



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Tébessi - Tébessa
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers



MEMOIRE DE MASTER

Domaine: Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière: Géologie

Option: Géologie des bassins sédimentaires

Thème:

**Étude géologique et géophysique *des Hameimats*
(*Fossé d'effondrement de Morsott*)**

Présentée par:

ABID CHAMS

Devant le jury:

Nabil DEFAFLIA	MCA	ULT- Tébessa	Président
Djamel BOUBAYA	MCA	ULT- Tébessa	Encadrant
Riad HADJAM	MAA	ULT- Tébessa	Examineur

Année universitaire: 2020-2021

ملخص

تقع منطقة الحميمة في شمال تبسة (شرق الأطلس الصحراوي) وتنتهي إلى جبال ملاق. الرسوبيات التي تشكل حميمة الشمالية وحميمة الجنوبية أساسا من العصر الطباشيري وتتراوح من الألبان والأبسيان إلى التيرونيان, مع تكوينات ترياسية وتراكمات من الطين الجيري في الغالب تعود إلى السينومانيان. في هذه المناطق يتم تمعدن أحجار الأبسيان الجيري (متعدد المعادن). لرسم خرائط الأحجار الجيرية الممعدنة ورسم خرائط الحوادث التكتونية ودراسة تطور التمعدن في العمق، قمنا بإجراء دراسة جيوفيزيائية مفصلة: السبر الكهربائي العمودي، التتميط الكهربائي المتماثل، التتميط الكهربائي المركب والاستقطاب التلقائي. إن الهدف الرئيسي من السبر الكهربائي العمودي هو رسم خرائط جوفية لتكوينات الأبسيان الرسوبية والتي يجب أن تعطي مقاومة عالية. حيث أن الجمع بين هذه الأساليب الكهربائية أتاحت إمكانية تسليط الضوء على الأسطح المواتية لتطور حجر الأبسيان الجيري الذي يتميز بمقاومة عالية، تتميز المنطقة المحيطة بمقاومات منخفضة. ترتبط قيم الشذوذ السلبية للاستقطاب التلقائي بشكل جيد مع المقاومة العالية، فهي مرتبطة بالتمعدن المتعدد الفلزات. في هذه الدراسة، تم أيضا تفسير بيانات قياس الجاذبية والمغناطيسية. يمثل تفسير بيانات الجاذبية من مناطق الدراسة التباين في الشدة كدالة من العمق. حيث أن قيم مجال الشذوذ المغناطيسي ضعيفة، مما يدل على أن المنطقتين هادنتان من الناحية المغناطيسية.

الكلمات المفتاحية:

الحميمة الشمالية، الحميمة الجنوبية، التمعدن، السبر الكهربائي العمودي، التتميط الكهربائي المتماثل، التتميط الكهربائي المركب، قياس الجاذبية، المغناطيسية، الاستقطاب التلقائي والمقاومة.

ABSTRACT

Situated North of Tébessa (Eastern Saharan Atlas) and belonging to the Mellègue Mountains, the Hameimat North (HN) and Hameimat South (HS) massifs are formed from essentially Cretaceous sedimentary deposits and range from the Albo-Aptian to the Turonian with a diapiric Triassic and marly accumulations which are attributed for the most part to the Cenomanian. In these massifs, the Aptian limestones are mineralized in polymetals. For the mapping of limestones which are mineralized, the mapping of tectonic accidents and the study of the development of polymetallic mineralization at depth, we carried out a detailed geophysical study by electrical prospecting: vertical electrical sounding (SEV), Symmetrical electrical profiling (PES), combined electrical profiling (PEC) and spontaneous polarization (PS). The main purpose of the SEVs is the in-depth mapping of Aptian sedimentary formations which should give high resistivity. The combination of these methods made it possible to highlight surfaces favorable to the development of Aptian limestones, characterized by high resistivities. The surrounding area is characterized by low resistivities. Negative spontaneous polarization (PS) anomalies correlate well with high resistivities, they are related to polymetallic mineralization. In this study, the data of gravimetry and magnetism are also interpreted. The interpretation of gravity data from the study areas represent the variation in intensity as a function of depth. The magnetic anomaly field values are weak, showing that the two regions are magnetically quiet.

Keywords:

North Hameimat, South Hameimat, Mineralization, Vertical electrical sounding (SEV), Symmetrical electrical profiling (PES), Combined electrical profiling (PEC), Gravimetry, Magnetism, Spontaneous polarization (PS), Resistivity.

Résumé

Situés au nord de Tébessa (Atlas saharien oriental) et appartenant aux Monts de Mellègue, les massifs de Hameimat Nord (HN) et de Hameimat sud (HS) sont formés des dépôts sédimentaires essentiellement crétacés et vont de l'Albo-Aptien au Turonien avec un Trias diapirique et des accumulations marneuses qui sont attribuées pour la plupart, au Cénomanién. Dans ces massifs, les calcaires de l'Aptien sont minéralisés en polymétaux. Pour la cartographie des calcaires qui sont minéralisés et la cartographie des accidents tectoniques et l'étude du développement de la minéralisation polymétallique en profondeur, nous avons réalisé une étude géophysique de détail par prospection électrique : sondage électrique vertical (SEV), Profillement électrique symétrique (PES), profillement électrique combiné (PEC) et la polarisation spontanée (PS). Le but principal des SEV est la cartographie en profondeur des formations sédimentaires de l'Aptien qui devraient donner de grandes résistivités. L'association de ces méthodes a permis de mettre en évidence les surfaces favorables au développement des calcaires de l'Aptien, caractérisés par des résistivités élevées. L'encaissant est caractérisé par des résistivités faibles. Les anomalies négatives de la polarisation spontanée (PS) corréleront bien avec les hautes résistivités, elles sont liées aux minéralisations polymétalliques. Dans cette étude, sont aussi interprétées les données de la gravimétrie et le magnétisme. L'interprétation des données gravimétriques des zones d'études représentent la variation de l'intensité en fonction de la profondeur. Les valeurs du champ d'anomalies magnétiques sont faibles, elles montrent que les deux régions sont magnétiquement calmes.

Mots clés :

Hameimat Nord, Hameimat Sud, Minéralisation, Sondage électrique verticale (SEV), Profillement électrique symétrique (PES), Profillement électrique combiné (PEC), Gravimétrie, Magnétisme, Polarisation spontanée (PS), Résistivité.

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie Allah, le tout puissant de m'avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail.

«وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ» هود -88-

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements envers mon encadreur Dr. D. BOUBAYA, pour sa patience, sa rigueur, son appui et sa disponibilité durant ma préparation de ce mémoire et M'avoir fait bénéficier de son expérience et de ses précieux conseils. Merci!

Mes profondes gratitudes s'orientent vers mes professeurs, Mr. R. HADJAM et Dr. A. DEGAICHIA, pour leur aide et leur soutien.

J'exprime mes sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail. Mes remerciements s'adressent également à tous nos enseignants du département des sciences de la Terre, qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.

Enfin, On tient à remercier toutes les personnes qui nous ont aidé de proche ou de loin dans l'élaboration de ce mémoire, et qui nous ont apporté leur appui moral et intellectuel tout au long de nos démarches.

A toutes et tous, grand merci !

DEDICACES

Avec joie, fierté et respect, je dédie ce mémoire :

D'une profonde amour à mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur soutien.

A mes chers frères ma chère sœur pour leur encouragement permanent et leur soutien moral.

À mes chères amies : RACHIDA MOSLEM, NAFISSA BOUCHAGOURA, KHOULOUDE CHELLELI, SARA REZKALLAH, HADIL MANSEUR et AMIRA DJEFNI, qu'avec lesquelles j'ai passé une scolarité exceptionnelle, que dieu preserve notre amitié. Mercie d'être toujours là pour moi.

À tous qui m'aidé au long de mon parcours universitaire.

À tous les étudiantes de géosciences « Bassins sédimentaires ».

À tous la promotion de 2019-2020.

Table des matières

ملخص.....	1
ABSTRACT	2
Résumé.....	3
REMERCIEMENTS.....	4
DEDICACES	5
LISTE DES FIGURES	10
LISTE DES TABLEAUX	12
<i>CHAPITRE I: INTRODUCTION GENERALE</i>	14
I. ORIGINALITE ET OBJECTIF DE L'ETUDE	14
II. CADRE GEOGRAPHIQUE	15
III. LE RELIEF.....	16
IV. LE CLIMAT	17
V. LA VEGETATION	18
<i>CHAPITRE II: GÉOLOGIE RÉGIONALE</i>	20
I. INTRODUCTION.....	20
II. LITHOSTRATIGRAPHIE.....	20
A. Le Trias	20
B. Le Crétacé	20
1. Crétacé inférieur	20
a. Le Barrémien	21
b. L'Aptien	21
c. L'Albien	21
d. Le Vraconien.....	21
2. Crétacé supérieur.....	22
a. Le Cénomaniens	22
b. Le Turonien	22
C. Le Sénonien	22
D. Le Miocène.....	22
E. Le Quaternaire	23
III. ETUDE STRUCTURALE.....	25
A. La subsidence.....	25
B. Les plissements	25
C. La tectonique cassante.....	25
D. Les fossés d'effondrements.....	26
E. Les diapirs	26

1.	Manifestation du Trias dans le Sud-Est constantinois	26
a.	Diapirisme et ses conséquences	26
b.	Relation Diapirs-Encaissant	27
c.	Relation Diapirisme-Tectonique	27
d.	Relation Diapirs-Sédimentation	28
<i>CHAPITRE III: GEOLOGIE LOCALE</i>		33
I.	INTRODUCTION	33
II.	LITHOSTRATIGRAPHIE	36
A.	Le Trias	36
B.	Le crétacé	36
1.	Le crétacé inférieur	36
a.	L'Aptien	36
b.	L'Albien	37
c.	L'Albo-Aptien	37
d.	Le Vraconien	37
2.	Le Crétacé supérieur	38
a.	Le Cénomaniens	38
C.	Le Quaternaire	38
III.	MINERALISATION DE LA REGION DE HAMEIMAT:	43
A.	Minéralisations de Hameimat Nord	43
1.	Minéralisation liée au contact diapir-couverture	44
2.	Minéralisation au contact Albo Aptien et Varconien	44
B.	Minéralisations de Hameimat Sud	45
<i>CHAPITRE IV: THÉORIE DES MÉTHODES GÉOPHYSIQUES UTILISÉES</i>		48
I.	INTRODUCTION	48
II.	PROSPECTION ELECTRIQUE	48
A.	Principe de la prospection électrique en courant continu	49
B.	Résistivité des roches	53
C.	Dispositifs de mesure	54
D.	Résistance et Résistivité	55
E.	Sondage électrique vertical (SEV)	55
1.	Principe du sondage électrique vertical	55
F.	Polarisation spontanée (PS)	56
1.	Avantages de la polarisation spontanée	58
2.	Inconvénients de la PS	59
III.	LEVE GRAVIMETRIQUE	59
A.	Corrections et anomalies gravimétriques	60
1.	La correction à l'air libre	61
2.	La correction de plateau	61
3.	La correction topographique	61
4.	L'anomalie à l'air libre	62
5.	Les anomalies de Bouguer	62
IV.	LA PROSPECTION MAGNETIQUE	64
A.	Principe	65
B.	Le magnétisme d'une roche	66
<i>CHAPITRE V: METHODOLOGIE D'ACQUISITIONS DES DONNEES GOPHYSIQUES</i>		68
I.	INTROUDUCTION	68
II.	PROSPECTION ELECTRIQUE	68
A.	Méthodologie d'acquisition des sondages électriques	68
B.	La polarisation spontanée	68

III.	LEVE GRAVIMETRIQUE DES HAMEIMATS	69
A.	Description du levé gravimétrique	69
B.	Prospection magnétique	69
CHAPITRE VI : RESULTATS ET INTERPRETATIONS DES DONNEES GEOPHYSIQUES		71
I.	INTRODUCTION	71
II.	INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS	71
III.	ETUDE GEOPHYSIQUE PAR PROSPECTION ELECTRIQUE	71
A.	Interprétation des cartes de résistivités	71
1.	Carte des résistivités apparentes de Hamiemat Nord	71
2.	Carte des résistivités apparentes de Hamiemat Sud	72
B.	Les interprétations des PEC et PES	73
1.	Les profilements (trainés) de Hameimat Nord	73
a.	Profil 1	73
b.	Profil 02	73
c.	Profile 3 et 4	74
d.	Profil 05	74
e.	Profil 06	74
f.	Profil 07	74
g.	Profil 08	74
h.	Profil 09	75
i.	Profil 10 et 11	75
j.	Profil 13	75
k.	Profil 14 et 15	75
l.	Profil 16	75
m.	Profil 17 et 18	76
2.	Les profilements de Hameimat Sud	76
a.	Profil 25	76
b.	Profil 26	76
c.	Profil 27	76
d.	Profil 28	76
e.	Profil 29 et Profil 31	77
f.	Profil 33	77
g.	Profil 35	77
C.	Comparaison entre les PES et les PEC	77
D.	Etude géophysique par sondage électrique vertical	78
1.	Coupe I- I	78
2.	Coupe II- II	78
3.	Coupe III - III	78
E.	Polarisation spontané (PS)	81
1.	La carte de polarisation spontanée de Hameimat Nord	81
2.	La carte de polarisation spontanée de Hameimat Sud	82
IV.	ETUDE GRAVIMETRIQUE DES HAMEIMATS	82
A.	Résultats de la gravimétrie de Hameimat Nord	82
B.	Analyse de la carte gravimétrique résiduelle	84
V.	LA PROSPECTION MAGNETIQUE	87
CONCLUSION GENERALE		88
BIBLIOGRAPHIE		89
ANNEXE 1		95

ANNEXE 2	96
ANNEXE 3	98
A. Les profilements (trainés) de Hameimat Nord	98
B. Les profilements (trainés) de Hameimat Nord	103
ANNEXE 4	105
A. Les tableaux de Hamiemat Nord	105
B. Les tableaux de Hamiemat Sud	115
ANNEXE 5	120
ANNEXE 6	124
A. Les profils de polarisation spontanée, gravimétrie et magnétique de Hameimat Nord	124
B. Les profils de polarisation spontanée, gravimétrie et magnétique de Hameimat Sud	134

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation des massifs de Hameimat Nord et de Hameimat Sud (Google earth, 2021)	16
Figure 2: Modèle numérique de terrain (MNT), d'après SRTM data	17
Figure 3 Carte géologique régionale de l'Atlas Saharien Nord oriental (dessinée à partir des cartes géologiques au 500000 de l'Algérie et de la Tunisie in Bouzenoune, 1993).....	23
Figure 4 Colonne stratigraphique synthétique des monts du Mellègue (d'après : Dubourdiou 1956, 1959; David 1956; Madre 1969; Fleury 1969; Thibieroz et Madre 1976; Chikhi, 1980; Otmanine 1987, Bouzenoune 1993 et Vila et al, 2000; in Sami, 2004) « modifiée»	24
Figure 5: Les deux modèles de mise en place des matériaux triasiques au cours de l'Albien (Perthuisot et al 1998) « modifiée».....	31
Figure 6: Extrait de la carte géologique de Morsott (feuille n° 178, échelle, 1/50.000, Blès & Fleury, SGA, 1971) «modifiée», montrant la localisation des massifs de Hameimat.....	34
Figure 7: Coupe géologique passant par les deux massifs de Hameimat Nord et de Hameimat Sud (Par la SONAREM, 1974) «modifiée»	35
Figure 8: Carte schématique géologique structural de "Hameimat nord", (par la SONAREM, 1974) «modifiée»	39
Figure 9: Carte schématique géologique structural de "Hameimat sud", (par la SONAREM, 1974) «modifiée»	40
Figure 10: Colonne lithostratigraphique de Hameimat Nord (d'après Mokhnachi. Y et Zitoune. D, 1998) «modifiée»	41
Figure 11 : Colonne lithostratigraphique du compartiment oriental de Hameimat Sud (d'après Kadjoudj. A et Boudjadja.A, 2018) «modifiée»	42
Figure 12: Répartition des lignes de courant dans un milieu homogène (d'après Chapelier, 2001)	51
Figure 13: Répartition des lignes de courant dans un milieu à 2 couches ($\rho_2 > \rho_1$), substratum résistant (d'après Chapelier, 2001)	52
Figure 14: Répartition des lignes de courant dans un milieu à 2 couches ($\rho_1 > \rho_2$) substratum conducteur (d'après Chapelier, 2001).....	53
Figure 15: Résistivité électrique de différents minéraux, roches et liquides. Basée sur Telford et al. (1976), Palacky. (1988) et Reynolds (2011).....	54
Figure 16: Effet du sondage électrique dans la méthode SEV, d'après Shein et al. 2018 « modifiée»	56
Figure 17: Principe de la polarisation spontanée BERTIN, J. 1969 «Modifiée»	58
Figure 18: Les différentes corrections gravimétriques : A la correction à l'air libre, B la correction de plateau et C la correction topographique, avec M le point de mesure.	61
Figure 19: a) g mesuré en mGal, b) gm – g0, c) anomalie à l'air libre, d) anomalie de Bouguer (d'après Blakely)	63
Figure 20: Le champ magnétique terrestre (Université Paul Sabatier, 2000).....	65
Figure 21: Schéma de principe de la méthode de polarisation spontanée avec le procédé de potentiel (d'après Elctrorazvedka en russe)	69
Figure 22: Electrode impolarisable (d'après Elctrorazvedka en russe)	69
Figure 23: Carte d'iso-résistivités de Hameimat Nord	72
Figure 24: Carte d'iso-résistivités de Hameimat Sud	73

Figure 25: Coupe Géo-électrique des SEV I-I.....	79
Figure 26: Coupe Géo-électrique des SEV II- II.....	80
Figure 27: Coupe Géo-électrique des SEV III- III.....	80
Figure 28: Carte de polarisation spontanée de Hameimat Nord	81
Figure 29: Carte de polarisation spontanée de Hameimat Sud	82
Figure 30: Carte de l'Anomalie de Bouguer de Hameimat Nord.....	83
Figure 31: Carte de l'Anomalie régionale de Hameimat Nord	84
Figure 32: Carte gravimétrique résiduelle de Hameimat Nord.....	85
Figure 33: Résultat d'interprétation du profil gravimétrique (en haut la position du profil et en bas le résultat d'interprétation)	86
Figure 34: les coordonnées géographiques des massifs de Hameimat Nord et de Hameimat Sud	95
Figure 35: Position des profils sur la carte de Hameimat Nord	96
Figure 36: Position des profils sur la carte de Hameimat Sud.....	97
Figure 37: Carte de résistivité de Hameimat Nord superposée à la régionale	120
Figure 38: Carte de résistivité de Hameimat Nord superposée à la carte géologique	121
Figure 39: Position des sondages électriques sur la carte géologique de Hameimat Nord.....	122
Figure 40: Position des sondages électriques sur la carte géologique de Hameimat Nord.....	123

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Récapitulatif des principaux caractères des deux modèles de mise en place du Trias (Selmi- laouar, 2004)	28
Tableau 2 : Caractéristiques des différents dispositifs (d'après Loke, 2011)	54
Tableau 3: Susceptibilité magnétique de quelques matériaux et roches, en unités Système International (pour convertir en unités CGS, il faut diviser par 4π)	66
Tableau 4: les propriétés physiques des roches de Hameimat Nord et Hameimat Sud (par la SONAREM, 1974).....	87

CHAPITRE I :
INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I: INTRODUCTION GENERALE

I. ORIGINALITE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

Ce mémoire présente les résultats des études géologiques et géophysiques réalisées sur les massifs de Hameimat Nord et de Hameimat Sud, situés au Nord de Tébessa. Ces massifs font parties de l'Atlas Saharien nord oriental (confins algéro-tunisiens). Les études ont été réalisées pour la cartographie des calcaires de l'Aptien qui encaissent la minéralisation polymétallique, la cartographie des accidents tectoniques et l'étude du développement de la minéralisation polymétallique en profondeur.

Les données que nous avons utilisées sont disponibles sous formes de cartes graphiques et de cartes iso-valeurs.

Ce travail a été réalisé en plusieurs étapes:

- établissement des cartes géologiques, des coupes géologiques et des log litho-stratigraphiques par Illustrator et CorelDRAW.
- scan et numérisation des données au moyen de plusieurs programmes et logiciels (RockWare DigiData et R2V).
- établissement des bases de données sous format qui peut être utilisé par Grapher et Surfer.
- dépouillement, traitement, mise en carte et interprétation des données géophysiques
- synthèse des résultats obtenus et interprétation géologique des données géophysiques

Les études par prospection électrique et gravimétrique nous ont permis de mettre en évidence les surfaces favorables au développement des calcaires de l'Aptien qui sont caractérisés par des résistivités et des densités élevées. L'encaissant et les formations triasiques sont caractérisées par des résistivités et des densités faibles. Les anomalies négatives de la polarisation spontanée (PS) corrént bien avec les hautes résistivités et elles sont liées aux minéralisations polymétalliques. Le champ magnétique total réalisé sur quelques profils à titre d'essai est caractérisé par de faibles valeurs et montre que les deux massifs sont magnétiquement calmes. Ce manuscrit s'articule autour de trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré au cadre géographique dans lequel est décrit le relief des deux massifs de Hameimat.

Le deuxième chapitre est abordé la géologie régionale des Monts de Mellègue, il est présenté la stratigraphie et la description structurale.

Le troisième chapitre traite la géologie locale des deux sites Hameimat Nord et Hameimat Sud sur particulier, il est exposé dans ce chapitre la stratigraphie et la minéralisation.

Le quatrième chapitre sont donnés les principes théoriques des méthodes géophysiques utilisées pour étudier la région des Hameimats. Il s'agit des méthodes électriques à courant continu: la prospection électrique en mode sondage électrique vertical(SEV). Cette méthode a été utilisée à l'échelle de détail, en plus de la polarisation spontanée (PS), la gravimétrie et la prospection magnétique.

Le cinquième chapitre expose la méthodologie d'acquisition des données géophysiques de prospection électrique: sondage électrique vertical (SEV), Profilement électrique symétrique (PES), profilement électrique combiné (PEC) et polarisation spontané (PS) et les données de prospection magnétique et de gravimétrie.

Le sixième chapitre est consacré à la présentation et l'interprétation des résultats des études géophysiques.

II. CADRE GEOGRAPHIQUE

La région des Hameimats est située sur le territoire de la commune de Boulhef Dyr Daira de Morsott, elle est limitée par Djebel Zitouna au Nord, Djebel Chemla au Nord – Est, Djebel Boulhef au Sud – Est et elle est ouverte vers l'Ouest sur le fossé de Tébessa – Morsott.

Cette région est composée par deux petits massifs (Hameimat Nord et Hameimat Sud), distants d'environ deux kilomètres (2 Km).

Hameimat Nord est située à 25 km au Nord – Est du chef-lieu de la wilaya de Tébessa et à 10 km au Sud – Est de la Daira de Morsott.

Hameimat Sud est située à 23 km au Nord – Est du chef-lieu de la wilaya de Tébessa et à 13 km au Sud – Est de la Daira de Morsott.



Figure 1: Localisation des massifs de Hameimat Nord et de Hameimat Sud (Google earth, 2021)

III. LE RELIEF

Le modèle numérique de terrain (MNT) de la zone d'étude et les régions voisines (Djebel Zitouna, Djebel Dyr, Djebel Chemla et le fossé de Tébessa – Morsott) est représenté sur la figure 1.

Les valeurs des altitudes varient entre un minimum de 750m et un maximum de 1450m. Les altitudes maximales correspondent au Djebel Zitouna, Djebel Dyr et Djebel Chemla. Les faibles altitudes correspondent au fossé d'effondrement de Morsott.

Hameimat Nord est caractérisé par une altitude de 876 m, alors que Hameimat Sud a une altitude de 921m.

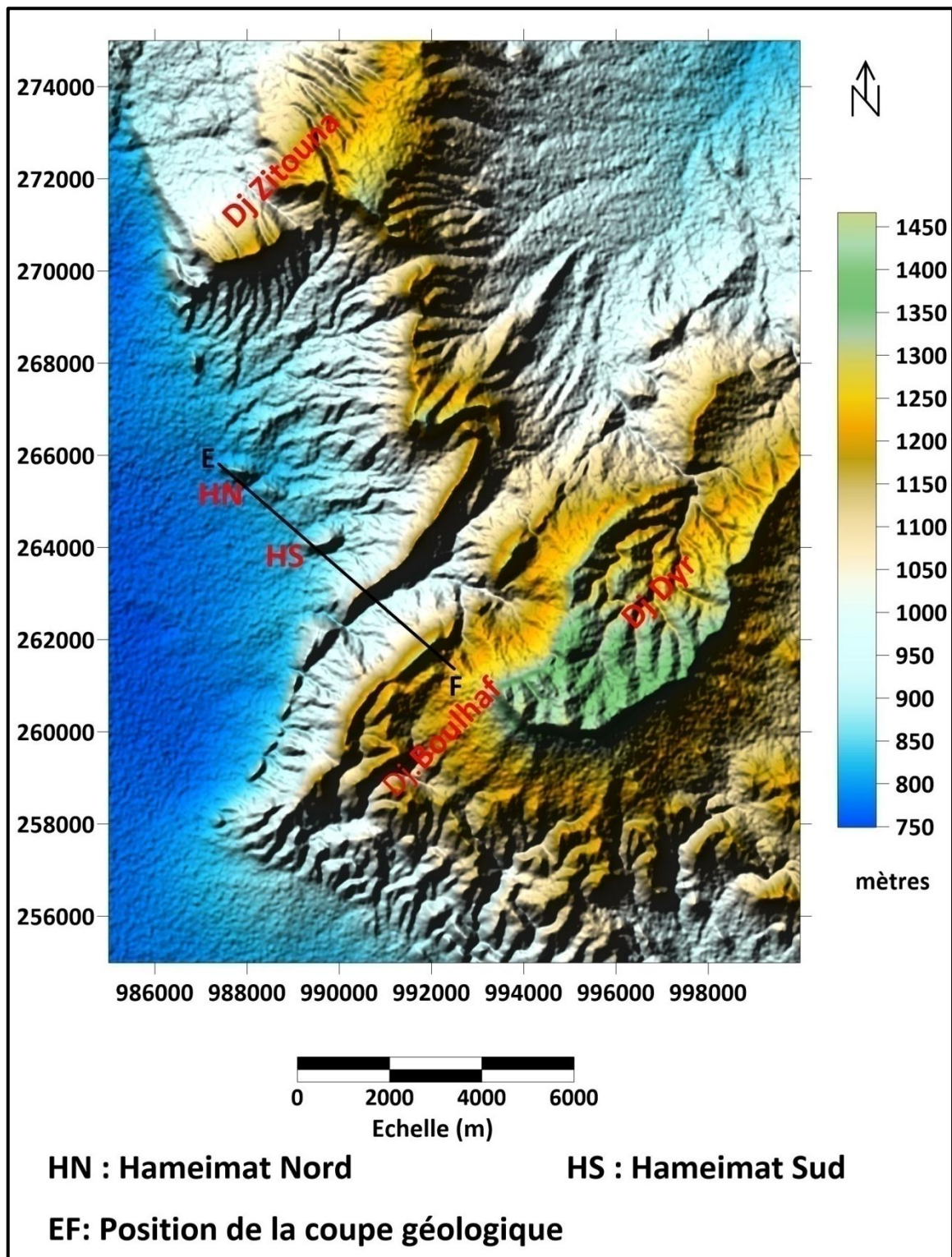


Figure 2: Modèle numérique de terrain (MNT), d'après SRTM data

IV. LE CLIMAT

La région est soumise à un climat de type **méditerranéen** continental (semi-aride) avec des hivers relativement froids et pluvieux, avec un vent assez fort, et des étés très chauds et secs.

