés à quelques mètres de la faille.

2. Tomographie électrique de la ville de Cheria

Dans le quartier sinistré de Harkat Bouziane, à la ville de Cheria, deux profils parallèles de 50m (fig.55) de direction NNW-SSE ont été réalisés, le profil rouge est mentionné Est T1, le profil bleu est mentionné Ouest T2 (in Y.Azizi.2014).

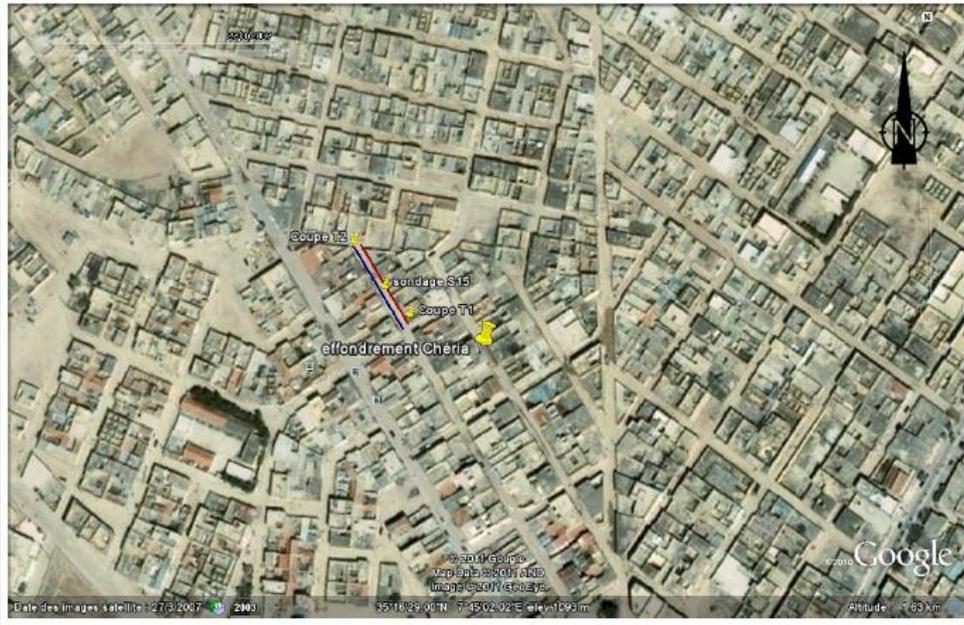


Figure 55 : Situation des tomographies de la ville (in Y.Azizi.2014)

Les deux profils ne sont séparés que d'une dizaine de mètres, les deux profils montrent les mêmes formations mais a des profondeurs différente. La correspondance entre les valeurs de résistivité et formations géologiques sont les mêmes que celles sus – citées au grand effondrement.

Le profil Est T1

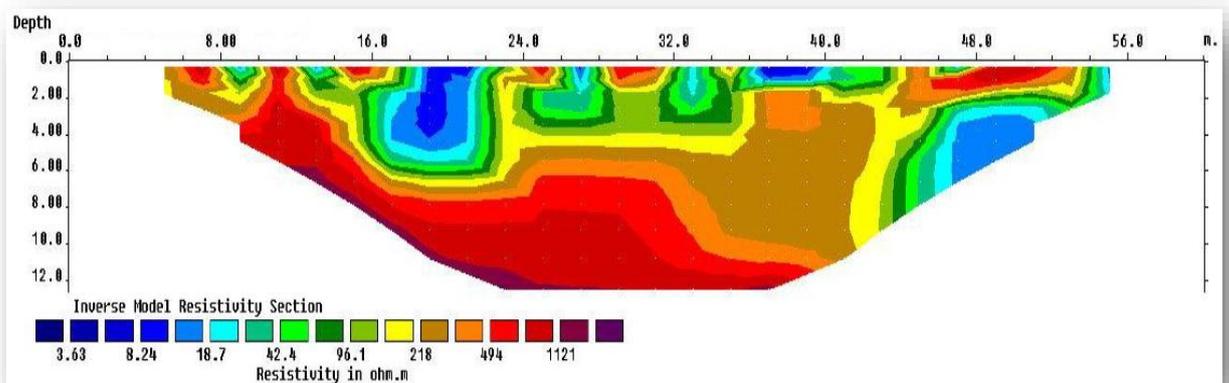


Figure 56 : Profil tomographique Est T1 (in Y.Azizi.2014)

Les formations de surface montre des faibles valeurs de résistivité correspondant à un remplissage alluvionnaire qui reposent sur un substratum plus résistant calcaire ne présentant de vides (résistivités de 1100 ohm.m et plus) que dans la partie nord à partir de 10 de profondeurs, vu qu'on est à la limite de la profondeur d'investigation où l'erreur de la technique augmente.

Le profil Ouest T2

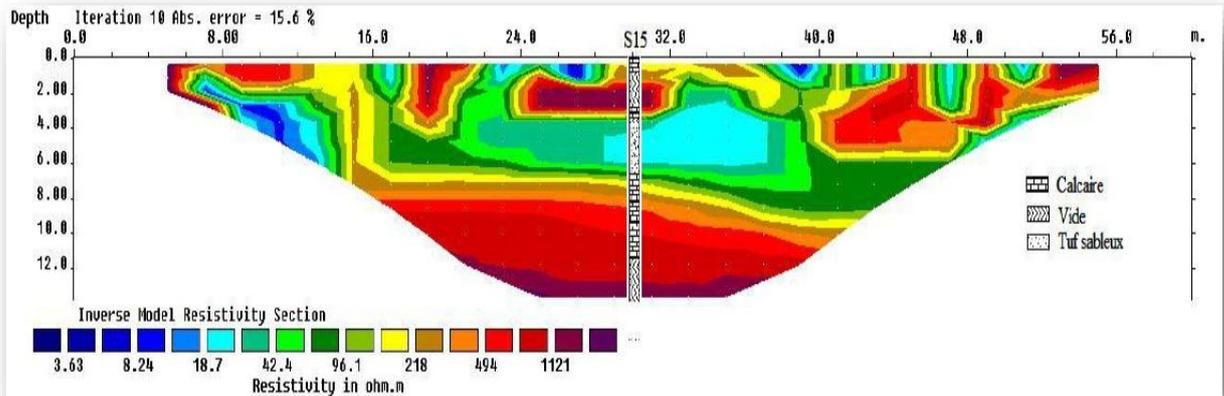


Figure 57 : Profil tomographique Ouest T2 (in Y.Azizi.2014)

Les formations de surface montrent des faibles valeurs de résistivités correspondantes à des tufs, ces tufs caractérisent le toit des calcaires éocène conformément à la description des faciès surmontant des calcaires blancs crayeux.

Là, on remarque comme une lentille de calcaire dur (résistivité proche de 500 ohm.m) baignant dans les tufs sableux et qui présente un vide karstique, surmontant un substratum calcaire karstifié à la base; On est peut-être à proximité d'une faille de direction NE-SW.

II. RADAR GEOLOGIQUE

Deux campagnes de Radar géologique ont été réalisées sur le terrain ; la première en 2011, dans ville de Cheria. La deuxième en 2012 du côté des effondrements des Douamis.

1. Radar Géologique de la ville de Cheria

Au niveau de la ville plusieurs profils ont été réalisés, en s'approchant au maximum de la zone sinistrée. Certains profils détectent bien des cavités naturelles, parfois limitées, parfois des vides horizontaux, des fractures subverticales et d'autres des conduites d'assainissements.



Photo 16 et 17 : Osculation de la zone sinistrée

L'auscultation a permis de mettre en évidence plusieurs types d'anomalies, dont certaines, peuvent correspondre à des cavités.

En effet, le radargramme de la figure 58, montre une cavité à 50cm de profondeur et également une cavité un peu plus profonde (épaisseur supérieure à 1m) à quatre mètres de distance. Nous avons également détecté, à côté d'une habitation, une fracture avec un pendage de 15° qui est vecteur de circulation d'eau et donc pouvant créer une cavité (fig.59).

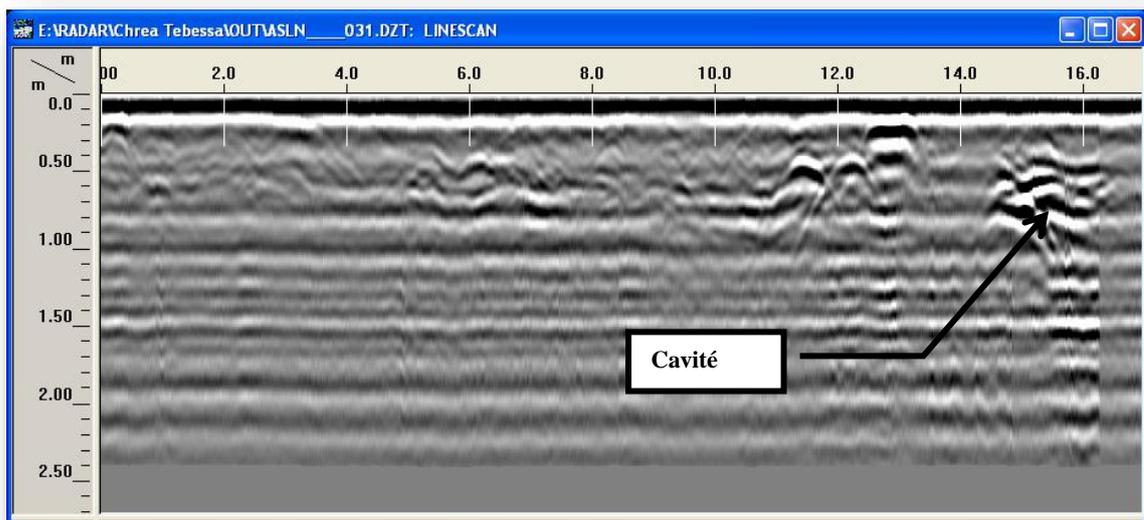


Figure 58: Radargramm montrant une cavité

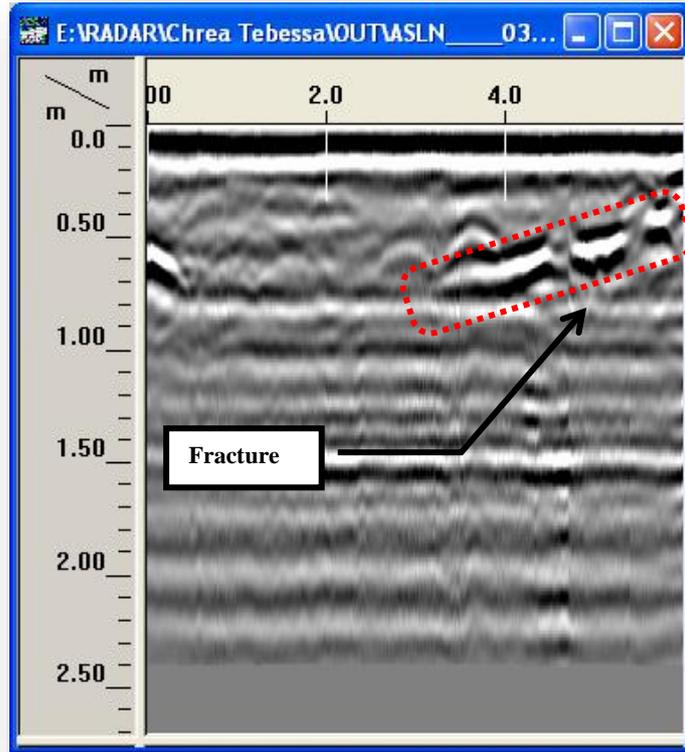


Figure 59: Radargramme montrant une fracture

D'autres radargrammes montrent des cavités parfois minuscules (radargrammes fig.60 et fig.61), parfois importantes et profondes (radargrammes fig.62, 63 et 64), et parfois rien que le vide des réseaux d'assainissement (fig.65).

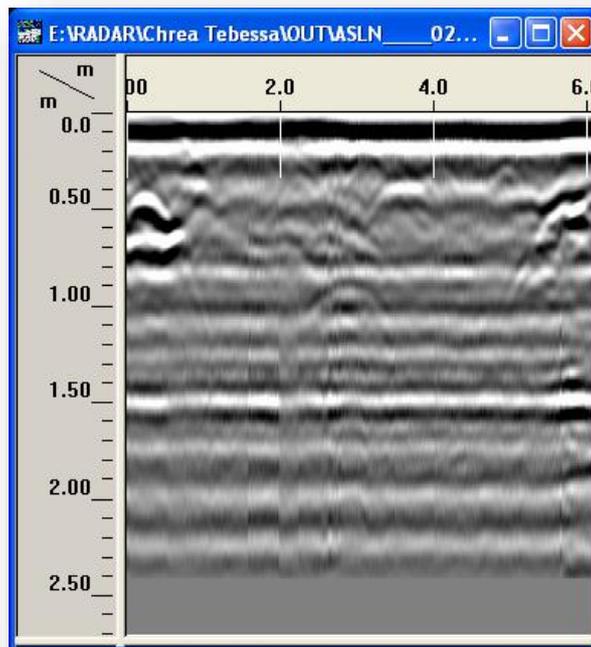


Figure 60: Radargramme montrant des cavités minuscules

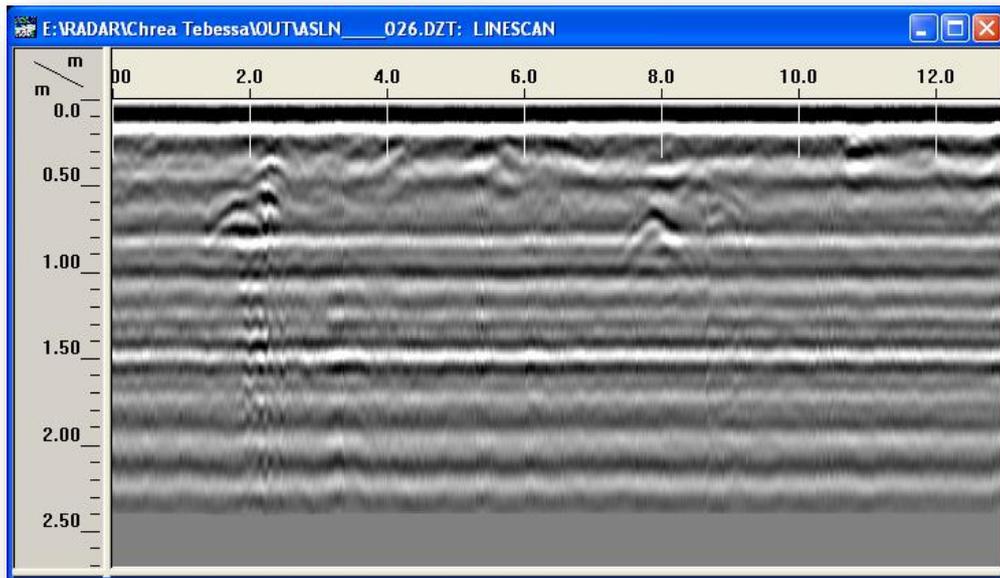


Figure 61: Radargramme montrant des cavités minuscules

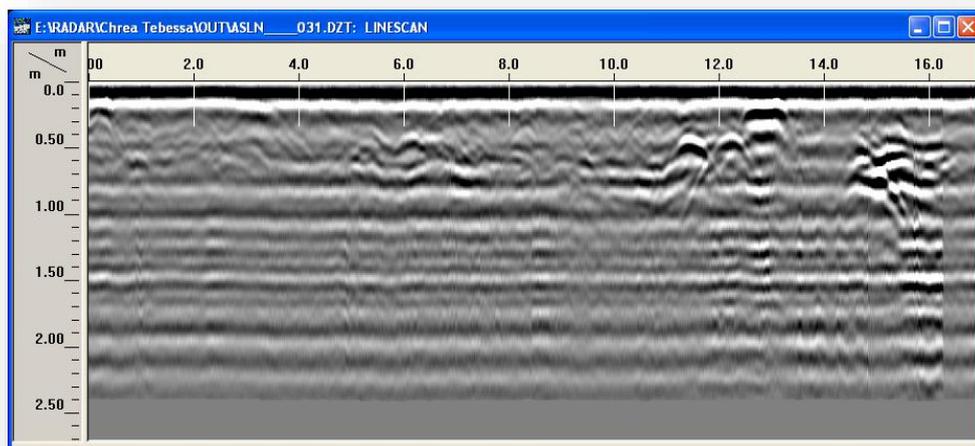


Figure 62: Radargramme montrant des cavités profondes à droite

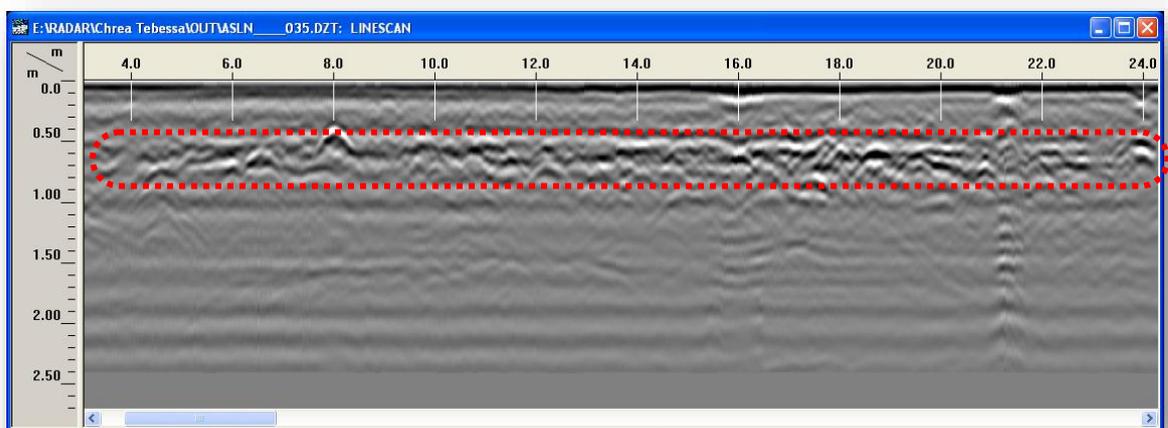


Figure 63: Radargramme montrant une cavité horizontale de 0.5m sur plus de 20m

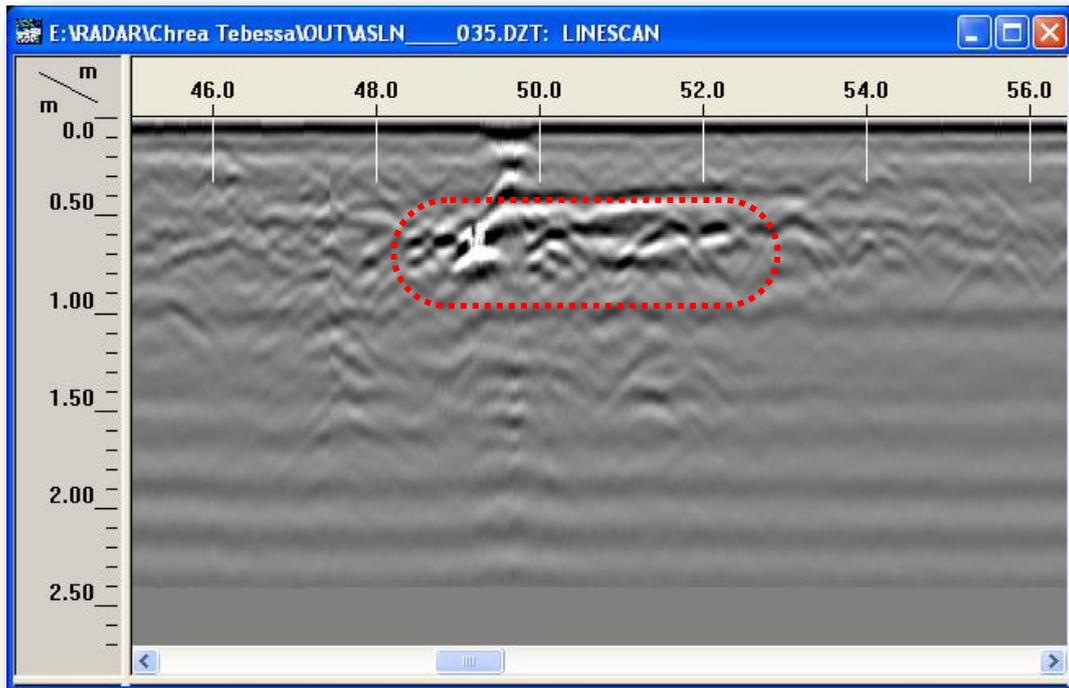


Figure 64: Radargrammemontrant un vide de 0.5 sur plus de 3 m

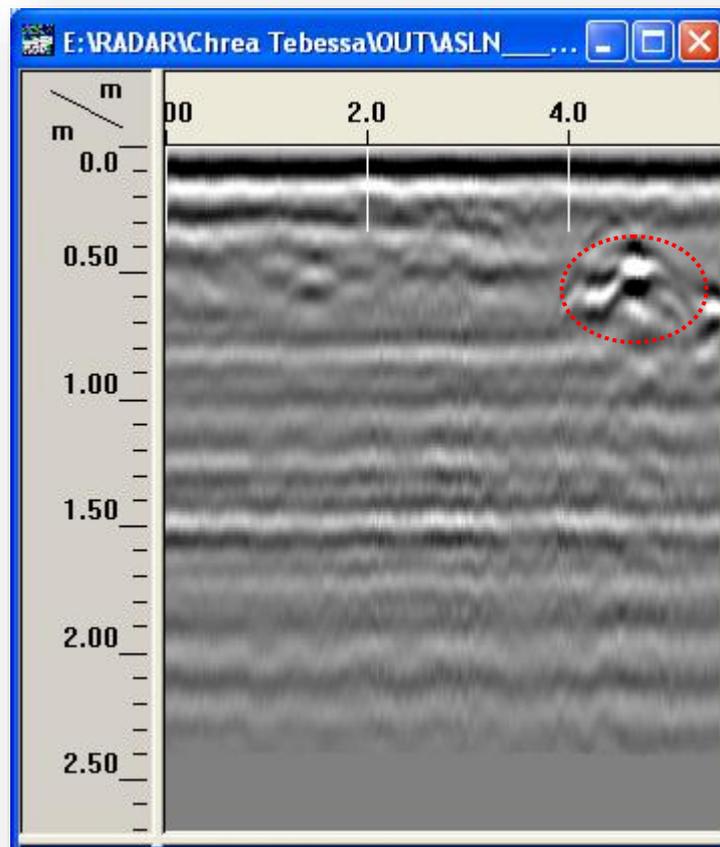


Figure 65: Radargrammemontrant le vide du réseau d'assainissement

2. Radar Géologique des Douamis

Une deuxième campagne du côté des Douamis a été menée en 2012 au niveau du grand effondrement, avec cinq profils avec des antennes de 400 MHz, puis 200 Mhz, malheureusement, les cavités n'ont pas été détectées, malgré, que nous étions directement sur le toit sur le vide.

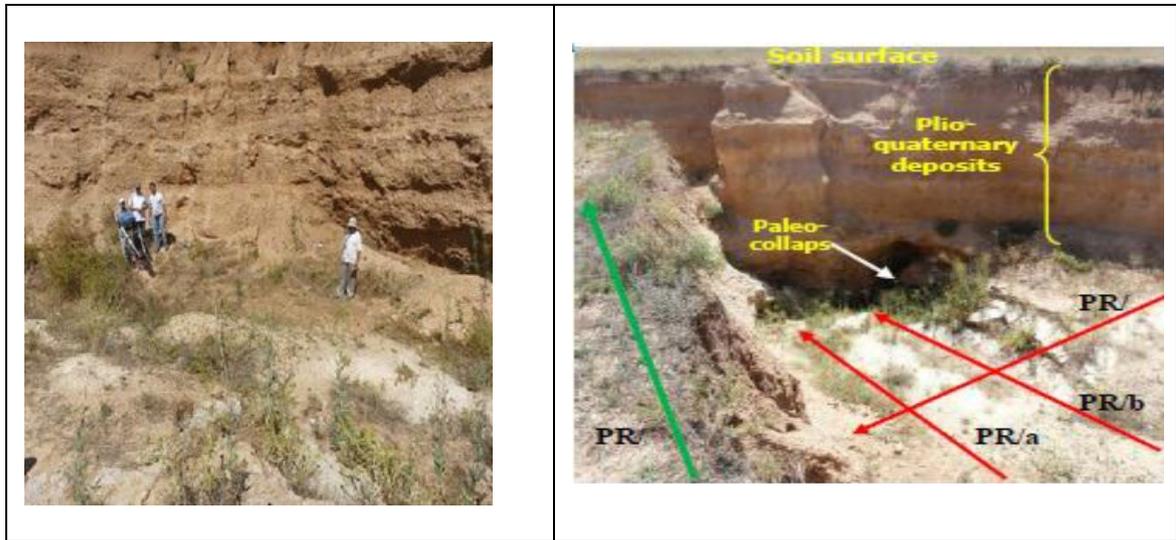


Figure 66: Géoradar et Profils radar (I. NOUIOUA et al 2013)

Cette non-détection est due à la nature hétérogène du sol (argiles et sols humides) qui ne convient pas à cette technique. Car l'argile humide joue le rôle d'écran à la propagation des ondes radar.

Les radargrammes montrent une géométrie horizontale (fig.67).

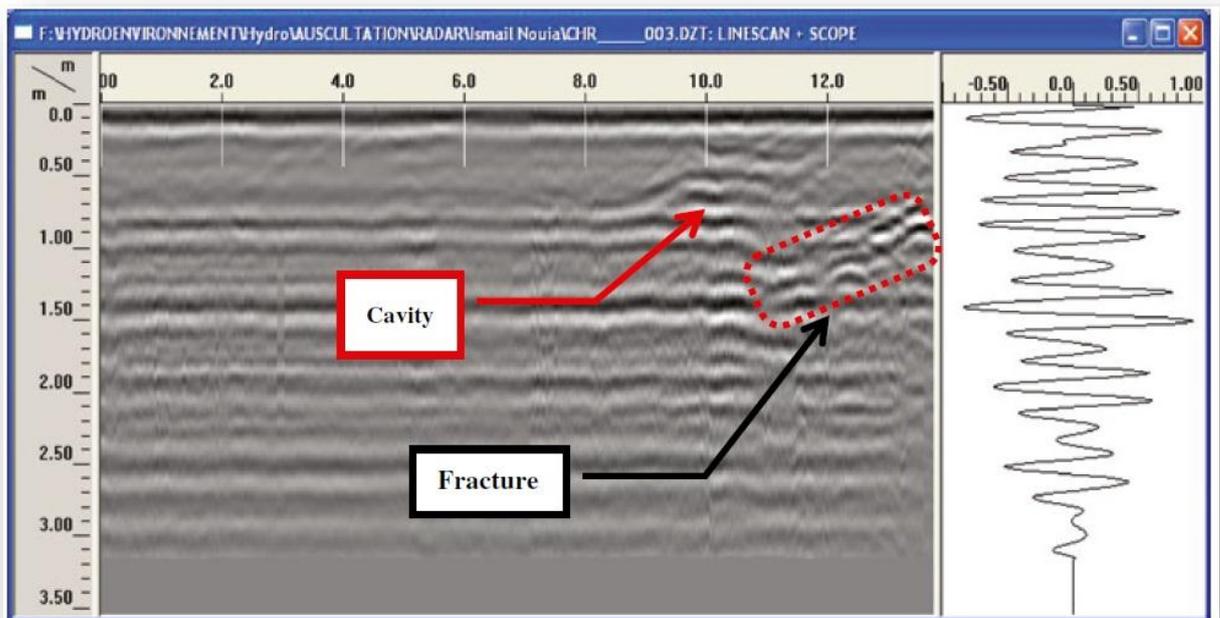


Figure 67: Profil (PR/a) (I. NOUIOUA et al 2013)

En effet, avec le même équipement sur le toit calcaire effondré, à l'Est de la faille, plusieurs anomalies ont été détectées et qui correspondent probablement à des cavités (figures 67, 68 et 69).