La température dépasse les 40°C en été et descend au-dessous de 0°C en hiver. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 300 mm.

V. LA VEGETATION

La couverture végétale est dense, elle est caractérisée par l'abondance de broussailles et de pins.

CHAPITRE II :
GÉOLOGIE RÉGIONALE

CHAPITRE II: GÉOLOGIE RÉGIONALE

I. INTRODUCTION

Les Monts de Mellègue font partie intégrante de l'Atlas saharien, qui se poursuit en Tunisie par l'Atlas tunisien. Il se trouve à mi-distance entre Souk-Ahras au nord et Tébessa au sud (G. Dubourdieu, 1948).

La région des confins algériens est constituée par le Trias diapirique et le Crétacé (Barrémien à Sénonien) et le Miocène, est due en grande partie aux formes rudes des calcaires aptiens et à l'aspect fruste et chaotique des paysages triasiques (G. Dubourdieu, 1948).

La plupart des dispositifs extrusifs de l'Atlas saharien oriental sont allongés NE-SW sur plusieurs kilomètres et présentent une morphologie en dôme percé à cœur triasique. (M. Aoudjehane et al. 1992). C'est dans le domaine atlasique que ces corps triasiques ont été le plus étudiés notamment dans la zone où ils sont les plus nombreux, entre Tunis, en Tunisie, et Tébessa, en Algérie « zones des diapirs » (Perthuisot et al. 1998).

II. LITHOSTRATIGRAPHIE

A. Le Trias

Le Trias, qui n'apparaît qu'en diapirs, comprend des marnes multicolores à gypse qui emballent divers matériaux rocheux. Très salées, de teinte verte, rouge ou violette, les marnes sont un exemple typique du faciès lagunaire de l'étage, bien connu en Algérie (G. Dubourdieu, 1948). La puissance des dépôts triasiques peut dépasser 1000 m dans l'Atlas saharien (Alièv et al. 1971; Busson et Cornet, 1989).

Le faciès argilo-gypseux dolomitiques à diabases et microdiabases caractérise les séries triasiques supérieures, tandis que leur partie inférieure ne contient que du sel gemme.

Les masses triasiques sont bordées par d'importantes formations calcaires, classiquement rapportées à l'Aptien et attribuées à une sédimentation récifale (G. Dubourdieu, 1956).

B. Le Crétacé

Le crétacé affleure largement dans les Monts du Mellègue. Il est représenté par des termes inférieurs et supérieurs :

1. Crétacé inférieur

Dans notre région, il comprend les dépôts du: Barrémien, Aptien, Albien et Vraconien. Ces formations sont percées par les diapirs triasiques.

a. Le Barrémien

Il ne se voit qu'au Dj. Harraba et au cœur de l'anticlinal de Sidi Emmbarka. Il s'agit de 200 à 250m de marnes gris-jaunes. Localement un banc d'huitres et vers le haut d'intercalations de calcaire gris clair, noduleux, à patine ocre. Les marnes contiennent quelques petites faunes: Desmoceras (Uhlighella) Monicae Coq, B. semi-canaliculatus Blainv. (G.Dubourdieu, 1948).

b. L'Aptien

Dans les Monts de Tébessa et du Mellègue, l'originalité de la série aptienne est due au développement des faciès récifaux. Les sédiments de l'Aptien se rencontrent dans les noyaux des anticlinaux ainsi qu'aux abords du Trias diapirique. D'une puissance qui varie de 250 à 600m, généralement, les dépôts aptiens présentent deux faciès essentiels (G. Dubourdieu, 1956) :

- Faciès clastique, marno-gréseux à intercalations de bancs calcaro-gréseux ou calcaro-argileux
- Faciès de calcaires récifaux organo-détritiques.

Dans sa partie inférieure s'installent des calcaires massifs souvent formés d'oolithes ferrugineux et de dolomies. Les Orbitolines sont très abondantes tandis que les Rudistes, les Echinides, les Lamellibranches et les moules internes des Gastéropodes sont fréquents. Cet ensemble est surmonté par des calcaires massifs, gris ou roux, admettant des intercalations de marnes et de marno-calcaires à Orbitolines (A.Degaichia, 2014).

c. L'Albien

Un banc très caractéristique limite cet étage à son sommet: c'est un grès calcaire très dur, de couleur brun-rouille le plus souvent, qui renferme de nombreux nodules noirs et une faune abondante (Ammonites, Nautilus, Bélemnites, Lamellibranches et Gastéropodes). En dessous de ce repère se trouvent des marnes jaunes avec quelques couches marno-calcaires très siliceuses, à patiner ouille ou verdâtre. L'albien a 140 m de puissance (G. Dubourdieu, 1948).

d. Le Vraconien

La série représentative de ce Vraconien a été décrite à Boukhadra (G.Dubourdieu, 1956). Elle comprend une épaisse série de 600 m qui ressemble à celle de l'Albien supérieur. Elle est constituée, de marnes à passées calcaires et marno-calcaires à empreintes d'ammonites. Dans certains endroits comme à l'Ouenza et au Djebel Slata, le Vraconien transgressif remanie des éléments triasiques (Smati, 1986; Perthuisot et al, 1988; Masse et Thieuloy, 1979; L. Sami, 2011).

2. Crétacé supérieur

Ces formations comportent les dépôts du : Cénomaniens, Turonien et Sénonien.

a. Le Cénomaniens

Il est représenté par une série monotone de marnes grises et gris verdâtre à nombreux filons calcitiques. Dans les niveaux supérieurs, les marnes passent à des calcaires marneux à composants gréseux avec des intercalations de calcaires gréseux (0,1 à 0,3m). La puissance du Cénomaniens varie entre 600 et 900m (A. Degaichia, 2014).

b. Le Turonien

Le Turonien est très bien développé, son épaisseur peut atteindre 1000 m (G. Dubourdiou, 1956,1959). Il est constitué par des calcaires et marno-calcaires à la base avec de nombreuses empreintes d'Inocéramus. Ces calcaires et marno-calcaires sont suivis par une puissante formation de marnes argileuses riches en ammonites, huîtres, et divers lamellibranches (L. Sami, 2011).

C. Le Sénonien

Le Sénonien débute par une formation de calcaires marneux et de marnes du Sénonien inférieur de puissance ne dépassant pas les 300 m (G. Dubourdiou, 1959); suivi par une formation du Sénonien supérieur (Campanien-Maastrichtien), d'épaisseur variant de 200 à 600 m, visible au sud de Tébessa, qui débute par des calcaires marneux du Campanien qui passent à des marnes gypsifères et se terminent par des calcaires massifs à rognons de silex riches en Inocéramus du Maastrichtien (L. Sami, 2011).

D. Le Miocène

Les dépôts miocènes reposent en discordance sur les formations plus anciennes et forment leur couverture. Ils sont composés de conglomérats, grès, argiles, marnes et calcaires lacustres. La puissance du Miocène varie de 50m à 200m. Les travaux de M. Hamimed (2004) indiquent la présence de trois unités miocènes (Burdigalien, Langhien-Serravalien, et Tortonien) et se traduisent par trois cycles eustatiques à conglomérats transgressifs, composés de cycles sédimentaires d'ordre 2 ou 3 suivant la dynamique des nappes sédimentaires. Deux grands bassins sédimentaires miocènes sont identifiés : le bassin d'El Ma Labiod au Sud et le bassin d'El Aouinet-Meskiana au Nord (M.Hamimed, 2004; A. Degaichia, 2014).

E. Le Quaternaire

Les plus anciennes formations continentales appartiennent au Quaternaire supérieur (G. Dubourdiu, 1959). Celui-ci est représenté essentiellement par des dépôts argileux et conglomératiques. Ces formations quaternaires constituent la plus grande partie du comblement du fossé d'effondrement Morsott-Tébessa dont l'épaisseur est estimée à plus de 170 m (L. Sami, 2011).

Il est à noter qu'aucun dépôt pliocène ou pléistocène ancien n'a été observé dans la région. Selon Dubourdiu (1956 et 1959), ce phénomène serait à mettre en relation avec une surrection régionale suivi d'une érosion intense à cette époque (L. Sami, 2011).

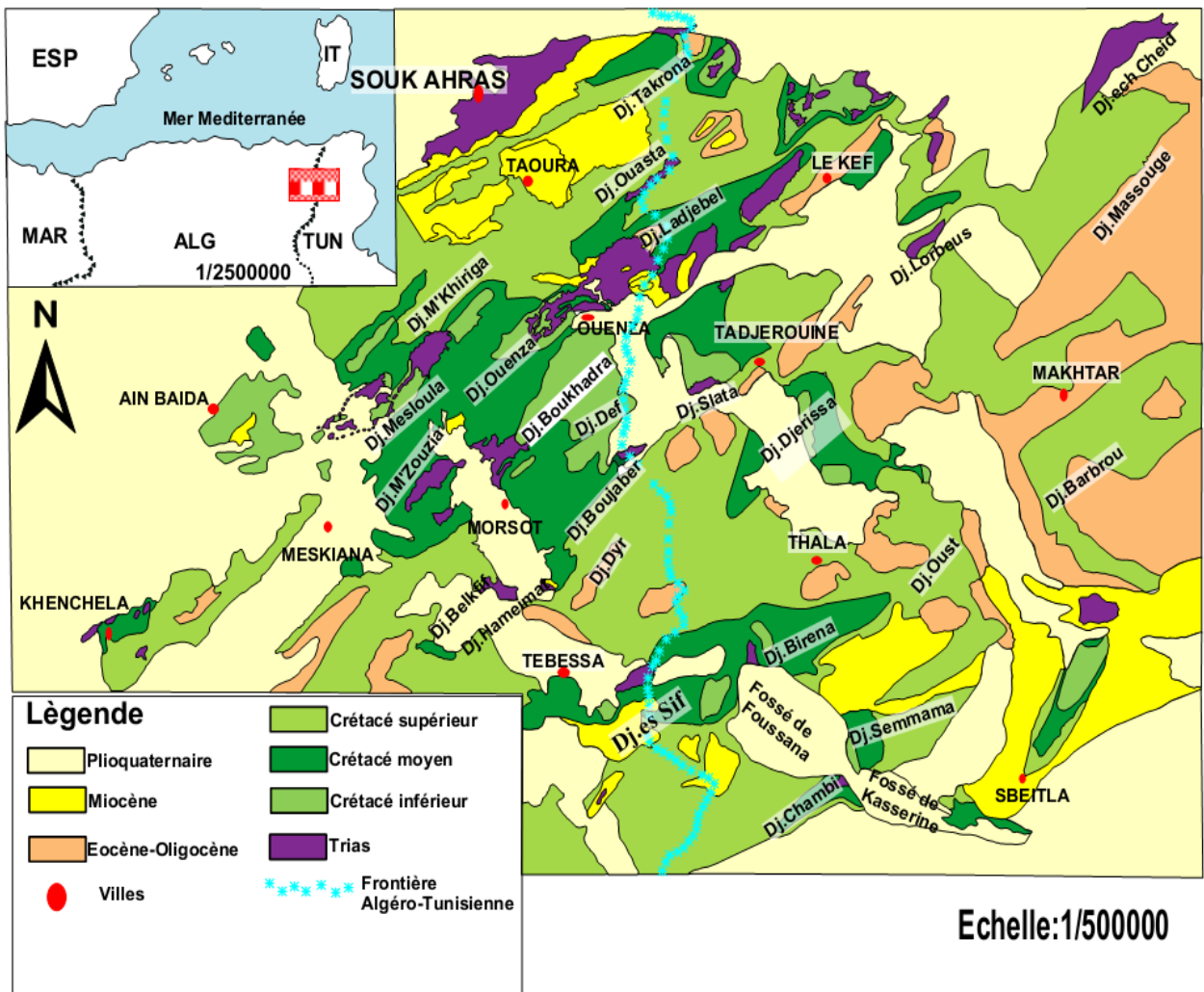


Figure 3 Carte géologique régionale de l'Atlas Saharien Nord oriental (dessinée à partir des cartes géologiques au 500000 de l'Algérie et de la Tunisie in Bouzenoune, 1993)

		Lithologie	Epaisseur (m)	Description lithologique		
CENOZOIQUE	Quaternaire		⑥ 10-30	Dépôts clastiques d'origine continentale.		
	Néogène	Miocène		⑤ 10-150	Conglomérats à grains variés avec un ciment carbonaté, grès quartzeux et calcaire sableux avec intercalations d'argilites.	
		Paléogène	Éocène		200	Calcaires marneux à silex et intercalations de phosphates par endroits dans le mur.
MESOZOIQUE	C R E T A C E	I N F E R I E U R	Maest		250-300	Calcaires gris clairs, calcaires crayeux et marnes argileuses avec intercalation d'argiles dans la partie supérieure.
			Campanien		500-600	Marnes argileuses gris-foncées et des calcaires blancs dans la partie moyenne et supérieure.
			Con-Sant		500-600	Marnes argileuses grises et grises bleuâtres.
			Turo		180-250	Calcaires en bancs, partiellement marneux à teinte noire et gris-foncée.
			Cénomane		900-1000	Marnes gris-verdâtres et grises dans la partie supérieure, avec intercalations de calcaires marneux..
			Vracon		500-600	Marnes et marnes-argileuses avec intercalations de calcaires argileux et argilites.
			Albien		480-600	Marnes grises et gris-foncées, noires dans la partie supérieure avec de minces intercalations de calcaires argileux.
			Clans		100-200	Marnes grises, gris-jaunes partiellement avec des intercalations de calcaires.
			Aptien		300-600	-Faciès clastique; marnes argileuse avec intercalations de marnes sableuses et grès calcaires. -Faciès carbonaté; calcaires organo-détritiques, bioclastes, ooclastes et interclastes.
			Barrémien		< 250	Calcaires et dolomies, argilites et argiles dans la partie supérieure (Grès à Mesloula).
			Jurassique		?	?
			Trias		< 700	Formations marno-gypsifères bariolées avec peu d'intercalations de grès à grains fins, dolomies et calcaires marno-dolomitique.

Figure 4 Colonne stratigraphique synthétique des monts du Mellègue (d'après : Dubourdiou 1956, 1959; David 1956; Madre 1969; Fleury 1969; Thibieroz et Madre 1976; Chikhi, 1980; Otmanine 1987, Bouzenoune 1993 et Vila et al, 2000; in Sami, 2004) « modifiée »

III. ETUDE STRUCTURALE

Deux directions structurales majeures caractérisent la région des confins Algéro-tunisiens, La première NE-SW est marquée par les extrusions triasiques et la deuxième NW-SE à WNW-ESE, marquée par les fossés d'effondrements, d'où l'existence d'une continuité de grands ensembles structuraux de part et d'autre de la frontière, où leurs minéralisations arrivent obliquement sur la frontière (Rouvier et al, 1990).

Les principaux traits structuraux de la région sont représentés par la subsidence, les plissements, les failles, les fossés d'effondrements et les diapirs.

A. La subsidence

Au Crétacé, une subsidence rapide et continue, entraînant des poussées horizontales individualisées sur le sillon Tunisien, suivie par un bombement sous-marin formant ainsi des hauts fonds de direction NE-SW qui ont permis aux amas récifaux de se former ultérieurement.

B. Les plissements

Durant cette période le phénomène marquant, est un système de plis de direction SWNE généralement d'allure simple, qui est venu former une succession de synclinaux (Ouled Kseub, Ain ghenia, Haoud S'ghir) et d'anticlinaux résultant des compressions néogènes. Ces anticlinaux sont souvent percés dans leurs charnières par le Trias diapirique. On a du mal à apprécier l'importance des déformations, vu l'absence des terrains de cet étage, l'Eocène inférieur repose en discordance sur le Crétacé terminal. Selon G. Dubourdieu (1956, et al), la phase majeure doit être comprise entre l'Eocène supérieur et le Miocène.

C. La tectonique cassante

Les structures sont recoupées par deux systèmes de failles :

- l'un est constitué de failles principales dites "failles majeures", qui sont orientées, sub-parallèlement aux axes des anticlinaux sous l'effet du plissement. Les couches tendres se plissent tandis que, les couches dures se cassent au niveau des pendages des roches qui sont sub-verticaux à inverses. Ce système s'oriente suivant deux directions tectoniques majeures : Nord-Est (30°-60°) et Nord-Ouest (280°-320°).
- l'autre, il est constitué de failles de deuxième ordre. Il est caractérisé par des rejets importants et des pendages de l'ordre de 60° de direction Est-Ouest. Ses failles sont presque perpendiculaires aux failles principales, et parfois, elles les regroupent, favorisant ainsi les concentrations métallifères (Aouissi. R, 2008).

D. Les fossés d'effondrements

Les fossés d'effondrement des confins algéro-tunisiens sont orientés NW- SE à E-W. Ils sont bordés par des accidents majeurs, et comblés par des dépôts plio-quadernaires d'une puissance de 170m dans le fossé de Tébéssa-Morsott (G. Dubourdiou et al, 1950). Ces fossés résultent d'une activité tectonique distensive post-miocène inférieur (Castany, 1951; Dubourdiou, 1956; David, 1956; Kazi-Tani, 1986).

E. Les diapirs

Dans la partie orientale de l'Afrique du nord (Atlas Tunisien en Tunisie, monts de Mellégue aux confins algéro-tunisien) existe la zone de diapirs de 80 Km de largeur de direction NE-SW. Les "perçements diapiriques" sont liés principalement aux phases distensives albo-aptienne, tertiaire et quadernaire (Dubourdiou, 1956; Thibieroz et Madre, 1976; Rouvier et al, 1985; Othmanine, 1987; Perthuisot et al, 1987; Audjehane et al, 1992; Bouzenoune, 1993; Bouzenoune et al, 1995; Kowalski et Hamimed,2000).

1. Manifestation du Trias dans le Sud-Est constantinois

a. Diapirisme et ses conséquences

Les études effectuées dans le bassin du Sud-Est constantinois révèlent la présence d'indice d'activité diapirique au cours du Crétacé et du Tertiaire et même du Quadernaire. Ces pointements triasiques affleurent sur une bande de 80 Km selon une direction NE-SW (L. Sami, 2011).

Récemment ces pointements triasiques considérés comme diapirique par certains auteurs comme Dubourdiou (1956, 1976); Thièbéroz et al. 1976); Bouzenoune (1993); et Bouzenoune et al. (1995) et pour d'autres Vila et al., (1993) comme étant un glacier de sel sous-marin à matériel triasique resédimenté (L. Sami, 2011).

Cependant, Kowalski et Hamimed (2000) ont réfuté cette théorie de « glacier de sel » et suggèrent pour les régions situées entre Tébéssa et Ouenza, un diapirisme polyphasé, lié aux distensions albo-aptienne et mio-plio-quadernaire. Ceci, est argumenté par les observations de terrain (D. Boubaya, 2013):

- Réduction des sédiments albo-aptiens.
- Contacts verticaux et intrusifs avec des séries plus anciennes que l'Albien (Barrémien de Harraba et Sidi Embarka) ou plus jeune que celui-ci (Cénomaniens, Turonien et Miocène d'Ouenza : Satour el Hamra, Aïn Sidi Salah, Oulija et Dj. Boukamech.

Dans cette région du Sud-est Constantinois, l'étude de terrain et la synthèse des coupes géologiques, montrent une permanence de l'activité triasique, 06 occurrences ont été dénombrées (Sami, 2004), depuis l'Aptien jusqu'à l'Actuel (Villafranchien) (L. Sami, 2011).

b. Relation Diapirs-Encaissant

Le contact Trias-encaissant est généralement visible mais difficilement interprétable (Bouzenoune, 1993). Ce contact apparaît sous deux aspects: (L. Sami, 2011)

- Il peut être souligné par des laminages tectoniques ce qui a provoqué la disparition de tranches de terrains: du Barrémien à Mesloulou (Dubourdieu, 1959), et de l'Aptien à Ouenza (Bouzenoune, 1993);
- Sédimentaire, souligné par des conglomérats à éléments triasiques comme celui de l'Ouenza et Mesloulou (Dubourdieu, 1956, 1959; Bouzenoune, 1993).

Cette disposition du contact Trias-encaissant a amené (Vila, 1993) à reprendre l'étude du Trias des confins algéro-tunisiens. Il distingue trois domaines du Nord vers le Sud, selon les conditions d'affleurement du Trias (D. Boubaya, 2013) :

- 1) Un domaine du Trias allochtone sous forme de grandes accumulations tectoniques «au front de nappe». Ce Trias allochtone se rencontre dans les régions de Sédrata et de Souk Ahras ;
- 2) Un domaine à «glaciers de sel» sous-marins de matériel triasique resédimenté, «de type de l'off-shore de Parentis dans le golfe de Gascogne (Curnelle & Marco, 1983) ;
- 3) Un domaine où le Trias montre ses véritables structures diapiriques, au Sud d'une ligne WSW-ENE passant sensiblement à mi-chemin entre El Kouif et Tébessa.

Des renversements des séries ont été observés au contact Trias-encaissant, c'est le cas de Djebel Slata (Samati, 1986 ; Perthuisot, 1988), Boukhadra et à M'Zouzia (Othmanine, 1987) et à M'khiriga (Dubourdieu, 1959, Sami, 2004), ainsi que les données gravimétriques apportées par (Zerdazi, 1990).

c. Relation Diapirisme-Tectonique

La tectonique considérée parmi les phénomènes principale de l'apparition de diapir dans la région du Mellègue. Les recherches sur les Monts du Mellègue (Dubourdieu, 1956) ont mis en évidence l'existence de plusieurs groupes de failles d'importance régionale qui ont joué un rôle primordiale dans la structure actuelle. Certaines d'entre elles sont responsables de la localisation de pointement triasique en surface (K. Chabane, 2015).

Dès l'Aptien, des failles affectent le substratum anté-triasique, ce qui facilité les transgressions marines, celles-ci ont permis l'accumulation d'épaisses séries sédimentaires liées à une

importante subsidence post-triasique. Les anticlinaux et les synclinaux ont subi une fracturation parallèle ou subparallèle aux directions axiales (K. Chabane, 2015).

L'existence de sel sur une forte épaisseur, la puissance de la couverture crétacé, la présence d'accidents profonds, sont autant de paramètres présents, indispensables à la mobilisation du Trias par halocinèse. Ces mouvements ascensionnels du matériel salifère sont ponctués par des époques des percements. (M. Aoudjehane et al. 1992).

d. Relation Diapirs-Sédimentation

Dans les confins algéro-tunisiens, les masses triasiques extrudées sont bordées par d'importantes séries calcaires rapportées à l'Aptien et attribuées à une sédimentation récifale (Dubourdiou, 1956) (M. Aoudjehane et al. 1992).

Les dépôts calcaires d'une structure à l'autre, sont synchroniques d'Est en Ouest mais présentent un certain diachronisme du Nord vers le Sud (Masse et Thieuloy, 1979).

Les séries calcaires subsidentes de l'Ouenza sont datées du Gargasien (Dubourdiou, 1956) ; et les termes affleurant de Boukhadra (Masse et Thieuloy, 1979) et de M'zouzia (Othmanine, 1987) d'âge Clansayésien.

Les calcaires déposés sur le Trias et recouverts par le Vraconien discordant sont d'âge Albien à Boukhadra (Nédjari, 1984), à l'Ouenza (Masse, 1982), et à M'zouzia (Othmanine, 1987). Il apparait ainsi que la sédimentation carbonatée de plate-forme a été contrôlée par l'halocinèse des séries triasiques : l'accumulation sédimentaire peut-être reliée à une subsidence localisée aux bordures des intumescences diapiriques.

Tableau 1: Récapitulatif des principaux caractères des deux modèles de mise en place du Trias (Selmi- laouar, 2004)

Diapir	Glacier de sel
<u>Auteurs</u>	Vila, 1993a
Bolze(1954)	Vila et Charière, 1993
Duourdieu, 1956	Vila et al. 1994a
David, 1956	Vila, 1994
Madre, 1969	Vila, 1995
Thibiéroze et Madre, 1976	Vila, 1996
Perthuisot, 1978	Vila et al. 1996

<p>Perthuisot et Rouvier, 1988</p> <p>Perthuisot, 1991,1992</p> <p>Aoudjehane et al. 1992</p> <p>Bouzenoune et al. 1995</p> <p>Salmi-Laouar, 1998</p> <p>Kowalski et Hamimed, 2000</p> <p>Salmi-laouar et al. 2004</p> <p><u>Modèle proposé</u></p> <p>Le concept de Mrazec (1906): conception intrusive en pulpe ou en champignon avec extravasion du matériel triasique</p> <p><u>Scénario</u></p> <p>La portée des formations évaporitiques triasiques en surface est liée à une éventuelle halocinèse à caractère daipirique classique. la mobilisation du matériel salifère est favorisée par son fluage et l'existence de zones fragiles dans la couverture post-salifère d'où sa déformation intense, la disparition de son aspect chaotique de son faciès à l'affleurement.</p> <p>Mise en place en force quelle que soit la couverture, le régime tectonique.</p> <p><u>Résultats</u></p> <p>Structure verticale; un seul contact (mécanique);</p>	<p>Vila, 2001</p> <p>Matériel triasique sous forme de glacier de sel sous-marin strictement passif</p> <p>Les formations triasiques sous forme d'importantes lentilles, empreintent des fractures orientées pour être resédimentées et inter-stratifiées, au sein des séries crétacées à la manière de glacier sel sous- marin.</p> <p>Mise en place en contexte distensif par des failles ouvertes</p> <p>Structure horizontale;</p> <p>Deux contacts originellement sédimentaires, pouvant être repris en contacts mécaniques;</p>
--	--

<p>Contact à fort plongement voir verticaux, sécant par rapport à la S0;</p> <p>Structure présentée comme étant enracinée;</p> <p>Déversement des éventuelles couches se trouvant sous le Trias;</p> <p>Structure verticale avec des épanchements latéraux de faible ampleur.</p>	<p>Contact parallèle à S0, obéissant à l'orientation donnée par la tectonique régionale;</p> <p>Structure totalement désolidarisée de sa couche source ;</p> <p>En l'absence d'une tectonique qui renverserait toute la série sédimentaire est restée à polarité normale sous et sur le matériau triasique;</p> <p>Structure horizontale pouvant donner lieu à des structures verticales s'il y a une alimentation en matériau suffisante.</p>
<p>Lieu de son application</p> <p>Toute la zone située au sud du sillon de Sellaoua, dans la zone des récifs: domaine parautochtone et autochtone.</p>	<p>Au nord de Tébessa, tandis qu'au sud c'est le domaine de vrais diapirs pour lequel les interprétations ne sont pas contestées.</p>
<p>Arguments</p> <ul style="list-style-type: none"> -remaniements de faciès; -construction récifales et diminution des épaisseurs des sédiments sur les zones hautes ou la poussée triasique est plus forte; -contact tectonique du trias avec sa couverture souligné par des brèches; 	<p>Superposition du matériau triasique sur la série crétacée en polarité normale limité à la basse et au sommet par un contact stratigraphique inférieur et supérieur normal;</p> <p>Ces contacts sont soulignés par des conglomérats à éléments de Trias;</p>
<p>Méthodes utilisées</p> <p>Cette proposition est fondée sur des</p>	<p>Proposition fondée sur des observations</p>

observations de terrain, des études sédimentologiques, géophysiques et géochimiques et sur des comparaisons faites sur des régions limitrophes à savoir les confins algéro-tunisiens. et des régions lointaines (Golf coast, USA).

sédimentologiques, réinterprétation géophysiques et géométriques, datation micropaléontologique et des comparaisons avec des sites très loin.

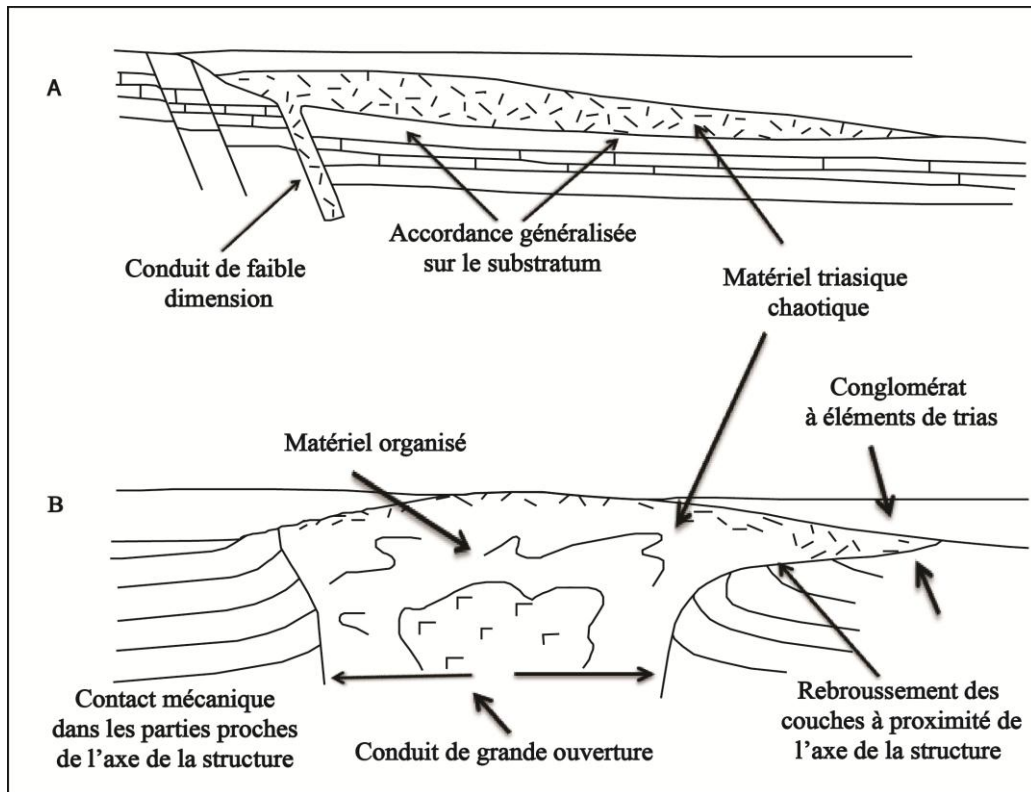


Figure 5: Les deux modèles de mise en place des matériaux triasiques au cours de l'Albien (Perthuisot et al 1998) « modifiée»

A : modèle du « glacier du sel » proposé par J.M.Vila et al. (1994)

B : modèle du diapir extravasé proposé par Perthuisot et al. (1998)

CHAPITRE III:
GEOLOGIE LOCALE

CHAPITRE III: GEOLOGIE LOCALE

I. INTRODUCTION

Les massifs de Hameimat Nord et Hameimat Sud sont des parties intégrantes de de l'Atlas saharien oriental (Laffitte, 1939; Madre, 1969; Kazi-Tani, 1986; Guiraud, 1973, 1990) et appartient aux Monts de Mellègue, ils correspondent à une zone frontalière reliant l'extrémité orientale de ce domaine à l'Atlas tunisien.

Les anciens géologues désignaient ces petits massifs sous l'appellation de Hameimat El Gueblia et Dahra. Ces massifs, distants d'environ 2 kilomètres, correspondent à deux anticlinaux très courts, allongés NE-SW (direction atlasique), avec une terminaison périclinale et une structure compartimentée (Dubourdieu, 1956; Othmanine, 1987).

Les dépôts sédimentaires formant ces massifs sont essentiellement crétacés et vont de l'Albo-Aptien au Turonien, avec un Trias diapirique. Les accumulations marneuses, très étendues dans la région, sont attribuées, pour la plupart, au Cénomaniens et forment un bon repère lithologique visuel (Figure 6).

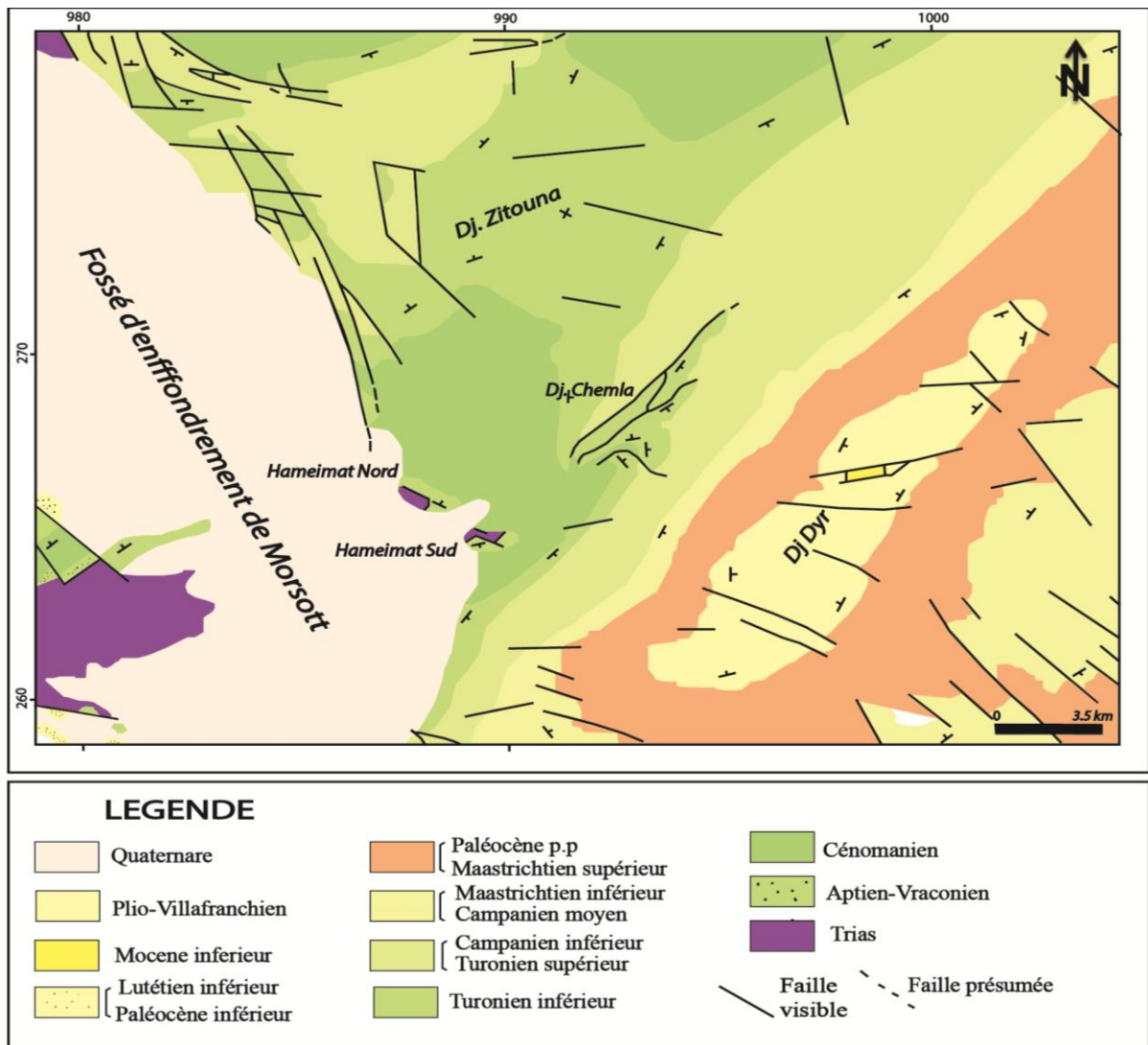


Figure 6: Extrait de la carte géologique de Morsott (feuille n° 178, échelle, 1/50.000, Blès & Fleury, SGA, 1971) «modifiée», montrant la localisation des massifs de Hameimat

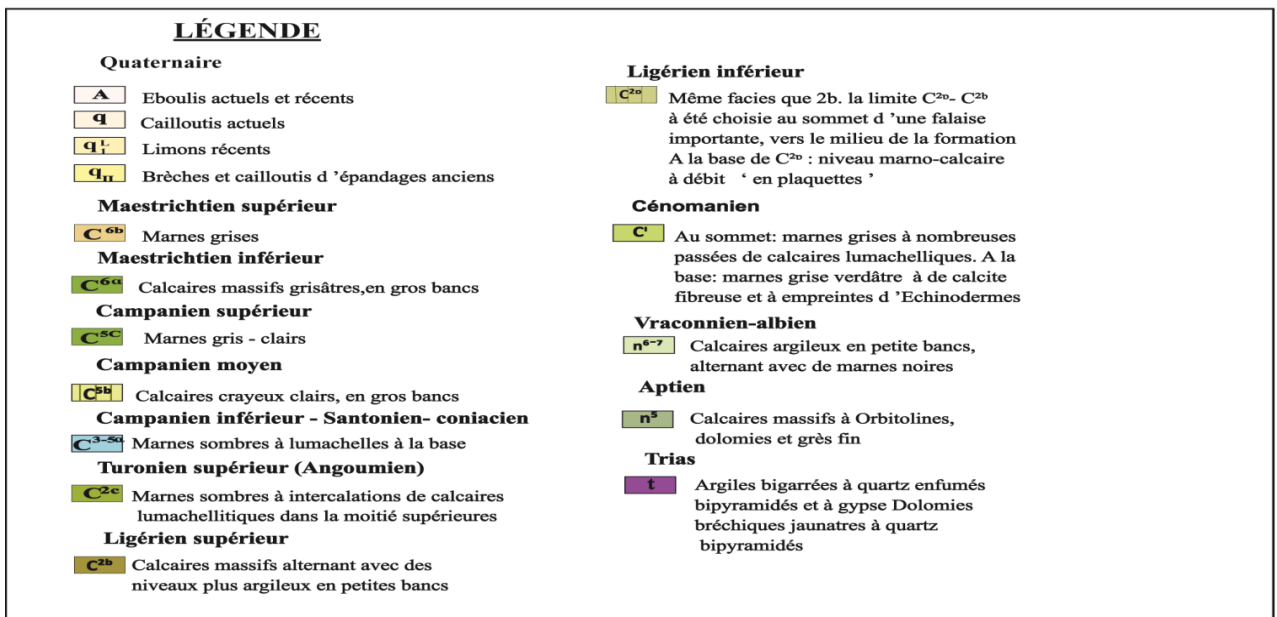
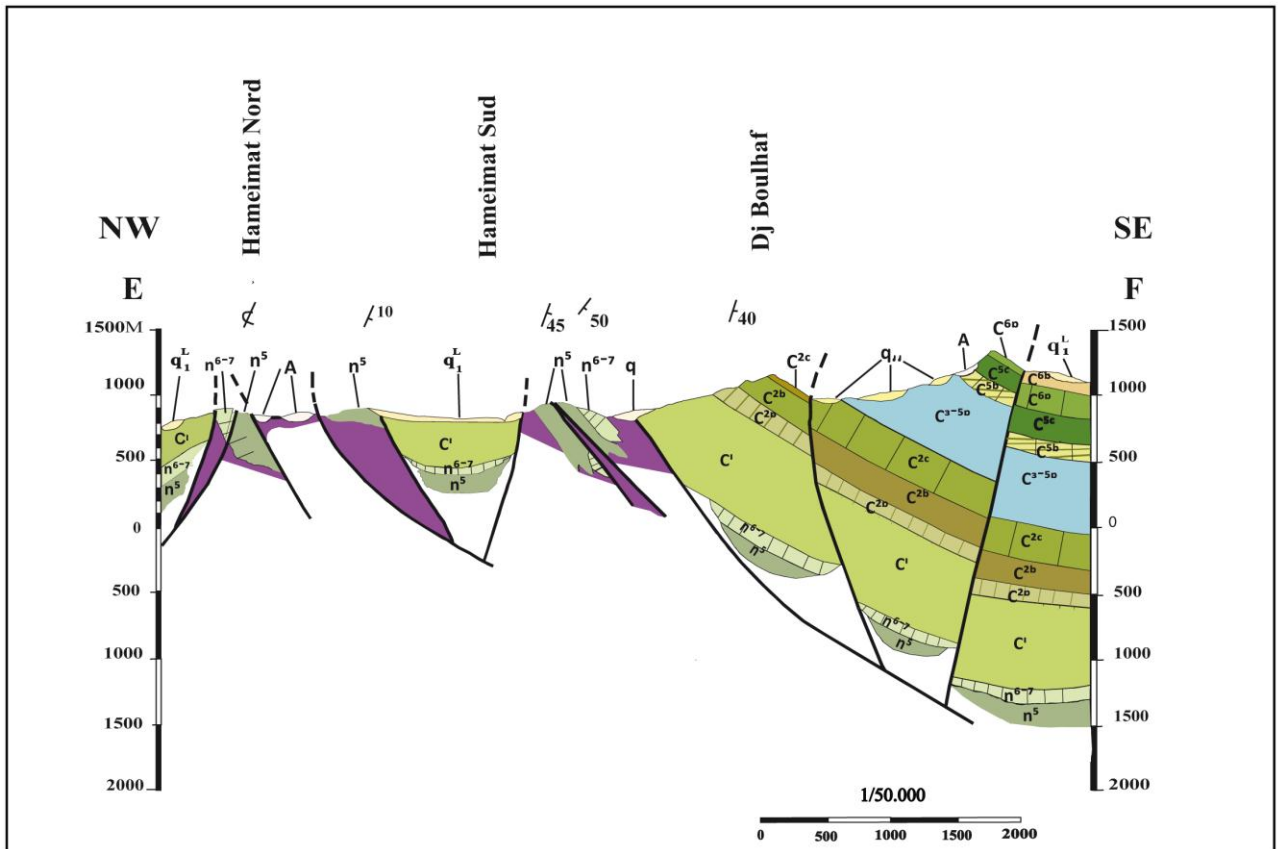


Figure 7: Coupe géologique passant par les deux massifs de Hameimat Nord et de Hameimat Sud (Par la SONAREM, 1974) « modifiée »

II. LITHOSTRATIGRAPHIE

A. Le Trias

A Hameimat Nord, il affleure tout le long du flanc sud-ouest du massif surtout dans la partie occidentale où il occupe tout le talus jusqu'à quelques mètres de la crête.

Dans la partie centrale, il n'apparaît que dans la partie basse et dans la partie orientale, l'affleurement est limité à quelques banes de dolomies bréchiques intercalées dans des niveaux plus tendes argilo-gréseux riches en baryto-célestine à néoformation de quartz bipyramidé fumé et par des dolomies en petits bans rubanés noirs bréchifiés (Ouamer-Ali K 2009).

A Hameimat Sud, il affleure sur le flanc Nord et s'observe dans la partie orientale sous les calcaires albo-aptiens sous forme de dolomies bréchiques, ocre riches en barytine saccharoïde. L'épaisseur de ces dolomies triasiques, est de 15-20m. Sous ces dolomies affleurent les marnes bariolées à gypse dont le contact avec le cénomaniens marneux est difficile à définir vraisemblablement, il est tectonique.

Dans la partie occidentale le Trias est représenté par son faciès argilo-gypseux. Ce sont des paquets de gypse à aspect lité enrobés dans une marne argileuse versicolore. Le contact des formations triasiques avec les calcaires albo-aptiens est tectonique, et de même avec les marnes grises du Cénomaniens.

B. Le crétacé

1. Le crétacé inférieur

Ces formations comportent les dépôts du: Aptien, Albien et Vraconien.

a. L'Aptien

L'Aptien affleure aussi bien à Hameimat Nord qu'à Hameimat Sud. L'épaisseur est d'environ 50 m dans les deux massifs.

On retrouve les niveaux gréseux à la base et au sommet de la série avec une intercalation de bancs métriques de calcaire sur une épaisseur d'environ 50 mètres composant la majeure partie de la série. Cette formation est composée de trois termes:

- Calcaires à polypiers et débris d'organisme à la base.
- Calcaires à rudistes et miliolites.

- Calcaires à débris d'organismes divers (Echinodermes, Lamellibranches, Polypiers, Algues...) (Busson. G, 1972).

b. L'Albien

L'Albien de monts de Mellègue présente dans sa globalité un faciès marneux et le plus généralement une grande épaisseur, ainsi à Boukhadra au niveau de l'ennoyage périclinale, l'Albien inférieur présente une puissante série de l'ordre de 245 m (G. Dubourdieu, 1956) et suite au clansyasien avec un faciès de marne jaune à intercalation de calcaire gréseux.

A Hameimat Nord l'Albien est différent des autres secteurs tant par son épaisseur plus réduite que par son faciès de calcaire néritique (Durand DM, Fontbote JM 1960).

c. L'Albo-Aptien

A Hameimat Sud, les sédiments de l'Albo-Aptien sont formés de calcaires, marnes et grés variant d'une partie à l'autre. Cette épaisseur est maximale au niveau de la partie centrale (90m), légèrement réduite au niveau de la partie occidentale (60m), tandis qu'au niveau de la partie orientale, cette série devient très réduite et ne dépasse pas 100 m (A. Boudjadja & A.Kadjoudj, 2018).

d. Le Vraconien

Le Vraconien affleure sur le flanc Nord-Est à l'extrémité Nord-Ouest de Hameimat Nord. Il est renversé en contact tectonique avec le Trias, vers l'Est avec l'Albo-Aptien gréseux puis carbonaté. Dans la partie orientale le Vraconien semble être en contact normal avec les calcaires Albo-Aptiens et forme une sorte de fermeture périclinale incomplète (Gradstein FM, Ogg JG, Smith AG, Bleeker W, Lourens LJ, 2004).

A Hameimat Sud, le Vraconien affleure seulement sur le flanc sud, son contact avec l'Aptien est masqué par les éboulis dans sa plus grande partie et il n'est visible qu'à l'extrémité sud-ouest du massif, au niveau du cimetière, où le contact semble être normal. A l'extrémité sud-est le contact paraît avoir joué et il est masqué par une bréchification et des veines de calcite. La formation Vraconienne est épaisse de 50 m environ, elle est de même nature lithologique qu'à Hameimat Nord (Beghoul. M, 1974).

2. Le Crétacé supérieur

a. Le Cénomanién

Le Cénomanién entoure les deux massifs de Hameimats sont limités par les calcaires du Turonien inférieur formant les cuestas des Djebel Boulhaf, Chemla et Zitouna. L'affleurement le plus continu est celui du flanc Nord du Djebel Boulhaf au sud de Hameimat Sud. Il comprend 200 à 250 m de marnes grises un peu verdâtre sans intercalation calcaire (Cornet. A, Gouscov. N, 1952)

C. Le Quaternaire

Les dépôts d'âge quaternaire sont formés d'anciens éboulis de pente et dépôts actuels, de taille variable, consolidés par un ciment grésocalcaire,

Les sédiments actuels se développent tout autour du gisement et sont représentés par, des limons et des cailloutis.