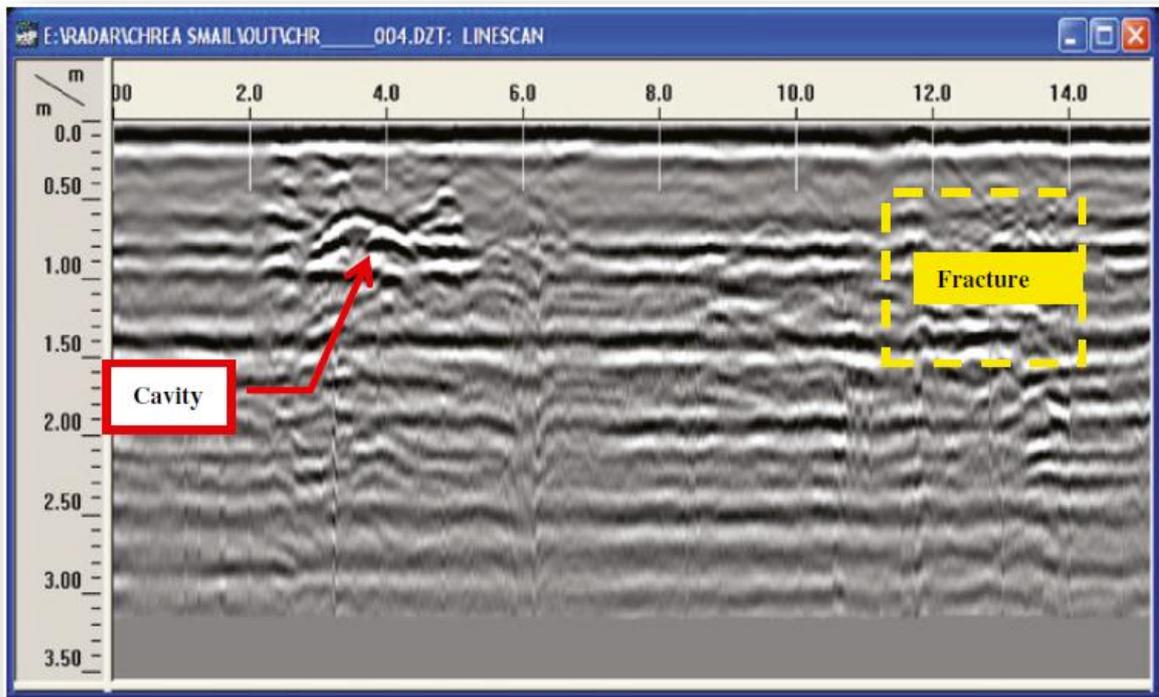


Figure 68: Profil (PR/b) (I. NOUIOUA et al 2013)

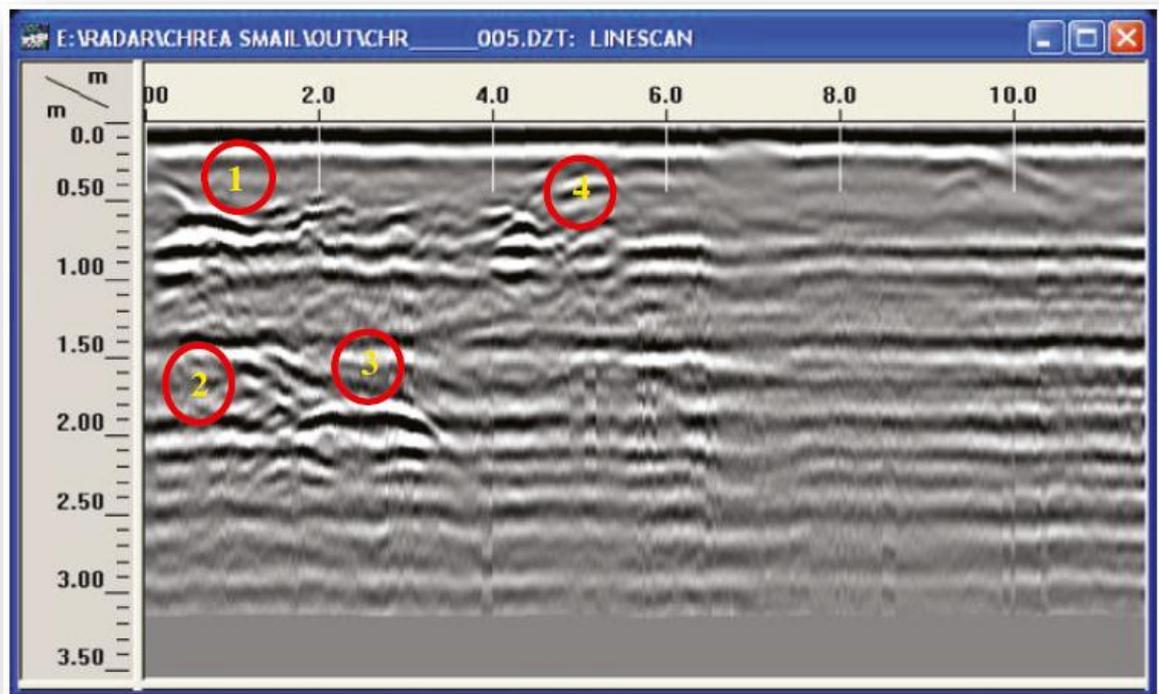


Figure 69: Profil (PR/c) (I. NOUIOUA et al 2013)

La présence d'une cavité est caractérisée par une amplification du signal, et une inversion de la polarité lorsqu'il est positionné sur la cavité. En ce qui concerne les fractures, le signal apparaît comme une interface nette et linéaire (Fig. 67). Le premier profil PR / a montre une cavité située à 10 m du début du profil avec 0,5 m de profondeur. Les radargrammes montrent également une zone de décompression du signal de 11 m à la fin du profil correspondant probablement à une fracture avec une profondeur allant de 1,1 à 0,6 m. Le deuxième profil PR / b montre une cavité à 2,2 m du point de départ à 50 cm de profondeur. La fin du profil (entre 11,7 et 14 m), une zone de décompression, probablement, correspondant à une petite cavité ou fracture à 0,7 m de profondeur.

III. SONDAGE CAROTTE

A la demande de la DUC de Tébessa (Direction de l'Urbanisme et de la Construction), alertée par le sinistre, le Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (LTPE) Tébessa, a réalisé quinze sondages carottés de vingt mètres de profondeur, à l'aide d'un carottier double DAIHATSU de 116mm de diamètre, destiné à prélever des carottes de 110mm de diamètre;

Etant en contact, avec cette direction, on a pu les convaincre de coupler, ces sondages carottés, avec des pénétromètres dynamiques, ce qui nous a été accordé, dans le but d'élargir les champs d'investigation et de les étalonner.



Photo 18 : Carottier double DAIHATSU au Quartier Harkat Bouziane



Figure 70: Implantation des sondages carottés

Le tableau 12 présente les coordonnées GPS et Lambert des sondages réalisés :

Tableau N° 12 : Coordonnées des Sondages carottés

Sondage Carotté	Coordonnées GPS			Coordonnées Lambert
S1	E 007° 45' 02"	N 35° 16' 4,5"	1099	(959 327.00 , 231 411.31 , 1099)
P1	E 007° 45' 02,1"	N 35° 16' 4,3"	1096	(959 329.85 , 231 405.80 , 1096)
S2	E 007° 45' 03,0"	N 35° 16' 24,4"	1095	(959 352.40 , 231 409.54 , 1095)
S3	E 007° 45' 02,5"	N 35° 16' 5,0"	1097	(959 338.82 , 231 427.34 , 1097)
S4	E 007° 45' 02,8"	N 35° 16' 5,7"	1096	(959 345.27 , 231 449.27 , 1096)
P30	E 007° 45' 04,0"	N 35° 16' 5,3"	1097	(959 376.19 , 231 438.54 , 1097)
P22	E 007° 45' 04,0"	N 35° 16' 25,3"	1097	(959 376.19 , 231 438.54 , 1097)
P23	E 007° 45' 05,1"	N 35° 16' 4,1"	1096	(959 405.86 , 231 304.06 , 1096)
S5	E 007° 35' 07,5"	N 35° 16' 3,1"	1098	(959 468.02 , 231 375.43 , 1098)
S6	E 007° 45' 05,0"	N 35° 16' 2,6"	1097	(959 405.73 , 231 356.78 , 1097)
P24	E 007° 45' 07,6"	N 35° 16' 2,5"	1097	(959 471.50 , 231 357.10 , 1097)
S7	E 007° 45' 05,1"	N 35° 16' 28,5"	1098	(959 396.32 , 231 538.30 , 1098)
S8	E 007° 45' 08,0"	N 35° 16' 2,1"	1097	(959 466.27 , 231 652.99 , 1097)
S13	E 007° 44' 57,8"	N 35° 16' 4,5"	1100	(959 221.03 , 231 405.81 , 1100)
S15	E 007° 44' 57,6"	N 35° 16' 9,1"	1101	(959 208.64 , 231 547.07 , 1101)

Le tableau suivant (tableau N°13) résume la description visuelle des sondages carottés, faite par les techniciens du LTPE. Il est à noter que la description visuelle, des logs des sondages, a été faite par les techniciens du LTPE (De profil de Génie-civil), qui est parfois, imprécise lorsqu'il s'agit de description de faciès.

Le quartier exploré, repose directement sur les calcaires éocènes qui sont des calcaires blancs, parfois tufeux, donc il se peut que les descriptions de : remblais, tufs à galets, tufs graveleux, et tufs sableux, correspondent bien à ces calcaires et traduisent (les descriptions du LTPE) l'état géotechnique de ces calcaires.

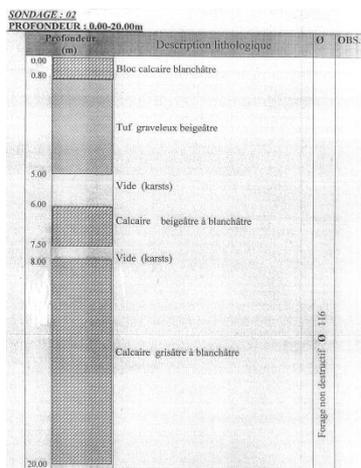
On remarque que trois sondages carottés présentent des vides de manière nette et précise à savoir les SC2, SC14 et SC15 (fig.71).

Certaines carottes prélevées ont subi des essais d'identification sommaires, pour la plupart des sondages il s'agit soit de calcaires blancs, soit de tufs sableux qui reposent sur les calcaires, soit de tufs graveleux qui reposent, toujours, sur les calcaires.

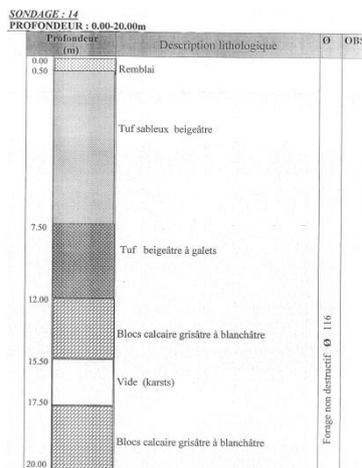
Les vides karstiques sont toujours au niveau des calcaires, sauf le sondage carotté N°2 qui rencontre le vide dans les tufs ! Les vides sont rencontrés, quand les calcaires sont très proches de la surface, sauf le sondage carotté N°4.

Tableau N° 13 : Description visuelle des logs des Sondages carottés

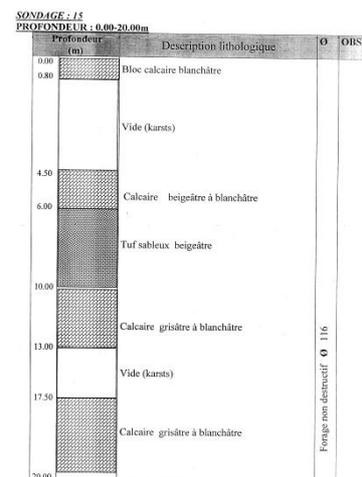
Sondage Carotté	Description de haut en bas jusqu'à 20m de profondeur	Pénétromètres associés
SC1	Remblais, tufs sableux, calcaire fragmentée surmontant des calcaires. Absence de vides	
SC2	Calcaires, tufs graveleux beigeâtres, vide , calcaire, vide, calcaire: 1m, de prof 5 à 6 et 0.5m, de prof 7.5 à 8	P29
SC3	Remblais, calcaires diaclasés sur 11 m d'épaisseur surmontant des calcaires intacts. Absence de vides	
SC4	Calcaires diaclasés sur 15 m d'épaisseur surmontant des calcaires intacts. Absence de vides	
SC5	Remblais, tufs, TVN, Calcaires. Absence de vides	
SC6	Remblais, tufs, calcaire. Absence de vides	
SC7	Tufs, calcaire. Absence de vides	
SC8	Remblais, tufs sableux, tufs, calcaire. Absence de vides	
SC9	Remblais, tufs graveleux, tufs sableux, calcaire. Absence de vides	
SC10	Remblais, tufs graveleux, calcaire. Absence de vides	
SC11	Terre végétale, tufs sableux, calcaire. Absence de vides	
SC12	Terre végétale, tufs sableux graveleux, calcaire. Absence de vides	
SC13	Remblais, tufs sableux graveleux, calcaire. Absence de vides	
SC14	Remblais, tufs sableux beigeâtres, tufs beigeâtres à galets, calcaire karstifié. Vide de 2m de la prof 15.5 à 17.5m	P26
SC15	Calcaire karstifié, tufs, calcaire karstifié. 3.7m, de prof .080 à 4.5 et 4.5m, de prof 13 à 17.5m	P4 et P27



SC2



SC 14



SC15

Figure 71: Sondages carottés 2, 14 et 15

IV. PENETROMETRE DYNAMIQUE

Trente pénétrètres dynamiques ont été réalisés, certains sont à deux mètres des sondages carottés, qui vont servir à étalonner, ce qui va nous permettre de faire d'intéressantes corrélations.

Le pénétrètre P29

Réalisé à deux mètres du sondage carotté SC2, qui traverse une dalle calcaire métrique, puis des calcaire tufeux, sur une épaisseur de 4.2 m, puis un vide de 1 m, retrouve les calcaires, vide, calcaire qui va jusqu'à la fin du sondage (fig.71).

Ce pénétrètre, (fig.72), montre une augmentation progressive de la résistance à la pointe, puis elle diminue à partir de la profondeur 0.8m, jusqu'à 1.4m, puis augmente de 20 bars puis diminue et, à partir de la profondeur 2m, augmente rapidement jusqu'à refus à 3.8m, où on est dans les tufs graveleux beigeâtres. Ces tufs on croit qu'il s'agit, de calcaires éocènes tufeux, pour au moins deux raisons :

1. La résistance, à la pointe, augmente rapidement traduisant un comportement des calcaires.
2. La présence du vide à la surface de contact tufs et calcaire, donc on parle de tufs karstiques !

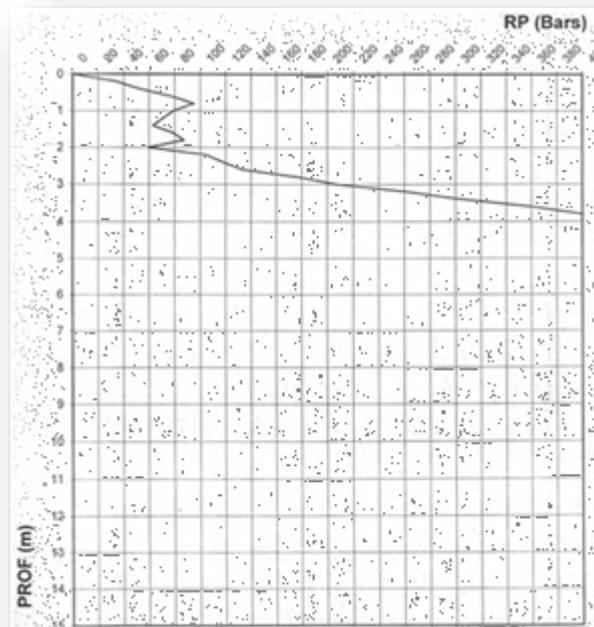


Figure 72: Pénétrètre N° 29

Le pénétrètre P21

Réalisé à deux mètres au NW du même sondage carotté donne, par contre, une autre allure conforme, par confrontation, avec le sondage carotté N°2 (fig.73) :

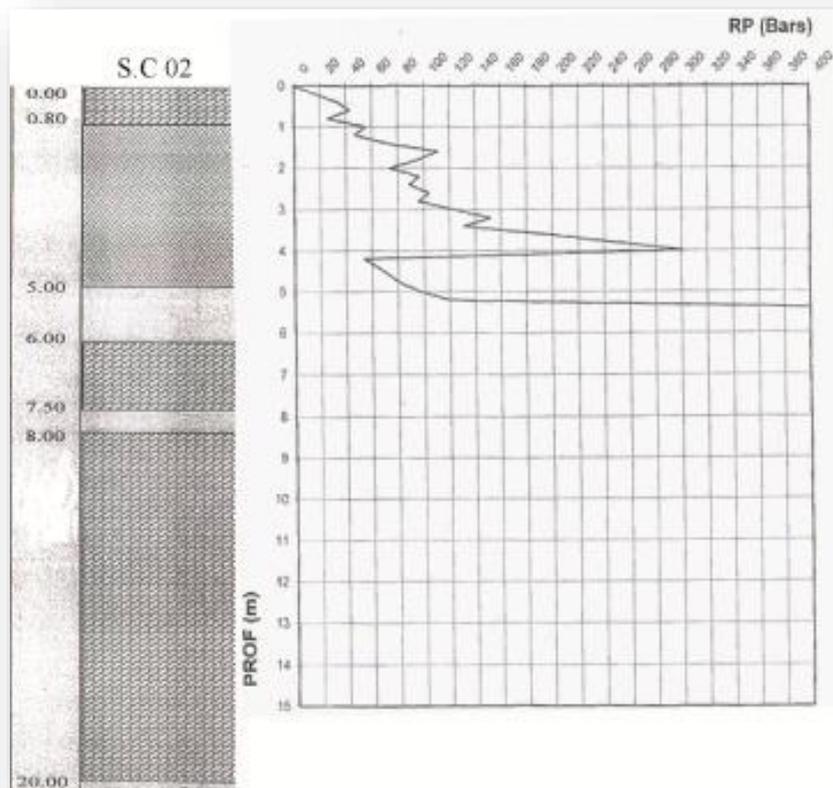


Figure 73: Confrontation du Sondage carotté 2 et Pénétrömètre 21

En effet, on dirait qu'il s'agit d'un essai de pénétration sur le point de sondage :

1. La résistance, à la pointe, augmente au niveau du bloc calcaire blanchâtre ;
2. Diminue, légèrement, puis augmente significativement, en oscillant au niveau des tufs graveleux, jusqu'à atteindre une valeur de 300 bars, à 4m de profondeur ;
3. La résistance à la pointe chute, librement, en dessinant l'épaisseur de 1m de vide ;
4. Puis augmente, en percutant le toit de l'horizon calcaire (épais de 1.5m), et marque le refus, après avoir percuté sur environs 10 cm.

Le pénétrömètre 26

Réalisé près du sondage carotté SC2, qui traverse remblais sur 0.5m, puis 7m de tufs sableux beigeâtres, puis 4.5 m de tufs beigeâtres à galets, puis 8m de calcaire karstifié présentant un vide de 2m à partir de la profondeur 15.5m.

Ce pénétrömètre, (fig.74), montre un comportement similaire à celui du pénétrömètre P29 ; augmentation progressive de la résistance à la pointe, puis elle diminue à partir de la profondeur 0.8m, jusqu'à 1.2m, puis augmente, puis diminue et à partir de la profondeur 1.7m augmente rapidement jusqu'à refus autour de 3m, on est toujours, dans les tufs sableux beigeâtres et ensuite dans les tufs beigeâtres à galets, avant d'atteindre les calcaires à 12m de profondeurs !

Est-ce qu'on est passé à côté, d'une faille ? Ceci est très possible !

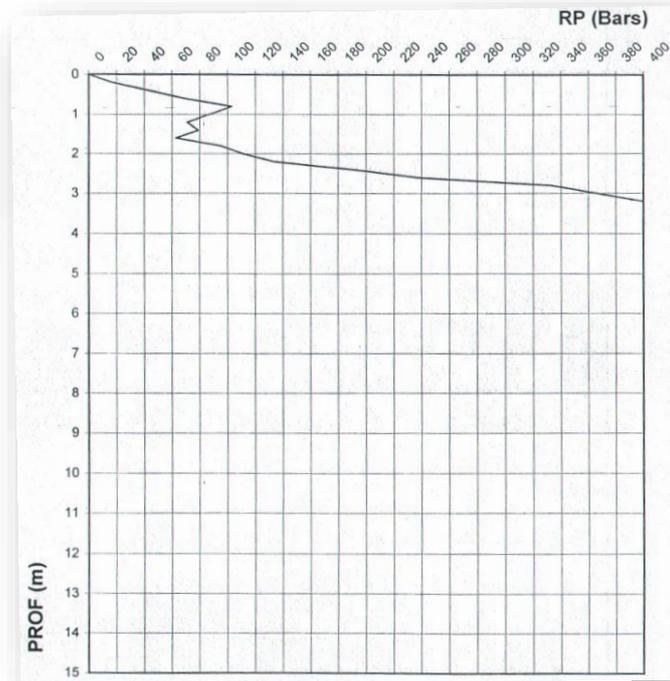


Figure 74: Pénétromètre N° 26

Le pénétromètre Pd 7

Réalisé à deux mètres du sondage carotté SC15 (fig.75), traversant un bloc calcaire karstifié avec un vide de 3.7m, puis un calcaire sur 1.5m, puis 4m de tufs sableux beigeâtres, puis 10m de calcaire, jusqu'à la fin du sondage, qui présente un vide de 4.5m.

Ce pénétromètre montre une légère augmentation de la résistance à la pointe, jusqu'à 0.7 m de profondeur, puis une diminution sensible, puis un comportement oscillatoire de la résistance à la pointe, ce qui peut être expliqué par un remplissage, non consistant, du vide.

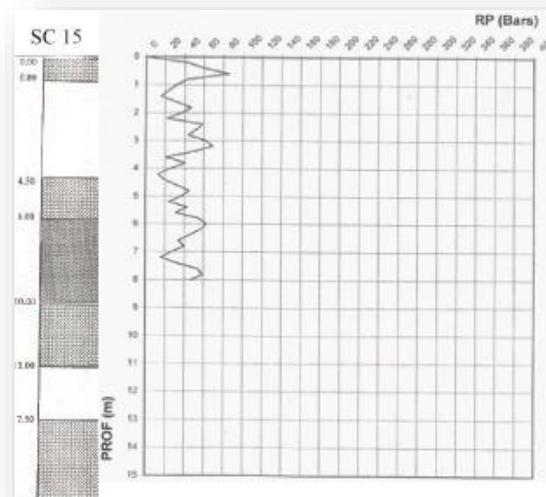


Figure 75: Confrontation du Sondage carotté 15 et Pénétromètre 7

Le pénétromètre Pd 2

Réalisé à mi-distance entre les sondages carottés SC4, SC5 et SC6 (fig.76), Il montre une légère augmentation de la résistance à la pointe, jusqu'à 0.7 m de profondeur, puis une diminution sensible, puis un comportement oscillatoire. Traduisant, ainsi, l'existence d'un vide ou un terrain hétérogène très faible, laissant la traduction à la présence d'un vide à partir de la profondeur 1 à 1,6m et à partir de la profondeur 5m.

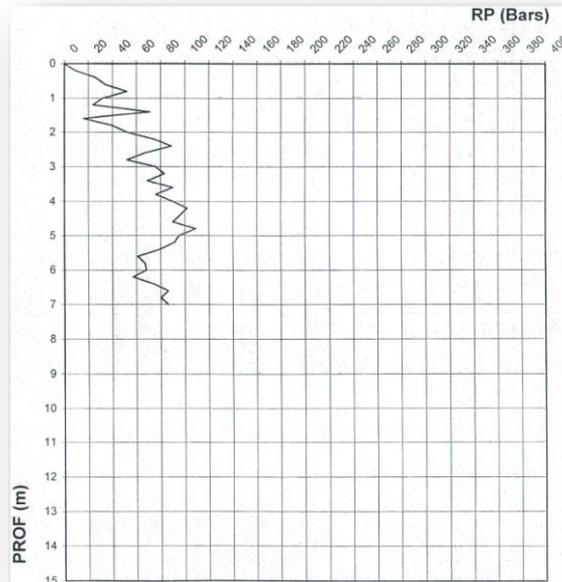


Figure 76: Pénétrromètre N° 2

Les autres pénétromètres présentent un comportement similaire, entre eux, se traduisant par une augmentation de la résistance à la pointe, jusqu'à 1 m de profondeur, une légère diminution, puis une augmentation de la résistance à la pointe jusqu'à refus à 3 ou 4m de profondeur, un comportement qui exclut la présence de vides, au moins au parcours traversé. .

V. SPELEOLOGIE

Dans le cadre d'un accord de partenariat programme Algéro-Français « Tassili 13 MDU 884, 28335XA» entre le Laboratoire Eau et Environnement de l'université de Tébessa et l'Ecole Polytech'Nice Sophia, deux campagnes de spéléologie ont été réalisées, la première en Mars 2013 et la deuxième en Avril 2014 et ce au niveau des dolines des Douamis, faute d'accès en ville.

La progression dans la grotte a permis de prendre un ensemble de mesures, constatations et observations impossibles de la surface. Les mesures injectées au logiciel « Visual Topo » (fig.77), où le traitement donne l'allure de la géométrie souterraine de la cavité (Fig.78).

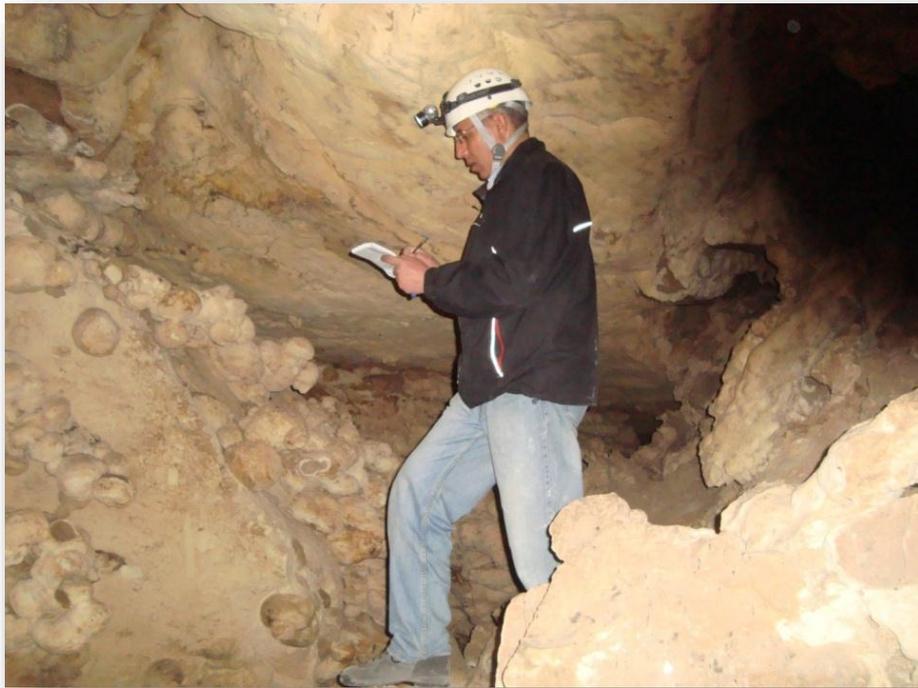


Photo 19 : Prise de notes au sous-sol

Visual Topo - Doline CHERIA 2014

Fichier Edition Documents Cavité Préférences Affichage Fenêtre 2

Tonnaraohiel

Doline CHERIA 2014 - Plan1

Doline CHERIA 2014

Pt Dép.	Pt Arr.	Longueur	Direction	Pente	Gauche	Droite	Haut	Bas	I	E	OP	X	Y	Z	L.Dév.	Dist.
Param	Deca	Climo	Degré	1.4620	Dv,De,De	Air	Std									
1	0	0.00	0.00	0.00								80.98	-37.56	-16.81	-107.41	113.57
2	1	5.00	45.00	0.00								77.34	-41.09	-16.81	-102.41	113.57
3	1	3.04	257.00	0.00								74.35	-41.68	-16.81	-98.37	105.53
4	2	9.40	167.00	0.00								76.19	-50.90	-16.81	-89.97	96.13
5	2	6.80	220.00	0.00								69.82	-46.75	-16.81	-92.57	98.73
6	2	5.41	318.00	5.00								70.87	-37.56	-16.33	-93.99	100.12
7	5	2.15	303.00	-18.00								69.19	-36.40	-17.00	-91.94	97.97
8	6	7.00	305.00	0.00								63.69	-32.21	-17.00	-84.94	90.97
9	5	4.00	240.00	-1.00								67.35	-39.46	-16.40	-89.99	96.12
10	8	8.20	308.00	0.00								61.05	-34.21	-16.40	-81.79	87.92
11	8	4.27	189.00	6.00								66.56	-43.63	-15.96	-85.74	91.85
12	10	0.50	0.00	90.00								66.56	-43.63	-15.46	-85.74	91.35
13	10B	4.32	238.00	10.00								62.88	-45.77	-14.71	-81.48	87.03
14	11	1.96	315.00	-23.00								61.90	-44.72	-15.32	-80.05	85.47
15	11	1.46	227.00	11.00								61.80	-46.71	-14.43	-80.05	85.57
16	13	2.09	198.00	25.00								61.16	-49.50	-13.55	-78.16	83.48
17	14	4.29	175.00	0.00								61.40	-52.78	-13.55	-73.87	79.19
18	14	12.00	138.00	0.00								69.16	-61.94	-13.55	-61.87	67.19
19	15	7.02	300.00	2.00								55.93	-41.03	-15.07	-73.03	78.45
20	12	4.31	295.00	-3.00								52.09	-39.09	-15.30	-66.73	74.14
21	17	9.61	291.00	-2.00								43.23	-35.38	-15.63	-59.12	64.63
22	18	4.81	250.00	-10.00								38.73	-36.86	-16.47	-54.39	59.72
23	19	3.13	213.00	0.00								36.95	-39.43	-16.47	-51.26	56.59
24	20	5.96	163.00	-30.00								38.28	-44.33	-19.40	-46.18	50.73
25	21	7.46	389.00	30.00								33.84	-32.64	-12.74	-47.93	52.26

Commentaires : Ligne courante : Doline Cheria 2

Prêt

NUM 12:55 11/01/2017

Figure 77: Données de base de Visual Topo, des deux dolines

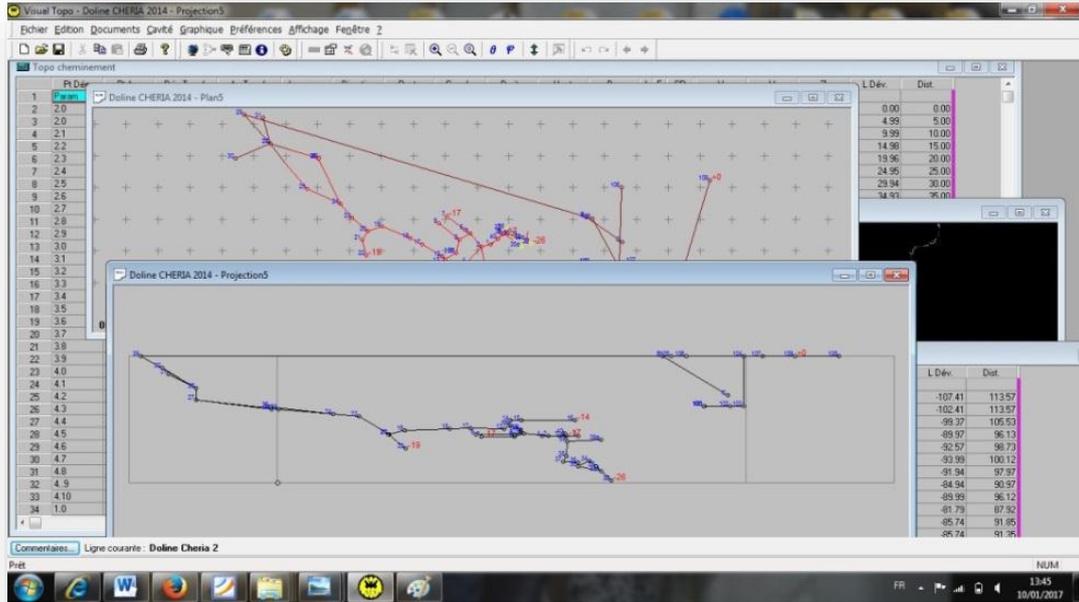


Figure 78: Résultats du traitement de Visual Topo, des deux dolines

Les résultats du traitement automatique, suivies d'une analyse et complément de détails a permis de réaliser une carte du sous-sol, représentée par la figure 79 ainsi que la coupe suivante, figure 80.