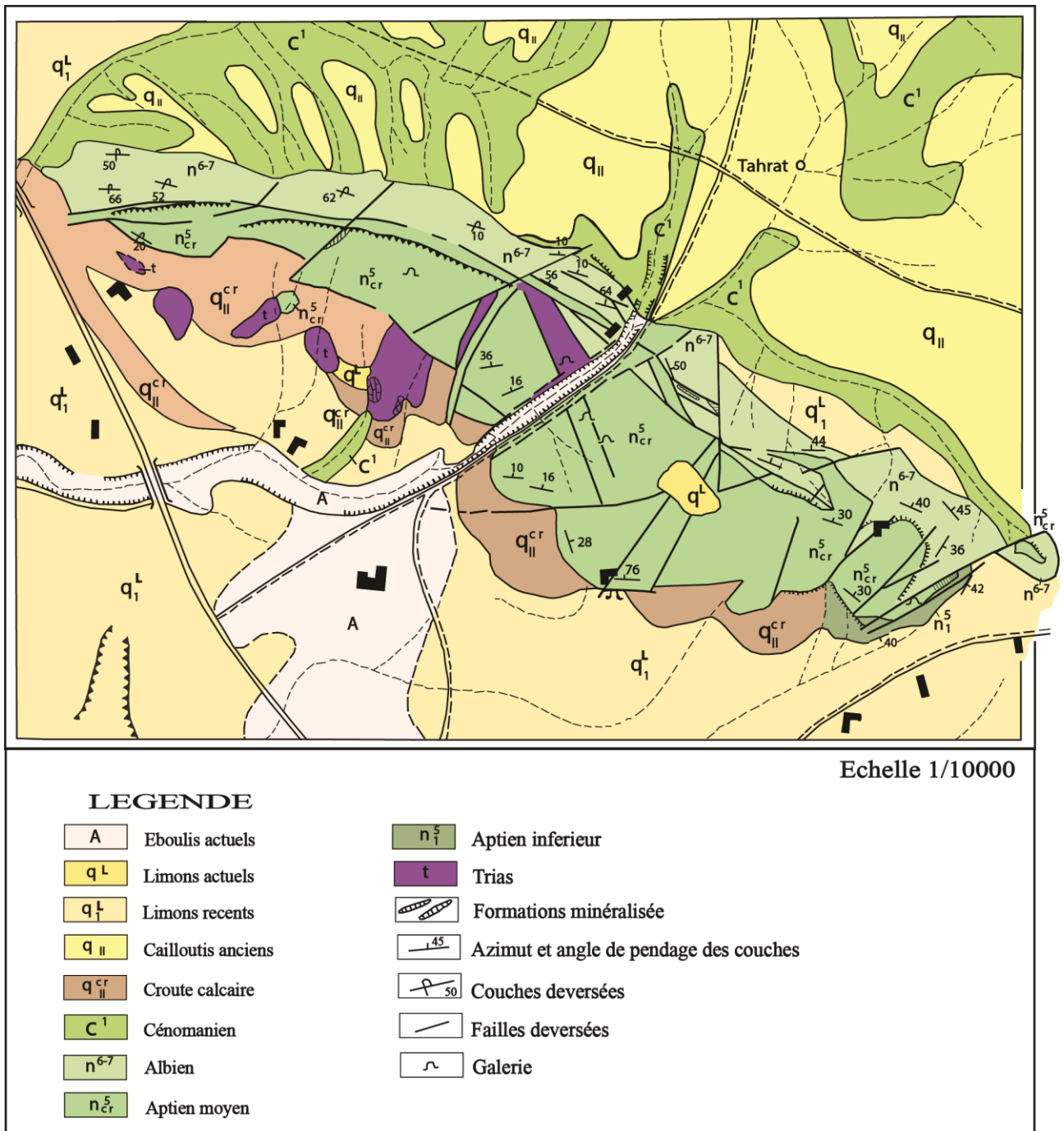


Figure 8: Carte schématique géologique structural de "Hameimat nord", (par la SONAREM, 1974) « modifiée»

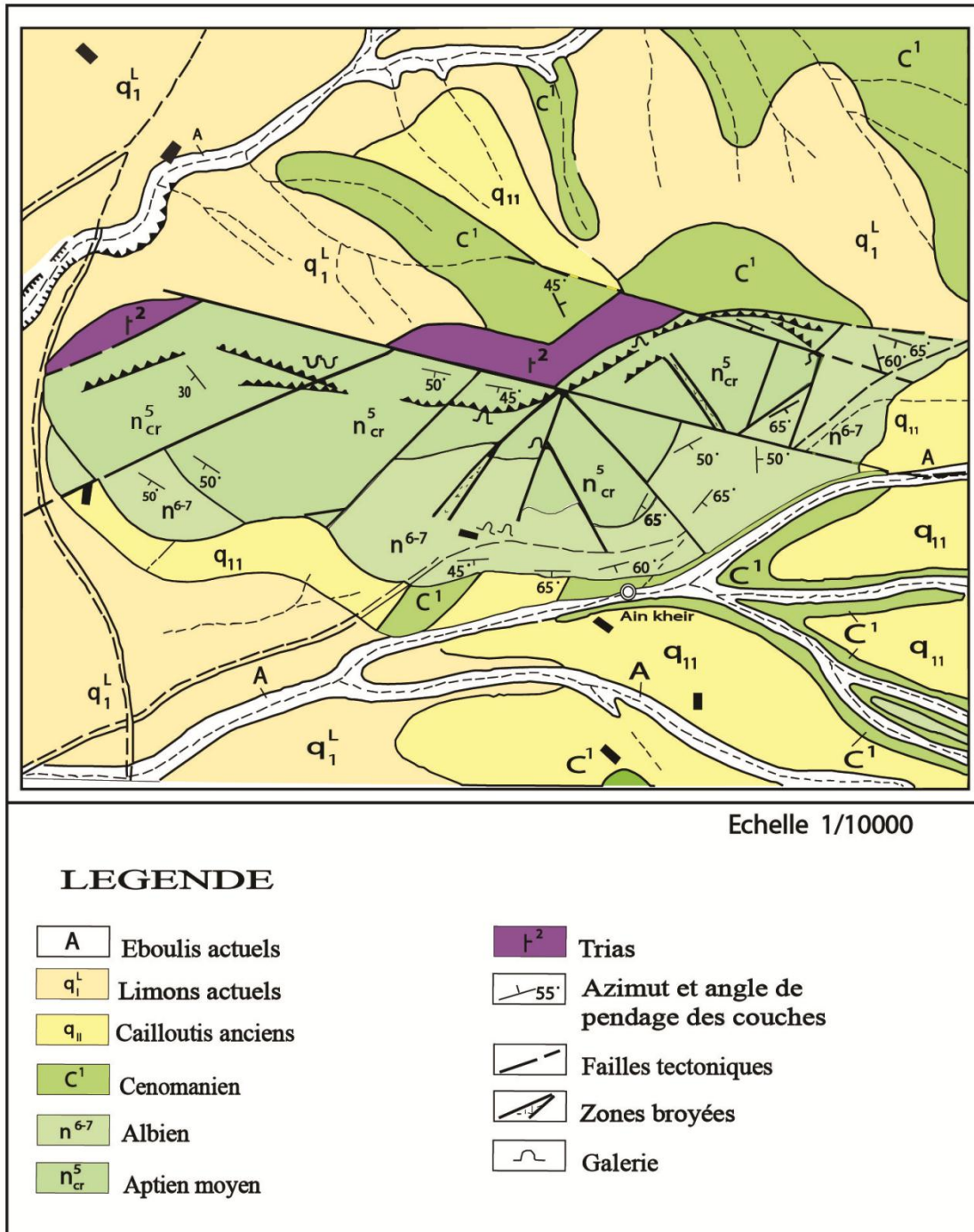


Figure 9: Carte schématique géologique structural de "Hameimat sud", (par la SONAREM, 1974) « modifiée»

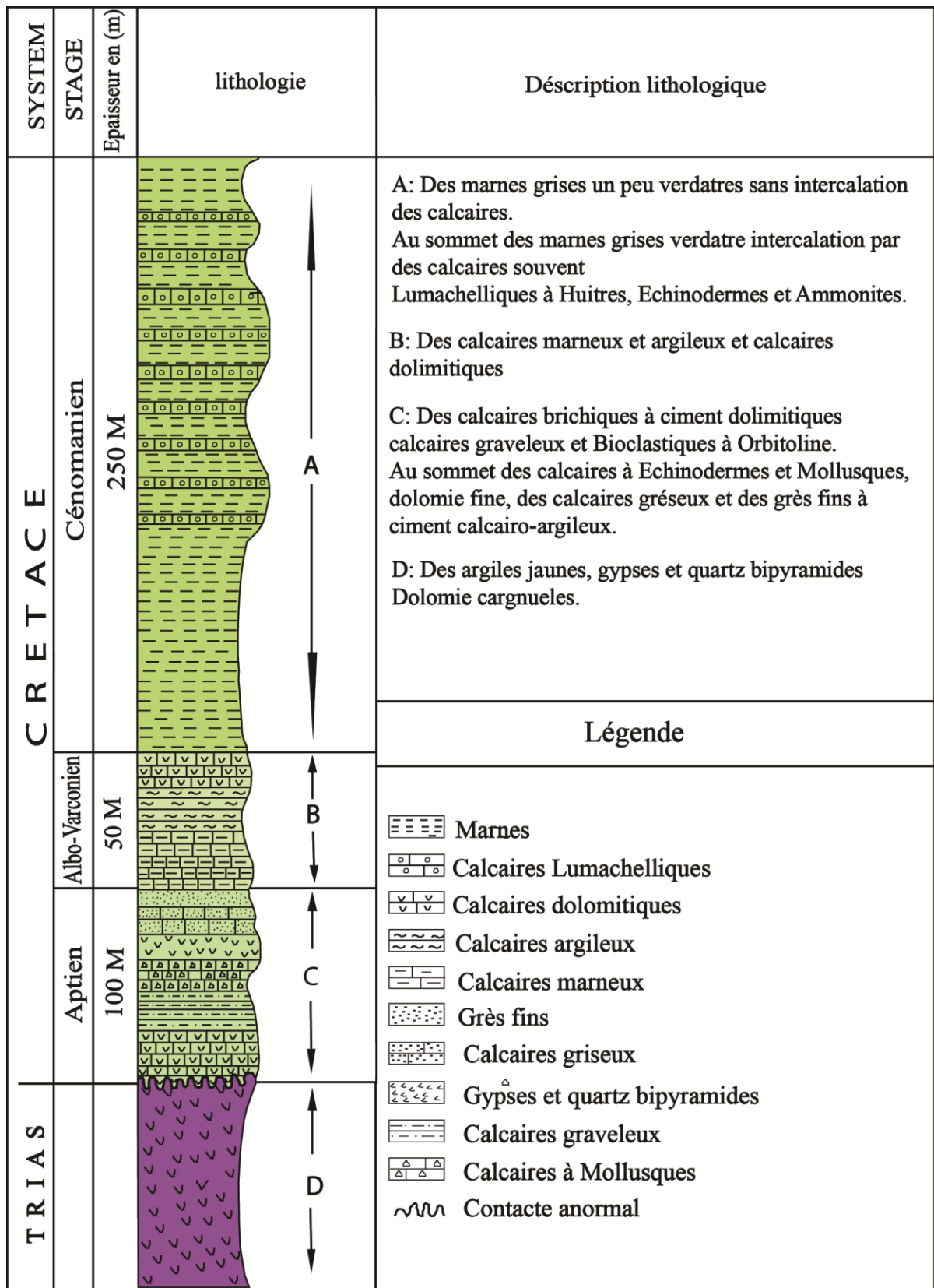


Figure 10: Colonne lithostratigraphique de Hameimat Nord (d'après Mokhnachi. Y et Zitoune.

D, 1998) « modifiée»

SYSTEM	STAGE	Epaisseur (m)	Lithologie	Description lithologique
C R E T A C E	Vraconien	140		Des marnes grisâtres consolidées
				Alternance des marnes jaunâtres à blanchâtres avec des calcaires packstones à wackstones parfois légèrement bréchiques
		100		Calcaire gréseux grisâtre à orbitolines et fragment d'échinodermes Intercalé avec des bancs de calcaire wackstone à orbitolines et bryozoaires
	Albo-aptien	60		Calcaire packstone à pelletoides et intraclastes
		40		Bancs de grès à oxydes de fer
		20		Calcaire gris-noirâtre à brunâtre. packstone-wackstone à pelletoides et bioclastes parfois à grainstone fortement oxydée
TRIAS			Formation gypsifère bariolée à quartz bipyramidal avec argiles et dolomies bréchiques	

Figure 11 : Colonne lithostratigraphique du compartiment oriental de Hameimat Sud (d'après Kadjoudj. A et Boudjadja.A, 2018) « modifiée»

III. MINERALISATION DE LA REGION DE HAMEIMAT:

Les minéralisations de la région de Hameimat sont encaissées dans 2 massifs distincts, distants l'un de l'autre de près de 2 Km (Hameimat Nord et Hameimat Sud). Ces massifs présentent la même géologie, ils en diffèrent par leur minéralisation et par leur contenu minéralogique. Hameimat Nord est à Fluorine Barytine et accessoirement galène, alors que Hameimat Sud est à Galène, Barytine. La fluorine y est absente (Sami, 2011).

A. Minéralisations de Hameimat Nord

Les terres sédimentaires qui affleurent dans ce massif sont du Crétacé et du Trias. Ils sont principalement constitués de calcaires récifaux et de marnes frites qui sont en contact avec la marne multicolore des formations triasiques situées sur le flanc sud du massif qui se caractérise par la minéralisation de fluorite, barytine et galène. Les formations triasiques sont constituées d'un ensemble chaotique composé de brèches avec des éléments dolomitiques, très silicifiés avec parfois de petits fragments de roches éruptives qui sont probablement ramenés à la surface lors de l'ascension du diapir.

L'observation détaillée, montre qu'il existe deux types de minéralisation :

- Un premier type de minéralisation à aspect brèche riche en barytine, fluorite et accessoirement en galène. Elle affleure dans la partie occidentale du massif. Elle est liée au contact Trias-couverture.
- Un deuxième type de minéralisation veineuse affleurant dans la partie orientale du massif, dans le contact anormal entre l'Albo-aptien et le Vraconien. Cette zone minéralisée est orientée NW-SE et elle s'étend sur quelques centaines de mètres de longueur et quelques mètres de large.

Du point de vue structural, Hameimat Nord se divise en deux parties:

- Une partie orientale : à pendage normal qui s'étend de l'extrémité SE de la structure jusqu'à environ 350 m au NW de l'Oued au contact d'une faille orientée N160°. Les dolomies bréchiques du Trias apparaissent sur le flanc sud du massif en contact avec les formations albo-aptiennes. Le principal corps minéralisé à Fluorite, Barytine et Galène affleure dans le contact entre l'Albo-aptien et le Vraconien.
- une partie occidentale: à pendage renversé, qui s'étend depuis la faille décrochante N160° jusqu'à l'extrémité ouest du massif. Les bancs de calcaire albo-aptien ainsi que les dolomies triasiques vont chevaucher le contact Albo-aptien-Vraconien masquant ainsi le corps minéralisé. En allant vers le NW, les calcaires albo-aptiens disparaissent, le contact

entre le Vraconien et le Trias occupe tout le flanc ouest. Le Vraconien réapparaît au bas de ce flanc sous forme de conglomérat avec des niveaux argileux.

Au flanc Ouest du massif, on distingue une faille de direction N140° subvertical à remplissage de calcite pinacoidale, de strontianite et de quartz. Le contact Trias– Vraconien est affecté par plusieurs failles normales ou inverses. Ces failles sont post minérales, elles morcèlent le corps minéralisé en plusieurs blocs.

1. Minéralisation liée au contact diapir-couverture

Cette zone minéralisée est localisée dans la partie NW du massif. On y accède par la route nationale Tébessa-Morssot. Cette minéralisation à fluorine, barytine et accessoirement galène est à aspect bréchique. Elle affleure sur 2 à 3 m de largeur. Cette brèche est quelquefois entrecoupée par des petits lits de marnes. Au niveau du contact Trias-Aptien, elle apparaît en petites lentilles dans les calcaires récifaux. La Barytine forme souvent le ciment d'une brèche à éléments dolomitiques.

Dans ce secteur la calcite comme ailleurs dans la région est très abondante. Elle se présente au moins sous trois générations avec une calcite fine diagénétique, une calcite à gros grains et une calcite veinulée fine qui recoupe les deux premières.

2. Minéralisation au contact Albo Aptien et Varconien

Ce deuxième type de minéralisation est rencontré dans la partie orientale du massif. La minéralisation dans cette zone est constituée d'une paragenèse simple où la fluorine est assez abondante, elle est toujours associée à de la barytine et à de la galène. Cette fluorine se présente en cubes centimétriques translucides ou légèrement violacés disséminés et cimentés par la barytine mamelonnée ou en agrégats de cristaux pris dans la barytine mamelonnée. Cette disposition indique que la fluorine est antérieure à la barytine mamelonnée.

Le Quartz est très abondant, il résulte de l'intense silicification qui a touché ce massif. L'observation montre qu'il existe deux générations de quartz :

- en petits prismes ou en sections hexagonales disséminées dans les calcaires micritiques. Ces cristaux résulteraient d'un phénomène de silicification diagénétique.
- en amas de petits cristaux montrant souvent des auréoles de silicification, ou en poches de calcédoine d'où se développent des cristaux de quartz. On le trouve aussi en gros cristaux automorphes renfermant des imprégnations de calcite.

La Calcite, se présente en forme de remplissage de petites veinules affectant les calcaires récifaux, ou de cavités et de fentes de tension. Il existe aussi une calcite pinacoidale qui recoupe la barytine mamelonnée.

B. Minéralisations de Hameimat Sud

Le massif de Hameimat Sud présente une forme en croissant avec une direction dominante E-W. Son ossature est constituée essentiellement de terrain albo-aptien constitué par des calcaires récifaux et de marnes en frites recoupés par les formations diapirique du trias.

Du point de vue structural, Hameimat Sud est affecté par deux familles de failles, l'une de direction dominante NW-SE au centre et à l'extrémité Ouest et l'autre NE-SW à l'extrémité Est. Elles sont bien visibles au contact diapirique Trias-Albo-Aptien où elles décalent les bancs de calcaire.

La barre calcaire est marquée par des fentes de tension à remplissage de calcite, indiquant un régime tectonique compressif.

Un accident de direction N 140° à jeu décrochant dextre divise ce massif en deux parties : une partie orientale de structure monoclinale et une partie occidentale légèrement en voûte.

- Dans la partie orientale : les bancs de calcaire et grés albo-aptiens de pendage 40 à 50° SSE reposent sur les dolomies triasiques. Dans cette partie, le massif est limité à son extrémité Est par des failles de direction N 140° à N160° qui remontent des dolomies triasiques.
- Dans la partie occidentale : au flanc Nord, les bancs de calcaire albo-aptien ont un pendage de 30°W et ils sont en contact diapirique avec le Trias, tandis qu'au flanc Sud, le pendage est plutôt vers le SW à S.

Tout comme Hameimat Nord, ce massif est affecté par une importante silicification qui se traduit par l'abondance de quartz.

L'étude minéralogique sommaire montre une paragenèse simple constituée par de la calcite, du quartz de la barytine ainsi que de la galène. La barytine est généralement associée à une brèche de faille.

Les minéraux métalliques sont représentés essentiellement par de la galène qui constitue le minéral le plus abondant. Cette galène a fait l'objet d'une exploitation jadis. On la trouve

souvent sous forme de placage dans les calcaires aptiens. Cette galène renferme fréquemment des inclusions des petits grains de pyrite. Cette galène est toujours postérieure à la barytine. Il est à noter qu'au niveau de Hameimat Sud la fluorite n'a pas été observée.

CHAPITRE4 :
THÉORIE DES MÉTHODES GÉOPHYSIQUES UTILISÉES

CHAPITRE IV: THÉORIE DES MÉTHODES GÉOPHYSIQUES UTILISÉES

I. INTRODUCTION

Dans ce chapitre sont donnés les principes théoriques des méthodes géophysiques utilisées pour étudier la région des Hameimats. Il s'agit des méthodes électriques à courant continu: la prospection électrique en mode sondage électrique vertical(SEV). Cette méthode a été utilisée à l'échelle de détail, en plus de la polarisation spontanée (PS), la gravimétrie et la prospection magnétique (à titre d'essai).

II. PROSPECTION 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. Du point de vue des principes physiques fondamentaux, les méthodes de prospection électrique peuvent être divisées en quatre groupes:

- Les méthodes à courant continu ou les méthodes de résistivité;
- Les méthodes à basse fréquence dans lesquelles des champs électromagnétiques alternatifs variant lentement sont considérés;
- Les méthodes à haute fréquence basées sur l'étude de champs électromagnétiques qui varient rapidement;
- les méthodes géo-électrochimiques basées sur l'utilisation de champs secondaires.

Pour les électrodes, des piquets métalliques sont généralement utilisées, qui sont enfoncées dans le sous-sol. Les électrodes d'alimentation sont généralement désignées par les lettres A et B, les électrodes de réception sont désignées par M et N. La combinaison des électrodes d'alimentation et de réception, alignées d'une certaine manière sur la surface du sol est appelée dispositif de prospection électrique. L'idée de la méthode électrique est simple. Un

dispositif de prospection électrique est étalé à la surface du sol. Il se compose généralement de deux paires d'électrodes d'alimentation et de deux paires d'électrodes de réception

A. Principe de la prospection électrique en courant continu

La méthode électrique en courant continu (DC) permet de mieux comprendre le sous-sol grâce à l'étude de la résistivité des formations qui le composent. Son principe repose sur la mesure de la résistivité du sous-sol. Elle s'effectue en injectant un courant électrique d'intensité I dans le sol à l'aide de deux électrodes notées A et B et la mesure de la différence de potentiel ΔV entre deux autres électrodes M et N .

Le nombre d'électrodes, ainsi que leur arrangement définit le dispositif électrique utilisé. La configuration du dispositif est choisie selon la problématique de l'étude. La différence de potentiel dépend de l'intensité du courant injecté, de la disposition des électrodes et de la résistivité électrique du matériau constituant l'objet étudié. Il est alors possible de déduire une répartition de la résistivité dans la structure en se basant sur la forme du champ de potentiel. Si l'on considère, un point d'injection, A , unique, où le courant injecté a une valeur $+I$, Le courant dans le milieu homogène se répartit de façon isotrope et pour un point situé à une distance r de A , la densité de courant vaut :

$$j_r = \frac{I}{2\pi r^2} \dots\dots\dots (II.1)$$

La définition du champ électrique est donnée par :

$$E = -\nabla V \dots\dots\dots (II.2)$$

La loi d'Ohm s'écrit :

$$Er = \rho \cdot jr \dots\dots\dots (II.3)$$

Donc le champ électrique s'écrit comme

$$Er = \frac{\rho}{2\pi r^2} \dots\dots\dots (II.4)$$

On obtient finalement :

$$V = \frac{\rho}{2\pi r} \dots\dots\dots (II.5)$$

Si l'on adopte $V=0$ comme condition à l'infini.

La différence de potentiel ΔV entre les deux électrodes M et N est donnée par la relation suivante:

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \dots\dots\dots (II.6)$$

Dans le cas d'un milieu théoriquement homogène et isotrope, la résistivité mesurée correspond à la résistivité vraie du matériau, ce qui n'est pas le cas pour des milieux hétérogènes. Nous faisons appel, dans le cas d'un milieu hétérogène, au concept de Résistivité apparente

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots (II.7)$$

Le paramètre k est appelé le facteur géométrique, il est donné par la formule suivante:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}} \dots\dots\dots (II.8)$$

ρ_a : La résistivité apparente.

ΔV : Différence de potentiel.

I : l'intensité de courant.

K : facteur géométrique

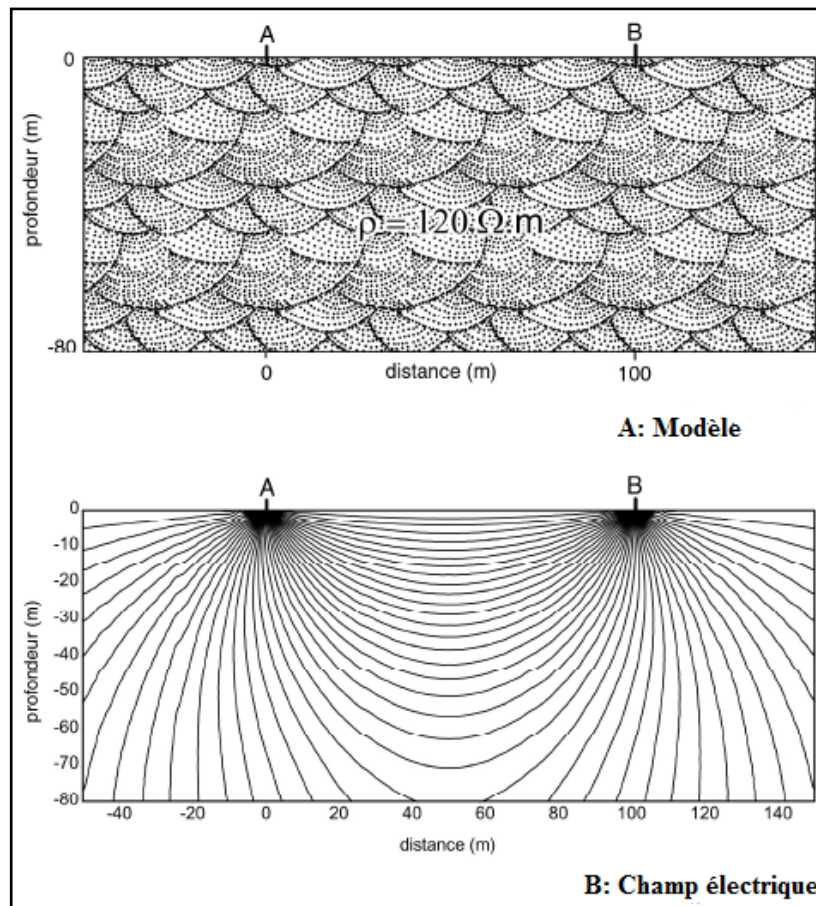


Figure 12: Répartition des lignes de courant dans un milieu homogène (d'après Chapelier, 2001)

- La répartition du courant électrique se fait de manière homogène dans le sous-sol entre les électrodes A et B.

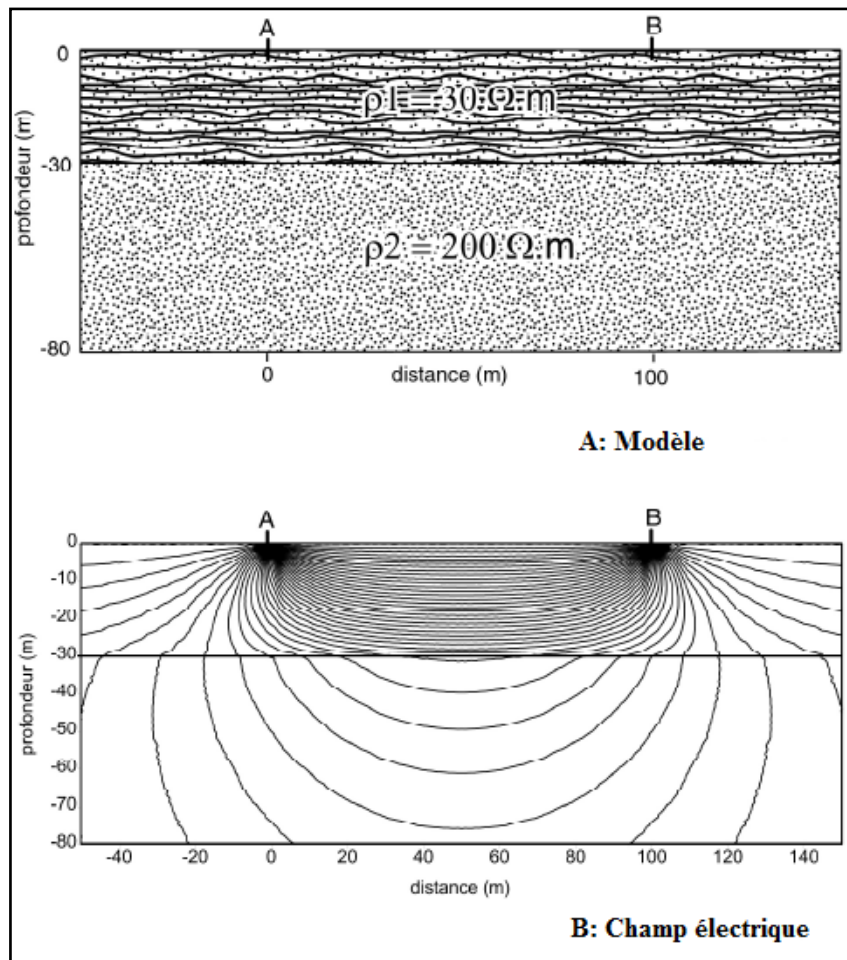


Figure 13: Répartition des lignes de courant dans un milieu à 2 couches ($\rho_2 > \rho_1$), substratum résistant (d'après Chapelier, 2001)

- Le courant se concentre dans le premier terrain de faible résistivité $\rho_1 = 30 \text{ohm.m}$.

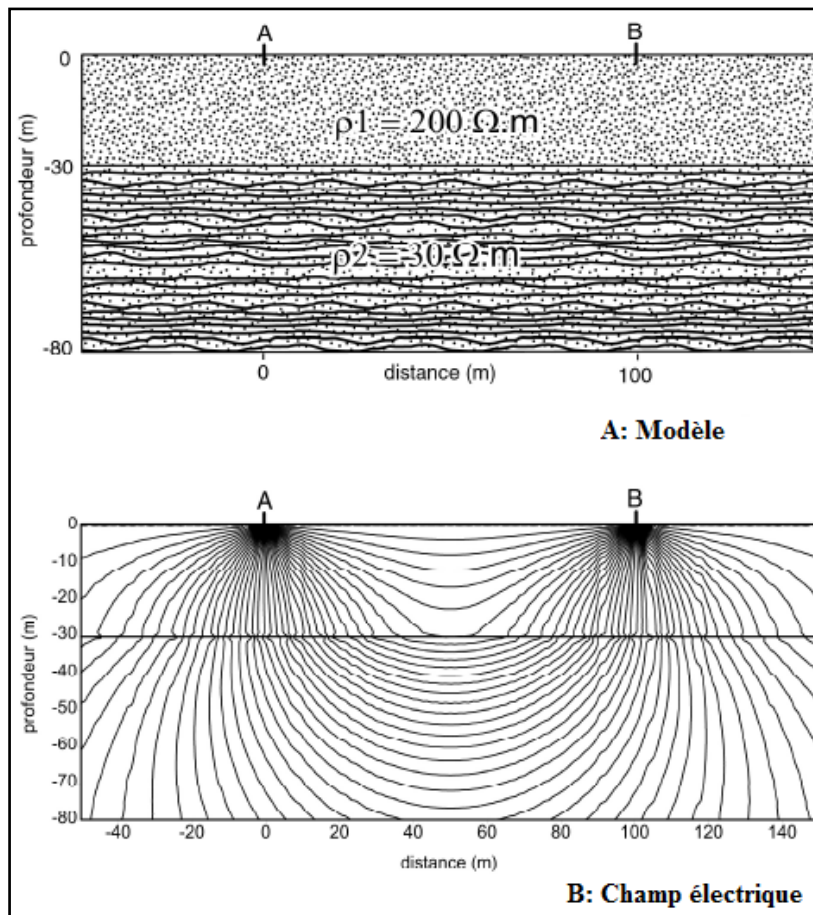


Figure 14: Répartition des lignes de courant dans un milieu à 2 couches ($\rho_1 > \rho_2$) substratum conducteur (d'après Chapelier, 2001)

- Le courant se concentre dans le second terrain de faible résistivité $\rho_2 = 30 \text{ ohm.m}$

B. Résistivité des roches

La résistivité, peut varier (Figure 15):

- 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).

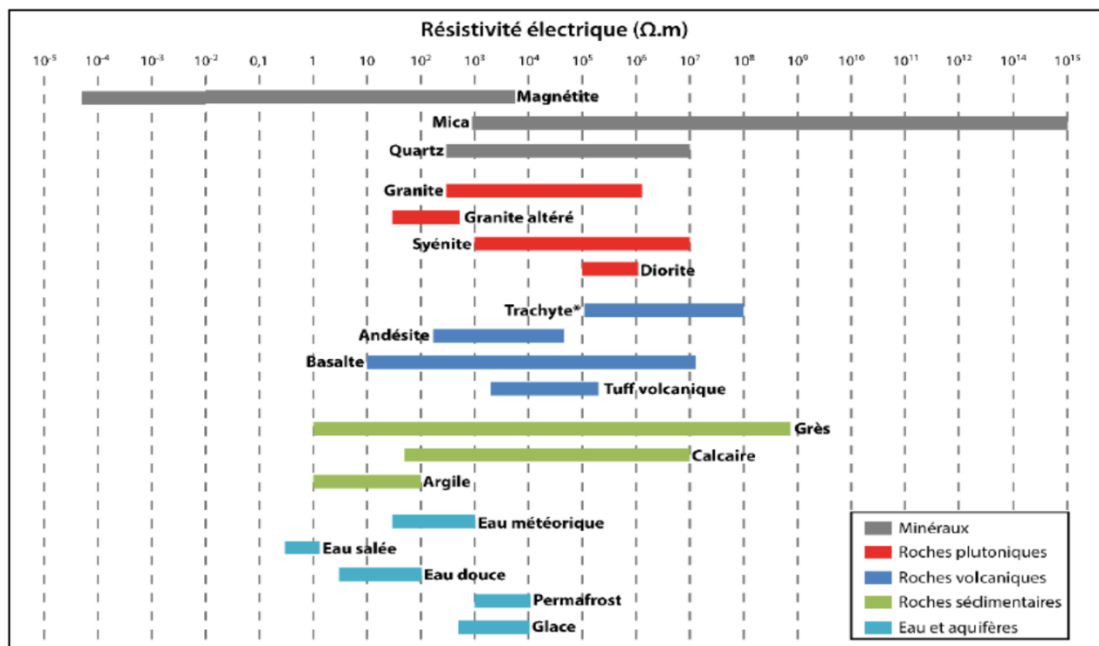


Figure 15: Résistivité électrique de différents minéraux, roches et liquides. Basée sur Telford et al. (1976), Palacky. (1988) et Reynolds (2011)

C. Dispositifs de mesure

La position et les écartements variables entre les électrodes utilisées permettent d'obtenir des mesures ayant des sensibilités différentes à la distribution de la résistivité dans le sous-sol (voir Tableaull.2) ; il existe un grand nombre de configuration d'électrodes possible. De manière plus simple, on peut considérer trois familles de dispositifs : les quadripôles, les pôle-dipôles et les pôles-pôles. Les deux derniers se caractérisent par la présence respectivement d'une ou de deux électrodes placées à l'infini (en pratique à une grande distance de la zone étudiée). Dans la configuration d'électrodes alignées trois dispositifs sont couramment utilisés : Wenner- α , Schlumberger et dipôle-dipôle

Tableau 2 : Caractéristiques des différents dispositifs (d'après Loke, 2011)

Dispositif		Prof d'investigation		Pouvoir de résolution	k
		Roy(1971)	Barker (k 1981)		
Wenner		0.11L	0.17L	1/2.25	$2\pi a$
Schlumberger		0.125L	0.19L	1/2.45	$\pi n(n+1) a$
Dipôle –Dipôle		0.195L	0.25	1/3.45	$(n+1)(n+2)a$

Pole-Pole		0.35	/	1/8.4	$2\pi a$
-----------	---	------	---	-------	----------

D. Résistance et Résistivité

La résistance (R) est la capacité d'un matériau à s'opposer au passage d'un courant électrique. Elle est mesurée en Ohm (Ω). La résistance dépend de la taille et de la forme du matériau où le courant circule. Doubler la distance sur laquelle circule le courant double la résistance, alors que doubler la section du matériel perpendiculaire à l'écoulement du courant divise en deux la résistance. Par conséquent, la résistance est d'une part due à certaines propriétés du matériau et d'autre part, elle est due à la géométrie du matériau par rapport aux deux points entre lesquels le courant électrique s'écoule et le potentiel électrique est appliqué (PWJ Glover, 2015).

La résistivité ne décrit que les propriétés intrinsèques du matériau relatives à l'écoulement des porteurs de charge et n'est pas affectée par la géométrie de l'échantillon. Elle correspond à la résistance d'un échantillon de 1 m de long et de 1 m² de section. L'unité de la résistivité est l'ohm.m (Ωm).

Pour un courant continu qui traverse un matériau homogène et isotrope d'une longueur L et une section A, la résistance et la résistivité sont liées par:

$$\rho = R \frac{A}{L} \dots \dots \dots (1)$$

E. Sondage électrique vertical (SEV)

1. Principe du sondage électrique vertical

Pour réaliser un SEV, on effectue à partir d'un même point une série de mesures de la résistivité apparente, en augmentant progressivement les dimensions du dispositif de mesure, le centre et la direction restant constants. En supposant que la résistivité spécifique et l'épaisseur du terrain superficiel (dans lequel se trouvent généralement les électrodes) ne varient pas de façon considérable d'une mesure à l'autre, les variations de la résistivité apparente sont dues essentiellement aux changements verticaux de la résistivité spécifique. Nous voyons donc que la profondeur d'investigation augmente en fonction de l'espacement AB. Dans la pratique cette profondeur d'investigation est proportionnelle à la longueur du dispositif dans le rapport approximatif et empirique de 1/4 à 1/10. Généralement, nous continuons les mesures jusqu'à

ce que la formation géologique recherchée soit atteinte. Pour cette raison, le champ d'application idéal des SEV consiste en l'étude des formations géologiques stratifiées subhorizontales (angle entre les couches ne dépasse guère les 15°) qui s'étendent sur une certaine distance et dont les caractéristiques géologiques ne varient pas latéralement trop brusquement (latéralement homogènes). DROUICHE A, (2014)

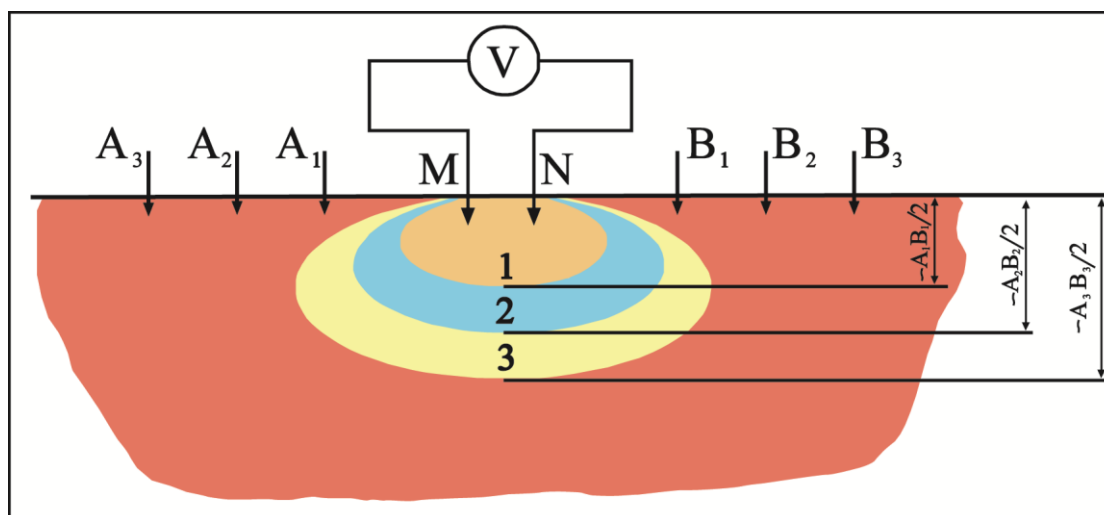


Figure 16: Effet du sondage électrique dans la méthode SEV, d'après Shein et al. 2018
«modifiée»

F. Polarisation spontanée (PS)

Dans ce qui suit, la théorie de la PS est inspirée à partir de l'article de Bertin 1969.

La polarisation spontanée, appelée en anglais Self Potentiel (SP), est basée sur le fait qu'en l'absence de tout champ électrique créé artificiellement, il est possible parfois de mesurer une différence de potentiel ΔV entre deux électrodes plantées dans le sol.

- Comme le contact d'électrodes métalliques avec le sol provoque, par action électrolytique, une différence de potentiel instrumental parasite, une précaution élémentaire consiste à utiliser des électrodes dites impolarisables. Ces dernières sont constituées, le plus souvent, par une barre de cuivre qui trempe dans une solution saturée de SO_4 , Cu, elle-même en contact avec le sol par l'intermédiaire d'un récipient poreux. Avec de telles électrodes. Les différences de potentiel mesurées proviennent de phénomènes naturels dont on va tenter d'expliquer l'origine.

L'expérience montre que certains amas massifs à conductibilité électronique, tels que la pyrite, les sulfures de cuivre, le graphite, peuvent être assimilés à de véritables piles naturelles enfouies dans le sol. L'explication de cette constatation n'est pas clairement établie. Il pourrait

s'agir d'un phénomène de contact entre les amas précédents et la roche encaissante qui possède une conductibilité électrolytique grâce à l'eau qu'elle contient toujours en plus ou moins grande quantité. Faut-il maintenant faire intervenir une variation, avec la profondeur, des propriétés de l'électrolyte de la roche et des propriétés chimiques des masses métalliques? Cette variation pourrait en effet conduire à un déséquilibre qui serait compensé par un échange de charges ioniques et électroniques au niveau des contacts roche-minéral.

Quoi qu'il en soit, tout se passe comme si l'amas métallique comportait une accumulation de charges négatives au sommet près de la surface et de charges positives en profondeur. Il est donc possible de détecter de telles masses minérales grâce à des mesures en surface ou dans les forages et les différences de potentiel mises en jeu, par rapport à une station éloignée choisie comme zéro, peuvent varier de quelques dizaines de mV à plusieurs centaines de mV et parfois même dépasser le volt.

Malheureusement pour le géophysicien, les phénomènes de PS ne sont pas toujours liés à la présence de minerais. L'électrocapillarité dans le sol provoque parfois des anomalies PS de plusieurs centaines de mV qui sont souvent en relation avec la topographie du site (anomalies larges facilement discernables). La variation de l'électrolyte du sol fournit également des réactions PS qui peuvent être éliminées quand elles correspondent à des causes superficielles : tourbières, marais. Enfin, les courants telluriques qui parcourent l'écorce terrestre peuvent parasiter les mesures lorsque l'écartement entre les électrodes devient grand: l'instabilité de ces courants dans le temps permet de les repérer aisément.

Sur les figures A et B, nous montrons quelle est l'allure des profils de polarisation spontanée, obtenus au-dessus de gisements métalliques. Quand l'amas présente un pendage bien marqué, l'anomalie PS négative est asymétrique et comporte parfois un flanc positif.

Comme nous l'avons dit, le choix du zéro, qui permet de séparer les valeurs positives des valeurs négatives les plus couramment observées, est effectué à une station éloignée du gisement; pour être plus exact, le zéro est déterminé par une statistique portant sur les potentiels relatifs des stations situées en dehors de la zone anormale.

On peut représenter les résultats PS sous forme de profils ou de cartes de courbes équipotentiellles.

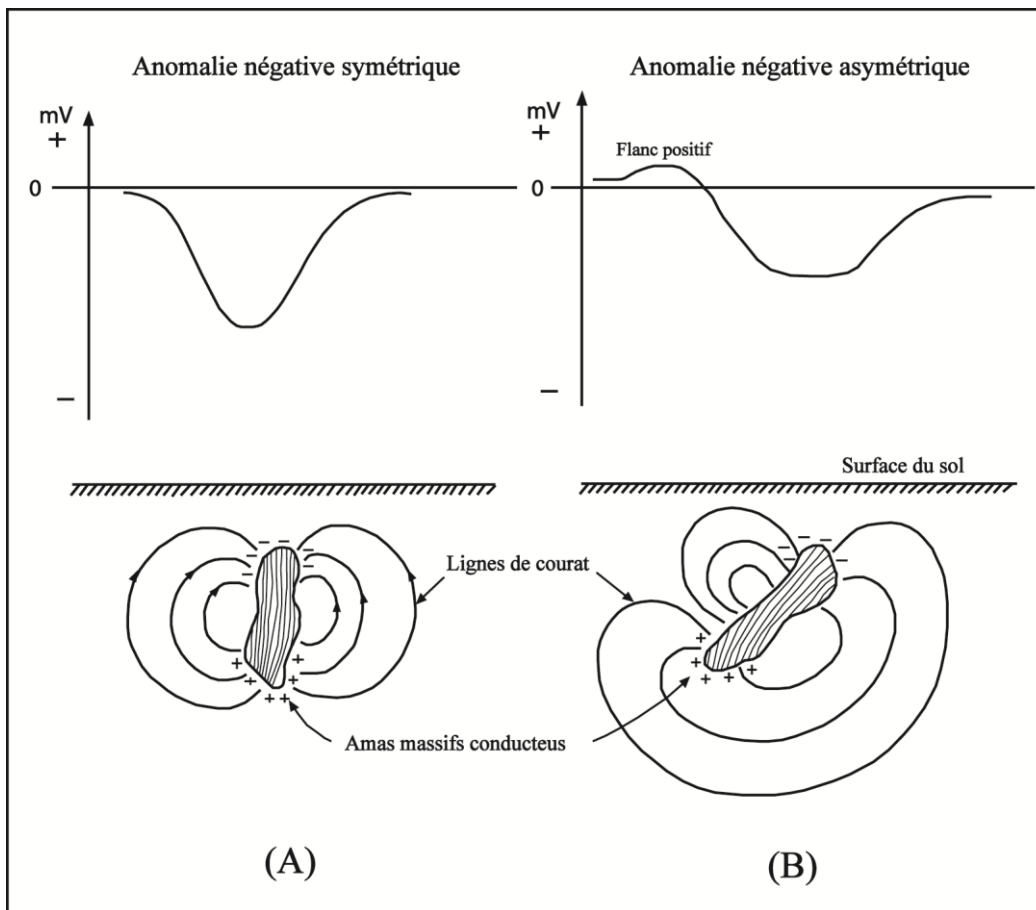


Figure 17: Principe de la polarisation spontanée BERTIN, J. 1969 «Modifiée»

1. Avantages de la polarisation spontanée

Cette méthode de prospection n'exige qu'un appareil récepteur extrêmement simple qui n'a pas besoin d'une grande sensibilité : un simple millivoltmètre pourrait suffire.

Les mesures sont rapides, ce qui permet de couvrir de grandes surfaces un coût relativement faible. La PS est une méthode de recherche directe qui s'applique aux gisements massifs à conductibilité électronique, possédant une bonne continuité électronique. Parmi les minéraux détectés citons :

- la pyrite et la pyrrhotine, fréquemment associées à d'autres substances: or, argent, sulfure de cuivre, galène, blende, représentant seules une valeur commerciale; cela ne change rien au phénomène pourvu que la continuité électrique du gisement subsiste; en somme, grâce à la pyrite, un grand nombre de minerais mixtes sont susceptibles d'être décelés par PS.
- les sulfures de cuivre : chalcopryrite, chalcosine, covelline, sont conducteurs et fréquemment continus.

- La galène, sous réserve de présenter une continuité minérale suffisante.
- Certains minerais de manganèse.

2. Inconvénients de la PS

Bien que méthode directe, la PS n'est pas sélective et ne permet pas d'identifier la nature des minéraux contenus dans un minerai. D'autre part, elle se prête assez peu à des interprétations quantitatives permettant de préciser les paramètres géométriques des gisements.

La PS ne s'applique pas aux minéralisations disséminées, même quand les minéraux présentent isolément une conductibilité électronique.

La PS fournit des résultats assez pauvres sur certains types de gisements qui paraissent massifs mais dont les grains conducteurs sont séparés par une pellicule microscopique de gangue isolante (baryte, calcite, quartz); c'est le cas parfois des gisements de magnétite, galène, mispickel et des arsénio ou antimonio-sulfures.

Les minerais carbonatés et silicatés ne sont P métalliquement conducteurs et ne fournissent pas de PS, Il en est de même de la majorité des oxydes parmi les sulfures, de la blende et de la stibine.

Par contre, le graphite provoque le plus souvent de fortes réactions PS. Comme ils ne présentent en général aucune valeur commerciale, l'interpréteur devra être très prudent et utiliser toutes les données géologiques à sa portée pour éviter des erreurs de diagnostic (les schistes graphiteux sont très répandus).

Enfin, il faut se méfier, comme nous l'avons vu, des anomalies PS dues à l'électrocapillarité et à des variations électrolytiques superficielles.

III. LEVE GRAVIMETRIQUE

Dans ce qui suit, le principe théorique de la gravimétrie est inspiré du manuel, Géophysique : Cours et exercices corrigés de Dubois et al. 2011. La gravimétrie consiste à mesurer, étudier et analyser les variations dans l'espace et dans le temps du champ de pesanteur de la Terre et des autres corps du système solaire (Dubois et al.2011). Elle est étroitement liée à la géodésie, qui a pour objet l'étude de la forme de la Terre, la mesure de ses dimensions et de ses déformations.

La gravimétrie est l'une des disciplines fondamentales de la géophysique. Son champ d'application couvre différents objectifs, parmi lesquels on peut citer :

- L'étude de la structure interne à diverses échelles.
- L'étude des anomalies gravimétriques permet également de caractériser le comportement mécanique de la lithosphère.
- L'étude des variations temporelles de la pesanteur relève historiquement du domaine des marées terrestres, il s'agit des variations de la pesanteur dues principalement à l'action de la Lune et du Soleil sur le globe terrestre.
- Les changements au cours du temps de la répartition des masses dans le système Terre modifient la pesanteur et le géoïde.
- Enfin, la connaissance du champ de pesanteur à la surface du globe est indispensable à de nombreuses applications de géodésie spatiale, comme la connaissance des orbites des satellites artificiels.

La densité est le paramètre physique principal en gravimétrie. Ce paramètre varie en fonction de la nature des milieux géologiques. Le but de la méthode est la détermination de la nature géologique du sol à l'aide de la variation du champ gravifique terrestre. Une déformation géologique quelconque, tels que anticlinaux, synclinaux, failles ou remplissage quaternaire mettant en jeu des roches de densités différentes peut être décelée par l'étude du champ gravifique terrestre. (IDECHA, I&BENTAYEB, C. 2020)

A. Corrections et anomalies gravimétriques

Les mesures de la pesanteur à la surface de la Terre diffèrent généralement des valeurs théoriques calculées sur l'ellipsoïde de référence. Il est intéressant de pouvoir comparer ces deux valeurs pour avoir accès à des anomalies gravimétriques. Cependant, nous sommes confrontés à certains problèmes qu'il faudra résoudre.

En premier lieu, il faut rappeler que la valeur théorique est calculée sur l'ellipsoïde de référence, or, bien généralement les mesures faites à la surface de la Terre ne sont pas sur cet ellipsoïde. Il faut donc tenir compte de la distance entre la surface où l'on connaît la valeur théorique et celle où on la mesure. De plus, le modèle qui nous a servi pour calculer la valeur théorique de la pesanteur ne tient pas compte de la présence de masses entre ces deux surfaces. Il va donc falloir appliquer des corrections sur la valeur théorique pour pouvoir comparer véritablement valeur théorique et mesurée de la pesanteur. Les trois principaux types de corrections sont la correction à l'air libre, la correction de plateau et la correction topographique. Notons qu'il existe d'autres corrections mais qui s'appliquent dans des cas très particuliers comme la réalisation de mesures aéroportées, prises d'un bateau, etc.

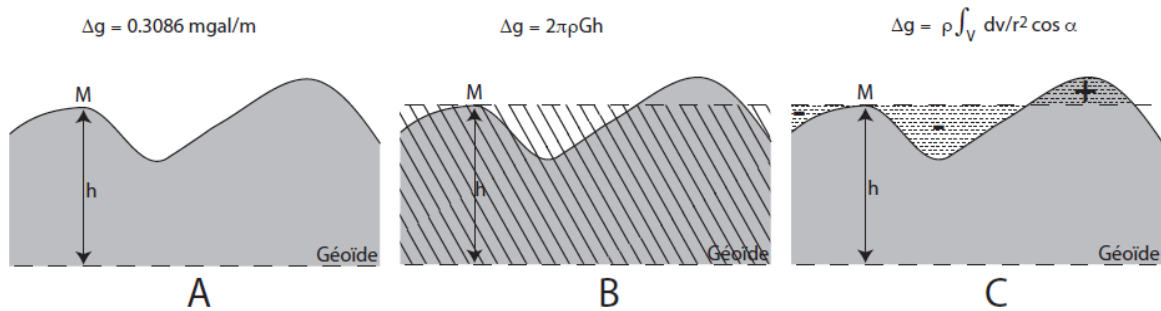


Figure 18: Les différentes corrections gravimétriques : A la correction à l'air libre, B la correction de plateau et C la correction topographique, avec M le point de mesure.

1. La correction à l'air libre

La correction à l'air libre permet de ramener la valeur théorique calculée sur l'ellipsoïde g_0 à l'altitude z à laquelle la mesure g_z a été faite. On néglige dans ce cas les masses situées au-dessus du niveau de référence. Le gradient vertical du champ de pesanteur est à peu près constant sur la Terre et vaut $0,3086 \text{ mGal/m}$. Rappelons que l'intensité du champ diminue avec l'altitude.

2. La correction de plateau

La correction de plateau permet de soustraire l'effet des masses situées entre le point de mesure et l'ellipsoïde. La perturbation générée par des terrains de densité ρ situés à une altitude z est assimilée à celle d'un plateau d'épaisseur z , elle s'exprime de la manière suivante :

$$\Delta g = 2\pi\rho Gh \dots\dots\dots (IV.1)$$

$$\Delta g = 0,0419\rho h \dots\dots\dots (IV.2)$$

Avec h exprimé en mètres.

La correction de plateau doit toujours être effectuée sur la valeur théorique.

3. La correction topographique

La correction topographique prend en compte les reliefs présents à proximité du point de mesure. Ce relief, que ce soit un creux ou une bosse, a toujours un effet gravitationnel dirigé vers le haut et fait, par conséquent, diminuer la valeur de la pesanteur au point de mesure. Il faut donc ajouter l'effet du relief à la valeur théorique. La contribution du relief est proportionnelle à la densité ρ par l'intermédiaire d'un terme T , celui-ci s'obtient par un calcul complexe ($T = \int_V \frac{dv}{r^2} \cos\alpha$). On utilise généralement un modèle numérique de terrain pour calculer ce terme.

En appliquant ces corrections on a donc accès aux anomalies gravimétriques. Deux principaux types d'anomalies ont été définis :

4. L'anomalie à l'air libre

Cette anomalie résulte de la différence entre la valeur de la pesanteur mesurée et la valeur théorique corrigée de la correction à l'air libre. Elle présente le désavantage, pour des faibles longueurs d'ondes, d'avoir plutôt une signature corrélée à la topographie. C'est souvent la plus utilisée en domaine marin.

$$A_{\text{air libre}} = g_m - (g_0 - 0.3086h) \dots\dots\dots (IV.1)$$

Avec h orienté vers le haut et exprimé en mètres.