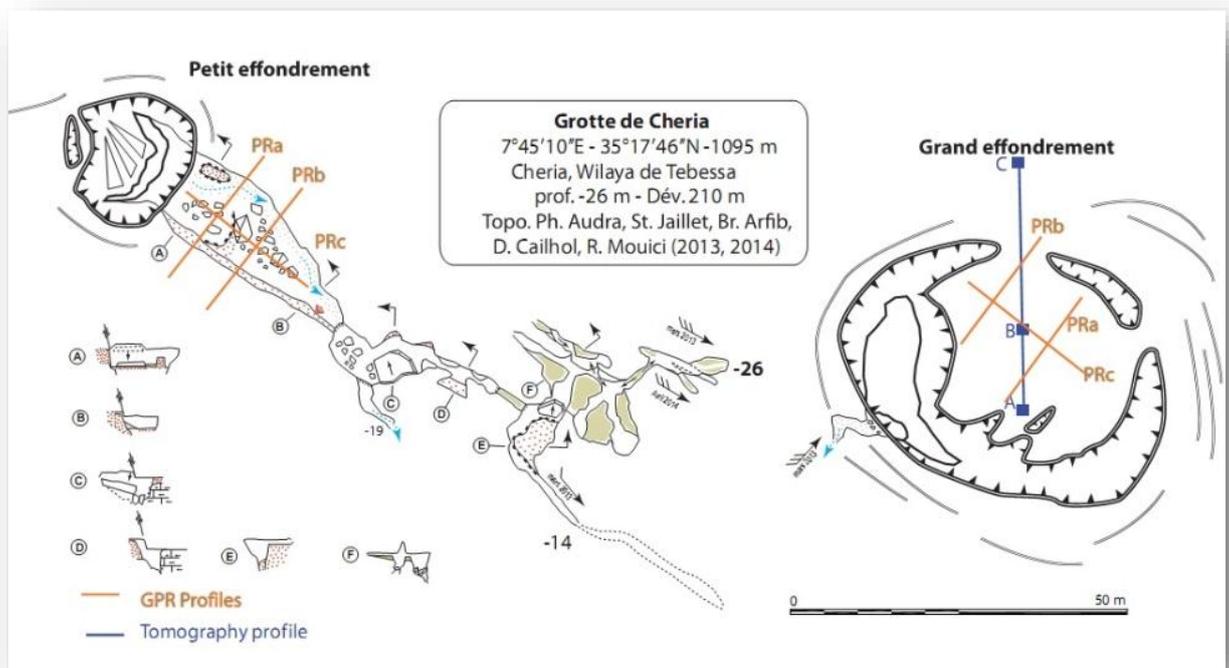


Figure 79: Carte du sous-sol des Douamis

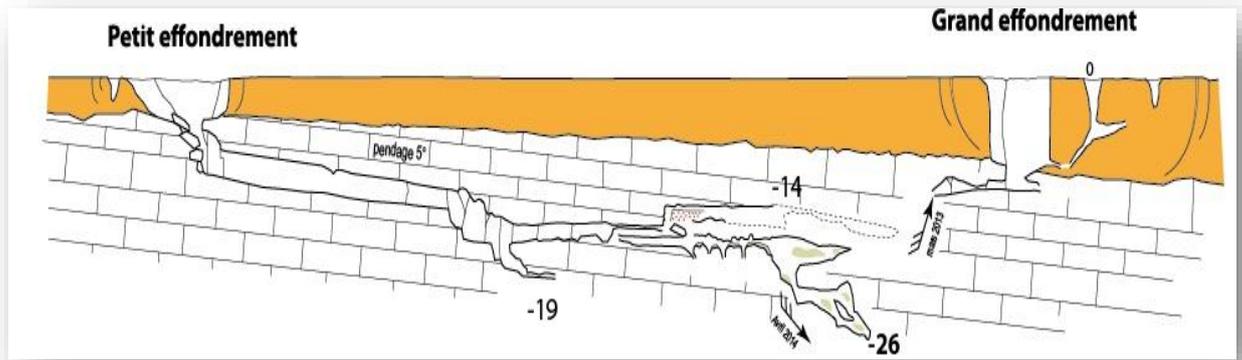


Figure 80: Topographie souterraine des Douamis

Il s'agit de deux grottes, dont la plus petite est, plus ou moins facilement accessible où on entre dans une galerie large, avec une pente douce longeant un faille de direction N120° E, qui est coupée par deux failles perpendiculaires présentant le lieu d'une dissolution intense résultants deux gouffres coupants la galerie, le premier gouffre descend jusqu'à -19m et le deuxième jusqu'à plus de -26m, ensuite le conduit se rétrécit jusqu'à devenir très étroit ne permettant pas la progression, et on suppose qu'il est lié avec l'autre doline.

L'observation directe nous a permis de constater certain faits que nous n'avons pas soupçonné, en étant au jour et à confirmer d'autres ;

- La karstification est liée étroitement avec la fracturation.
- Les endroits de rencontre des fractures, bréchifiés, sont le théâtre d'une karstification intense, par érosion différentielles.
- Le conduit principal est bien lessivé, témoignant une circulation intense de l'eau, ce qui laisse à supposer que cette eau est transportée très loin.
- Les gouffres cartographiés (fig.79 et 80), sont à sec (Photos19, 20 et 21) malgré que les deux compagnes de spéléologie étaient aux mois de mars et avril, où on est toujours en période humide des hautes eaux.
- L'absence de sédiments, témoigne d'un entrainement rapide des alluvions venantes de la surface.



Photo 20 : Premier gouffre présentant une faille de direction NE-SW, absence de sédiments au sol

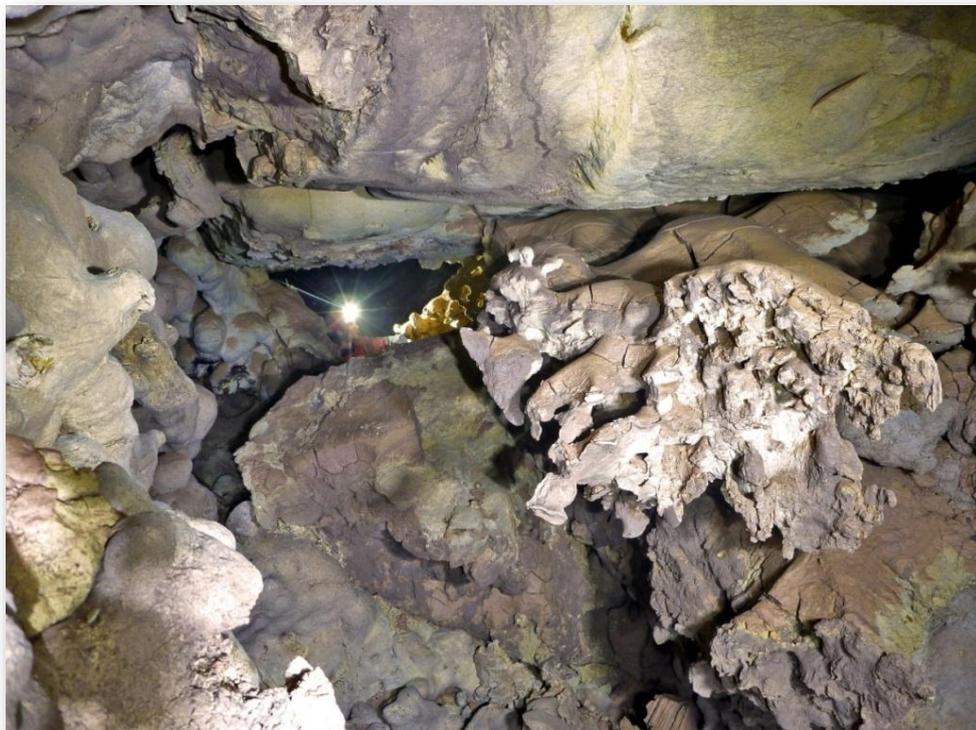
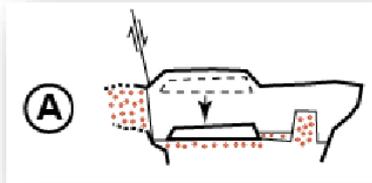
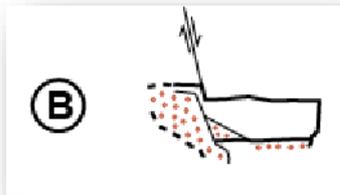


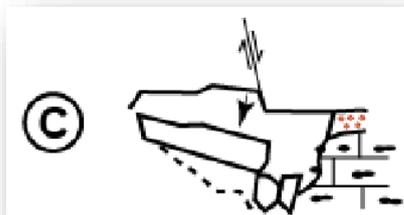
Photo 21 : Brèches tectoniques du deuxième gouffre, faille de direction NE-SW



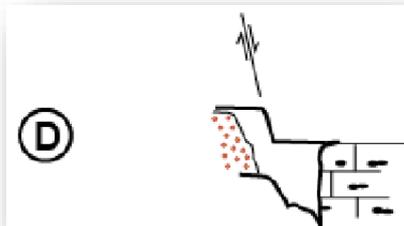
A une quinzaine de m de l'entrée de la grotte, où on remarque sur le plancher, une dalle qui semble effondrée du toit, avec des alluvions qui touche le plafond, à droite, des brèches tectoniques formants le mur de droite témoigne une Faille normale de direction N120°E, longeant le mur de droite sur ± 50 m.



A une quarantaine de m de l'entrée, la galerie se dégage, elle est de forme rectangulaire, et toujours les brèches de la faille forme un mur.



A ± 50 m, une faille de direction NE-SW coupe le conduit qui se rétréci, puis s'ouvre vers le sud, ou de gros blocs sont effondrés à droite.



Le mur de droite est de matériaux de remplissage, le mur de gauche est calcaireux, le toit est coupé à droite.



Le toit et le mur de droite sont calcaireux, à partir de là le conduit se dirige vers le SE, la première partie de cette galerie à été cartographiée en 2013 puis complétée en 2014, elle se rétrécit, à la fin et ne permet pas le passage.



Le conduit s'élargit, la dalle du toit est effondrée, plusieurs galeries sont ouvertes mais ne mènent nulle part, elles se rétrécissent, ne permettant pas le passage.

Figure 81: Commentaires des coupes À, B, C, D, E et F de la carte du sous-sol



Photo 22 : Colonne de sédiment sous le toit, à l'entrée, absence de sédiments au sol



Photo 23 : Miroir de la faille NW-SE, brèches visibles sur plus de 30m

VI. PHOTOGRAMMETRIE

Les travaux de photogrammétrie consistent à l'étude, l'analyse et l'interprétation des formes 3D à partir de représentations en 2D (images):

1. Analyse de photographies

La comparaison de deux photographies (Photos 24, 25, et 26) prises, au même endroit à deux périodes différentes décalées d'une année, au niveau de la petite doline (Ouest) donne ce qui suit :

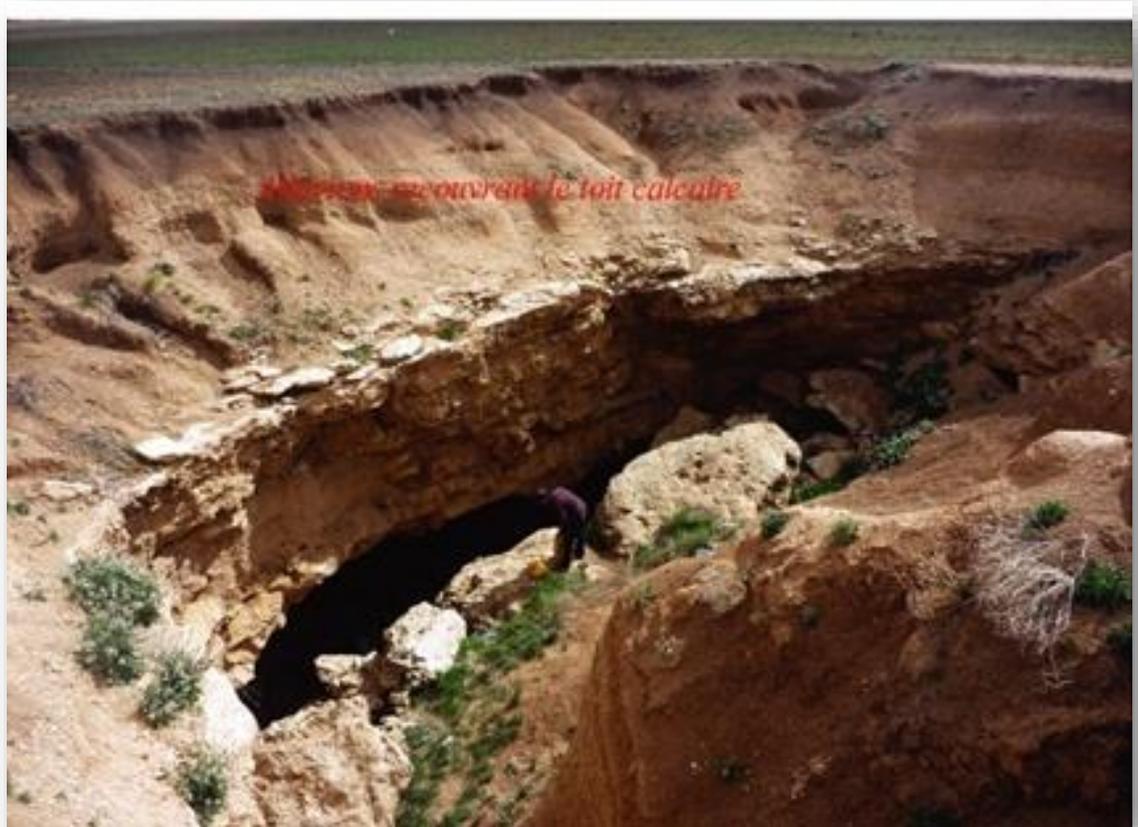


Photo 24 : Bord de la doline Ouest en 2013

En Mars 2013, les alluvions recouvrent la totalité du toit calcaire éocène sous-jacent. Un cône d'immersion s'installe. En Avril 2014, une large corniche s'est installée résultant de l'érosion régressive provoquée par les ruissellements des eaux pluviales, à travers les alluvions, jusqu'au toit calcaire et ensuite s'engouffrent dans la cavité, entraînant avec elles les alluvions, dans le gouffre (fig.82). Les matériaux engouffrés sont transportés très loin dans la grotte, traduisant une forte énergie d'érosion (Photos 20 et 22).



Photo 25 : Bord de la doline W en 2014



Photo 26 : Bord de la doline W en 2014



Figure 82: Erosion de la doline Ouest

2. Travaux de cartographie

L'objectif initial de ces travaux était la cartographie de la fracturation dans le plateau de Cheria, étant donné, sa relation directe avec la circulation des eaux et sa relation avec la karstification.

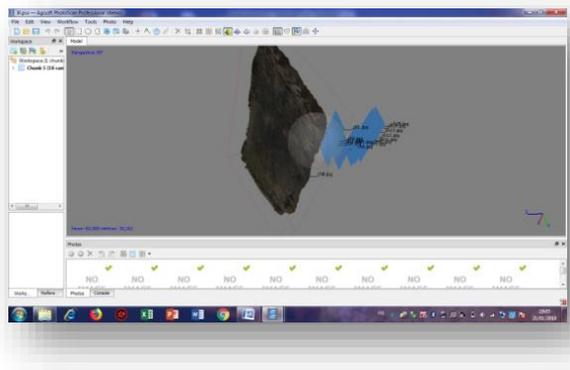
Au début, on a utilisé les photographies aériennes, couverture de l'année 1973, sous stéréoscope, par couple de photos, c'est un travail lent, fatiguant et fastidieux et les résultats étaient imprécis et pas satisfaisants.

On a, ensuite, découvert que certains logiciels, en cours de développement, sont destinés à ce genre de manipulation.

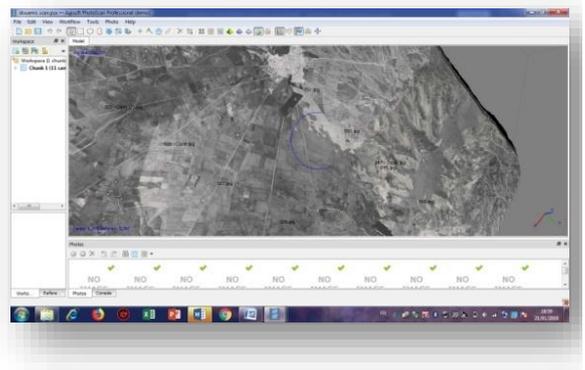
Les données de base sont, toujours, la couverture des photographies aériennes, assemblées avec un plan de la D.H.W de la carte des affleurements, à échelle 1/10.000° scanné en fragments, une fois assemblés sont injectés au logiciel « Photoscan », de la société « Agisoft », par assemblage on a obtenu une copie scannée de la carte de la D.H.W.

Le traitement par Photoscan a généré un nuage de points (fig.83.a), auquel on a ajouté une texture (fig.83.b), le même traitement a été accordé à un ensemble de photographies capturées par « Google Earth » (fig.83.c et fig.83.d).

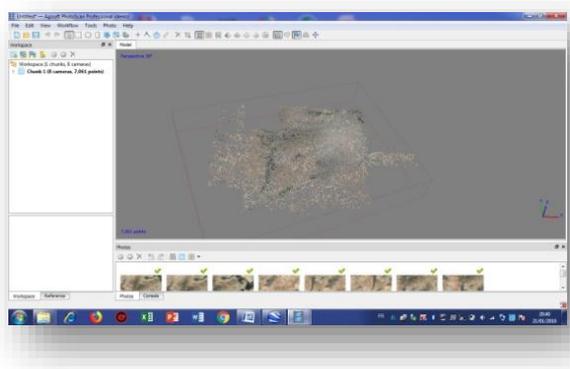
Une série de manipulations, des deux nuages de points et des deux textures par le logiciel libre « CloudCompare » de l'éditeur « 3D », a permis d'établir la carte des affleurements sur Google Earth par traitement de superposition (fig.84), et ensuite la carte des affleurement et de la fracturation (fig.85).



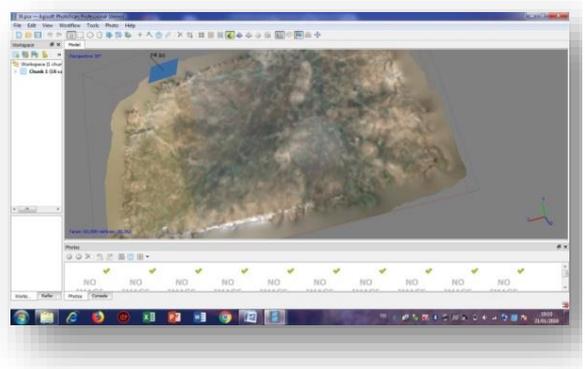
a. Nuage de points des photos aériennes



b. Texture obtenue



c. Nuage de points de googleearth



d. Texture obtenue

Figure 83: Traitement d'images par Photoscan

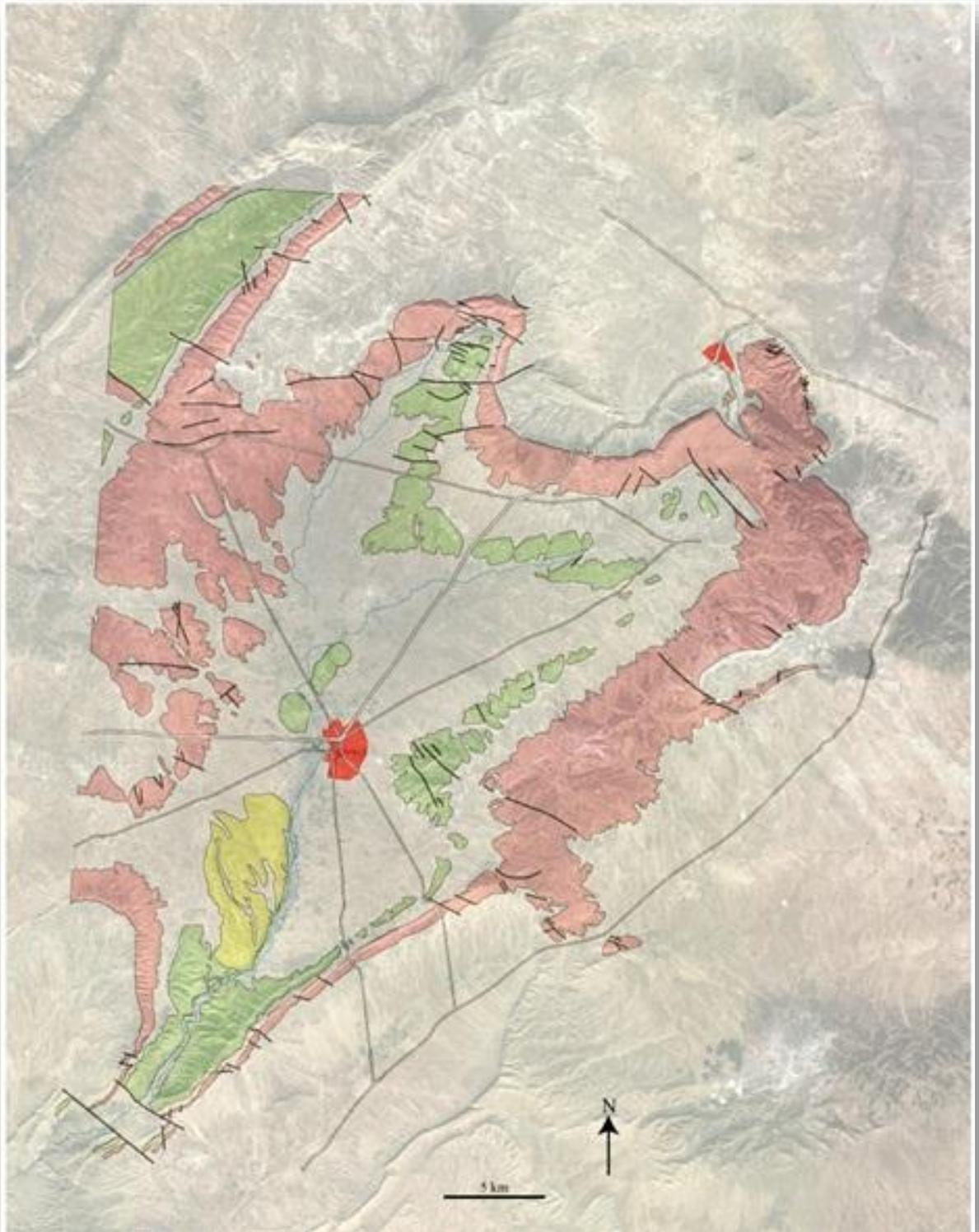


Figure 84: Carte des affleurements sur Google Earth

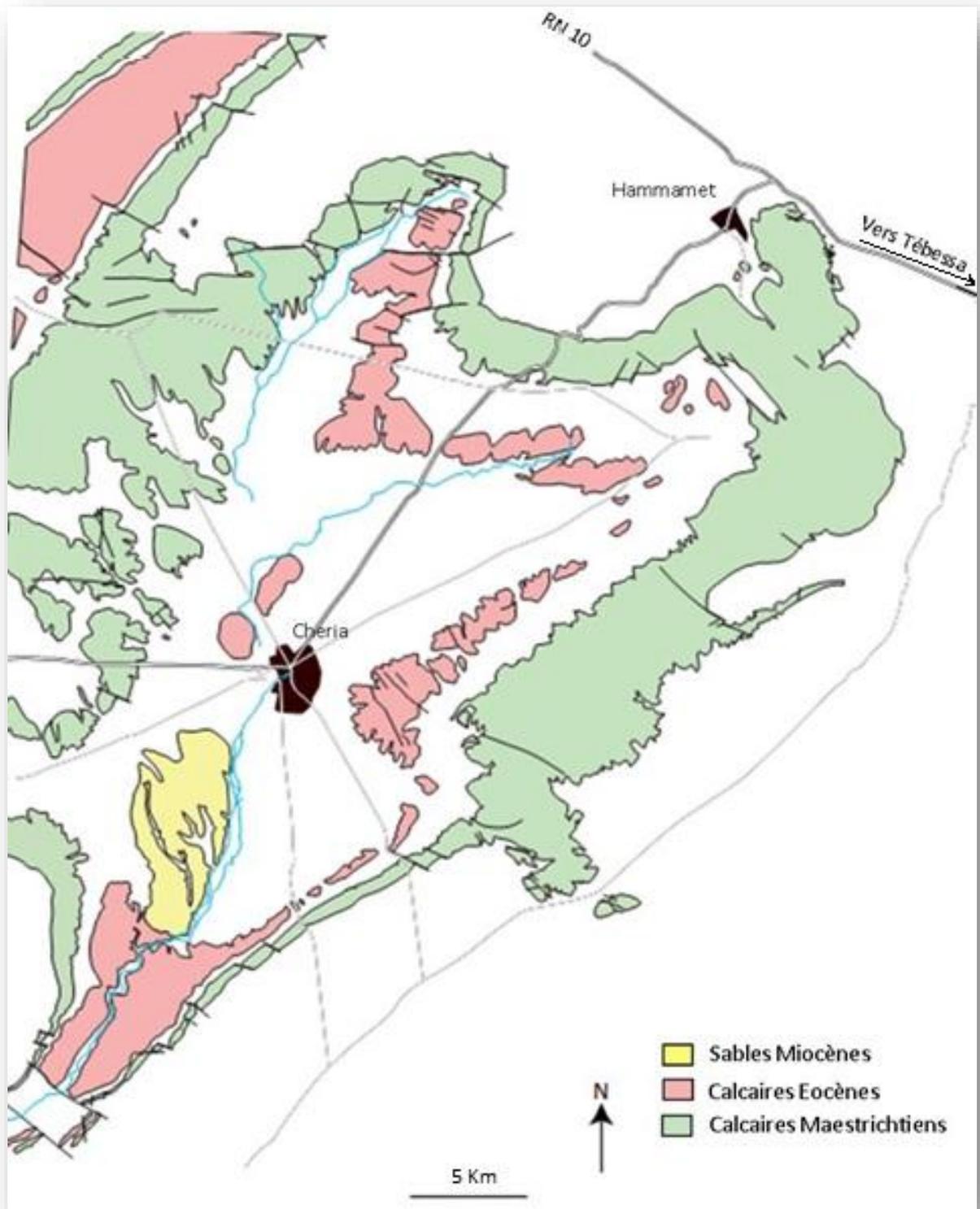


Figure 85: Carte des affleurements

CONCLUSION

L'étude et la caractérisation de la karstification est un travail de longue haleine, impliquant plusieurs phénomènes. Sa caractérisation nécessite, l'inter complémentarité de plusieurs techniques.