5. Les anomalies de Bouguer

Les anomalies de Bouguer permettent de tenir compte de l'effet gravitationnel des masses situées entre l'ellipsoïde et le point de mesure. On différencie l'anomalie de Bouguer simple de l'anomalie de Bouguer complète. L'anomalie de Bouguer simple est la différence entre la valeur mesurée de la pesanteur et la valeur théorique corrigée des corrections à l'air libre et de plateau.

$$A_{\text{Bouguer simple}} = A_{\text{air libre}} - 0.0419\rho h \dots\dots\dots (IV.1)$$

$$A_{\text{Bouguer simple}} = g_m - (g_0 - 0.3086h + 0.0419\rho h) \dots\dots\dots (IV.2)$$

Pour l'anomalie de Bouguer complète, on applique en plus les corrections de terrain. Cette anomalie révèle les hétérogénéités de masses situées sous la surface topographique. C'est cette anomalie que l'on utilisera préférentiellement pour des études d'échelle crustale à lithosphérique.

$$A_{\text{Bouguer complète}} = A_{\text{Bouguer simple}} + \rho T \dots\dots\dots (IV.3)$$

$$A_{\text{Bouguer complète}} = g_m - (g_0 - 0.3086h + 0.0419\rho h - \rho T) \dots\dots\dots (IV.4)$$

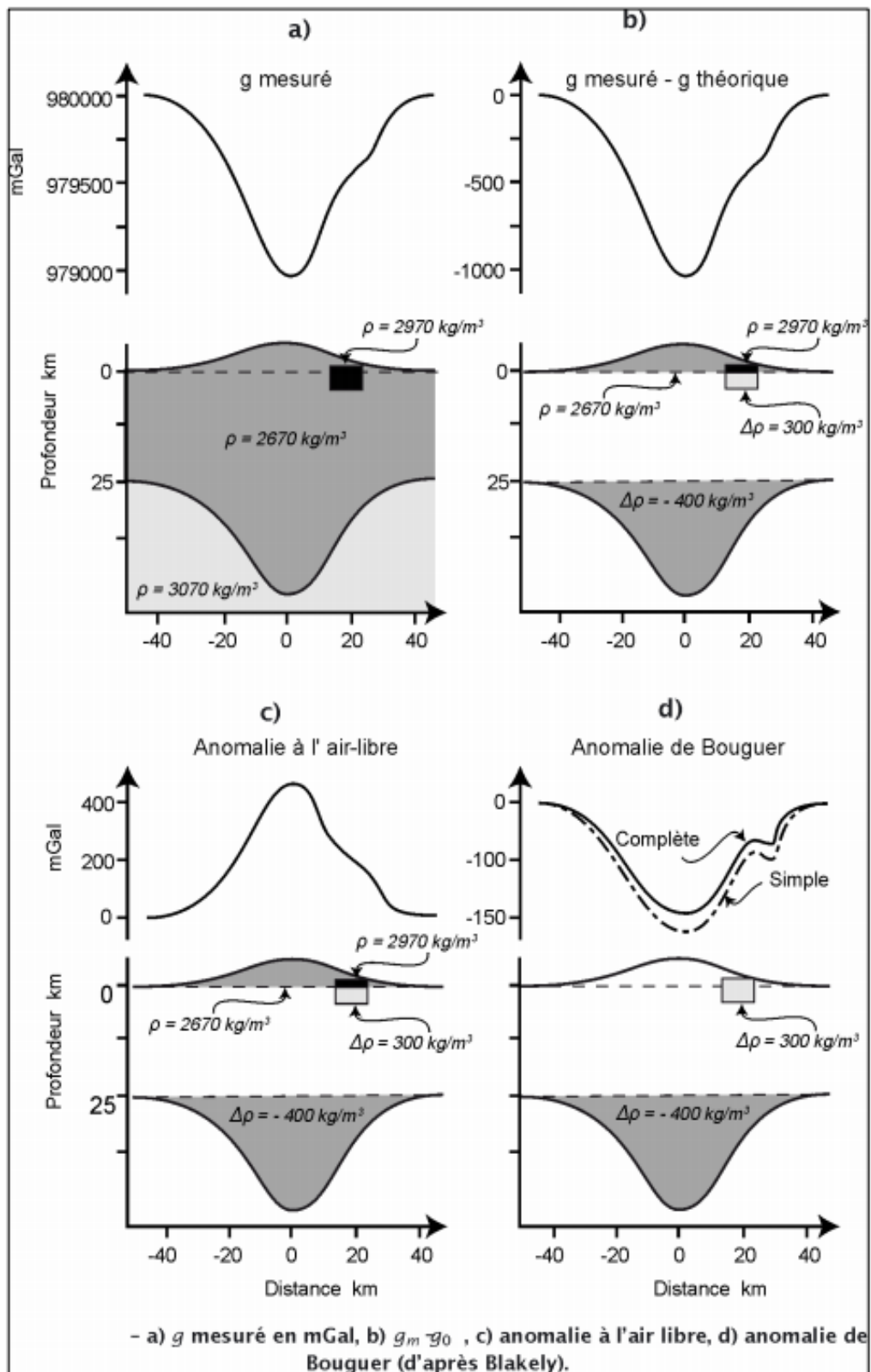


Figure 19: a) g mesuré en mGal, b) $g_m - g_0$, c) anomalie à l'air libre, d) anomalie de Bouguer (d'après Blakely)

IV. LA PROSPECTION MAGNETIQUE

- Basée sur le champ magnétique terrestre et sur la susceptibilité magnétique des minéraux composant les roches.
- La susceptibilité est la propriété qu'ont certains matériaux à devenir aimantés en présence d'un champ magnétique ambiant et à créer un champ magnétique secondaire.
- La prospection magnétique consiste donc à chercher et à localiser les roches, les formations, les gisements par les anomalies ou variations locales qu'ils produisent dans le champ terrestre.
- La plupart des minéraux ont une susceptibilité magnétique très faible ou même nulle sauf la magnétite (Fe_3O_4) et quelques minéraux plus rares.
- Heureusement, la magnétite est présente dans presque toutes les roches en quantité plus ou moins grande, une fraction de 1% étant détectable.
- La teneur en magnétite a tendance à être à peu près constante dans une même formation quoiqu'elle peut varier d'une formation de même type de roche à une autre.

Même si la présence de minéraux magnétiques est facilement détectable par la prospection magnétique, il est généralement impossible d'évaluer les possibilités économiques d'un gisement en se basant sur les données magnétiques seules.

La magnétite a une susceptibilité de beaucoup supérieure aux autres matériaux ferriques et les données magnétiques reflètent surtout sa concentration. Ainsi une faible quantité de magnétite dans une roche non-magnétique peut donner une anomalie beaucoup plus importante qu'un dépôt.

- En général, plus une roche est basique, plus la teneur en magnétite est haute, donc plus la susceptibilité est haute.
- La gamme de valeurs possibles de la susceptibilité d'un type de roche est relativement large et recouvre les valeurs d'autre type de roches. Il est donc impossible d'identifier avec certitude la roche en se basant seulement sur sa susceptibilité (Chouteau, M. 2002).

A. Principe

La Terre possède un champ magnétique pouvant être assimilé à un aimant droit (dipôle). Il existe des variations de la valeur du champ magnétique dues, par exemple, à la composition du sous-sol. Ces variations sont appelées anomalies magnétiques.

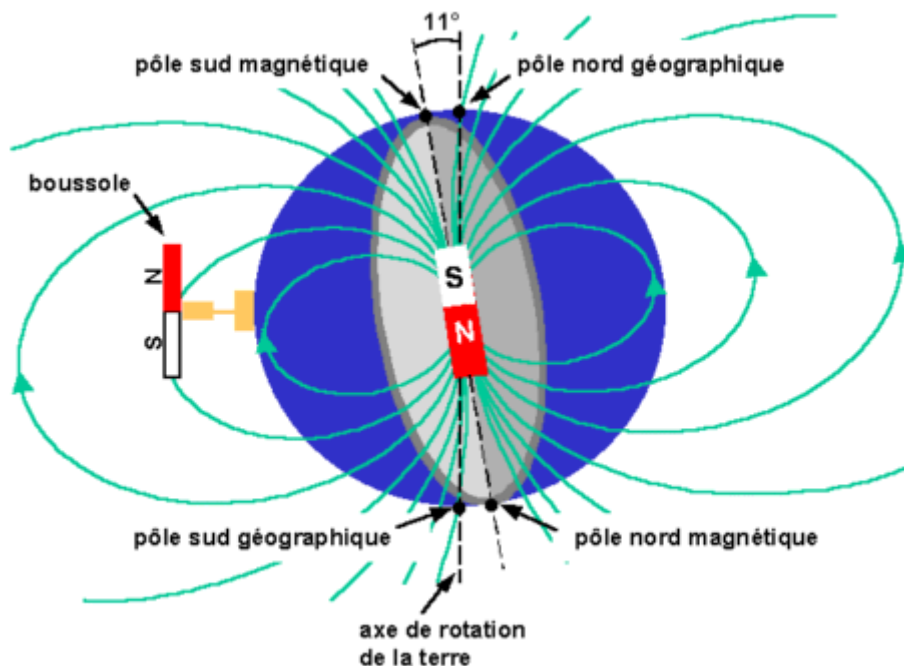


Figure 20: Le champ magnétique terrestre (Université Paul Sabatier, 2000)

La prospection magnétique est basée sur le champ magnétique et la susceptibilité magnétique des minéraux. La méthode consiste à chercher et localiser les roches, formations et gisements en se basant sur des anomalies magnétiques. La plupart des minéraux ont une susceptibilité magnétique très faible voir même nulle exceptée la magnétite (Fe_3O_4) et quelques autres minéraux plus rares. Heureusement, la magnétite est présente dans presque toutes les roches en quantité plus ou moins importante, une fraction de 1% étant détectable. L'unité du système international pour mesurer l'intensité du champ magnétique est le Tesla "T" mais l'unité couramment utilisée est le gamma " γ " tel que:

$$1\gamma = 1 \cdot 10^{-9} T$$

<http://forumbachelor.free.fr/gma/GMA1/index.php?page=5>

B. Le magnétisme d'une roche

Le magnétisme d'une roche peut avoir été acquis lors de sa création ou lors de l'évolution qu'elle a subie sous l'influence du champ magnétique ancien (aimantation rémanente), ou être induite par le champ magnétique actuel (champ ambiant). Dans ce dernier cas, l'aimantation est dirigée selon le champ magnétique terrestre et lui est proportionnelle. Le coefficient de proportionnalité définit la susceptibilité magnétique du matériau ou du milieu. La susceptibilité dépend de la teneur de la roche en minéraux magnétiques, principalement la magnétite et la pyrrhotite. Par exemple, les roches mafiques et ultramafiques contiennent plus de magnétite que les roches felsiques, métamorphiques et sédimentaires. Les géologues se servent souvent des données aéromagnétiques pour élaborer une carte des contacts qui existent entre ces unités géologique.

Tableau 3: Susceptibilité magnétique de quelques matériaux et roches, en unités Système International (pour convertir en unités CGS, il faut diviser par 4π)

Matériel	Susceptibilité (par 10^3 SI)
Air	≈ 0
Quartz	-0.01
Sel	-0.01
Calcite	-0.001-0.01
Pyrite	0.05-5
Hématite	0.5-35
Ilménite	300-3500
Magnétite	1200-19200
Calcaire	0-3
Grès	0-20
Argile	0.01-15
Schiste	0.3-3
Gneiss	0.1-25
Granite	0-50
Gabbro	1-90
Basalte	0.2-175
Péridotite	90-200

<http://www.mines.edu>

CHAPITRE V :
METHODOLOGIE D'ACQUISITIONS DES DONNEES
GÉOPHYSIQUES

CHAPITRE V: METHODOLOGIE D'ACQUISITIONS DES DONNEES GOPHYSIQUES

I. INTROUDUCTION

Ce chapitre expose la méthodologie d'acquisition des données géophysiques de prospection électrique de détail en mode sondage électrique vertical (SEV), Profilement électrique symétrique (PES), profilement électrique combiné (PEC) et polarisation spontanée (PS) et les données de prospection magnétique et de gravimétrie.

II. PROSPECTION ELECTRIQUE

Les mesures ont été faites moyennant un auto-compensateur ESK-I. Les piles de type 29-GRMTS- 12 et 69-GRMTS-6 servaient de sources d'alimentation. Au cours des travaux effectués par les méthodes de résistivité, on utilisait les électrodes en acier et en laiton et par la méthode du potentiel naturel - les électrodes NE-I de construction VIRG.

Les lignes de réception et d'alimentation ont été faites du fil GPSNPO.

A. Méthodologie d'acquisition des sondages électriques

Les sondages électriques verticaux (SEV) sont exécutés avec le pas distant de 40 à 800 m ($AB = 750 + 2000$ m). L'erreur d'observations était égale à 3,5 %.

Les écartements de l'installation suivant le profil ont été choisis sur la base des sondages verticaux et égaux à $AB = 60$ m, $MN = 20$ m, $C = 2000$ m (Hameimat Sud) et à $AB = 120$ m, $MN = 40$ m, $C = 2000$ m (Hameimat Nord).

Les profils électriques symétriques ont été effectués avec l'écart de $AB = 120$ m et $MN = 40$ m. La distance entre les profils était égale à 500 m et le pas - 40 m. Erreur d'observation était égale à 2,8 %.

B. La polarisation spontanée

La méthode du champ électrique est réalisée à l'aide du procédé du potentiel avec le pas de 20 m. Les endroits de l'emplacement des électrodes fixes ont été rattachés entre eux-mêmes. La précision du levé était de 5 mv. La méthode de polarisation provoquée exécutée au moyen d'un dispositif et des piles GRMTS- 69 a été arrêtée à cause de la valeur insignifiante du courant d'alimentation (0,23 A).

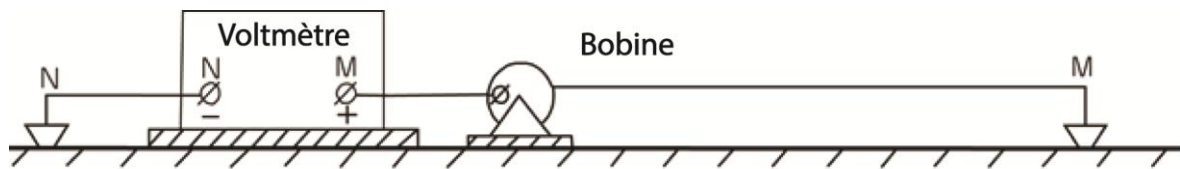


Figure 21: Schéma de principe de la méthode de polarisation spontanée avec le procédé de potentiel (d'après Elctrorazvedka en russe)

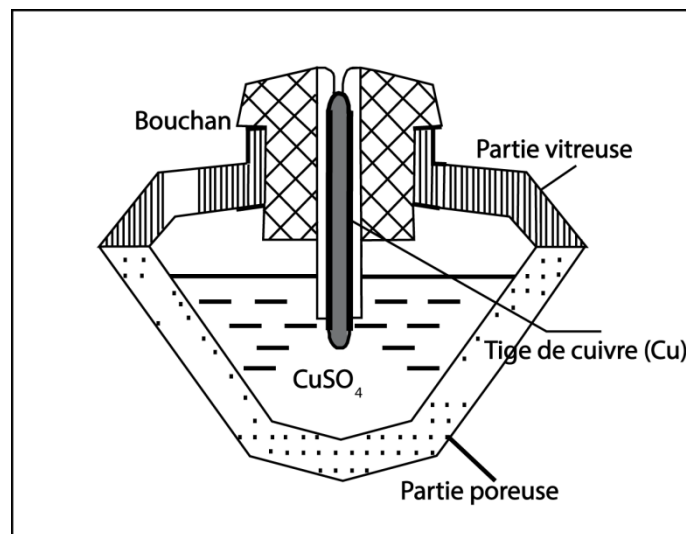


Figure 22: Electrode impolarisable (d'après Elctrorazvedka en russe)

III. LEVE GRAVIMETRIQUE DES HAMEIMATS

A. Description du levé gravimétrique

Le levé a été effectué à l'aide du gravimètre GAK-7T. Avant le début du levé, on a fait d'abord le réseau de base avec une précision $\pm 0,03$ mgal. (Trajote triples).

On faisait les observations communes sur deux régions suivant le réseau 100 x 40 m avec une précision $\pm 0,03$ mgal. La convergence intérieure des trajets était de $\pm 0,34$ mgal, Les anomalies de Bouguer sont calculées avec la densité de la couche intermédiaire ($2,67 \text{ g / cm}^3$), La correction de relief n'a pas été introduite.

B. Prospection magnétique

Les travaux ont été réalisés à l'aide du magnétomètre M - 27 avec la précision de 20 à 50 = Chaque terrain a été étudié à partir de son point de contrôle. Les mesures de contrôles ont fait 2,5 %, la précision du levé $\pm 4,0$ gammes.

CHAPITRE VI :
RESULTATS ET INTERPRETATIONS DES DONNEES
GEOPHYSIQUES

CHAPITRE VI : RESULTATS ET INTERPRETATIONS DES DONNEES

GEOPHYSIQUES

I. INTRODUCTION

Nous avons repris tous les travaux géophysiques de prospection électrique, de gravimétrie et de prospection électrique. Ces travaux ont été exécutés par des spécialistes soviétiques et algériens en 1973. Dans ce chapitre sont exposés les résultats des travaux géophysiques réalisés sur les massifs de Hameimat Nord et Hameimat Sud. Les méthodes géophysiques utilisées sont : 1) la prospection électrique en mode sondage électrique vertical (SEV), Profillement électrique symétrique (PES), profillement électrique combiné (PEC) et polarisation spontané (PS) 2) La gravimétrie et 3) le magnétisme.

II. INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

Pour une bonne compréhension des résultats issus de la prospection électrique, il est nécessaire d'analyser la géologie locale du secteur d'étude afin d'établir une corrélation optimale. Où la corrélation des données des sondages électriques avec la géologie de surface. Pour cela l'étalonnage des mesures électriques a été fait à partir des cartes géologiques de Hameimat Nord et Hameimat Sud.

III. ETUDE GEOPHYSIQUE PAR PROSPECTION ELECTRIQUE

Les études géophysiques ont été réalisés à l'aide des méthodes de sondage électrique vertical avec le pas de 100 à 200 m, le profilage combiné selon la maille 200 x 40 m et de champ électrique naturel suivant la maille 100 x 20 m sur la superficie de 1.52 km² (Hameimat Nord) et 1.14 km² (Hameimat Sud). Sur le territoire limitrophe, on a effectué les profils électriques symétriques d'après la maille 500 x 40 sur l'étendue de 11.2 km².

A. Interprétation des cartes de résistivités

1. Carte des résistivités apparentes de Hamiemat Nord

La carte de la résistivité apparente du massif de Hameimat nord est illustrée sur la figure 23 La palette de couleur de cette carte est en arc en ciel, rainbow en anglais (du bleu vers le rouge).

Les valeurs de la résistivité apparente varient entre un minimum de 5 Ω m et un maximum de 200 Ω m (voir palette de couleur).

Les valeurs minimales (2 à 50 Ω m) sont observées au nord et dans quelques endroits de la zone d'étude. Ces valeurs sont en relation avec la présence des formations marneuses du

Cénomaniens et les alluvions du Quaternaire. Les valeurs résistantes (50 -200 Ω m) sont situées sur une bande NW-SE et corrélient bien avec les affleurements des calcaires (Aptien-Vraconien Albien). Notons que ces calcaires sont épaisses au SE de la carte.

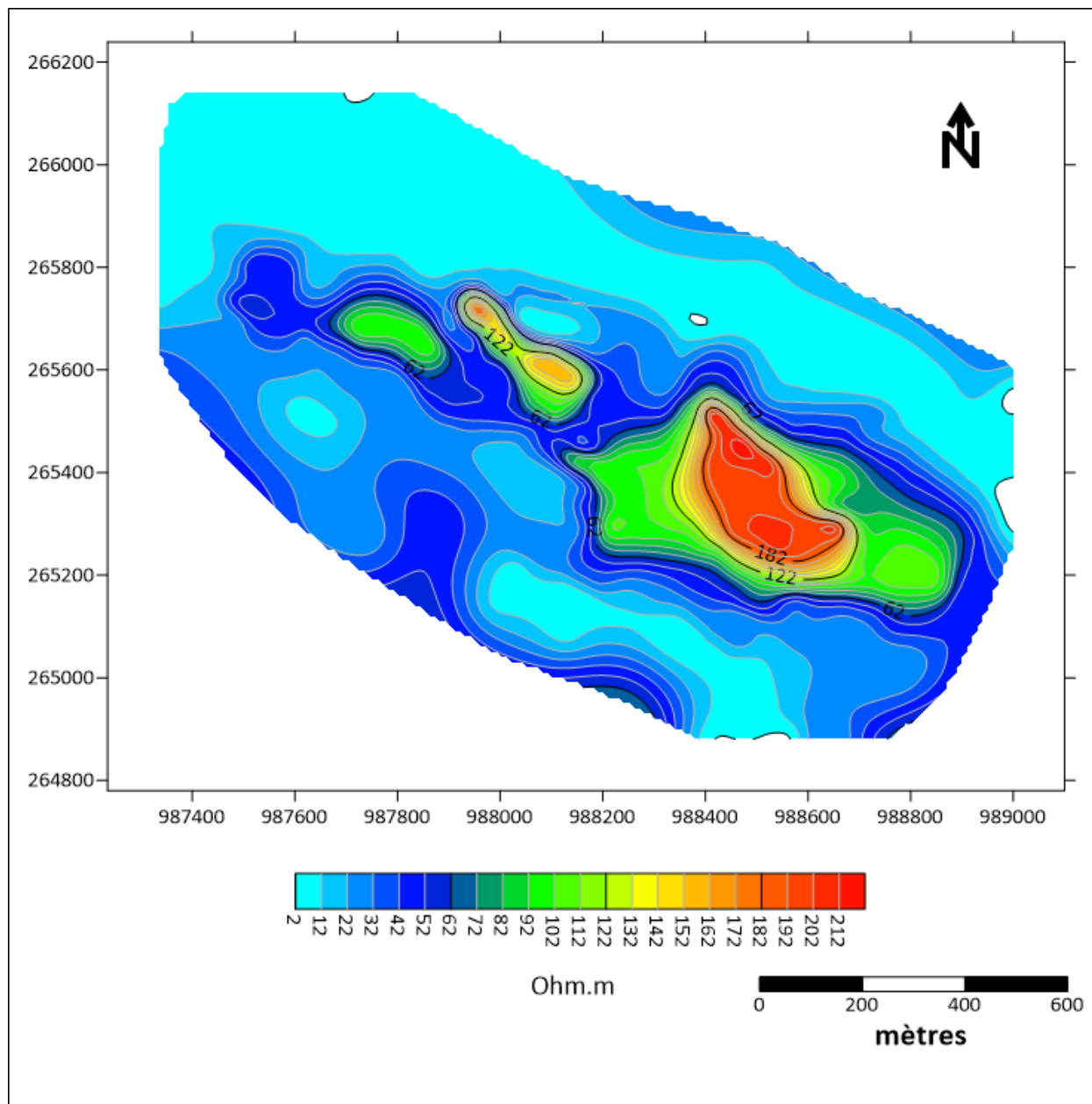


Figure 23: Carte d'iso-résistivités de Hameimat Nord

2. Carte des résistivités apparentes de Hamiemat Sud

Concernant la carte des résistivités de Hameimat Sud (Figure 24). Nous observons la résistivité est très élevée de 2000 Ω m et peu chut inférieure de 100 Ω m au nord et dans quelques endroits au sud, est et ouest de massif.

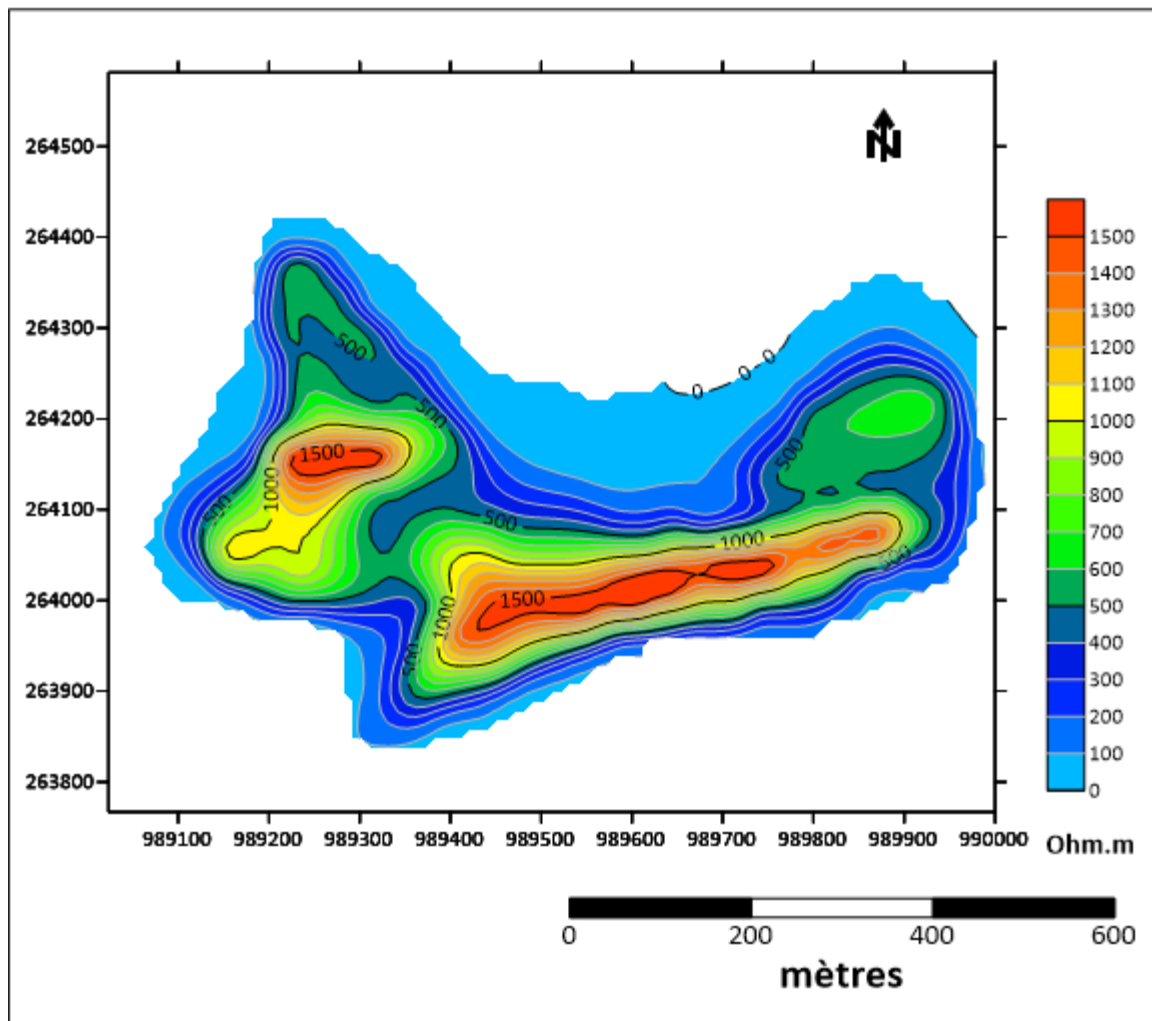


Figure 24: Carte d'iso-résistivités de Hameimat Sud

B. Les interprétations des PEC et PES

1. Les profillements (trainés) de Hameimat Nord

Voir les profillements de Hameimat nord (Annexe 3) et leur position sur la figure 35 (Annexe 2).

a. Profil 1

Les profillements électriques symétriques (PES) et combinés (PEC) ont été réalisés sur les piquets allant de 9 à 20. La valeur maximale est enregistrée sur le piquet 12 ($\approx 10 \Omega$) et la valeur minimale est enregistrée sur le piquet 20 ($\approx 4,5 \Omega$). Ces valeurs correspondent aux marnes.

b. Profil 02

Les mesures de résistivité apparente ont été réalisées sur les piquets 6 à 20. La valeur minimale ($\approx 2 \Omega$) et la valeur maximale ($\approx 32 \Omega$) sont enregistrées sur les stations 17 et 32 respectivement. Ces valeurs correspondent aux marnes et aux marno- calcaires.

c. Profil 3 et 4

Les relevés de résistivité apparente des profils P3 et P4 ont été réalisés sur les piquets 3 à 21. Sur le début de chaque profil la résistivité est inférieure à 50 Ω m correspondant aux marnes. La résistivité des calcaires est supérieure à 50 Ω m. A la fin des P3 et P4 les valeurs de résistivité correspondent aux marnes et aux marno-calcaires cénomaniens.

d. Profil 05

Les valeurs de la résistivité apparente sur ce profil ont été réalisées sur les piquets 1 à 20.