Parfois, les techniques les plus efficaces sont claires, MAIS, leurs mise en œuvre est soit très coûteuse soit incompatible avec le site d'étude, par exemple, la micro gravimétrie, avec un coût très élevé et sensibilité au bruit rendant la technique inutilisable, en milieu urbain. Ou, encore, la technique des ondes de surface, Slimgram.

Dans ce travail, six techniques ont été utilisées, les résultats sont :

1. La tomographie électrique, révèle l'existence de vides avec une géométrie, presque, parfaite, avec détection de failles et accidents tectoniques, que ce soit, en ville ou aux Douamis. La technique est très efficace, malgré son coût réduit.
2. Le radar géologique est inefficace, aux Douamis, malgré la détection de fractures et soupçons de cavités, mais s'avère très efficace en ville, où la technique a mis au jour, plusieurs vides et cavités, fractures, brèches tectoniques, tout en les distinguant des vides des réseaux d'assainissements. La technique vaut son coût, relativement élevé.
3. Le sondage carotté, bien que c'est le moyen d'investigation le plus sûr et le plus cher (18.500,00 D.A / m.l), en matière de résultats, où, il a donné les dimensions exactes des vides sur 3 sondages de 15 sondages réalisés (20 %), ceci est dû à une mauvaise implantation. Les carottes, quand même, étaient très précieuses pour les prélèvements, l'échantillonnage et l'étalonnage des autres techniques, mises en œuvre.
4. Le pénétromètre dynamique, bien que c'est le moyen d'investigation le moins cher (20.000,00D.A / point), s'avère très efficace, surtout, lorsqu'il est couplé d'une autre technique, surtout les techniques géophysiques.
5. La spéléologie, s'avère très efficace, bien que, sa mise en place, soit, un peu, délicate ; Que ce soit sur les conditions d'accès aux vides, que par la mise en route sur terrain. Elle nous a permis de faire un ensemble de mesures, constatations, et observations impossibles de la surface. Elle nous a permis de faire une cartographie complète du sous-sol des Douamis, et à la compréhension de certains détails sur l'érosion et la circulation des eaux.
6. La photogrammétrie, bien que c'est une technique simple et peu coûteuse, démontre qu'elle est très utile, en matière, d'observation, d'analyse des phénomènes d'érosion, soutirage, évolution des bords des cavités ; En matière de cartographie elle nous a permis de faire une cartographie détaillée et précise de la région.

La combinaison des différentes techniques d'investigation, sus citées, se révèle intéressante. Et on peut dire qu'une reconnaissance de terrain, sera très efficace si on peut, en matière d'Aménagement de Territoire et d'Urbanisme, combiner les moyens les plus efficaces et en même temps les moins couteux, qui sont :

A la ville de Cheria :

- La tomographie électrique, combinée avec les pénétrètres dynamiques, en vue d'un bilan géotechnique.
- Le radar géologique, combinée avec les pénétrètres dynamiques, en vue d'un bilan géotechnique.
- Lors des études géotechniques la combinaison de la tomographie électrique, avant l'implantation des sondages carottés qui sont obligatoires pour les constructions R+3 et les ouvrages d'art (Cf. la norme NF-P 94-500 / USG).

A la périphérie de la ville et en milieu rural :

La tomographie électrique se trouve très efficace et de conditions, de mise en place, plus simple et moins couteuse que la gravimétrie. La gravimétrie est plus efficace, théoriquement, mais très couteuse et très sensible aux bruits, d'où son imperfection en milieu urbain.

CONCLUSION GENERALE

Les études géologiques montrent que le synclinal de Chéria se compose de la succession des marnes d'âge Campanien, les calcaires du Maestrichtien, les marnes du Danien et les calcaires Eocènes recouverts par des alluvions et de sables du Moi - Plio-Quaternaire.

Les études géophysiques, réalisées aux années 70 du siècle dernier, montre que le synclinal a rejoué, en phase de compression N-S, résultant un plissement de l'éocène. Se traduisant par deux anomalies qui intéressent, semble-t-il, l'allure des calcaires éocènes sous le recouvrement.

Une analyse des directions des fissures a montré deux directions dominantes une N40° -50° E et l'autre N 130° - 140° E.

L'étude de la fissuration et la karstification a permis de localiser la fissuration dans les cent premiers mètres et la karstification dans les cinquante premiers mètres, là où les calcaires éocènes s'approchent de la surface.

Le climat de la région est semi-aride, avec un été chaud et sec prolongé et un hiver froid;

Les bilans hydriques sont, généralement, déficitaires.

Le plateau, de Cheria, abrite, essentiellement, trois aquifères :

1. Le premier est au sein des calcaires du Maestrichtien perméables, aux bordures, et stériles, au centre.
2. Le deuxième, qui est le plus important pour la région et sa périphérie, siège aux calcaires éocènes, d'une épaisseur qui s'étale de quelques dizaines à une centaine de mètres.
3. Le troisième est l'aquifère du Mio-Plio-Quaternaire qui est devenu sans intérêt hydraulique, vu la sécheresse aigue, qui a touché la région, ces dernières décennies.

Les cartes piézométriques, de la région, montrent un sens d'écoulement général Nord Sud, et un gradient hydraulique très variable d'une période à l'autre.

L'hydrochimie de la région a permis de tirer plusieurs conclusions :

- Une salinité importante surtout dans la partie avale, au Sud de la région.
- Des concentrations élevées, pour la quasi-totalité des éléments chimiques, particulièrement, dans la partie Sud.
- Un faciès chimique chloruré magnésien ou calcique dominant.

L'utilisation de six techniques d'exploration et de reconnaissance montre :

1. La tomographie électrique, révèle l'existence de vides avec une géométrie, presque, parfaite, avec détection de faille et accidents tectoniques, que ce soit, en ville ou aux Douamis. La technique est très efficace, malgré son coût réduit.
2. Le radar géologique est inefficace ou limité, lorsque le sous-sol est humide ou présentant un écran argileux, mais s'avère très efficace en ville, où la technique a mis au jour, plusieurs vides et cavités, fractures, brèches tectoniques, tout en les distinguant des vides des réseaux d'assainissements. La technique vaut son coût, relativement élevé.
3. Le sondage carotté, bien que c'est le moyen d'investigation le plus sûr et le plus cher (18.500,00 D.A / m.l), en matière de résultats, où il a donné les dimensions exactes des vides. Les carottes, étaient très précieuses pour les prélèvements, l'échantillonnage et l'étalonnage des autres techniques, mises en œuvre.
4. Le pénétromètre dynamique, bien que c'est le moyen d'investigation le moins cher (20.000,00 D.A / point), s'avère très efficace, surtout, lorsqu'il est couplé d'une autre technique. surtout les techniques géophysiques.
5. La spéléologie, s'avère, aussi, très efficace. Elle nous a permis de faire un ensemble de mesures, constatations, et observations, impossibles de la surface. Bien que, sa mise en place, soit, un peu, délicate ; Que ce soit sur les conditions d'accès aux vides. Ce sport, comme le considèrent, certains, rapporte des informations très précieuses.
6. La photogrammétrie, bien que c'est une technique simple et peu couteuse, démontre qu'elle est très utile, en matière, d'observation et d'analyse des phénomènes. La photogrammétrie nous a permis de faire une cartographie détaillée et précise de la région.

On peut conclure, que les moyens de reconnaissance des cavités les plus efficaces et les plus économiques, en Aménagement de Territoire et en Urbanisme sont :

A la ville de Cheria :

- La tomographie électrique, combinée avec le pénétromètre dynamique, en vue d'un bilan géotechnique.
- Le radar géologique, combiné avec le pénétromètre dynamique, en vue d'un bilan géotechnique.
- Lors des reconnaissances géotechniques, la combinaison de la tomographie électrique, ou la combinaison avec le radar géologique. Avant l'implantation des sondages carottés qui sont obligatoires pour

les constructions R+3 et les ouvrages d'art (Cf. la norme NF-P 94-500 / USG).

A la périphérie de la ville et en milieu rural :

La tomographie électrique se trouve très efficace et les conditions, de mise en place, sont plus simples et moins coûteuses que celles de la gravimétrie. La gravimétrie est plus efficace, théoriquement, mais très coûteuse et très sensible aux bruits, d'où son imperfection en ville.

RECOMMANDATIONS

La karstification est un phénomène naturel. L'existence des vides karstique est évident dans les terrains carbonatés de nos régions. Ces vides nous ont, dans le passé, étaient utile, comme abris, ...

Mais leurs apparitions et effondrements brusques, cas de la ville de Cheria, ont causés des désordres, très lourds, en conséquences.

Limiter les conséquences revient à vivre en harmonie avec la nature et respecter ses processus, pour cela nous recommandons :

Limiter les causes principales, qui ont accéléré le processus et ce en :

- Revoir les travaux d'aménagement qui ont perturbé l'alimentation des nappes.
- Revoir et actualiser les débits d'exploitation des forages d'eau.
- Réhabiliter le réseau de surveillance piézométrique.
- Instaurer une « Police de l'eau » comme la police urbaine ou la police des mines pour limiter, au moins, les forages illicites.
- Trouver un moyen de recharge artificielle, comme l'installation, à l'aval d'une station d'épuration des eaux usées, drainée par l'Oued Cheria et installer, plus à l'aval, une retenue collinaire.
- Encourager les agriculteurs à utiliser des méthodes d'irrigation plus économique d'eau et à introduire de nouvelles cultures moins gourmande en eau.

En matière d'Urbanisme et d'Aménagement de Territoire, nous recommandons :

- Activer l'établissement de la cartographie ZERMOS (Zones Exposées aux Risques de Mouvements de Sol et de Sous-sol).
- Au moins, pour la région de Cheria, l'établissement de la carte du risque d'effondrement. Sachant que ce risque est élevé là où le toit calcaire est proche de surface, et il est étroitement lié à la présence des fractures.
- Sensibiliser les autorités à instaurer un réseau de surveillance des cavités ouvertes. Sachant que le risques est multiple ; Stabilité et source de contamination de tout le réseau aquifère karstique.
- Pour les zones d'extension urbaines ; Nous recommandons, d'exiger lors des études des Plans d'Occupation des Sols (POS) :

A la ville de Cheria :

- La tomographie électrique, combinée avec le pénétromètre dynamique, en vue d'un bilan géotechnique.
- Le radar géologique, combiné avec le pénétromètre dynamique, en vue d'un bilan géotechnique.
- Lors des reconnaissances géotechniques, la combinaison de la tomographie électrique, ou la combinaison avec le radar géologique. Avant l'implantation des sondages carottés qui sont obligatoires pour les constructions R+3 et les ouvrages d'art (Cf. la norme NF-P 94-500 / USG).

A la périphérie de la ville et en milieu rural :

La tomographie électrique se trouve très efficace et les conditions, de mise en place, sont plus simples et moins coûteuses que celles de la gravimétrie. La gravimétrie est plus efficace, théoriquement, mais très coûteuse et très sensible aux bruits, d'où son imperfection en ville.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] B. ALBERT, Karstification souterraine en milieu saturé, 1985.
- [2] Anonyme, Le processus karstique. ebooks
- [3] K. ASSIA. Evolution structurale mésozoïque et cénozoïque des monts de Tébessa. Sud Est constantinois sur la migration et le piège des hydrocarbures. Thèse de Magistère. USTHB, 2008.
- [4] Y. AZIZI et al, Karst sinkholes stability assessment in Cheria Area, NE Algeria. Geotech Geo Eng, 2014, DOI 10. 1007 / S10706 - 013 - 9719 - 2.
- [5] F. BAALI, Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région karstique de Chéria W.Tébessa, Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 2007.
- [6] F. BAALI, Underground water quality and contamination risk. The case of the basin of Cheria (NE Algeria). Estudios Geológicos, 63 (2). P 127 - 133. ISSN: 0367 - 0449, 2007.
- [7] F. BAALI, C. FEHDI, A. ROUABHIA, R. MOUICI, E. CARLIER, Hydrochemistry and isotopic exploration for a karstic aquifer in a semi-arid region: case of Cheria Plain, Eastern Algeria. Carbonates Evaporites, ISSN 0891 - 2556, DOI 10.1007 / S13146 - 014 - 0214 - 5, 2014.
- [8] M. BAKALOWICZ, Aquifères karstiques, ressources en eau et gestion durable, 2005.
- [9] M. BEDINGER, Electric-Analog study of cave formation. Bull, national speleological. Society. 28, M.3, 1966.
- [10] D. BELHAI, Guide de cartographie coupes topographique et géologique, 1992.
- [11] V. BELOUSOV, Géologie structurale, Ed Mir, 1974.
- [12] C. BENABAS, Evaluation Mio-Plio-Quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie nord orientale; apport de la photo géologie et analyse morphostructurale, Thèse de Doctorat, Université de Mantouri Constantine, 2006.
- [13] Z. BENIAWSKI, Engineering classification of jointed rock masses, Transaction South African Institute Civil Engineers, 15, 1973.
- [14] Z. BENIAWSKI, Rock mass classification in rock engineering. Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering, Vol.1, 1976.
- [15] S. BENMANSOUR, Etude tectono-sédimentaire du crétacé Terminal de l'Atlas saharien oriental, Thèse de Magistère, Université de Tébessa, 2008.
- [16] H. BONIN, Contribution à la connaissance des réservoirs aquifères karstiques, un exemple: Le cas de l'Hortus, un site expérimental: la source du Lamalou, Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, 1980.

- [17] Nerouz BOUBAKI, Détection de cavités par deux méthodes géophysiques: radars de sol et mesures de résistivités électriques, Thèse de Doctorat. Université de Paris Sud. 2013
- [18] BRGM / RP – 54596 - FR, Surveillance des eaux souterraines au droit des installations classées en milieu karstique, 2005.
- [19] N. BRINIS, Evolution des faciès chimiques des eaux souterraines dans la plaine d'El - Outaya, Biskra, Algérie. Publication au Journal International Environmental Conflict Management, Santa Catarina – Brazil(1), 2010.
- [20] H. CHAFFAI, Evaluation des ressources en eau de la plaine de Chéria (NE Algérie). Synthèse et analyse des données. Thèse de Doctorat 3ème cycle, USTL, Montpellier II, 2003.
- [21] H. CHAFFAI, R. LAOUAR, A. HANI et F. BAALI, Les formations karstiques du plateau de Chéria (Algérie), Identification et évaluation des ressources en eau. Larhyss journal, ISSN 1112 - 3680, N°05. 2006
- [22] A. CARLSSON, T. OLSSON, Caractéristiques des fractures et propriétés hydrauliques d'une région au sous-sol cristallin en Suède. Bulletin BRGM (2) III, N° 3, 1980.
- [23] K. CHAMEKH, Influence de la fracturation sur l'évolution du réservoir Karstique. Exemple des calcaires fissurés de la région de Chéria. (Nord - est Algérien), thèse de doctorat. Université de Tébessa. 2016.
- [24] K. CHAMEKH, Calcul du tenseur de perméabilité dans le milieu anisotrope. Exemple de l'aquifère karstique de la région de Chéria. (Nord - Est Algérien). Deuxième conférence internationale sur l'eau (CIEAU2013), Alger, 2013.
- [25] K. CHAMEKH, Relation fracturation - morphologie implications hydrogéologiques. Exemple des calcaires fissurés de la région de Chéria (NE Algérien), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°18, Juin 2014.
- [26] K. CHAMEKH et al, Relation entre fracturation et morphologie et leurs implications hydrogéologiques. Exemple des calcaires fissurés de la région de Chéria, (NE Algérien). Afrique SCIENCE 11 (1) (2015) 252 - 259 252, ISSN 1813 – 548 X, 2015.
- [27] D. CHAPELIER, Cours online de géophysique. 2000.
- [28] E. CLOOS, Experimental analysis of fracture. Bull. Géol. Soc, 1955.
- [29] J. DANIEL et P. GIAN, Considération sur les rapports entre la structure géologique et les écoulements souterrains dans les formations calcaires des SiebenHengste. Actes du 5^e Congrès suisse de Spéléologie, Interlaken 1975.
- [30] N. DEFAFLIA et al, Les Grabens Mio-Plio-Quaternaires aux Confins Algéro-Tunisiens, European Journal of Scientific Research, ISSN 1450-216X / 1450-202X Vol. 129 No 4 February, 2015.

- [31] M. DENITH et S. MUDGE. Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist. Cambridge University Press, 2014.
- [32] A. DEVOS et O. LEJEUNE, Fond de karstification et modalités de vidange aquifère en milieu crayeux; l'exemple du bassin de la Vese en amont de Reims (Marne/France), 2016.
- [33] DPSB (Ex DPAT) Rapport d'Octobre 2017. Plan sectoriel. Cheria.
- [34] Y. DUBOIS, Relation entre la fracturation, l'organisation des écoulements et la morphologie des conduits, à mont Godinne (Belgique), 2001.
- [35] A. FAUCOULT et J.F. RAOULT, Dictionnaire de géologie, 2^e édition, Ed Masson, 1984.
- [36] C. FEHDI et al, Detection of sinkholes using 2D electrical resistivity imaging in the Cheria Basin (north-east of Algeria). Arab J Geosci 4: 181 - 187. DOI: 10.1007 / S12517 – 009-0117 – 2, 2010.
- [37] G. FILIAT, La pratique des sols et fondations. Ed du Monteur, 1981.
- [38] N. FLORISH, F. MUHLASH, Everyday Applied Geophysics 1. Electrical Methods. ISTE PRESS, Elsevier, 2018.
- [39] D. FORD, P. WILLIAMS, Karst geomorphology and hydrology, London, Unwin Hyman, 1989.
- [40] B. FERDINAND, Précis de Télédétection volume 2. Applications Thématiques, 1996.
- [41] B. FEUGA, Caractérisation du milieu poreux équivalent à un milieu rocheux fracturé, par essais à l'eau in situ. Bulletin de l'AIGI N° 26-27. Paris, 1983.
- [42] B. FEUGA, Eléments d'approche des milieux rocheux fracturés du point de vue de l'hydraulique souterraine. Rapport du BRGM 84 SGN 128 GEG, 1984.
- [43] L. GADRI et al, Study of fractured rock masses deformation in Boukhadra (Tebessa) underground mine empirical and numerical approach (N-E Algeria), Journal of Geology and Mining Research Vol. 4(2), pp. 23-34, DOI: 10.5897/JGMR11.041, 2012.
- [44] B. GAUD, J. RICHARD, Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région karstique de Cheria. Rapport interne, DEMRH, 1978.
- [45] F. GUTIERREZ, A. COOPER, K. JOHNSON, Identification, prediction, and mitigation of sinkhole hazards in evaporite karst areas. Environmental Geology, 53 (5), 2008.
- [46] J.L. GUYOT, Le karst superficiel; étude des écoulements hypodermiques sur un site Expérimental Conconne (Gard), 1985.

- [47] J. GRILLOT, C. ALMEIDA, Tectonique cassante posthercynienne dans l'Algarve (Sud du Portugal). Incidence sur l'hydrogéologie karstique. Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique, 1982.
- [48] Y. GUBLER, Essai de nomenclature et caractérisation des principales structures sédimentaires. Ed TECHNIP, 1966.
- [49] M. HAMIMED, Etude sédimentologique et paléogéographique de la région d'El Malabiod (N-E Algérien), Thèse d'état, université de Constantine, 2005.
- [50] J. HENRY, Méthodes modernes de géologie de terrain, Ed TECHNIP, 1976.
- [51] P. JEANNIN, La problématique du karst lors du creusement d'un tunnel, 2007.
- [52] D. JAMIER, Etude de fissuration de l'hydrogéologie et de la géochimie des eaux profondes des massifs de l'Arpille et du Mont-Blanc. Thèse d'état, Université de Neuchâtel. 1974.
- [53] D. JAMIER, G. SIMEONI, Considérations sur les rapports entre la structure géologique et les écoulements souterrains dans les formations calcaires des « SiebenHengste, 1974.
- [54] F. JOULY, Glossaire de géomorphologie pour la cartographie. Ed Armand Colin, 1997.
- [55] L. KIRALY, Eléments structuraux et alignements de phénomène karstique. Bull, Soc, neuchâteloise, 1968, pp 127 - 146.
- [56] L. KIRALY, Anisotropie et hétérogénéité de la perméabilité dans les calcaires fissurés. Eclogae Geol. Helv. 62 (2); 1969.
- [57] L. KIRALY, MATHEY. B, TRIPET. J, Fissuration et orientation des cavités souterraines. Région de la Grotte de Milandre (Jura tabulaire). Bull. Soc. Neuch. Sci. Nat, 1971.
- [58] L. KIRALY, Groundwater flow in heterogeneous, anisotropic fractured media: a simple two-dimensional, 1971.
- [59] L. KIRALY, Notice explicative de la carte hydrogéologique du canton de Neuchâtel (+ carte). Supplément du Bulletin de la Société neuchâteloise des sciences naturelles, 1973.
- [60] L. KIRALY, Rapport sur l'état actuel des connaissances dans le domaine des caractères physiques des roches karstiques. In: Burger A. and Dubertret L. (Ed), Hydrogeology of karstic terrains, Int. Union of Geol. Sciences, 1975.
- [61] L. KIRALY, La notion d'unité hydrogéologique essai de définition. Extrait du Bulletin du Centre d'Hydrogéologie, N°2, 1978.
- [62] L. KIRALY, Remarques sur la simulation des failles et du réseau karstique par éléments finis dans les modèles d'écoulement. Bulletin du centre d'hydrogéologie N°3, 1979.

- [63] L. KIRALY, Régularisation de l'Areuse (Jura suisse) simulée par modèle mathématique. In Burger A. and Dubertret L. (Ed), Hydrogeology of karstic terrains, Int. Union of Geol. Sciences 1984.
- [64] L. KIRALY, A threedimensional model for groundwater flow simulation. NAGRA Technical Report 1985.
- [65] L. KIRALY, MOREL. G, Remarques sur l'hydrogramme des sources karstiques simulé par modèles mathématiques. Bulletin du centre d'hydrogéologie 1, 1976.
- [66] A. KLIMCHOUK, D. FORD, A. PALMER, W. DREYBRODT, Speleogenesis, evolution of karst aquifers. Nat. Spel. Soc, Huntsville, Alabama, USA 2000.
- [67] LADIERA & PRICE, Rock fractures and fluid flow: Contemporary understanding and applications. Washington, DC: The national academics Press, 1981.
- [68] R. LAFFITE, Carte d'étude géologique de l'Aurès au 1/200000, 1939.
- [69] R. LAFFITTE, Etude géologique de l'Aurès. Thèse Sciences., Paris. B.S.G.A. 1^o série. N° 11, 1939.
- [70] H. LAHOUCIN, Structure et du fonctionnement d'un aquifère multicouche carbonaté. Exemple du bassin d'Essaouira. Thèse de doctorat, Université de Cadiaya Marrakech. 2007
- [71] LAMBERT et D. DUROZOY, Compte rendu la tournée effectuée dans la région de Tébessa (Plateau de Chéria) A.N.R.H de Tébessa. 1947.
- [72] L. LATTMAN, R. PARIZEK, Relationship between fracture traces and the occurrence of ground water in carbonate rocks. Journal of hydrogeology 2/3: 1964.
- [73] R. LEGRIOUI, F. BAALI, A. HAMAD, I. ABDESLAM, R. MOUICI, Water Quality At A Karstic Aquifer In The Region Of Tébessa, Northeast -Algeria-, Energy Procedia 119 356–366, Elsevier, 2017.
- [74] LARSSON et al, Les eaux souterraines des roches dures du socle. Etudes et rapports d'hydrologie 33 UNESCO, Paris, 1987.
- [75] LCPC, Détection des cavités par méthodes Géophysiques. 2004
- [76] LCPC, LRPC Rouen, CÉTÉ, Guide pratique, 2015
- [77] A. LIAKOPOULOS, On the tensor concept of the hydraulic conductivity. Université de Beirut, N°4, 1961.
- [78] A. LIAKOPOULOS, Variation of the permeability tensor ellipsoïde in homogeneous Anisotropic soils and Water, 1965.
- [79] LONG et al, Porous media equivalents for networks of discontinuous fractures. Water Resources Research, vol.18, n°3, 1982.

- [80] C. LOUIS, Etude des écoulements d'eau dans les roches fissurées et leur influence sur la stabilité des massifs rocheux. Bull. étude et recherche, série A, 1968.
- [81] C. LOUIS, Introduction à l'hydraulique des roches. Bulletin BRGM (2), III, N° 3, 1974.
- [82] D.M. MAHAMMED, Utilisation des dispositifs de géophysique électrique non classiques pour l'étude des couches géologiques profondes : cas des chotts El Gharbi et Chergui, Thèse de doctorat, Université d'Oran. 2012
- [83] A. MANGIN, Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse de Doctorat, Université de Dijon, 1975.
- [84] L. MARESCOT.2008. Imagerie électrique pour géologues www.tomoquest.com
- [85] A. MARRE, Etude géomorphologique du Tell oriental Algérien de Collo à la frontière tunisienne. Thèse d'état Aix-Marseille II. 1987.
- [86] R. MARMI, Les bassins continentaux de l'avant pays de la chaîne alpine d'Algérie nord orientale. Etude stratigraphiques, sédimentaires, structurales et géochimiques. Thèse de Doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy 1, 1995.
- [87] B. MARSAUD, Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts à partir des résultats expérimentaux, 1997.
- [88] A. MEBARKI, Apport des cours d'eau et cartographie du bilan hydrologique: cas des bassins de l'Algérie orientale. Revue Sécheresse N° 4, Vol. 21, 2010.
- [89] M. MONBARON, Géomorphologie générale, ebook.
- [90] R. MOUICI et al, Conséquences géotechniques de la surexploitation d'un aquifère karstique, Cas de la région de Cheria. NE Algérien. RSG13, Rabat, Maroc 2013.
- [91] R. MOUICI et al, Explorations 2013-2014 en Algérie, Tébessa et massif de l'Azrou, Spelunca, N°137, FFS, 1^{er} trim 2015.
- [92] R. MOUICI, et al. Geophysical, geotechnical and speleological assessment for Karst sinkhole collapse genesis in Cheria plateau (NE Algeria). Mining Science, www.miningscience.pwr.edu.pl, 2017.
- [93] R. MOUICI et al, Apport des méthodes géophysiques, géotechniques et de la spéléologie à l'étude du karst de la région de Cheria. NE, Wreiana 2017
- [94] R. MOUICI et al, Apport de la photogrammétrie à la précision de la géométrie des cavités karstiques : Etablissement d'un modèle 3D des grottes des Douamis. Cheria. NE Algérien. Wreiana 2017.

[95] I. NOUIOUA, A. ROUABHIA, CH. FEHDI, M. L. BOUKELLOUL, L. GADRI, D. CHABOU, R. MOUICI, The application of GPR and electrical resistivity tomography as useful tools in detection of sinkholes in the Cheria Basin (northeast of Algeria).

[Environmental Earth Sciences](#) . 6/2013

[96] J. NOVEMBER, Karst geological investigation in the area of Son La and Thuan Chau (NW-Vietnam) [in Dutch]. KULeuven, Lic.-dissertation, 1999.

[97] OFEFP, Guide pratique, cartographie de la vulnérabilité en régions karstiques (EPIK), 1998.

[98] C. POMEROL, *Eléments de géologie*. Ed Dunod; 3^e édition, 2005.

[99] N.J. PRICE ET J.W. COSGROVE, *Analysis of Geological structures*. University Press - Science – 1990.

[100] N. RABAHI, La série néritique du Constantinois central (Massif du Chettabah, Dj.Belfelten); lithostratigraphie, sédimentologie et caractérisation hydrogéologique (Région de Constantine). Thèse de Magistère, Université de Batna, 2008.

[101] C. RADIA, *Etude géologique de la feuille de Morsott (Approche sédimentologique, morphostructurale et linéamentaire)*. Mémoire d'ingénieur d'état en géologie structurale, Université de Constantine, 1996.

[102] M. RAZAK, *Contribution à l'étude de la structure des aquifères en roches fissurées. Numération et analyse quantitative de la fracturation relevée sur photographies aériennes*. Thèse 3^{ème} cycle, USTL-Montpellier, 1980.

[103] C. RENSHAW, On the relationship between mechanical and hydraulic apertures in rough -walled fractures. *Journal of Geophysical Research* 100: DOI: 10. 1029 / 95 JB 02159. ISSN: 0148 - 02271995.

[104] A. RIHANI, *Etude hydrogéologique du Bassin de Bouzina (Sous bassin versant de l'oued Abdi. Massif des Aurès)*. Thèse de Magistère, Université de Batna, 2008.