Au début du profil, les valeurs ne dépassent pas 50 Ω m c'est-à-dire, la formation sédimentaire est marneuse, entre les piquets 7 et 14 la résistivité est supérieure à 50 Ω m donc, elle corrèle avec les calcaires. A la fin du profil, les formations sédimentaires correspondent aux marnes et/ou à des marno-calcaires car la résistivité est inférieure à 50 Ω m.

e. Profil 06

Le trainé de résistivité a été réalisé sur la totalité du profil (stations ou piquets de 0 à 20). Les valeurs de la résistivité qui oscillent entre (13 et 50 Ω m), correspondent aux marnes, alors que les valeurs entre 50 et 200 Ω m correspondent aux calcaires. A la fin de ce profil, les valeurs minimales correspondent aux marnes et/ou à des marno-calcaires.

f. Profil 07

Les valeurs de la résistivité ont été mesurées sur les piquets allant de 2 à 20. La résistivité élevée entre 70-300 Ω m correspond sans doute aux calcaires de l'Aptien et de l'Albien. Les faibles résistivités correspondent aux formations du quaternaire et aux marnes du Cénomaniens.

g. Profil 08

Le relevé de résistivité apparente a été réalisé sur les piquets allant de 2 à 20. Au début du profil, la résistivité est faible, elle correspond aux formations du quaternaire. Ensuite, la résistivité augmente jusqu'à 132 Ω m, cette valeur correspond aux calcaires, surtout les calcaires de l'Albien. Les formations triasiques sont caractérisées par une résistivité faible. A la fin du profil, la résistivité est inférieure à 50 Ω m, cela signifie que les formations sédimentaires sont marneuses d'âge Cénomaniens.

h. Profil 09

Le relevé de résistivité a été réalisé sur les piquets 0 à 20. Au début, il y a une faible résistivité du piquet 0 à 8 : elle est inférieure à 40 Ωm , correspondant aux formations du Quaternaire (limons), les résistivités élevées correspondent aux calcaires de l'Aptien et des calcaires de l'Albien. La présence de formation triasique entraîne une diminution de la résistivité. A la fin du profil, la résistivité est très faible, c'est-à-dire il y a des formations marneuses.

i. Profil 10 et 11

Les mesures de résistivité apparente ont été réalisées sur les piquets 0 à 19 du profil 10 et les piquets 0 à 17 du profil 11. Au début de chaque profil, les valeurs des résistivités sont faibles, elles correspondent aux formations du Quaternaire, ce serait probablement des limons récents. Les résistivités élevées correspondent aux calcaires de l'Aptien et de l'Albien. Ensuite, les résistivités diminuent et correspondent aux marnes du Cénomaniens.

Le relevé de trainé électrique a été réalisées sur les piquets 0 à 20. Les grandes valeurs, correspondent aux formations des calcaires de l'Aptien et de l'Albien (50-172 Ωm), les petites valeurs correspondent aux (limons et marne du Cénomaniens).

j. Profil 13

Le relevé de résistivité apparente a été réalisé sur les piquets allant de 0 à 19. Les valeurs observées de résistivité sont entre 3-300.3 Ωm . Au début, la résistivité est faible, donc les formations sédimentaires sont des limons. Ensuite, la résistivité augmente, ceci explique la présence d'autres formations, ces valeurs entre 50-300.3 Ωm , correspondent aux calcaires de l'Aptien. A la fin, la résistivité est faible, elle est inférieure à 10 Ωm , donc elle correspond aux formations des marnes cénomaniennes.

k. Profil 14 et 15

Les mesures de résistivité de chaque profil ont été réalisées sur les piquets allant de 0 à 17. Les grandes valeurs de la résistivité de chaque profil sont enregistrées sur les piquets 5 à 15, ces valeurs entre 50-300 Ωm correspondent aux calcaires de l'Aptien. Les petites valeurs du profil 14 correspondent aux marnes et du profil 15 correspondent aux marno-calcaires et marnes.

l. Profil 16

Les mesures de résistivité ont été réalisées sur les piquets 0 à 17. Au début, la résistivité est inférieure à 50 Ωm , elle correspond aux formations du Quaternaire et aux marnes.

L'augmentation de la résistivité explique la présence des calcaires (Aptien, Albien). A la fin du profil, les valeurs de la résistivité sont petites, elles correspondent aux marnes.

m. Profil 17 et 18

Les valeurs de la résistivité ont été réalisées sur profil 17 sur les piquets 3 à 20, et le profil 18 sur les piquets 5 à 20. La résistivité des calcaires est supérieure à 50 Ωm sur les deux profils. Sur le profil 17, les valeurs de la résistivité dépassent 200 Ωm , les petites valeurs sont enregistrées au début et à la fin de chaque profil. Ces valeurs correspondent aux limons et aux marnes.

2. Les profilements de Hameimat Sud

Voir les profilements de Hameimat Sud (Annexe 3) et leur position sur la figure 36 (Annexe 2).

a. Profil 25

Les profilements électriques (symétrique et combinés) ont été réalisés sur les piquets 40 à 62. La résistivité élevée (50- 90 Ωm) correspond aux calcaires. Les faibles résistivités sont entre 5.5 et 45 Ωm et correspondent à une formation sédimentaire marneuse et à des formations triasiques.

b. Profil 26

Les mesures de la résistivité ont été réalisées sur les piquets 39 à 61, les valeurs maximales entre les piquets 44 et 51 atteignent 1496 Ωm , elles correspondent à des calcaires et/ou à des dolomies. Les valeurs minimales entre 4-30 Ωm correspondent aux marnes et aux formations triasiques.

c. Profil 27

Les relevés de la résistivité ont été réalisées sur les stations 40 jusqu'au 59. Au début de profil, une résistivité entre 7 Ωm et 50 Ωm . Les valeurs maximales qui atteignent 3000 Ωm correspondent aux calcaires et/ou aux dolomies d'âge Aptien. A la fin du profil, la résistivité est faible, elle correspond aux marno-calcaires et/ou aux marnes.

d. Profil 28

Les profilements ont été réalisées sur les stations 39 à 61, les grandes valeurs sont enregistrées sur les premiers piquets ; ces valeurs atteignent 1403 Ωm , ce serait probablement des calcaires. Les petites valeurs sont enregistrées sur les derniers piquets, ces valeurs ne dépassent pas 15 Ωm et elles correspondent aux marnes.

e. Profil 29 et Profil 31

Les valeurs de la résistivité du profil 29 ont été réalisées sur les piquets 40 à 55 et sur le profil 31 sur les piquets 40 à 53. Les valeurs maximales du profil 29 avoisinent 4692 Ωm et celle du profil 4747 Ωm . Les valeurs minimales du P29 et P31 ne dépassent pas 30 Ωm . Ces valeurs correspondent successivement aux calcaires et aux marnes.

f. Profil 33

Les trois profiements ont été réalisées sur les piquets 40 à 61. Les valeurs maximums sont enregistrées au début de profil, elles atteignent 5000 Ωm . ces valeurs correspondent à des calcaires et à des dolomies. Entre les piquets 54 et 56, la résistivité est entre 3- 20 Ωm probablement des marno-calcaires et des formations triasiques. A la fin de profil il y a des calcaires.

g. Profil 35

Les valeurs de la résistivité ont été réalisées sur les piquets 39 à 61. Au début, la résistivité varie de 3 à 50 Ωm correspondant à des formations de marnes. La résistivité des calcaires est de plus de 50 Ωm . A la fin du profil, la résistivité des roches est entre 3.5 – 20 Ωm correspondant à des marnes/ marno-calcaires.

C. Comparaison entre les PES et les PEC

Les tableaux de (Annexe 4) représentent les résultats de comparaison entre les résistivités apparentes obtenues par le profilement électrique symétrique (PES) et la moyenne du deux profilements électrique combinés (PEC) sur les mêmes stations.

ρ_{PES} - Résistivité du profilement électrique symétrique (PES)

ρ_{AMN} - Résistivité du profilement électrique combiné (PEC) avec l'électrode A

ρ_{BMN} - Résistivité du profilement électrique combiné (PEC) avec l'électrode B

Différence entre la résistivité du PES et la moyenne des PEC:

$$\Delta\rho = \rho_{PES} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$$

Si : $|\Delta\rho| \approx 0$: Toutes les électrodes sont situées sur le même milieu géologique

Si $|\Delta\rho| \gg 0$: Les électrodes sont situées dans des milieux géologiques différents.

D. Etude géophysique par sondage électrique vertical

L'étude géophysique par sondage électrique des massifs de Hameimat a été réalisée dans l'espoir de recouper les formations Aptiennes en profondeur. L'interprétation des 22 sondages électriques a abouti à l'établissement de 3 coupes géo-électriques.

Les figures 39 et 40 (Annexe 1) montrent la position des sondages électriques superposés aux cartes géologiques de Hameimat Nord et de Hameimat Sud.

1. Coupe I- I

La coupe géo-électrique I- I (Figure 25) englobe les sondages (19, 20, 21, 22, 23 et 24) est orientée NNW – SSE. Le modèle géo-électrique montre 3 couches entre les sondages électriques verticaux 19-21, 4 couches entre les SEV 21-23 et 3 couches entre les SEV 23-24. Deux discontinuités (failles?) sont mises en évidence, elles séparent les sondages 21 et 22 ainsi que 23 et 24. La première couche entre les SEV 19-21 a une résistivité 7 Ω m, probablement des marnes. Les couches qui ont des hautes résistivités se trouvent entre les SEV (19-21, 21-23 et 23-24), probablement il s'agit de calcaires. Entre les SEV 21-23, la couche qui a une résistivité 25-80 Ω m, probablement des argiles, des argiles marneuses, grès, ou des marnes. Les couches profondes ont des résistivités inférieures à 100 Ω m.

2. Coupe II- II

La coupe géo-électrique II- II (Figure 26) est composée de 7 sondages (35 à 41). En profondeur, cette coupe montre qu'elle est à dominante argileuse, avec des résistivités inférieures à 40 Ω m, Probablement ces argiles sont d'âge triasique. La coupe est composée de formations relativement résistantes qui peuvent correspondre à des marnes ou à des marno-calcaires. Les sondages électriques verticaux 39-40 et 41 sont situés sur la jonction entre les deux massifs de Hameimat. Quatre discontinuités sont mises en évidence. Elles séparent les sondages 1 et 1A ainsi que 1B et 1C

3. Coupe III - III

La coupe III – III (Figure 27) est composée de 9 sondages électriques numérotés de 1 à 7, 14 et 11. Entre les sondages électriques verticaux 1-2, la couche a une résistivité 8-10 Ω m, probablement Marnes ou Argiles. En haut, une autre couche peu épaisse d'âge Quaternaire. Entre les sondages électriques verticaux 1-2 et 3-6, il y a des couches des hautes résistivités, probablement calcaires. Les couches profondes entre les SEV 1-7 et la première couche entre les SEV 7-11, probablement argiles. En profondeur, la couche entre les SEV 7-13 a une

résistivité à l'infinie, elle peut correspondre à du sel ou sel avec Argiles d'âge Triasique. Deux discontinuités sub-verticales sont mises en évidence entre les sondages 2 et 3, 6 et 7.

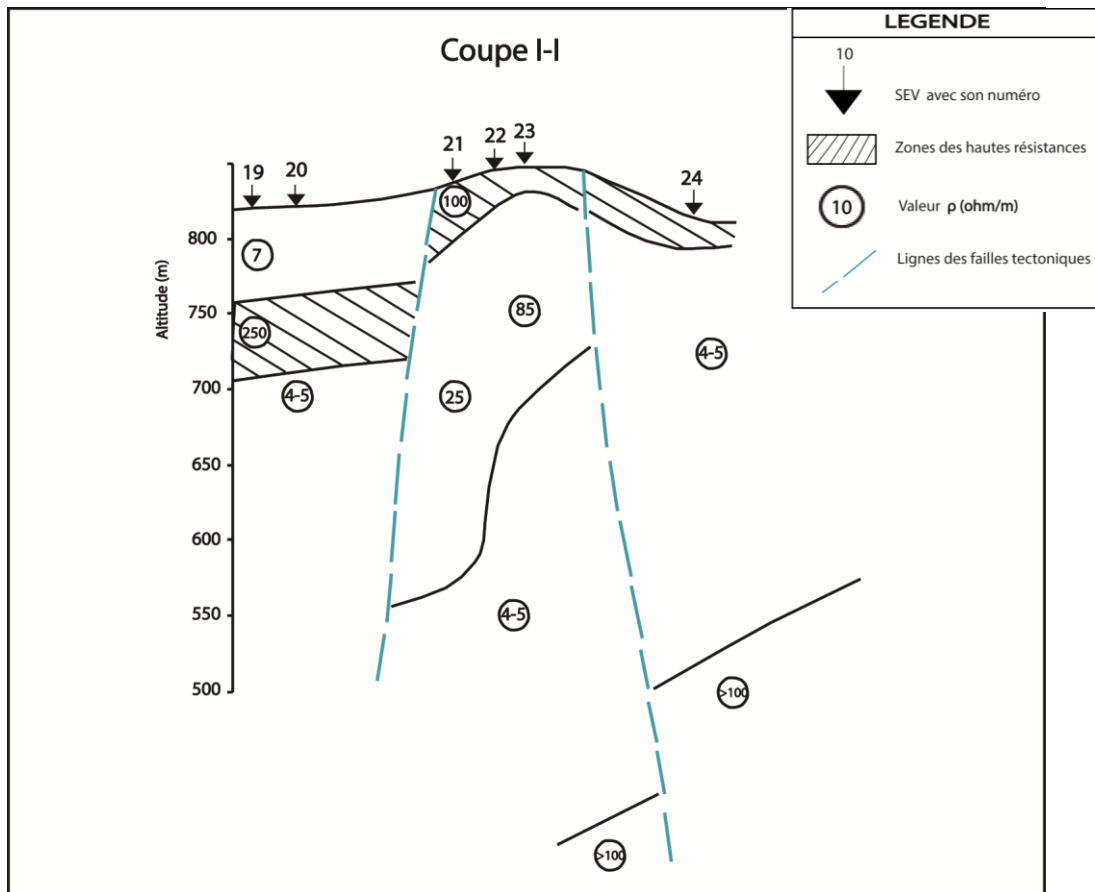


Figure 25: Coupe Géo-électrique des SEV I-I

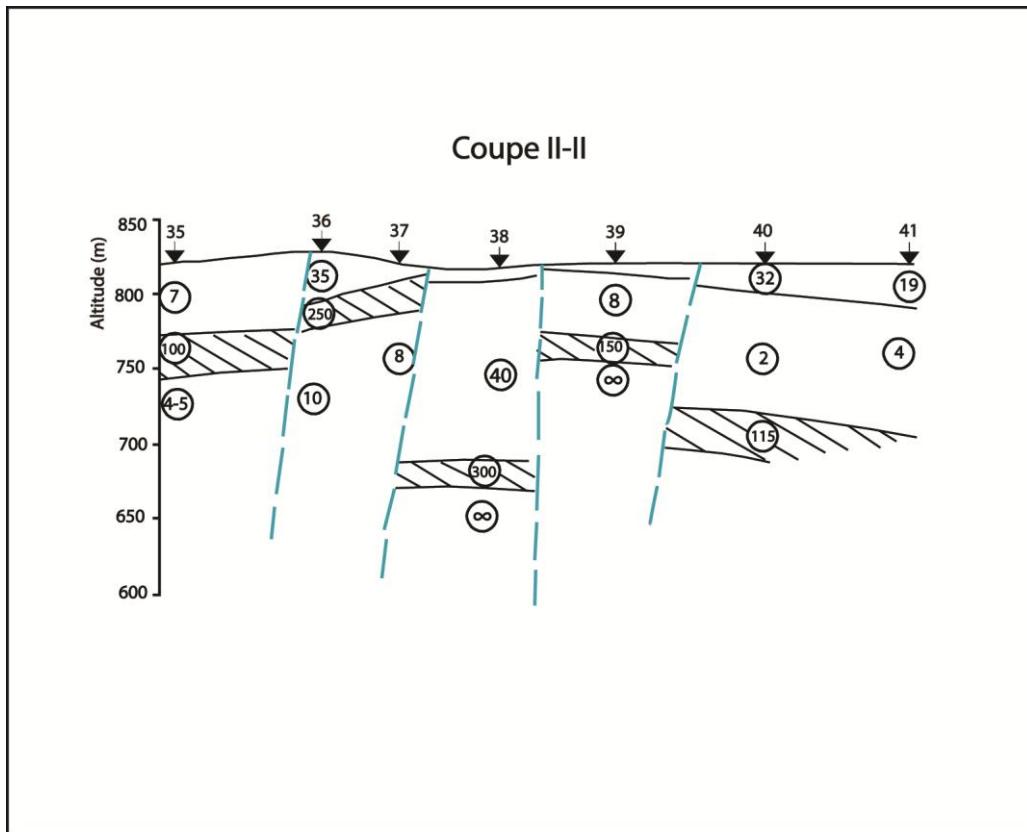


Figure 26: Coupe Géo-électrique des SEV II- II

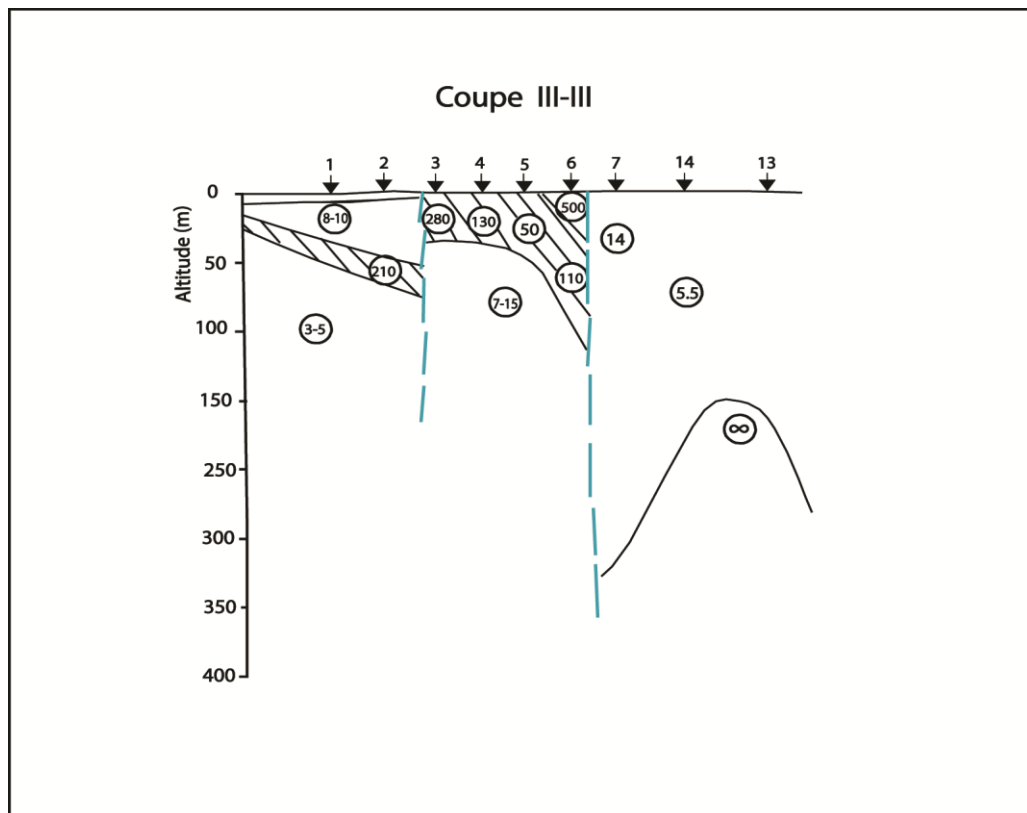


Figure 27: Coupe Géo-électrique des SEV III- III

E. Polarisation spontanée (PS)

La polarisation spontanée a été réalisée dans les Hameimat (Nord et Sud) pour les recherches des anomalies propices pour la mise en évidence des minéralisations polymétalliques.

1. La carte de polarisation spontanée de Hameimat Nord

. La polarisation spontanée a été réalisée sur les profils 0 à 18, La carte (Figure 28) montre des anomalies négatives. Ces valeurs sont enregistrées sur toute la région sauf une petite partie située au (NNW) de la région, Son intensité atteigne (-70mv). Lors de la comparaison des valeurs de la polarisation spontanée avec les valeurs de la résistivité sur les mêmes en droits, on a remarqué qu'elles se superposent et qu'elles correspondent probablement à des minéralisations en profondeur.

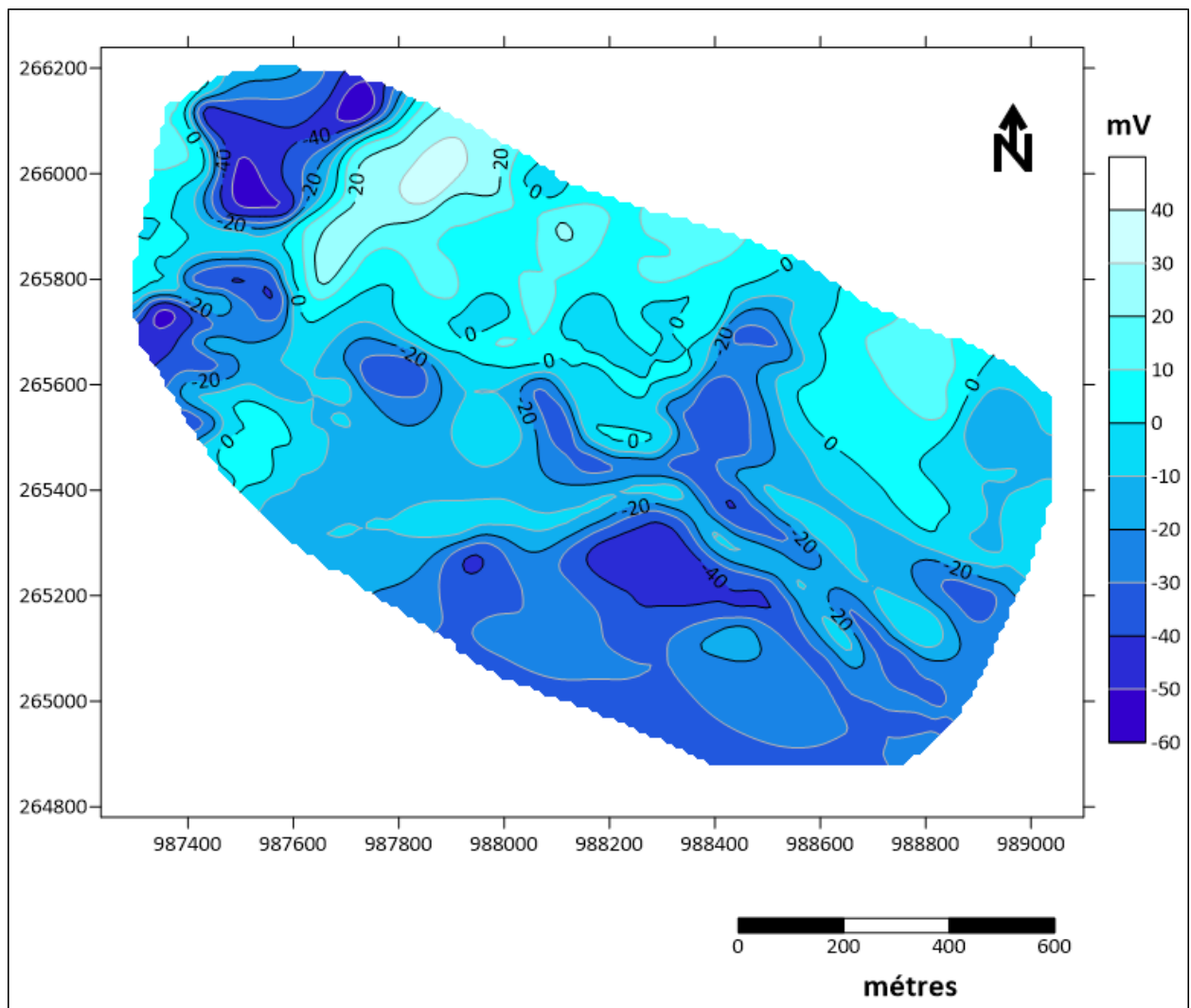


Figure 28: Carte de polarisation spontanée de Hameimat Nord

2. La carte de polarisation spontanée de Hameimat Sud

Cette carte (figure 29) a été réalisée sur les profils 35-37, En général les valeurs négatives sont enregistrées sur la partie sud de la zone d'étude. Une anomalie négative intéressante NW-SE mise en évidence son intensité atteint (-60mv). Lors de la comparaison des valeurs de la PS avec les valeurs de la résistivité sur les mêmes endroits, nous avons constaté qu'elles correspondent aux calcaires vraisemblablement minéralisés (des Oxydes, et /ou des sulfures métalliques).