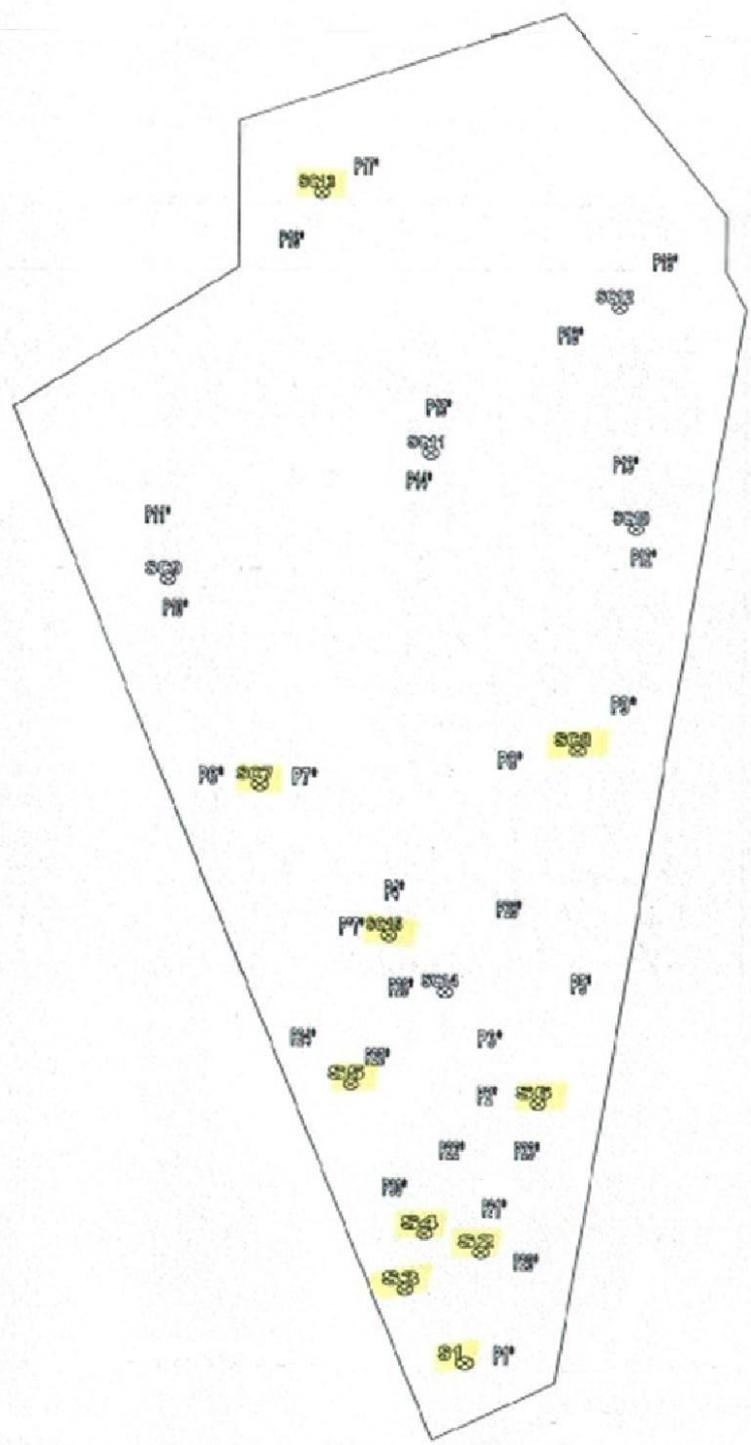
[105] A. ROUABHIA, *Vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Malabiod Nord-Est Algérien*, Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 2006.

[106] A. ROUABHIA, F. BAALI, N. KHERICI, L. DJABRI, *Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Malabiod (Algérie)*. *Revue Sécheresse* N°4, Vol.15, 2004.

[107] A. ROUABHIA, F. BAALI, N. KHERICI, L. DJABRI, *Vulnérabilité et impacts des activités anthropiques sur les eaux souterraines de la région d'El Malabiod*. *Revue vecteur environnement*, Vol.37, N°3, 2004.

- [108] A. ROULEAU, Statistical characterization and numerical simulation of a fractures system. Application to ground water flow in the Stripa granite. Ph.D. Thesis, University of Waterloo. 1985
- [109] A. SCHEIDEGGER, On the statistics of the orientation of bedding planes, grain axes and Simmilarsedimentological data. U.S. Geol. Survey prof. Paper 525. 1965.
- [110] G. SIMEONI, Analyse statistique des perméabilités ponctuelles des calcaires aquifères du Jura neuchâtelais, 1974.
- [111] M. SIFFRE, Hors du temps, ed Fayard. 2012, ISBN : B0000DOC70
- [110] E. SMEKHOV, Méthode de la fissuration dans les montagnes et des réservoirs de pétrole et de gaz Trudy, 1969.
- [112] D. SNOW, Anisotropic permeability of fractured media. Water. Res. Research 5 (6), 1969.
- [113] S. STEPHANE, Caractérisation de l'évolution géomorphologique de la basse vallée de Romanche (contraintes et géochronologiques), 2009.
- [114] T. STRELTSOVA, Hydrdynamics of ground water flow in fractured formation. 1976.
- [115] J. TALOBRE, La mécanique des roches. Ed. Dunod, 1967.
- [116] V. TAM, B. OKKE, A multi analysis remotesensing approach for mapping groundwater resources in the karstic Meo Vac Valley. Hydrogeology Journal, Vietnam, 2011.
- [117] B. THIERRY, G. ROLAND, Contribution de l'hydrogéochimie aux problèmes de la saturation des eaux dans les aquifères fracturés. SGF. 2012.
- [118] VILLA. J.M, Carte de l'Algérie au 1/200000. Feuille de Constantine. Carte géologique de l'Algérie. SONATRACH, 1977.
- [119] J.M. VILLA, La chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins Algéro - Tunisiens. Thèse SC. Université de paris. VI. 1980.
- [120] H. VIOREL, L'influence de la géologie sur la karstification, Etude comparative entre le massif d'Obarsia, Closani-Piatra, Mare et le massif d'Arbs. 2001.
- [121] A.F. WALID, Analysis of the karst aquifer structure of the Lamalou area (Hérault, France) with Ground penetrating radar, 2002.
- [122] W. WHITE, Analysis of karst aquifers in alley, W.M, Ed. Regional ground-water quality, New York, Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [123] W. WHITE, Conceptual models for karstic aquifers, in Palmer, A.N, Palmer, M.V, and Sasowsky, I.D, eds, Karst modeling: Leesburg, Va, Karst Waters Institute Special Publication 5, 1999.

ANNEXE



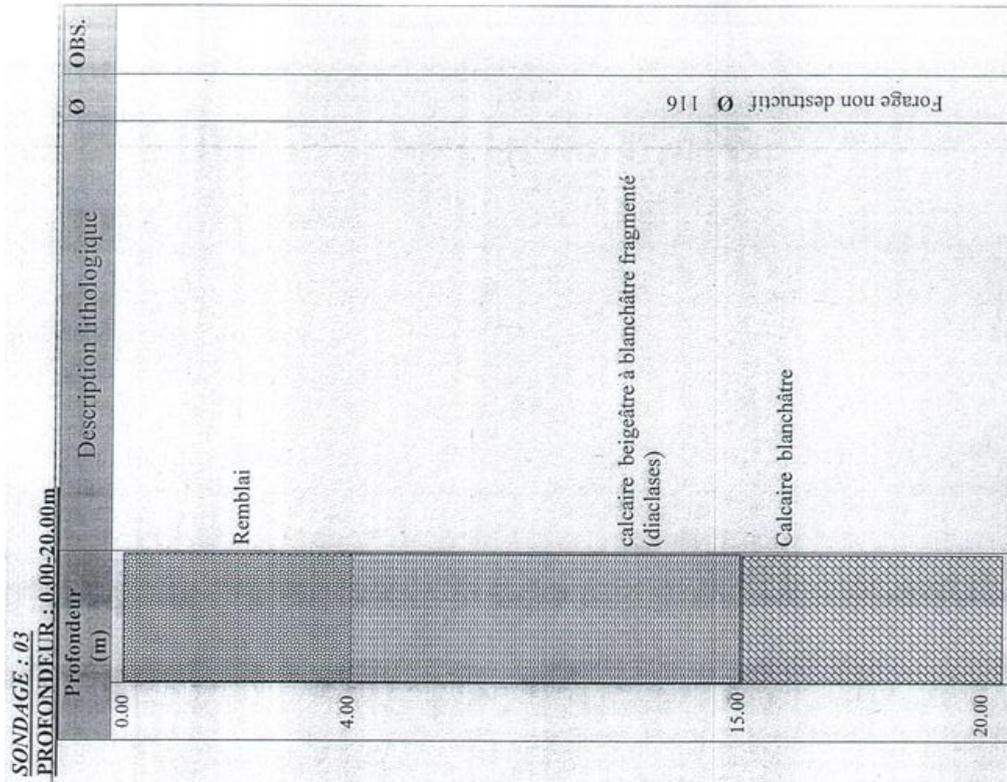
Plan d'implantation des Sondages carottés

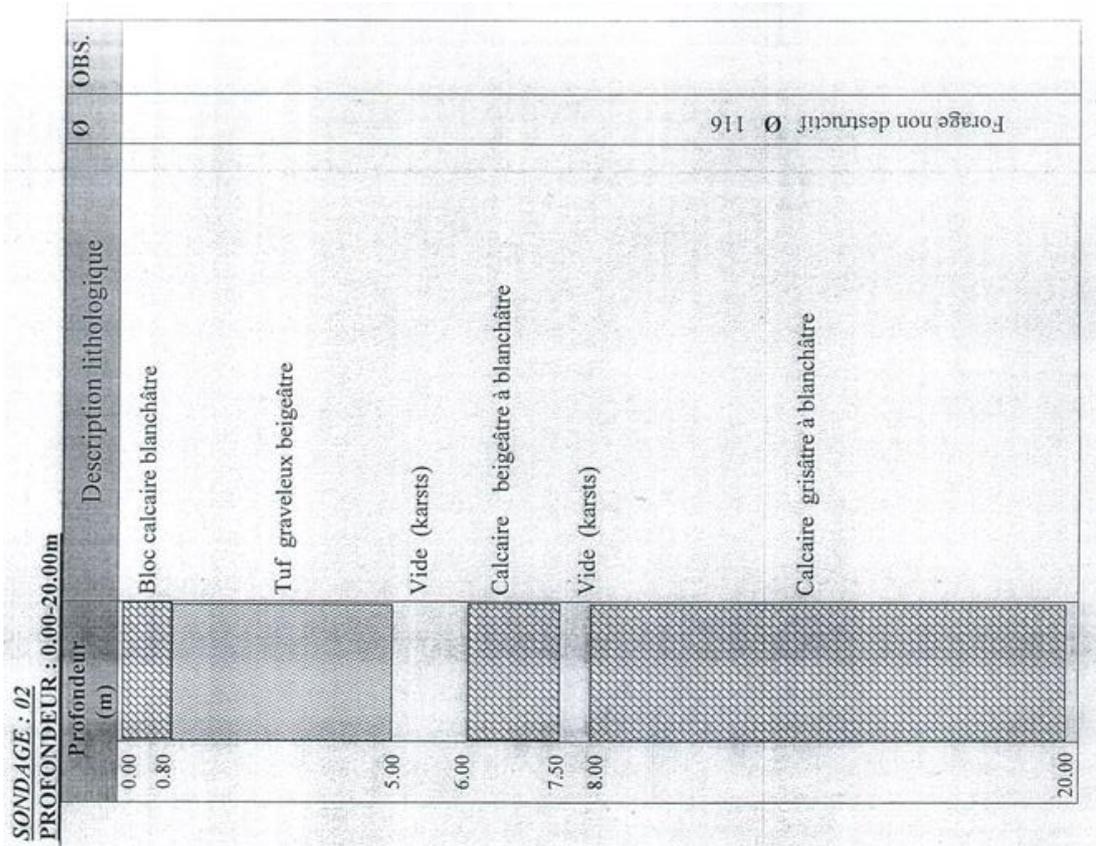
Coupe des sondages carottés

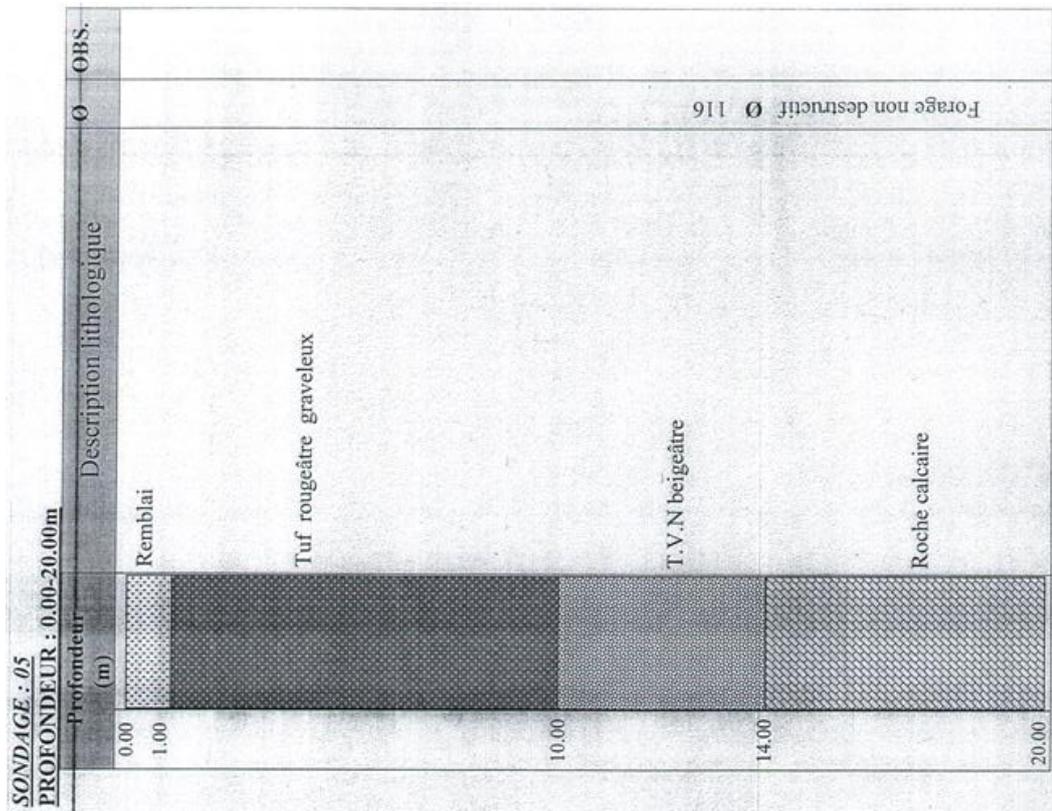
SONDAGE : 01

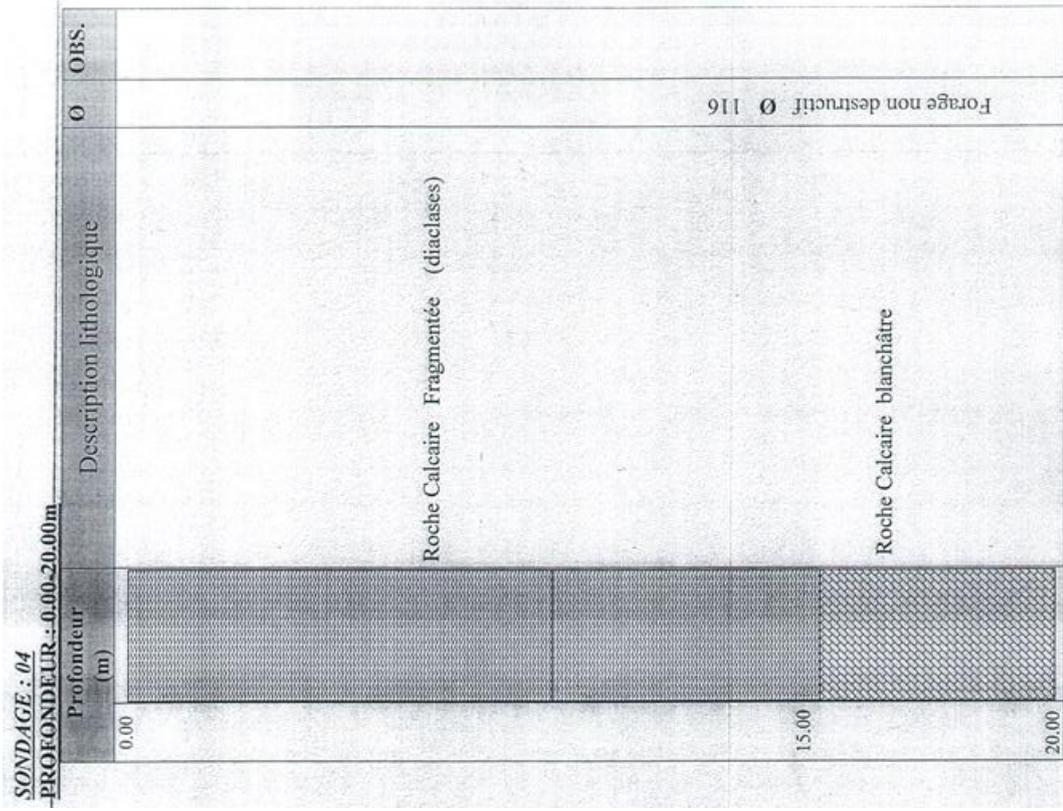
PROFONDEUR : 0.00-20.00m

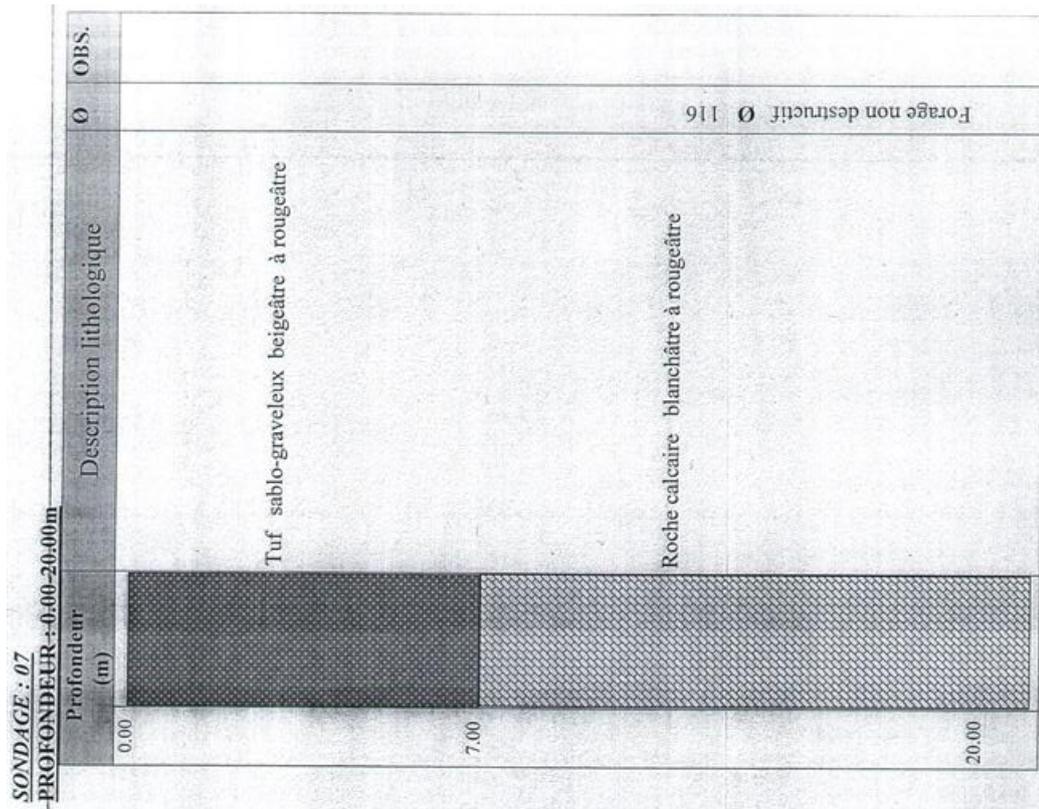
Profondeur (m)	Description lithologique	Ø	OBS
0.00	Remblai		
1.00			
2.50	Tuf sableux beigeâtre		
5.00	Roche calcaire fragmenté (diacalse)		
20.00	Calcaire grisâtre à blanchâtre	Forage non destructif Ø 116	

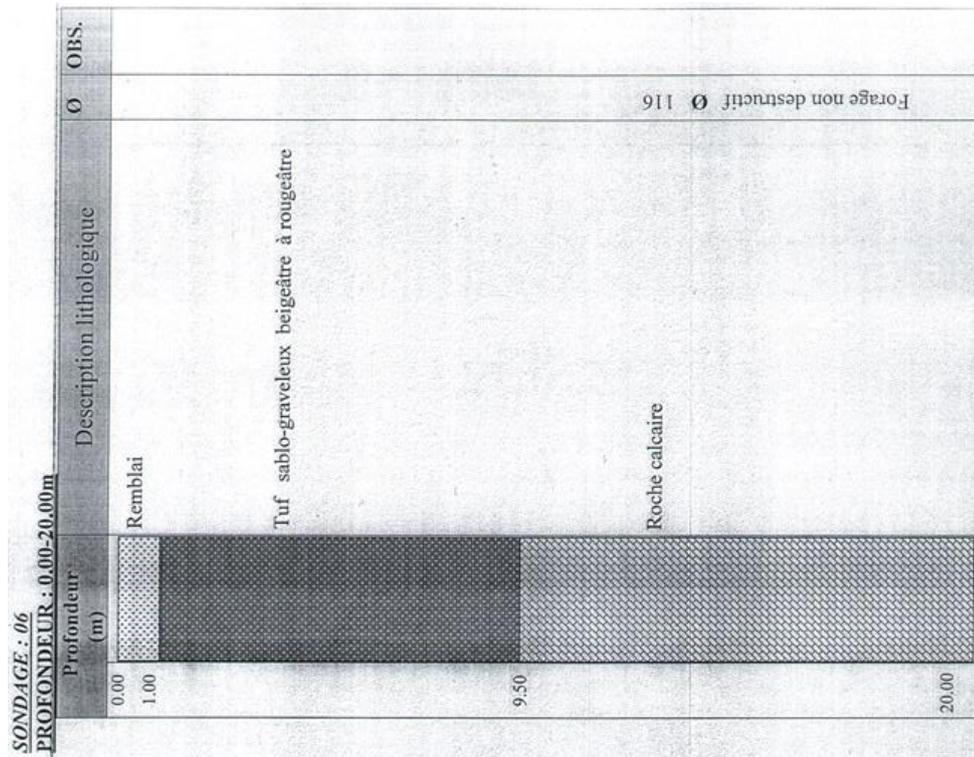


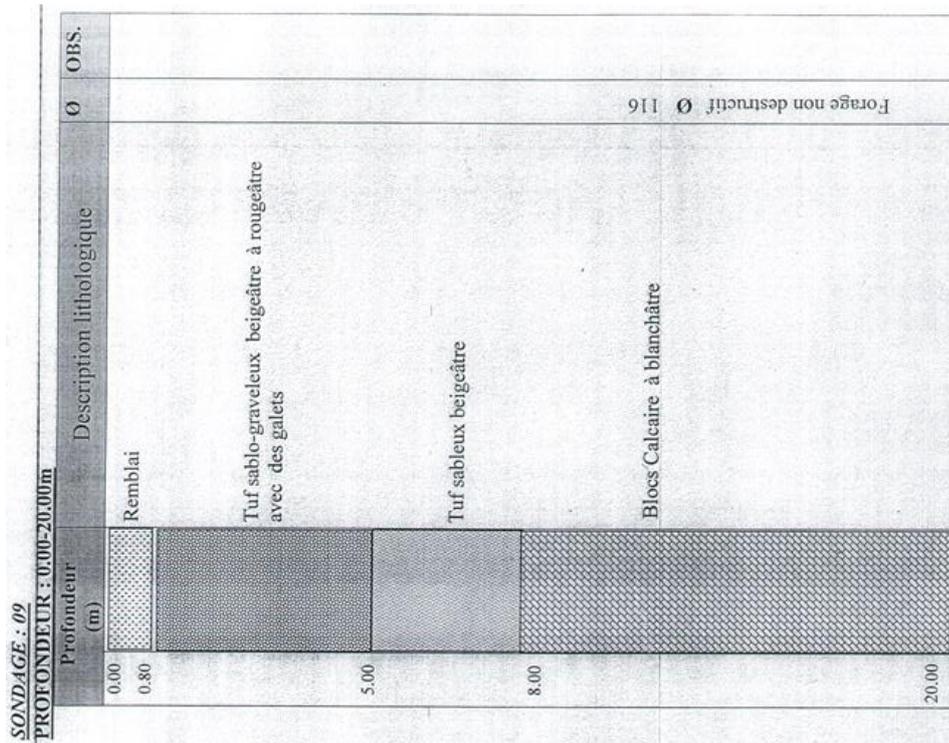


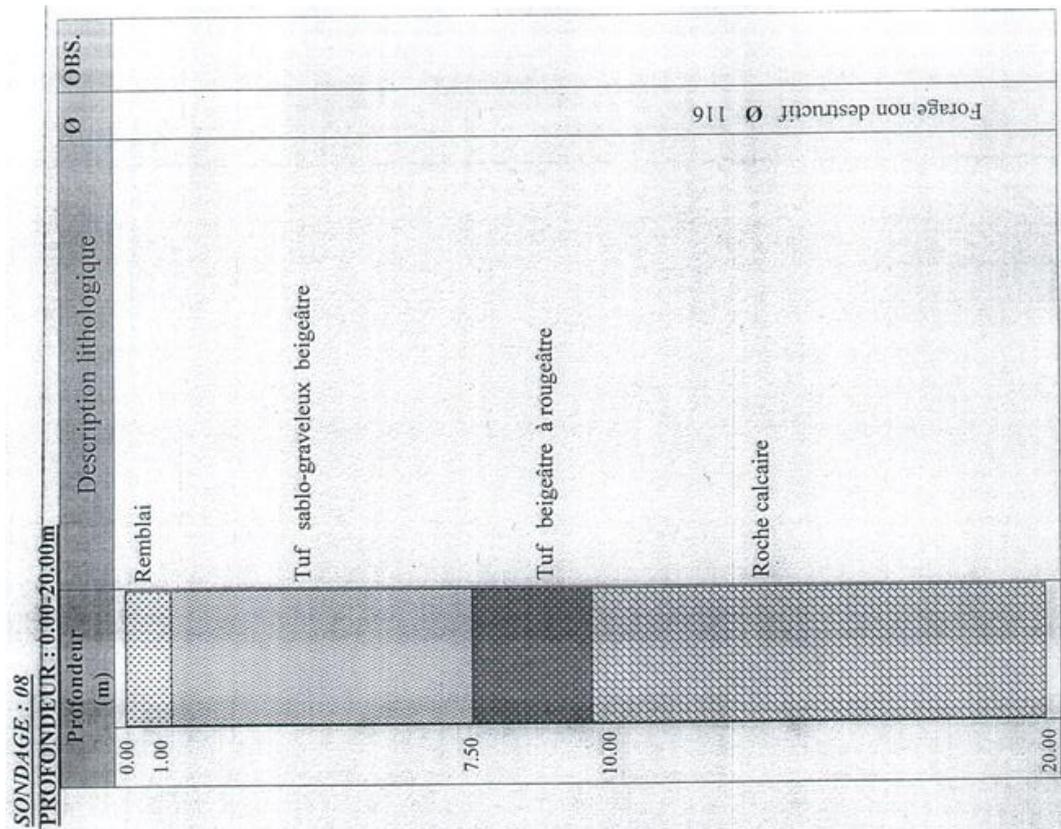


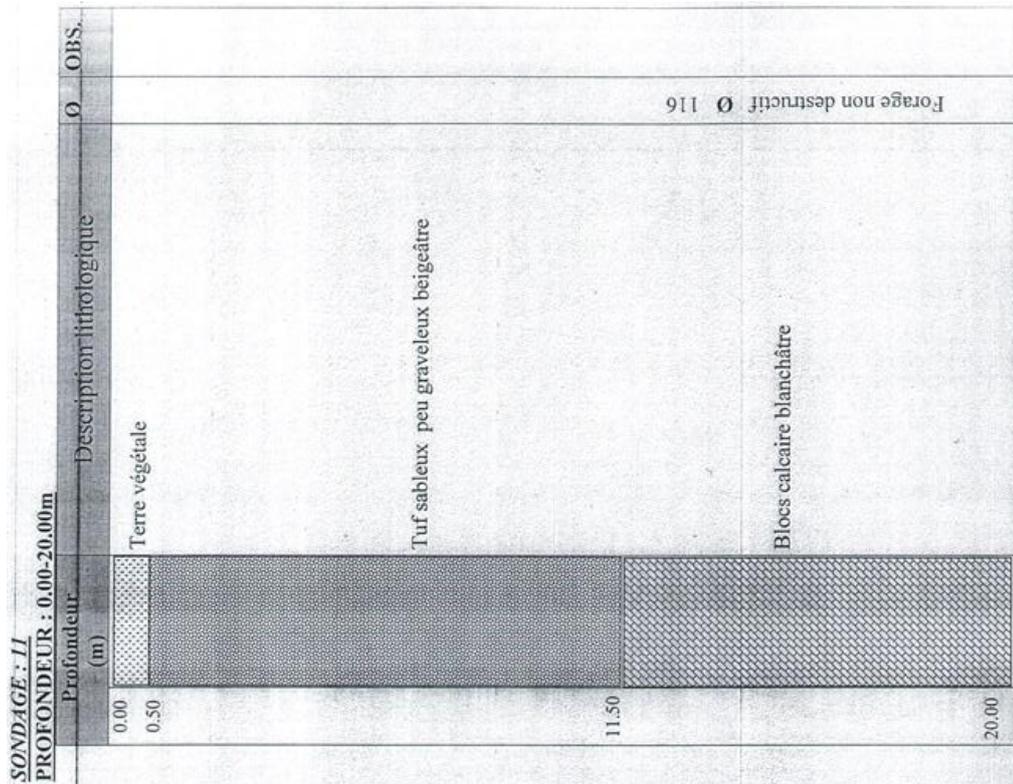


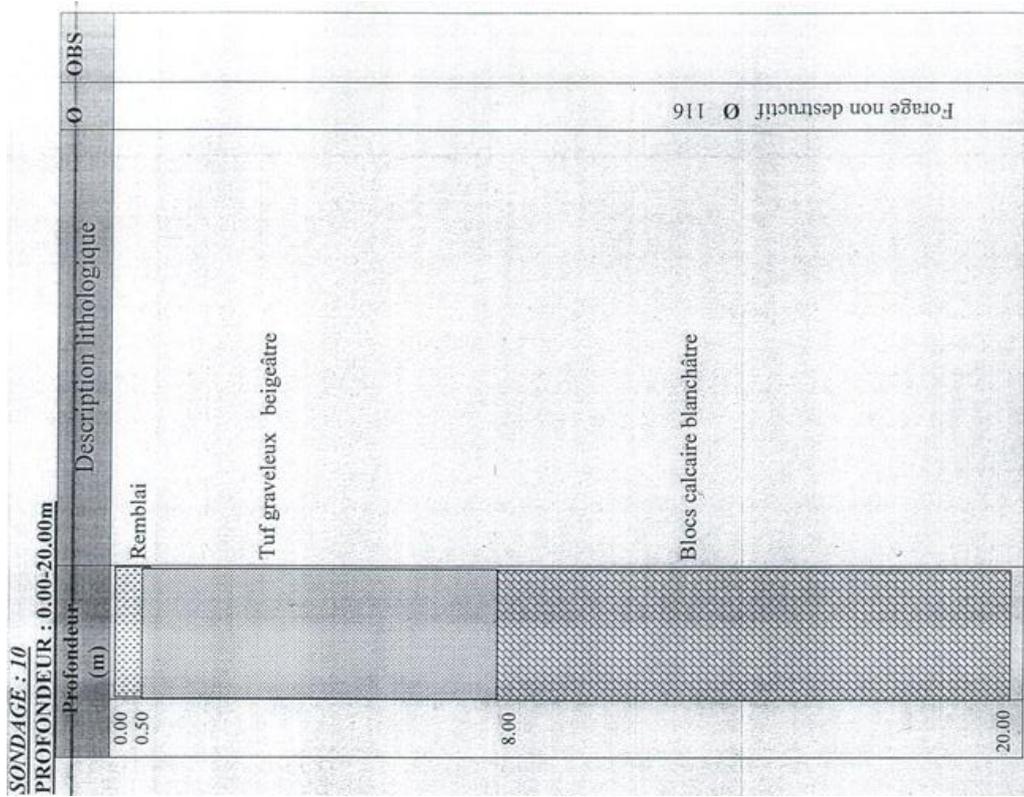


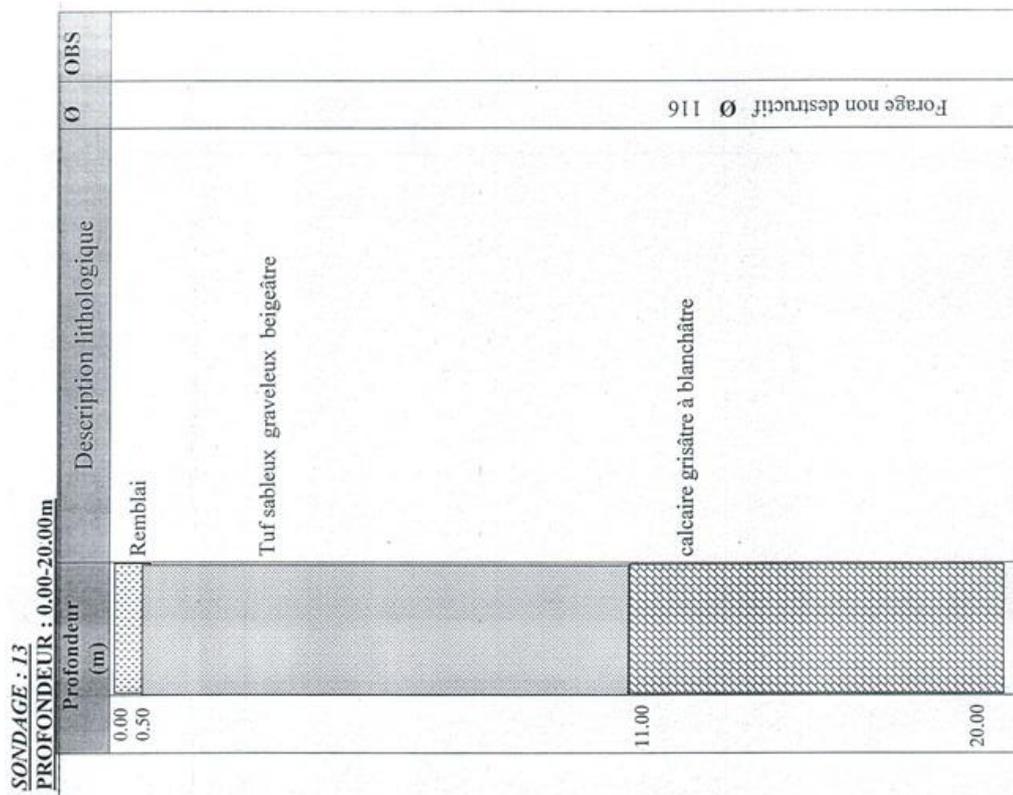


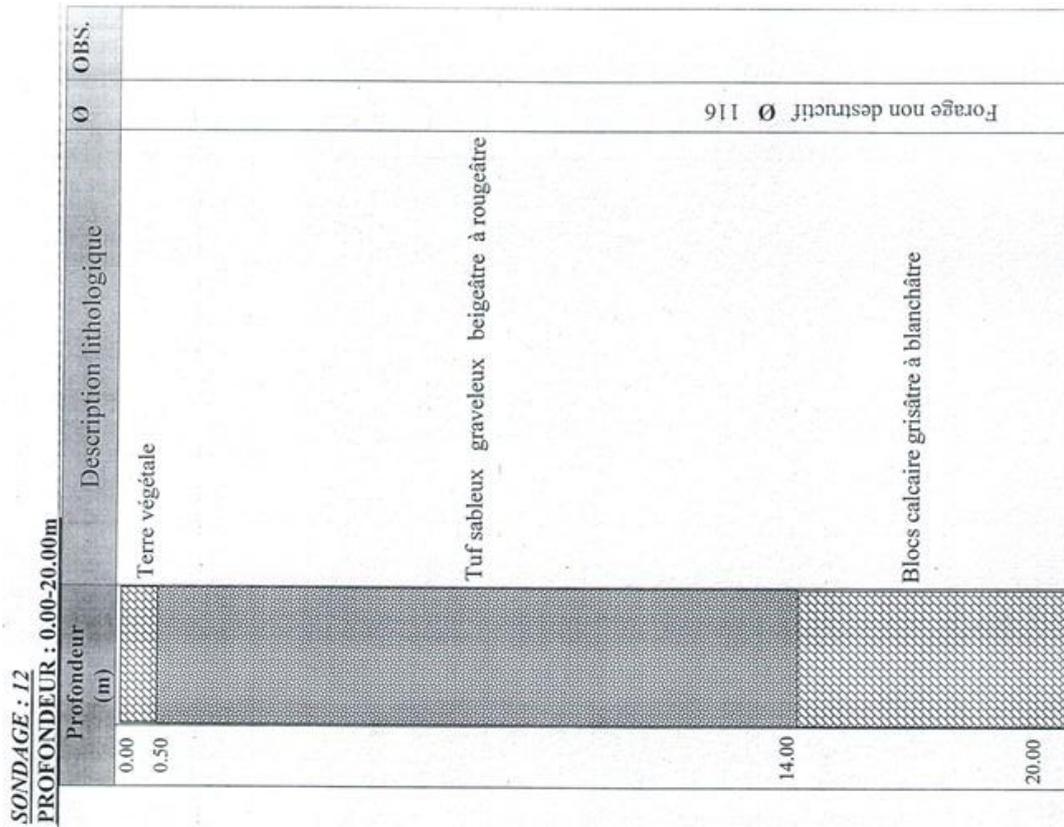


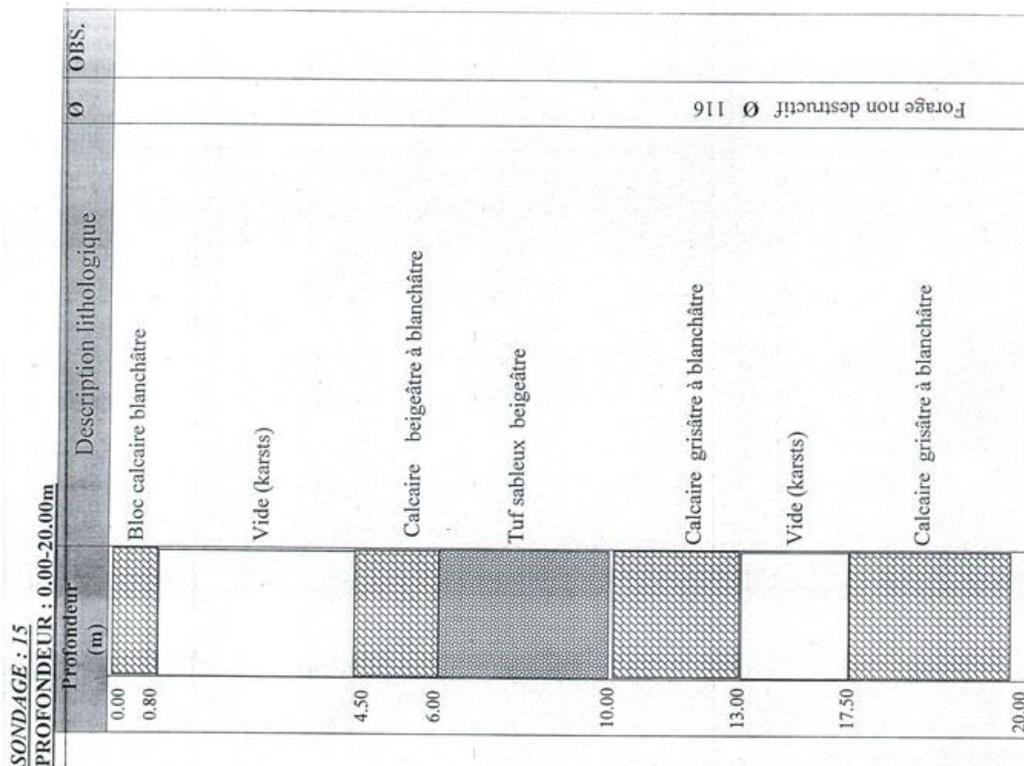


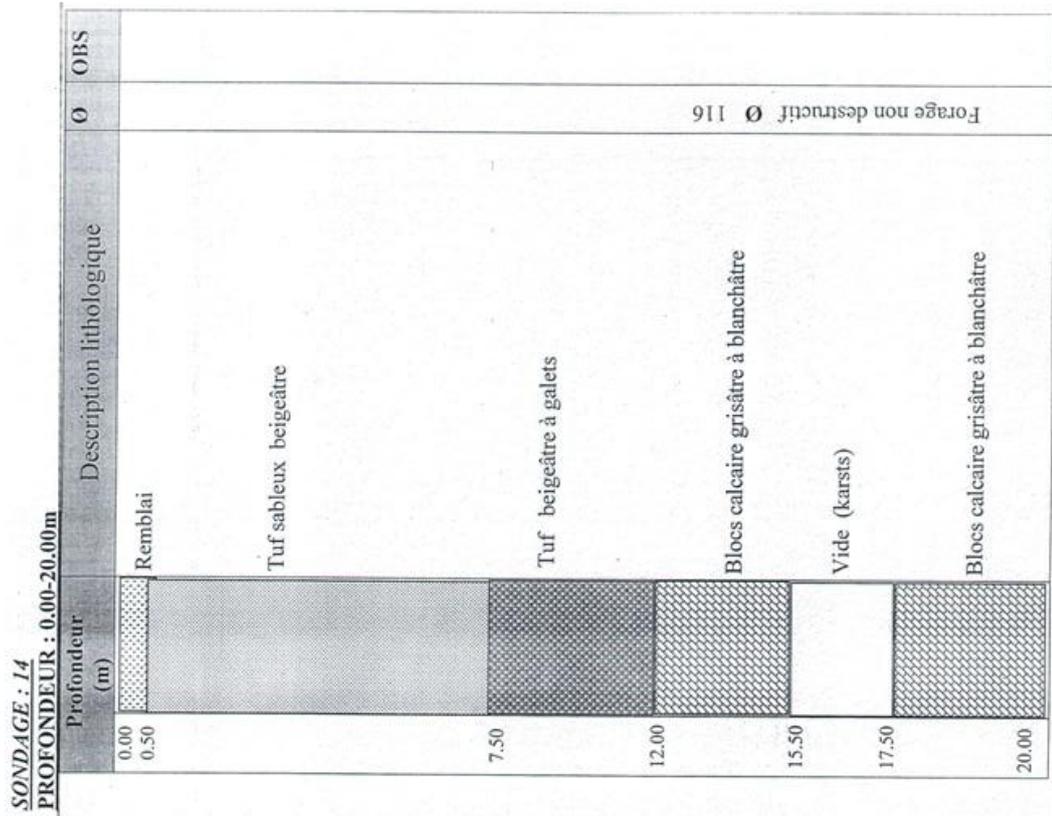




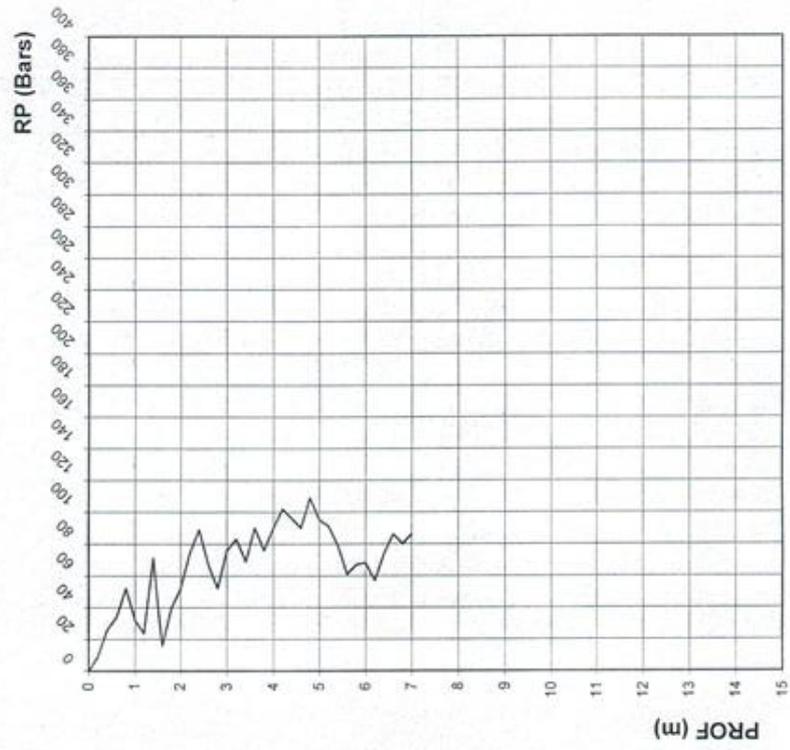




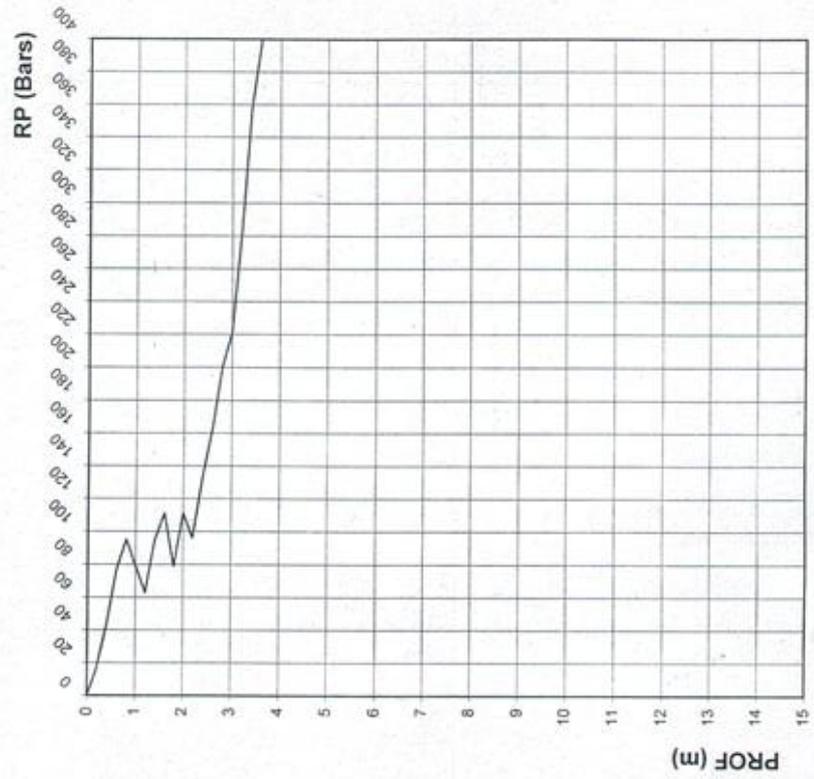




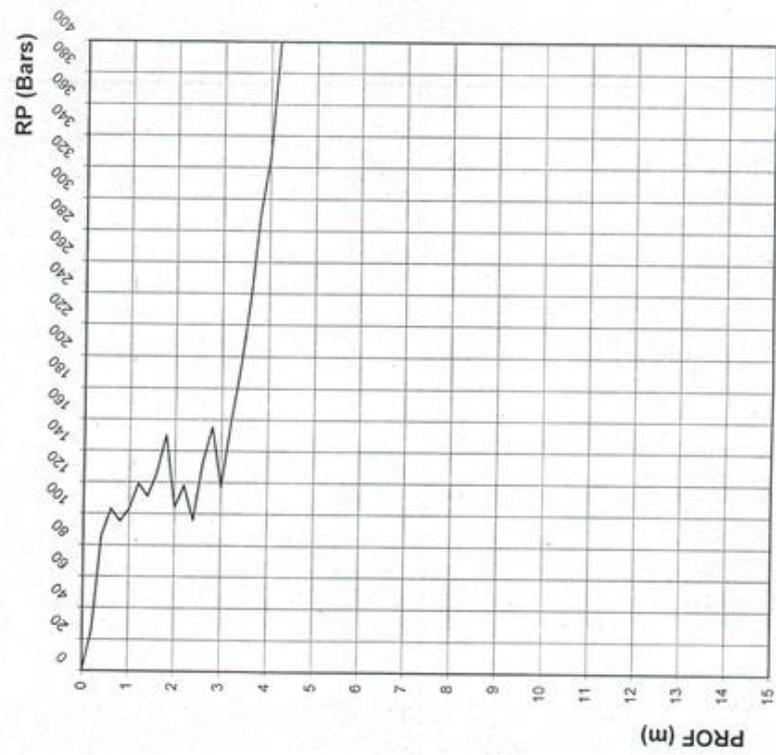
ESSAI AU PENETROMETRE LOURD
<p>SONDAGE: N° Pd2 REFUS m</p> <p>TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE</p> <p>LIEU : CHERIA WITEBESSA</p>



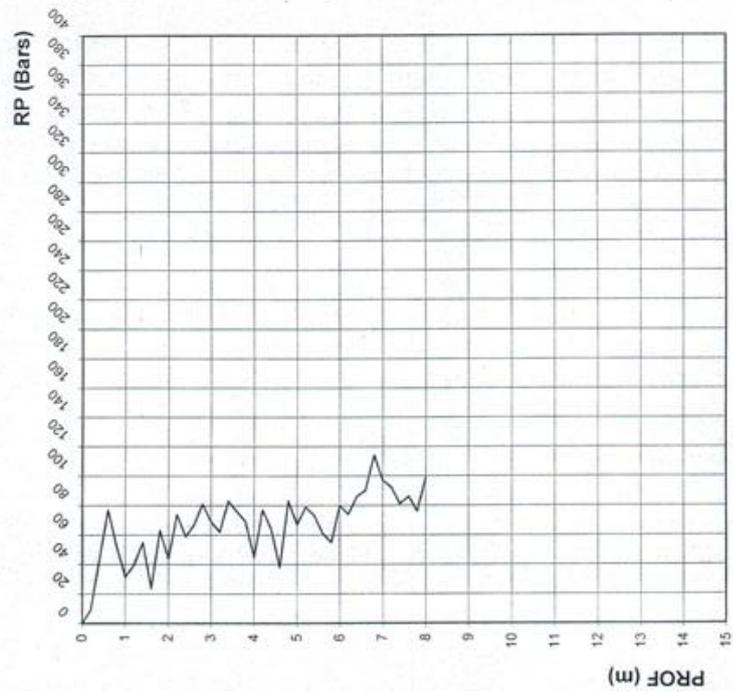
	<p align="center"><u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u></p> <p>SONDAGE: N° Pd 1 REFUS 4.60 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA W/TEBESSA</p>
--	---



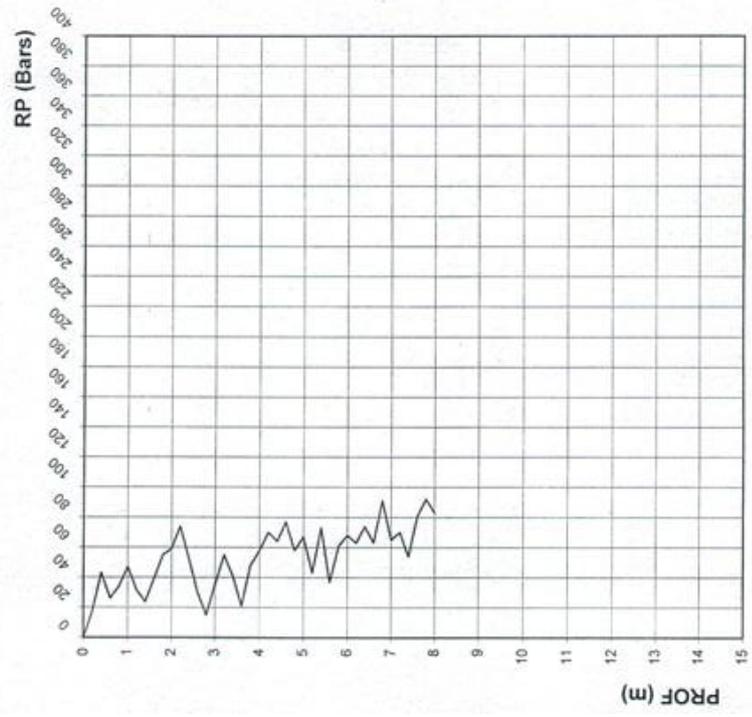
ESSAI AU PENETROMETRE LOURD
<p>SONDAGE: N° Pd 4 REFUS 5.20 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WITEBESSA</p>



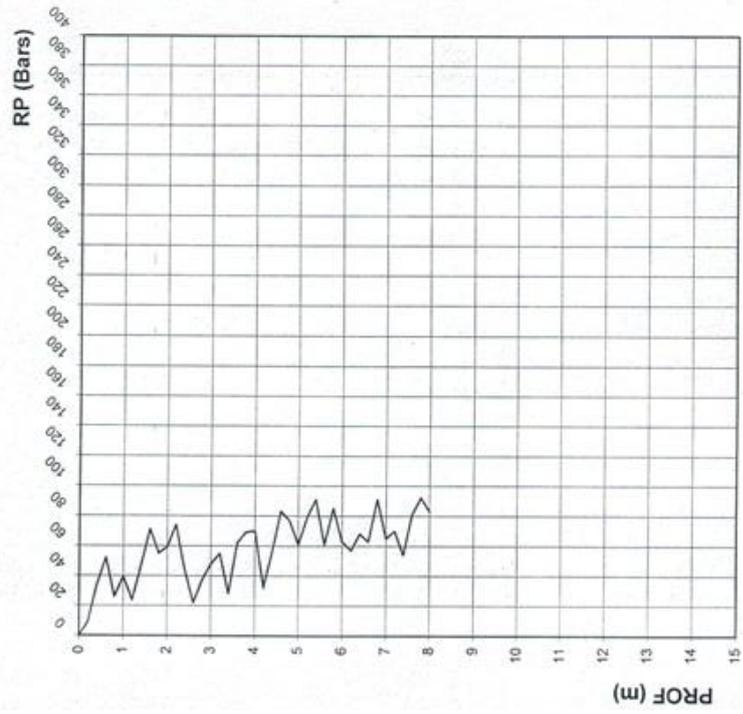
 LIP-EST	<u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u>
	SONDAGE: N° Pd 3 REFUS m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WITEBESSA



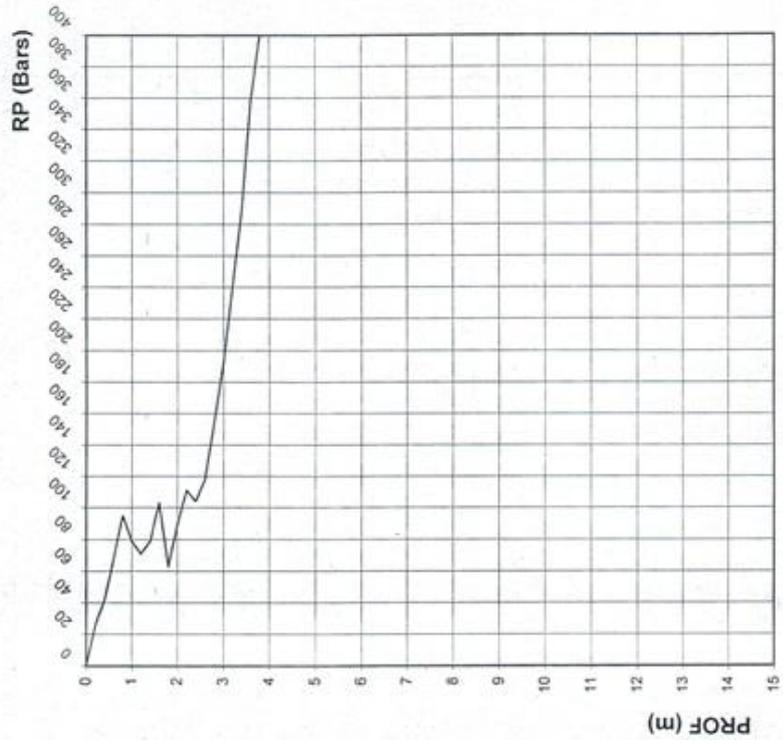
	<u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u>
	SONDAGE: N° Pd 6 REFUS m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WITEBESSA



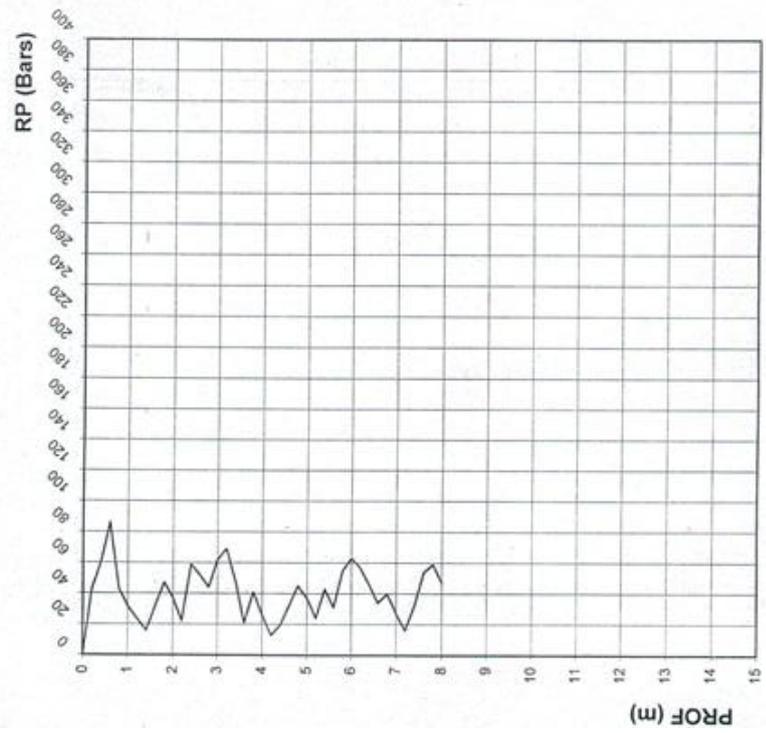
 LIP 231	<u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u>
	SONDAGE: N° Pd 5 REFUS m
	TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE
	LIEU : CHERIA WTEBESSA



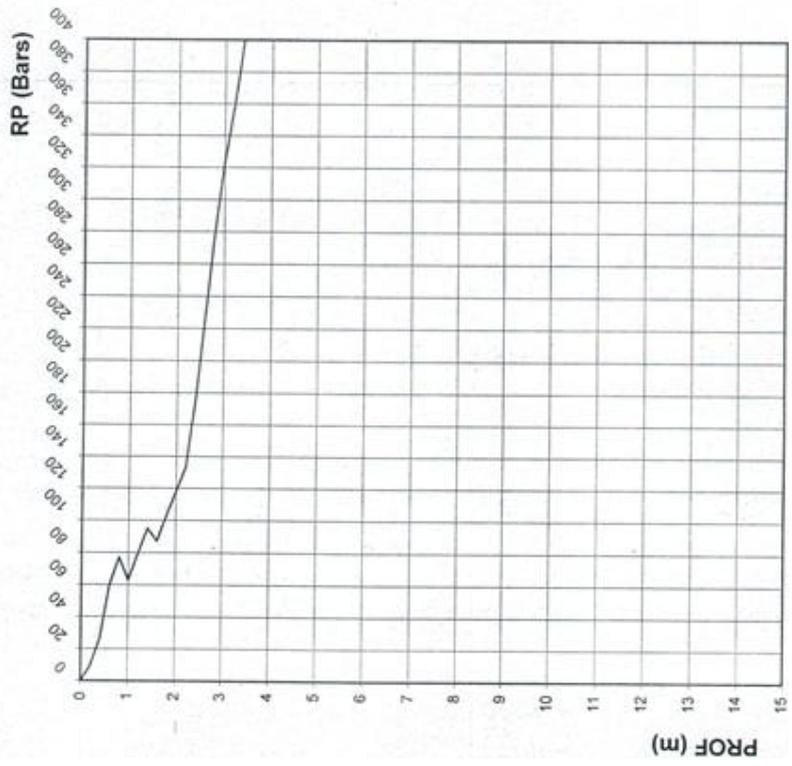
ESSAI AU PENETROMETRE LOURD
SONDAGE: N° Pd 8 REFUS 3.80 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA W/TEBESSA



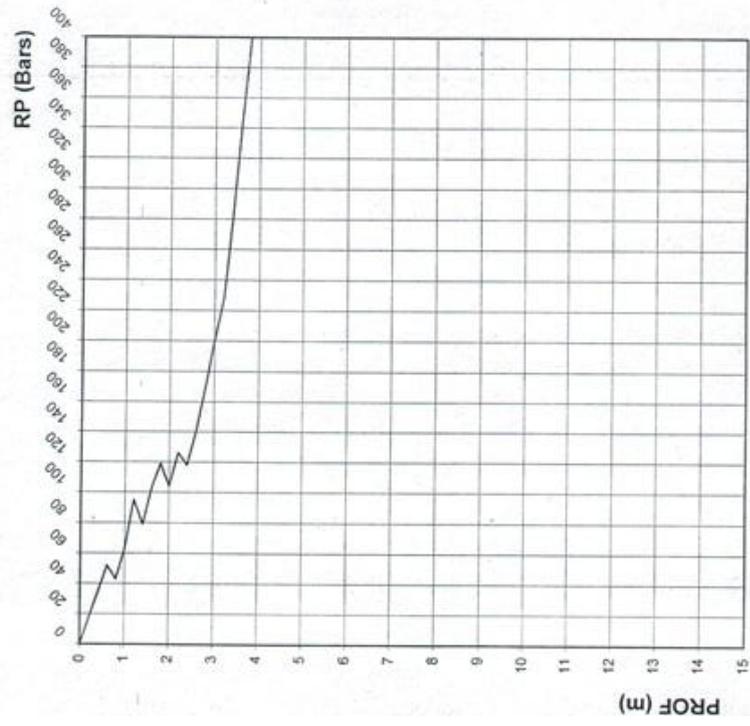
ESSAI AU PENETROMETRE LOURD
SONDAGE: N° Pd 7 REFUS m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WITEBESSA



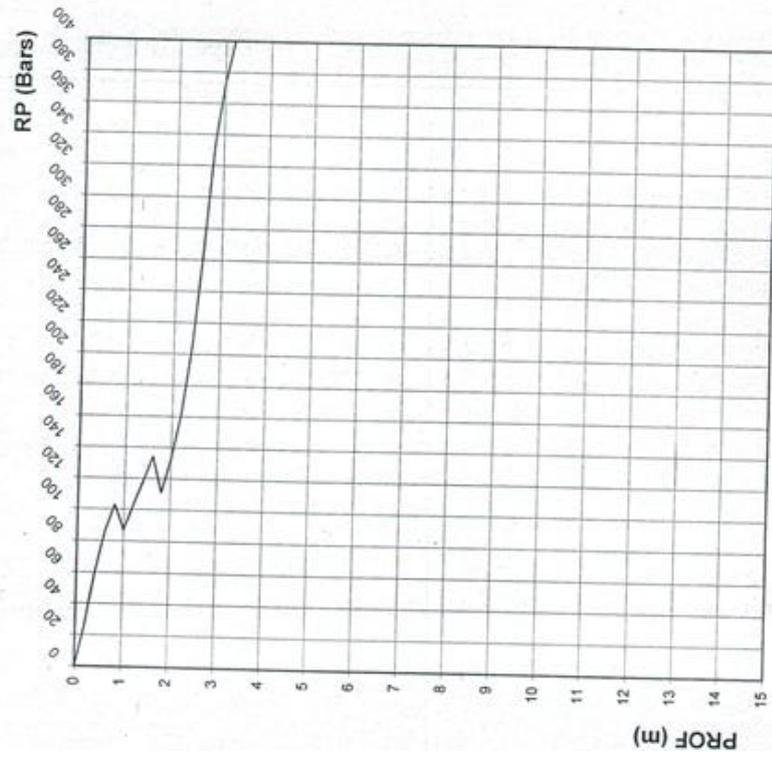
	<p align="center"><u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u></p> <p>SONDAGE: N° Pd 10 REFUS 3.40 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA W/TEBESSA</p>
--	--



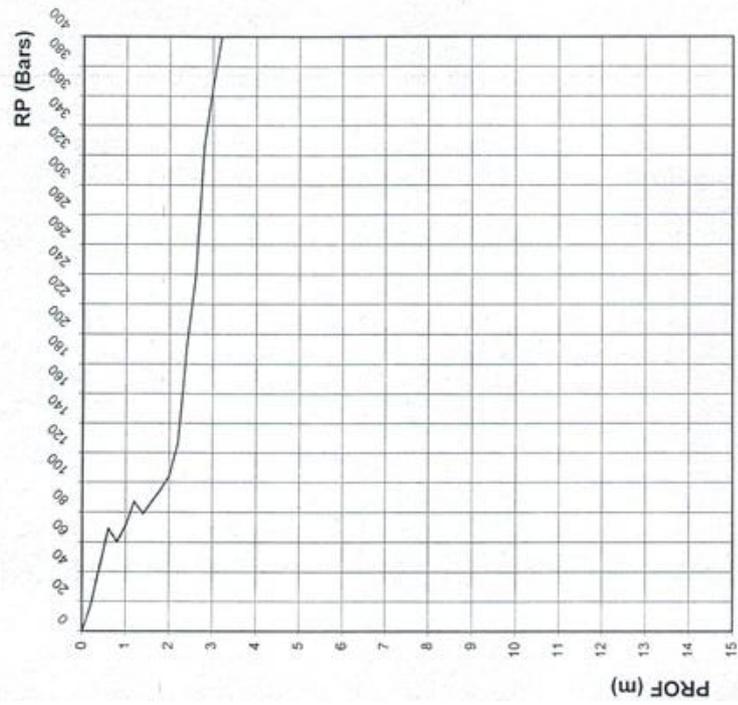
	ESSAI AU PENETROMETRE LOURD
	SONDAGE: N° Pd 9 REFUS 3.80 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WTEBESSA



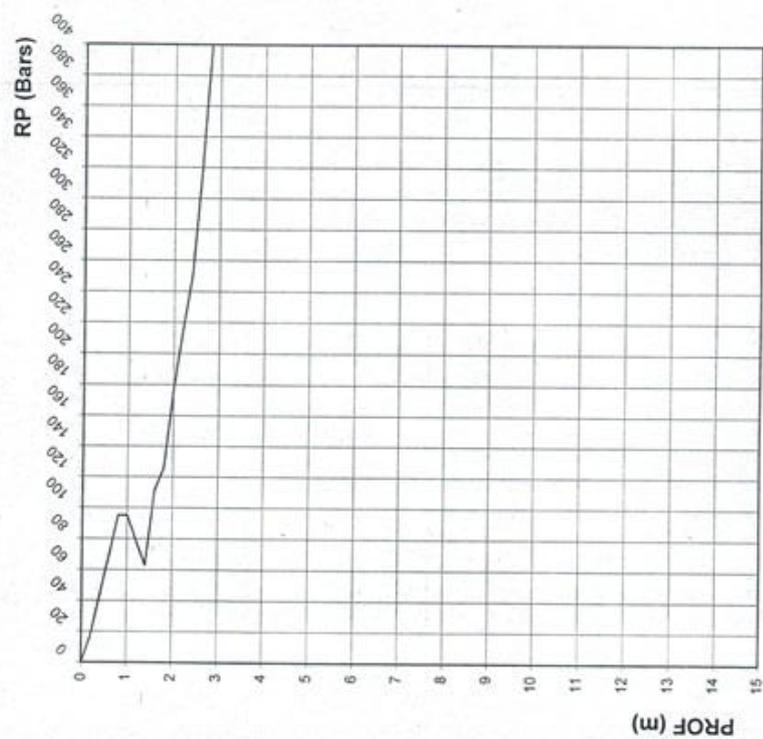
 UPEST	<u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u>
	SONDAGE: N° Pd 12 REFUS 3.20 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA W/TEBESSA



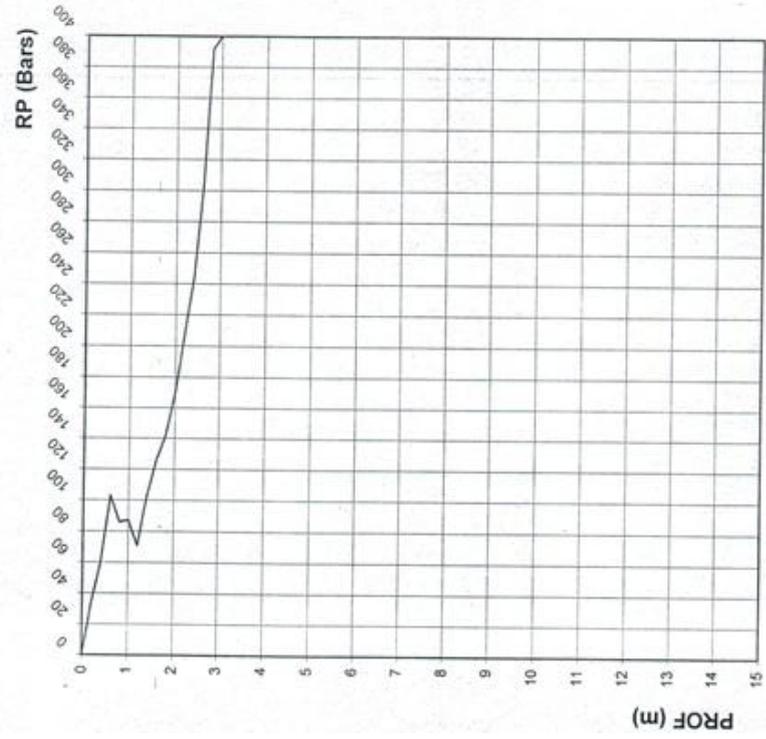
 <p>L'IP'Est</p>	<p align="center"><u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u></p> <p>SONDAGE: N° Pd 11 REFUS 3.20 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WTEBESSA</p>
---	---



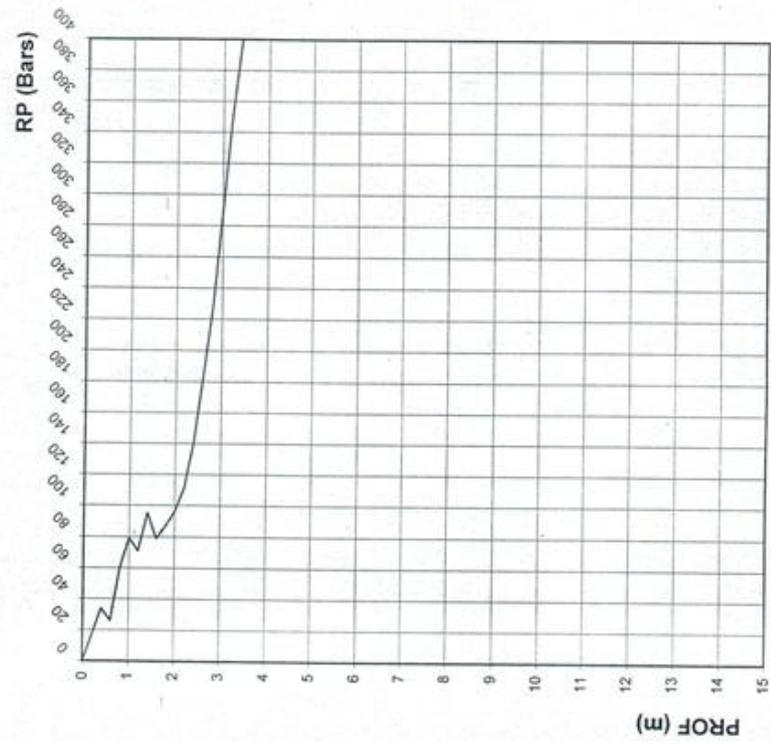
	<p align="center"><u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u></p> <p>SONDAGE: N° Pd 14 REFUS 2.80 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WITEBESSA</p>
---	--



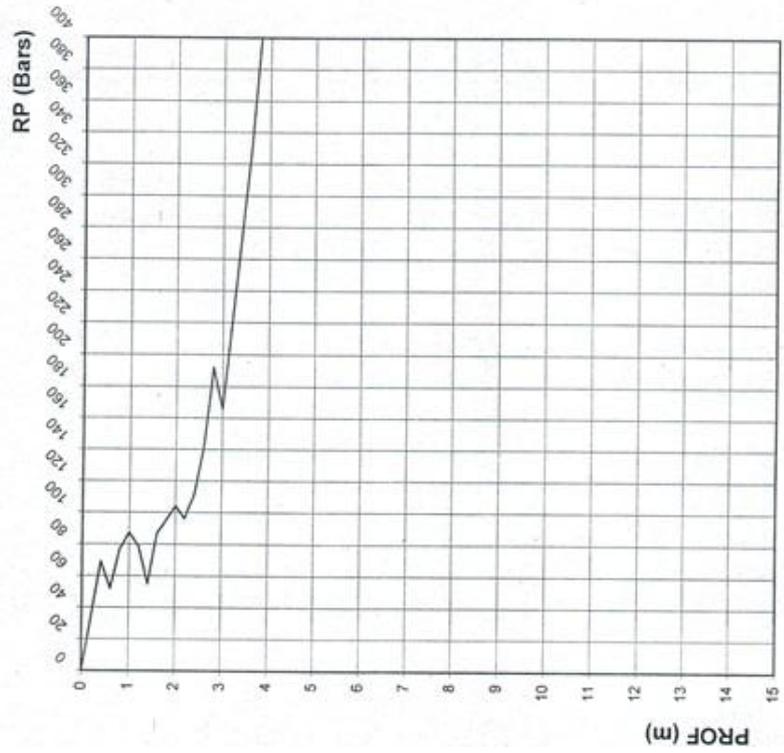
 <p>L'IP-EDT</p>	<p align="center">ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</p> <p>SONDAGE: N° Pd 13 REFUS 3.00 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WITEBESSA</p>
--	---



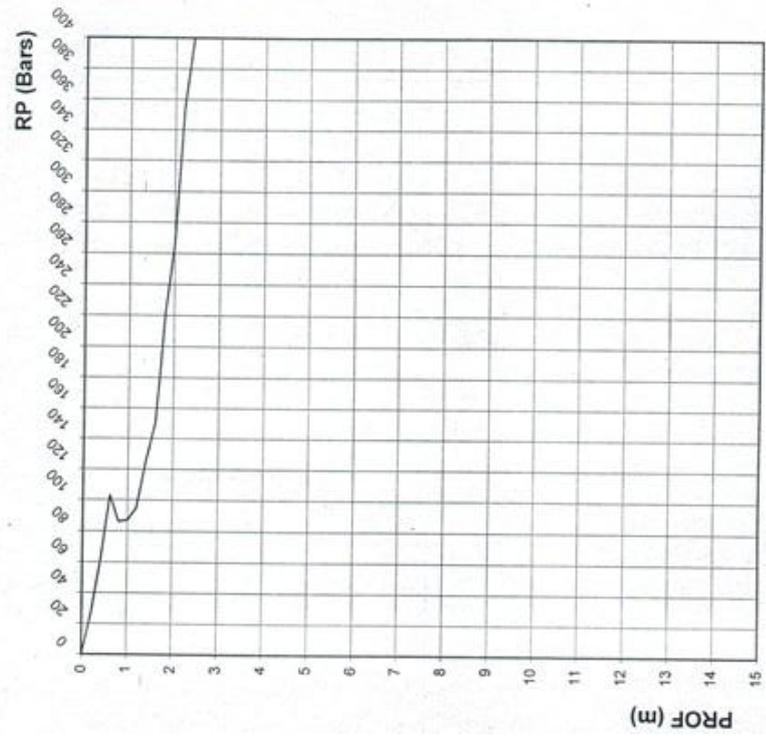
 L'EST	<u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u>
	SONDAGE: N° Pd 16 REFUS 3,40 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WITEBESSA



 LIPEST	<u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u>
	SONDAGE: N° P4 15 REFUS 3.80 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WTEBESSA



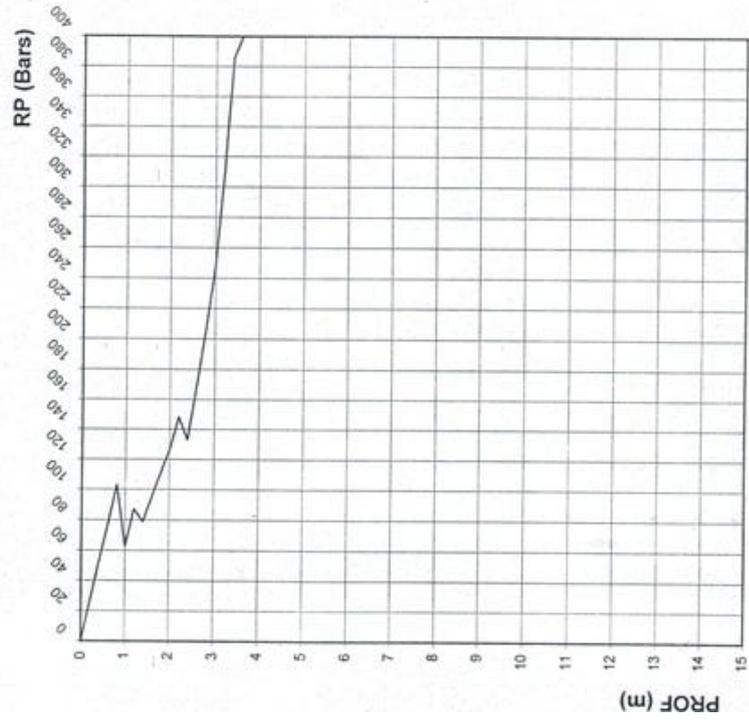
 L'EST	<u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u>
	SONDAGE: N° Pd 18 REFUS 2.40 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA W/TEBESSA



ESSAI AU PENETROMETRE LOURD



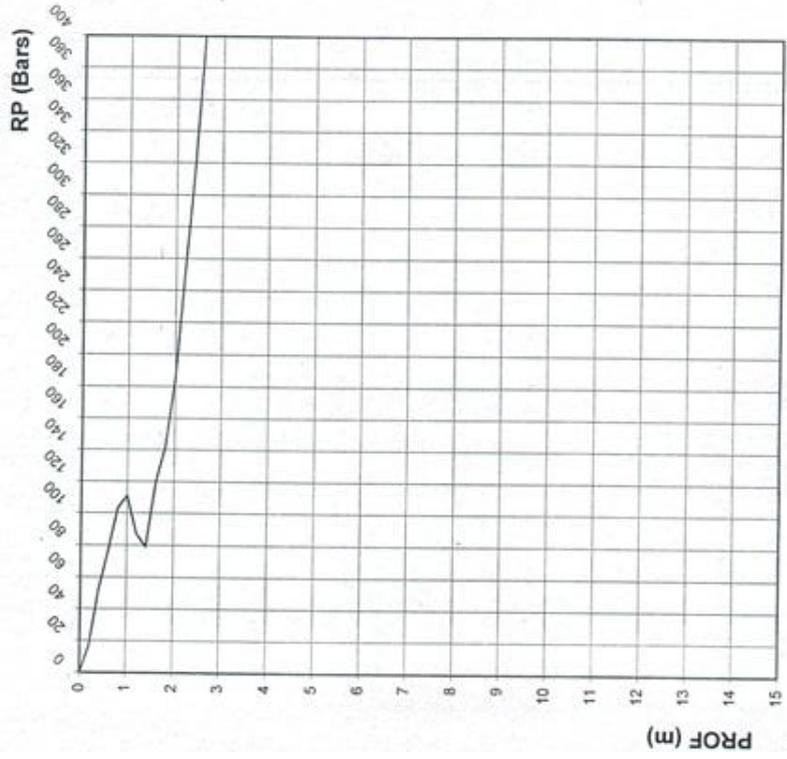
SONDAGE: N° Pd 17 REFUS 3.60 m
TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE
LIEU : CHERIA WTEBESSA



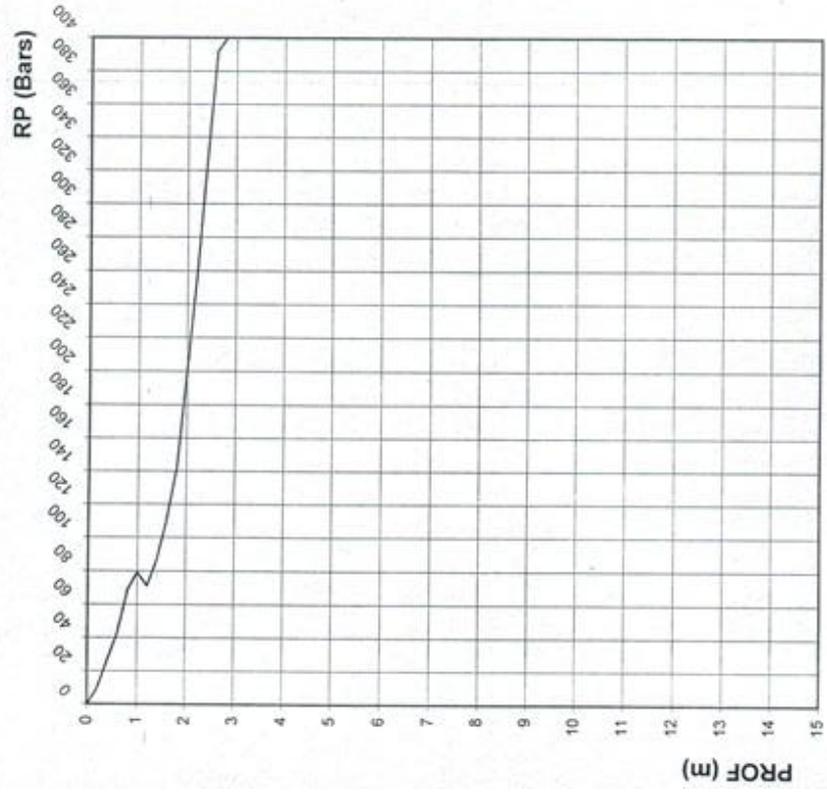
ESSAI AU PENETROMETRE LOURD



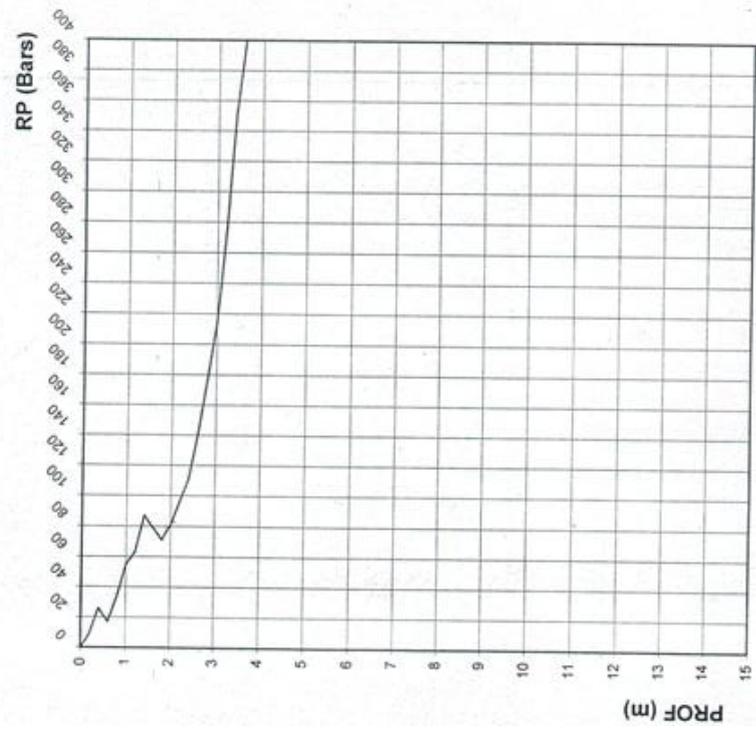
SONDAGE: N° Pd 20 REFUS 2.60 m
TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE
LIEU : CHERIA W/TEBESSA



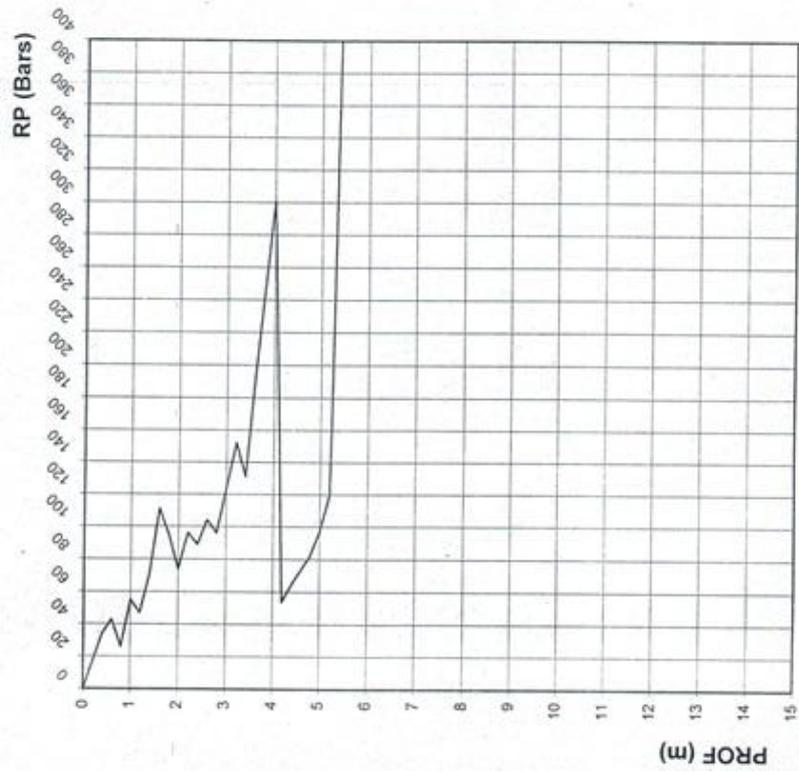
	<p style="text-align: center;"><u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u></p> <p>SONDAGE: N° Pd 19 REFUS 2.80 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WITEBESSA</p>
--	---



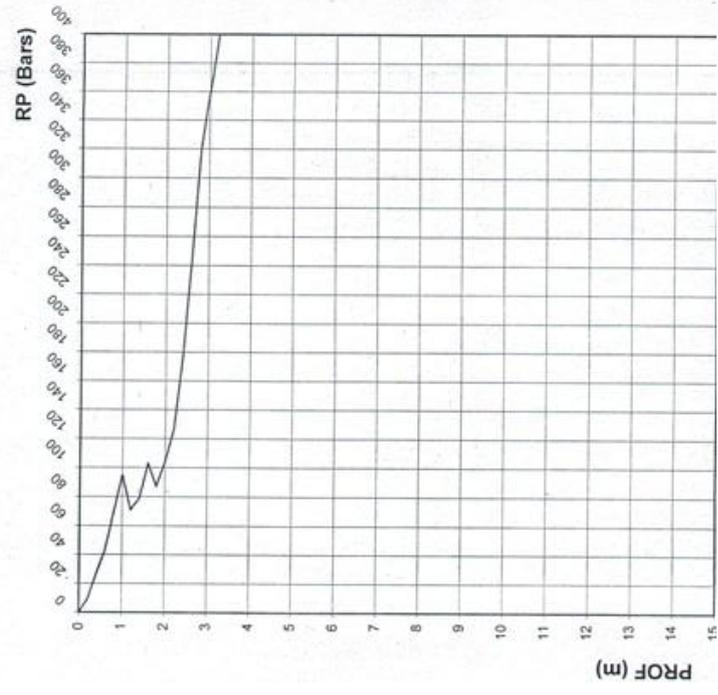
	<u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u>
	SONDAGE: N° Pd 22 REFUS 3.60 m
	TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE
	LIEU : CHERIA WTEBESSA



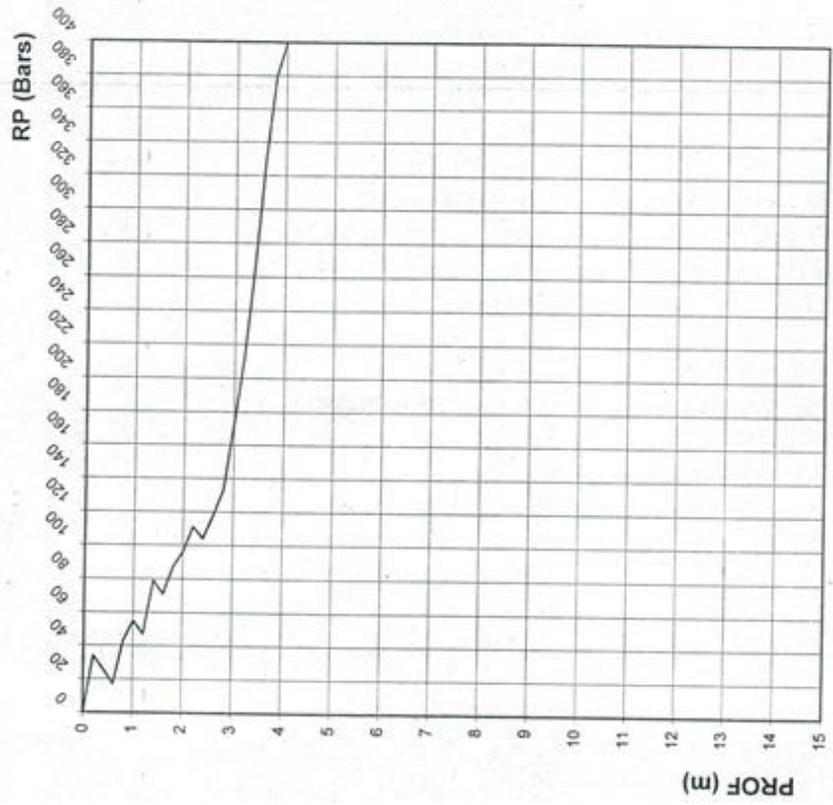
 LIP EST	<u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u>
	SONDAGE: N° Pd 21 REFUS 5.40 m
	TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE
	LIEU : CHERIA WITEBESSA



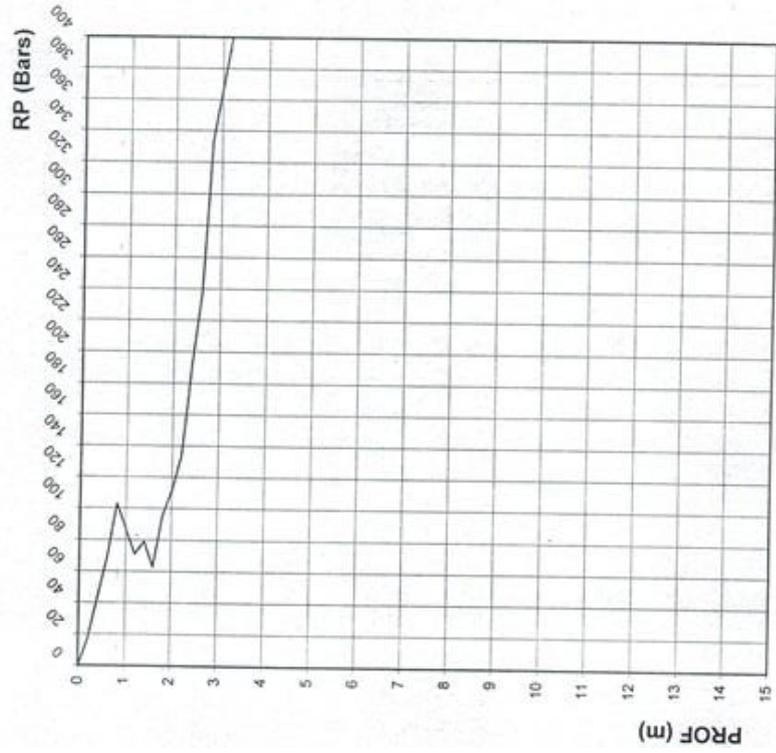
	<p align="center">ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</p> <p>SONDAGE: N° Pd 24 REFUS 3.20 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA W/TEBESSA</p>
---	---



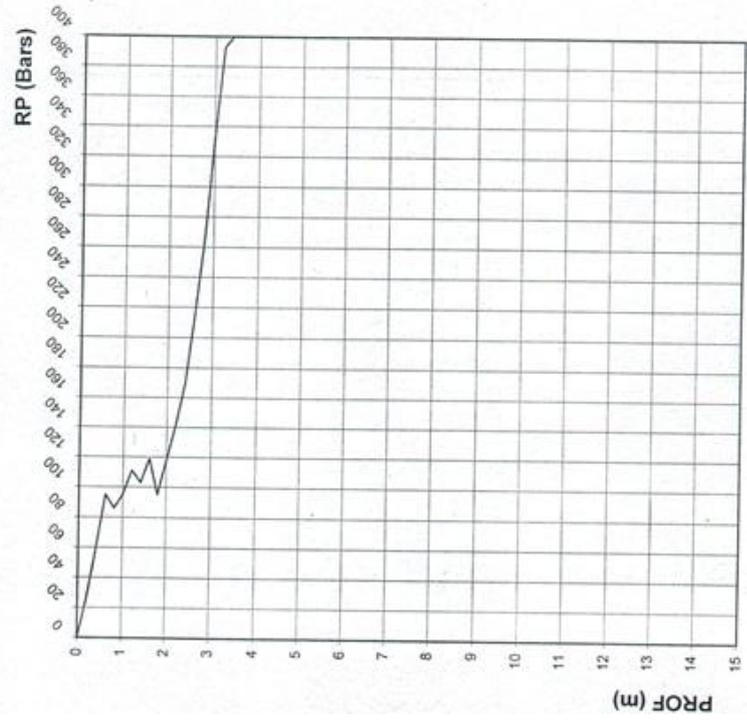
	<u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u>
	SONDAGE: N° Pd 23 REFUS 4.00 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WTEBESSA



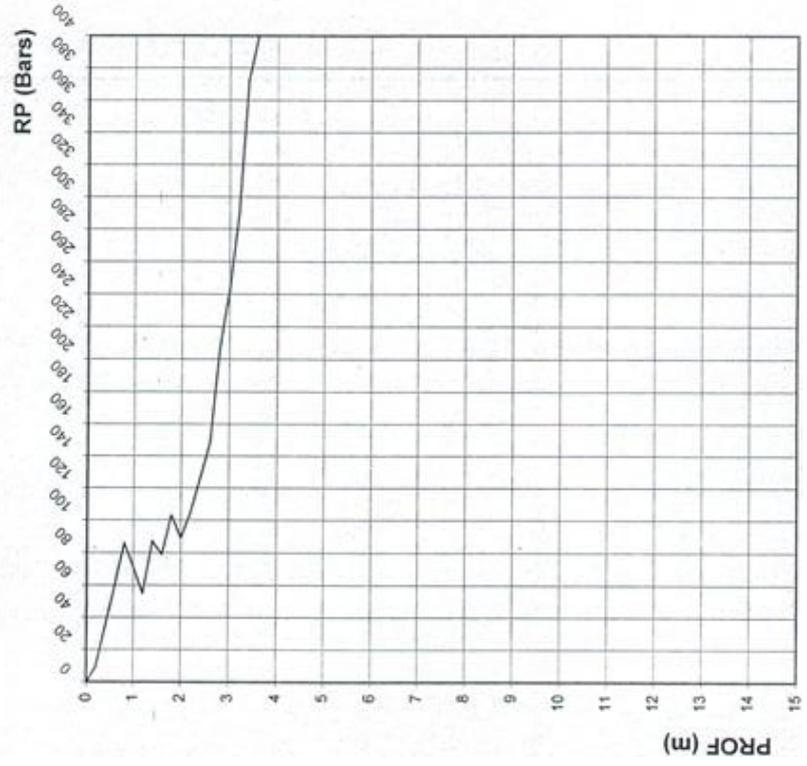
	<p style="text-align: center;"><u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u></p> <p>SONDAGE: N° Pd 26 REFUS 3.20 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WTEBESSA</p>
--	--



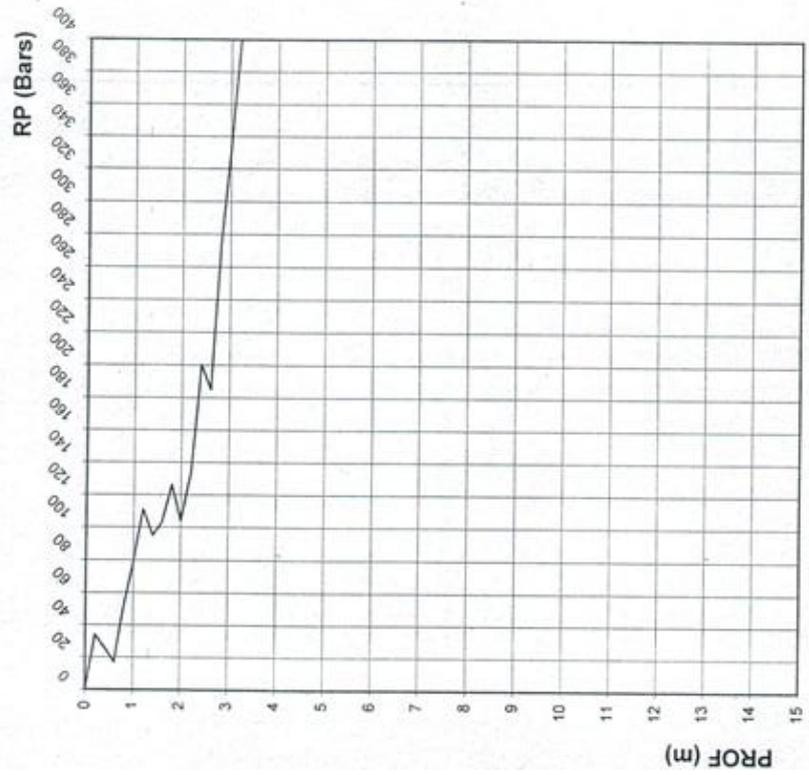
	<u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u>
	SONDAGE: N° Pd 25 REFUS 3.40 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA W/TEBESSA



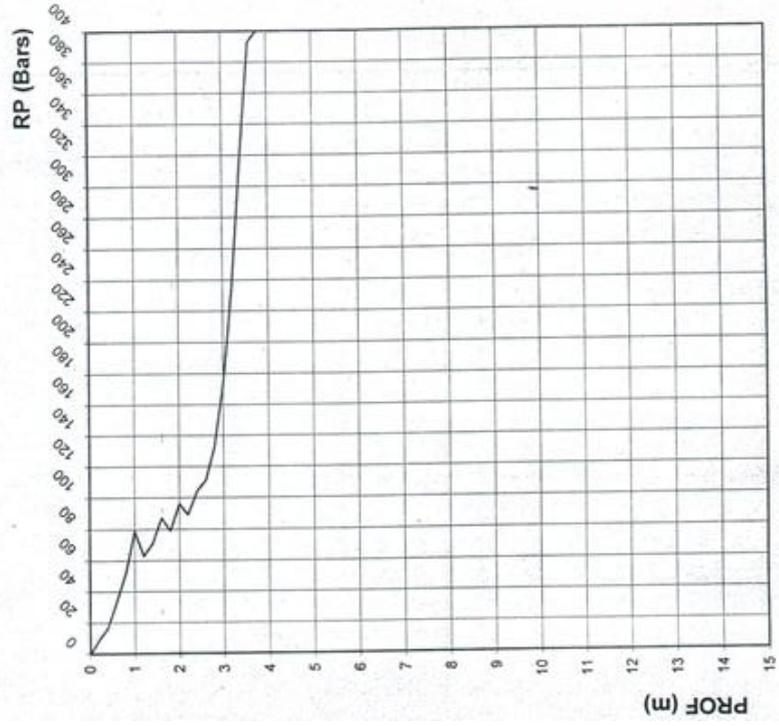
	<p align="center"><u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u></p> <p>SONDAGE: N° Pd 28 REFUS 3.60 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA W/TEBESSA</p>
--	--



	<u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u>
	SONDAGE: N° Pd 27 REFUS 3.20 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WTEBESSA

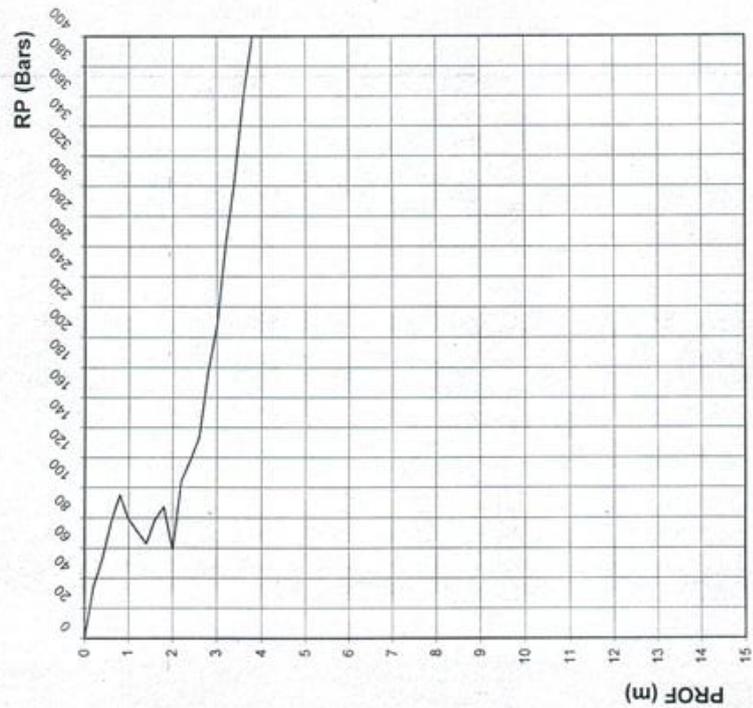


 <p>LIP EST</p>	<p><u>ESSAI AU PENETROMETRE LOURD</u></p> <p>SONDAGE: N° Pd 30 REFUS 3.80 m TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE LIEU : CHERIA WTEBESSA</p>
---	--



ESSAI AU PENETROMETRE LOURD

SONDAGE: N° Pd 29 REFUS 3.80 m
 TITRE : ETUDE QUARTIER HARKAT BOUZIANE
 LIEU : CHERIA WITEBESSA

Visual Topo - [Doline CHERIA 2014]

Fichier Edition Documents Cavité Préférences Affichage Fenêtre 2

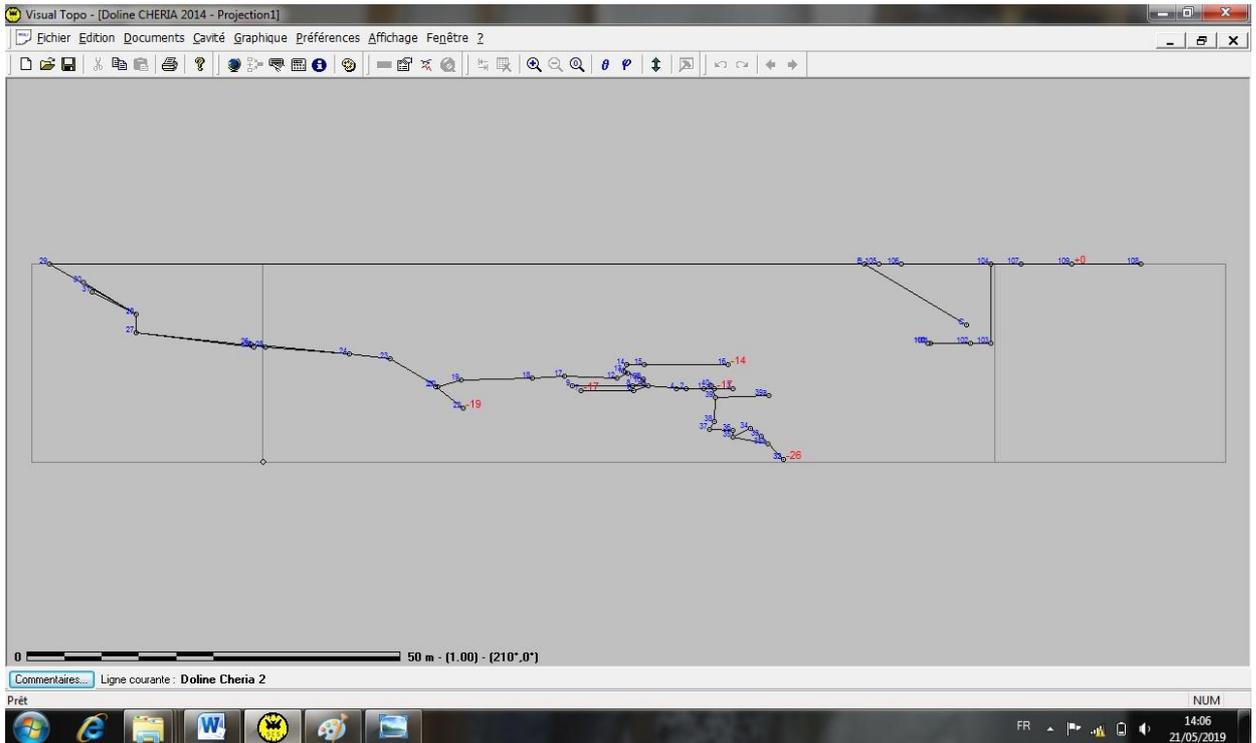
Pt Dép.	Pt Arr.	Longueur	Direction	Pente	Gauche	Droite	Haut	Bas	I	E	CP	X	Y	Z	L.Dév.	Dist.
22	18	19	9.61	291.00	-2.00							43.23	-36.38	-15.63	-59.12	64.53
23	19	20	4.81	250.00	-10.00							38.73	-36.86	-16.47	-54.39	59.72
24	20	21	3.13	213.00	0.00							36.95	-39.43	-16.47	-51.26	56.69
25	21	22	5.86	163.00	-30.00							38.28	-44.33	-19.40	-46.18	50.73
26	20	23	7.46	309.00	30.00							33.84	-32.64	-12.74	-47.93	52.26
27	23	24	5.88	319.00	6.00							30.14	-28.11	-12.12	-42.08	46.38
28	24	25	11.37	232.00	5.00							19.78	-23.54	-11.13	-30.75	35.01
29	24	26	15.87	332.00	5.00							23.15	-13.93	-10.74	-26.27	30.51
30	25	27	18.61	319.00	6.00							8.07	-9.21	-9.19	-12.24	16.40
31	26	27	16.29	285.00	7.00							23.55	-13.87	-11.17	-3.92	16.40
32	27	28	2.40	0.00	90.00							8.07	-9.21	-6.79	-12.24	14.00
33	28	29	14.00	317.00	29.00							0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	28	30	12.60	245.00	20.00							-2.81	-13.88	-2.48	-0.40	1.40
35	28	31	9.00	344.00	20.00							5.99	-1.01	-3.71	-3.79	5.00
36	100	100	0.00	0.00	0.00							108.67	-46.96	-10.60	140.70	151.30
37	100	101	2.10	200.00	0.00							107.89	-48.91	-10.60	142.80	153.40
38	100	102	6.00	100.00	0.00							108.67	-46.96	-10.60	140.70	145.30
39	102	103	3.00	94.00	0.00							114.54	-48.18	-10.60	134.70	142.30
40	103	104	10.60	0.00	90.00							117.53	-48.48	-10.60	131.70	131.70
41	104	105	17.70	330.00	0.00							117.53	-48.48	0.00	131.70	114.00
42	104	106	25.50	0.00	0.00							118.31	-22.99	0.00	157.20	157.20
43	104	107	6.00	70.00	0.00							123.23	-46.60	0.00	137.70	137.70
44	104	108	20.00	120.00	0.00							134.53	-59.01	0.00	151.70	151.70
45	108	109	40.00	15.00	0.00							146.07	-20.71	0.00	191.70	191.70
46	29	B	112.00	105.00	0.00							107.24	-32.31	0.00	112.00	112.00
47	B	105	2.00	105.00	0.00							109.15	-32.89	0.00	114.00	114.00
48	B	C	16.00	123.00	-31.00							118.50	-40.13	-8.24	125.71	128.00
49	Param	Deca	Civo	Gra	0.0000	Dir	Dir	Arr	Std							
50	32	32	0.00	0.00	0.00	0.40	0.40	0.40	0.40		C	89.98	-40.73	-26.24	-84.53	84.32
51	32	33	4.31	329.60	49.40	0.40	0.60	2.50	0.50			89.98	-40.73	-26.24	-84.53	89.23
52	33	34	1.89	347.50	41.10	0.80	0.20	0.50	0.60		C	87.24	-39.36	-23.21	-87.59	91.12
53	34	35	2.72	307.10	-29.00	0.10	1.20	0.80	0.30			86.14	-38.34	-22.07	-89.10	93.84
54	35	35a	5.00	153.50	-12.00	0.20	0.70	0.40	0.40		C	86.98	-41.72	-24.20	-86.63	88.84
55	35	36	0.88	0.00	90.00	0.10	1.20	0.80	0.80		C	83.71	-38.07	-23.27	-91.54	94.72
56	36	37	3.07	336.40	3.30	0.40	1.20	0.80	0.80			83.71	-37.93	-22.40	-91.68	97.79
57	37	38	1.36	91.40	58.20	0.00	0.40	4.00	0.00			81.13	-36.27	-22.23	-94.74	99.15

Commentaires... Ligne courante : Doline Cheria 2

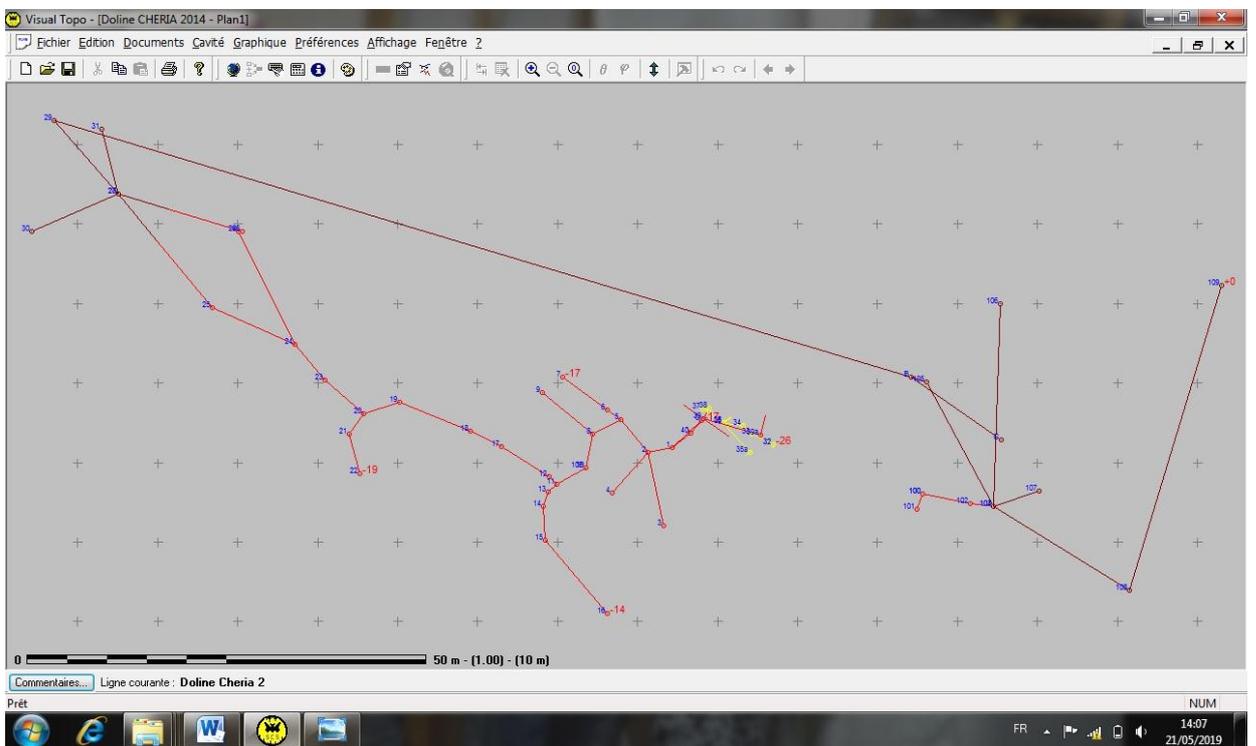
Prêt

NUM 1403 21/05/2019

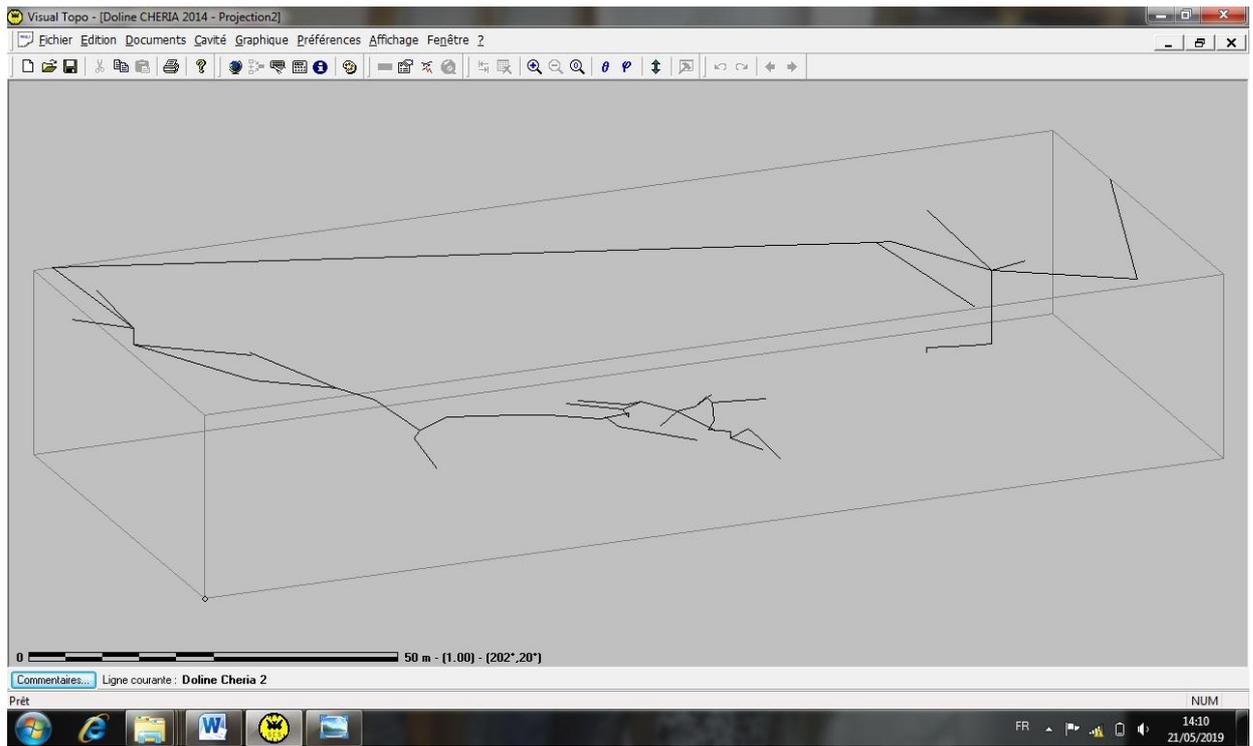
Relevés topographiques en grotte sur l'interface « Visual Topo »



Projections topographiques calculées sur l'interface « Visual Topo »



Projections topographiques en 3D sur l'interface « Visual Topo »



Projections topographiques en 3D sur l'interface « Visual Topo »