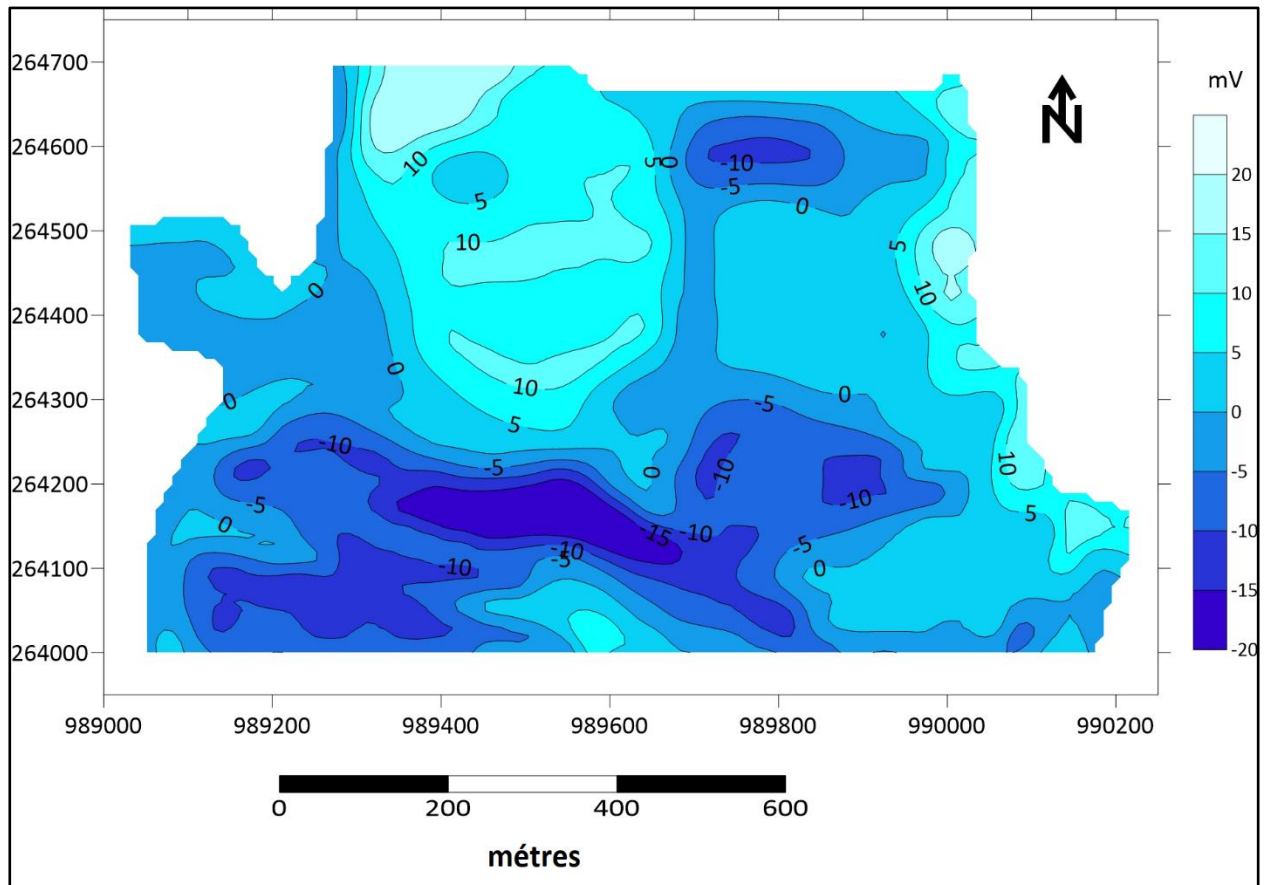


Figure 29: Carte de polarisation spontanée de Hameimat Sud

IV. ETUDE GRAVIMETRIQUE DES HAMEIMATS

A. Résultats de la gravimétrie de Hameimat Nord

La carte gravimétrique de l'anomalie de Bouguer avec une densité de réduction de 2.67 g/cm^3 est illustrée sur la figure 30. Les valeurs de l'anomalie de Bouguer varient entre un minimum de 8 mGal et un et un maximum de 16 mGal. On voit clairement sur cette carte un gradient régional qui augmente du SW vers le NE. Ce gradient représente vraisemblablement le passage entre le remplissage du fossé d'effondrement de Morsott (léger gravimétrique) et les formations du Crétacé situés dans la bordure du fossé (lourd gravimétrique).

Pour estimer le gradient régional, nous avons construit une régionale avec un polynôme du premier degré. La carte de l'anomalie régionale est représentée sur la figure 31. Elle montre un gradient de 8.5 à 16.9 mGal (voir la palette de la couleur).

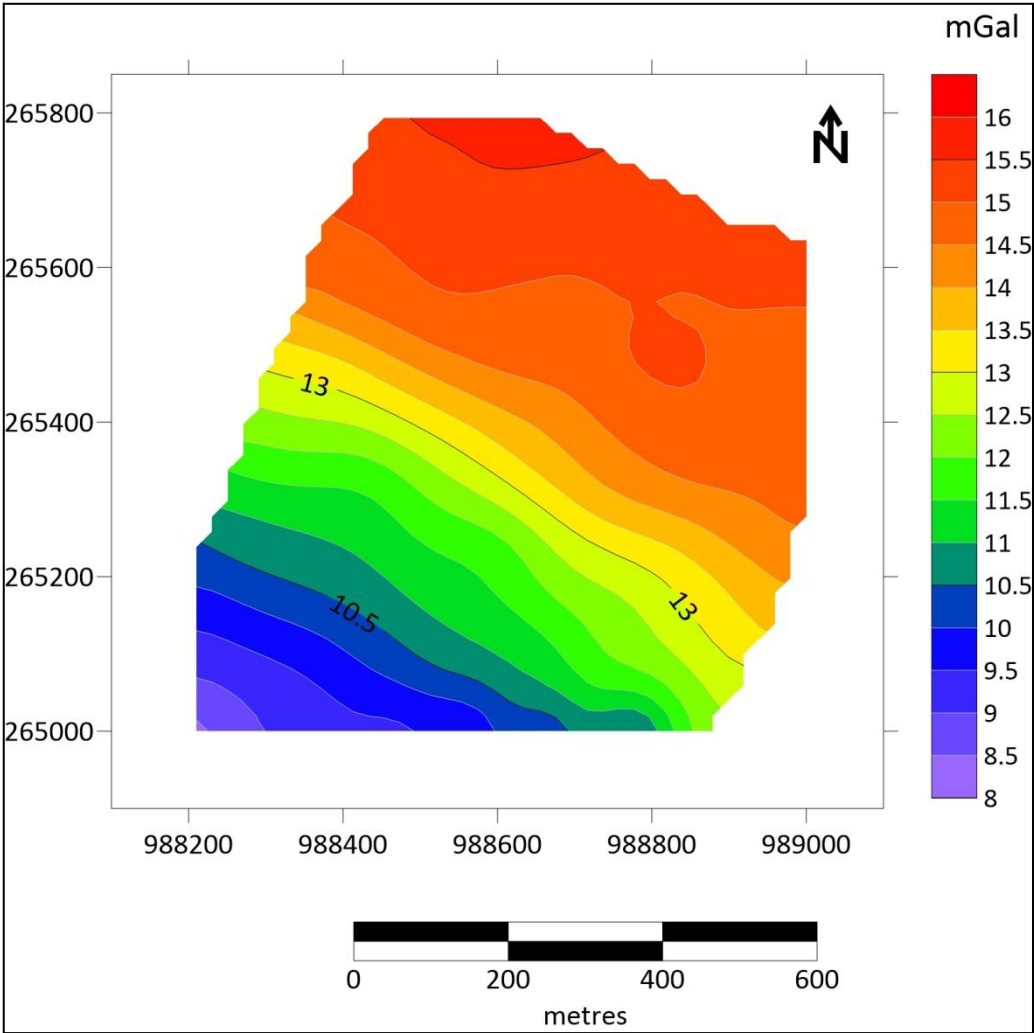


Figure 30: Carte de l'Anomalie de Bouguer de Hameimat Nord

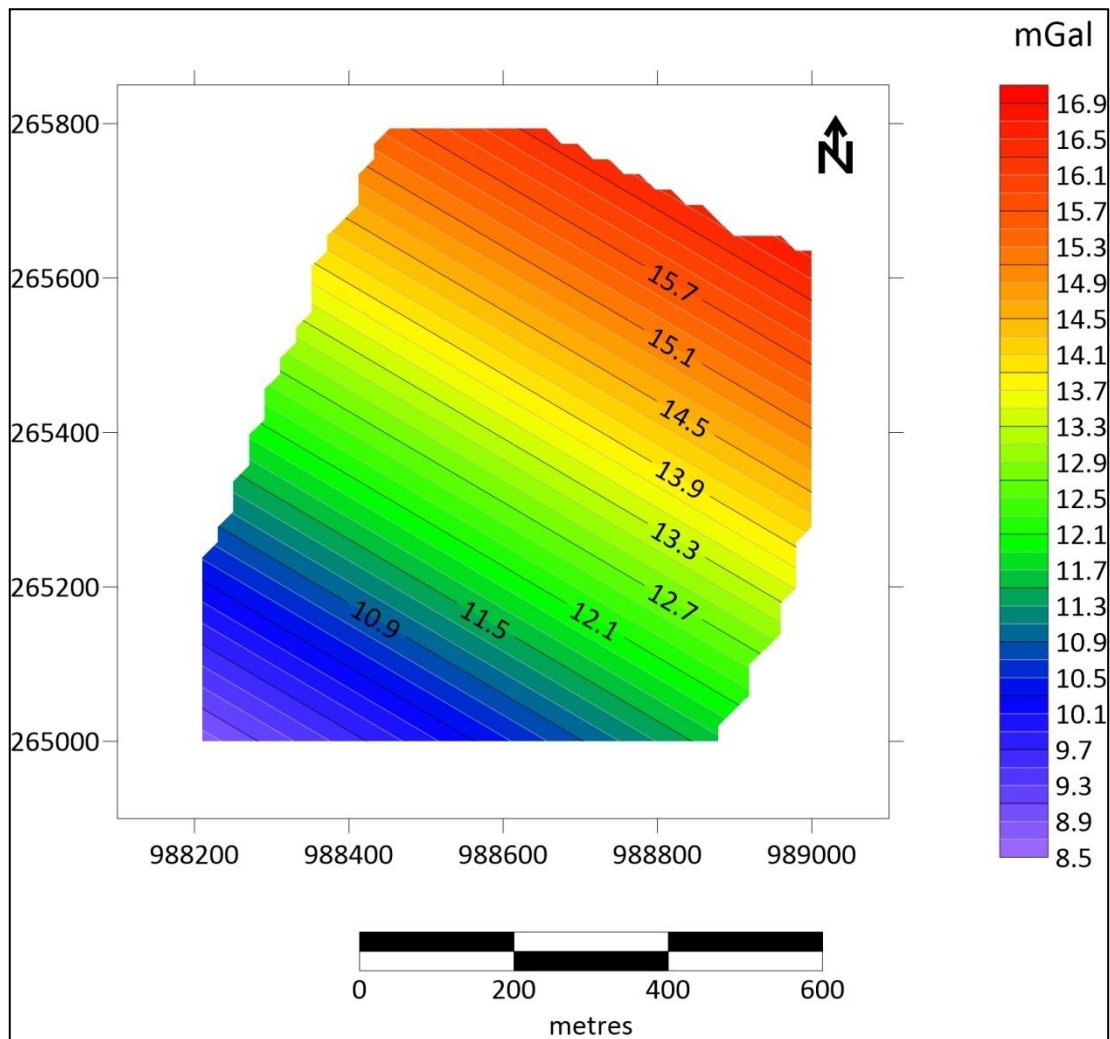


Figure 31: Carte de l'Anomalie régionale de Hameimat Nord

B. Analyse de la carte gravimétrique résiduelle

Partons de la relation bien connue:

Anomalie résiduelle = Anomalie de Bouguer - Anomalie Régionale

La construction de la carte d'anomalie, gravimétrique résiduelle est effectuée en soustrayant une anomalie régionale (fg.31) de l'anomalie de Bouguer.

La résiduelle est représentée sur la Figure 32. L'anomalie résiduelle varie entre -1.6 et +1 mGal.

Les anomalies négatives correspondent aux roches légères (Exemple : Quaternaire), les anomalies positives correspondent avec la surface de développement des calcaires (siliceux, récifaux ferrugineux...). D'après l'intensité de ces anomalies positives et la corrélation avec des hautes résistivités et la polarisation spontanée (PS) négative, nous pensons que les calcaires sont minéralisés.

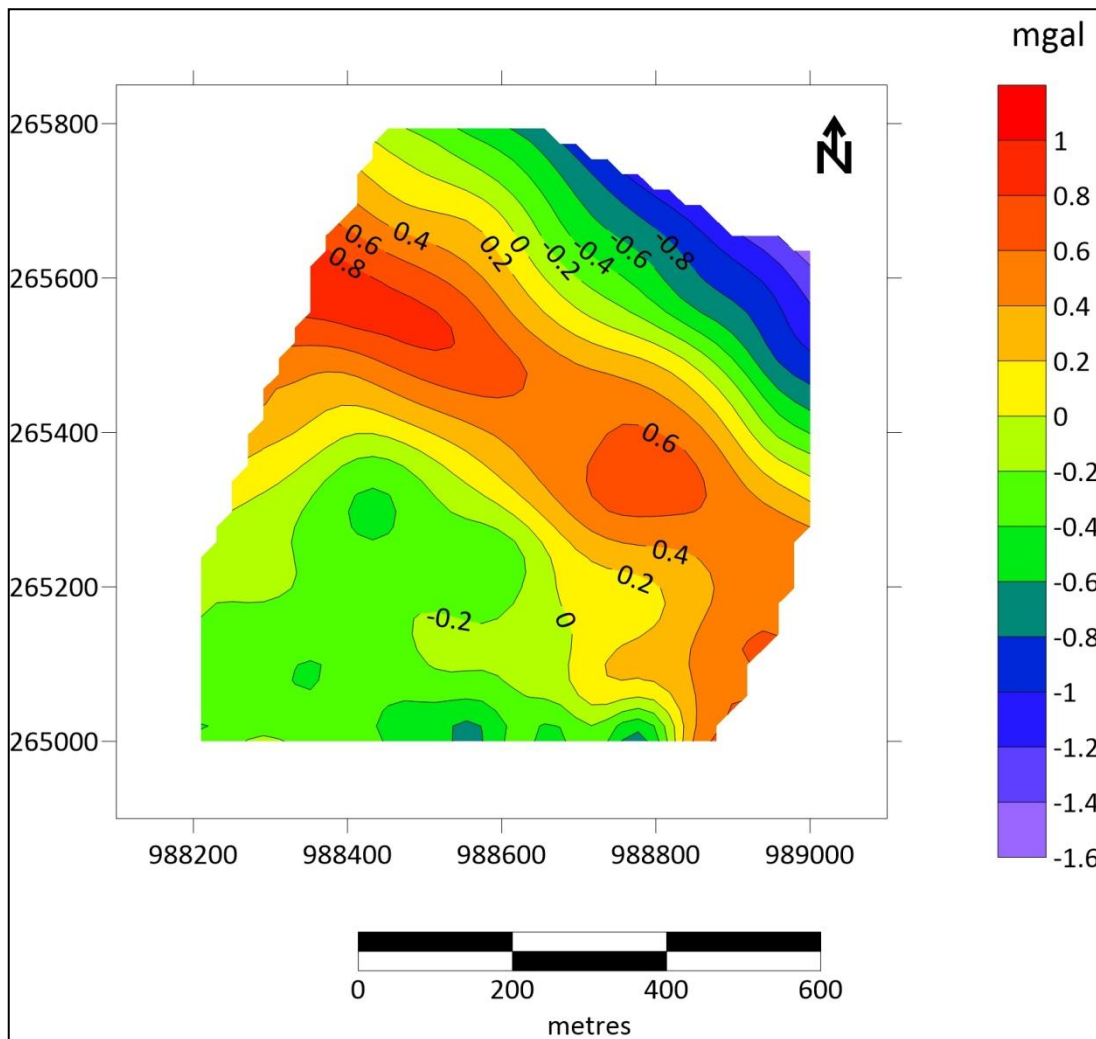


Figure 32: Carte gravimétrique résiduelle de Hameimat Nord

Nous avons aussi essayé de modaliser un profil qui passe par le centre de l'anomalie résiduelle. La modélisation a été réalisée au moyen du programme (Potent V4). Le profil de modélisation à une longueur totale de 640 m. Le bleu indique le profil mesuré et le rouge, indique le modèle calculé. Ce corps dense (lourd), correspond probablement à une minéralisation cachée en profondeur.

Ce profil d'interprétation est illustré sur la figure 34. Le corps perturbateur est modélisé par un prisme rectangulaire.

Les paramètres obtenus sont :

- coordonnées du centre du prisme (988605.83, 265335.47)
- Profondeur à partir de la surface ($Z = -39.13$ m)
- Densité du corps perturbateur (0.8 g/cm^3)

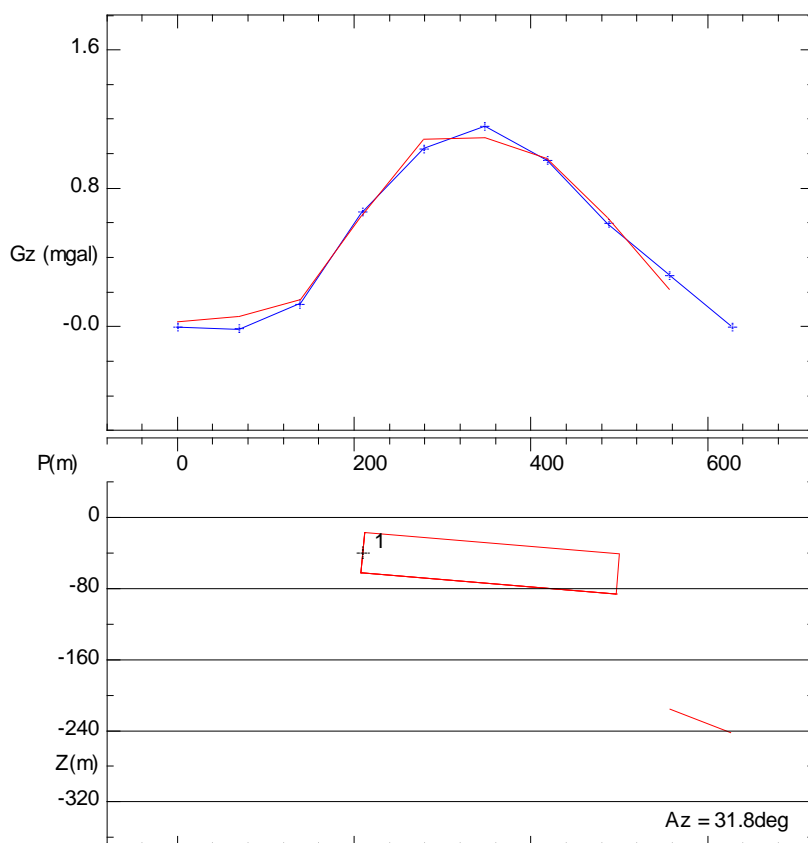
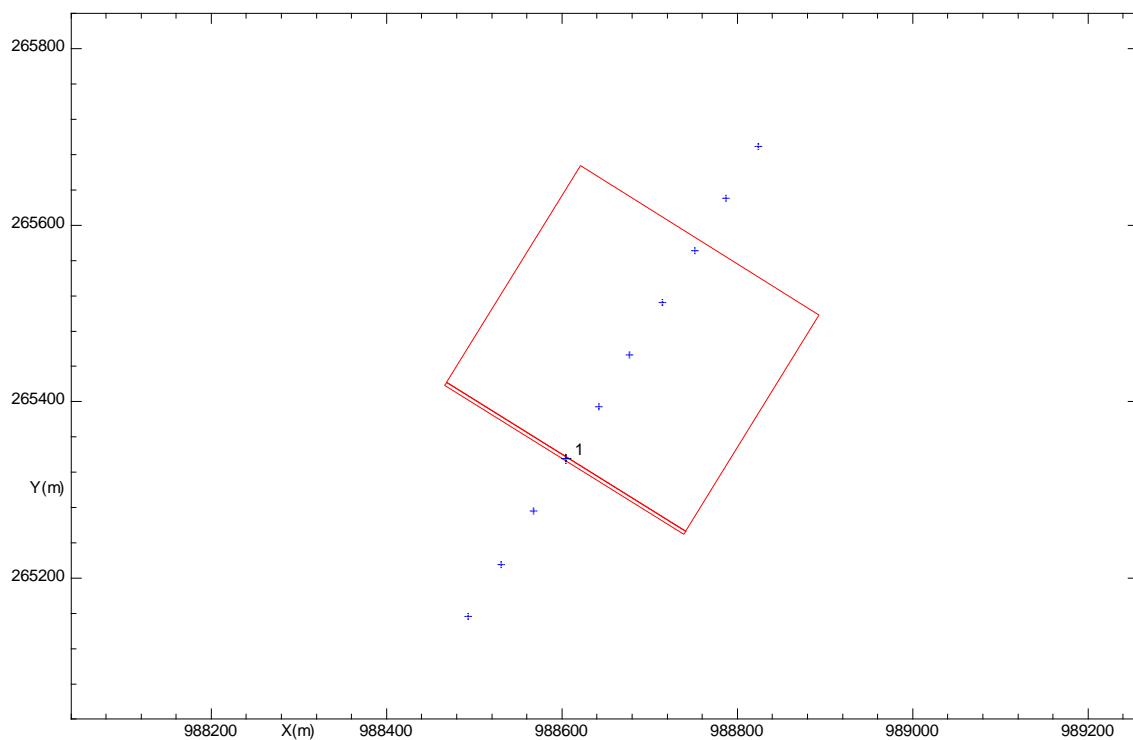


Figure 33: Résultat d'interprétation du profil gravimétrique (en haut la position du profil et en bas le résultat d'interprétation)

V. LA PROSPECTION MAGNETIQUE

Les études géophysiques de prospection magnétique ont été réalisés avec un pas de 20 m sur des certains profils ; 11 et 12 (Hameimat Nord), 25, 26,27 et 28 (Hameimat Sud). (Annexe)

Les valeurs du champ d'anomalies magnétiques observées sont faibles. Elles montrent que les deux massifs de Hameimat Nord et de Hameimat sud sont magnétiquement calmes.

- Les résultats des mesures de la densité et de la susceptibilité magnétique des échantillons :

Tableau 4: les propriétés physiques des roches de Hameimat Nord et Hameimat Sud (par la SONAREM, 1974)

Roches	Nombre D'échantillons	Susceptibilité magnétique $\chi * 10^{-6}$ CGS			Densité		
		Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne
Brèche calcaire avec traces de ferruginisation	21	2	46	10	2.65	2.78	2.71
Calcaire siliceux	10	0	0	0	2.63	2.66	2.65
Grès à gypse et à calamine	5	3	8	5	2.52	2.64	2.58
Calcaire caverneux	5	5	5	5	2.51	2.55	2.53
Calcaires récifaux ferrugineux	4	540	3000	1500	2.69	2.78	2.72

CONCLUSION GENERALE

La géologie de notre région d'étude est caractérisé par des formations essentiellement Crétacés avec un Trias diapirique et des formations du Quaternaire. Les massifs de Hameimat Nord et de Hameimat Sud présentent la même géologie. Du point de vue de structure géologique, les deux massifs sont composés des dépôts de l'Aptien (Calcaires récifaux compacts) et des marnes à intercalation de calcaires et de grès de différentes couleurs et compositions. Les massifs en différent par leur minéralisation et par leur contenu minéralogique.

Dans ces massifs, les calcaires de l'Aptien sont minéralisés en polymétaux. Les formations sédimentaires de l'Aptien donnent de grandes résistivités et les autres variétés lithologiques (les marnes, les formations triasiques et les formations quaternaires) possèdent la résistivité faible.

Les anomalies négatives de la polarisation spontanée (PS) corrèlent bien avec les hautes résistivités qui sont liées aux minéralisations polymétalliques.

Les coupes géo-électriques montrent que la couche profonde étant la plus résistante, cet horizon résistant corrèle avec les calcaires de l'Aptien. Des contacts sub-verticaux sont mis en évidence. Ces contacts sub-verticaux peuvent correspondre à des failles.

Sur la carte gravimétrique de l'anomalie de Bouguer, les amplitudes varient entre un minimum de 8 mGal et un maximum de 16 mGal. Elle est maximale sur les formations du Crétacé situés dans la bordure du fossé. Le minimum de l'anomalie de Bouguer est enregistré sur le remplissage de fossé d'effondrement de Morsott.

L'anomalie gravimétrique résiduelle du site Hameimat nord varie entre -1.6 et +1 mGal. Les anomalies négatives correspondent aux roches légères (Exemple : Quaternaire), les anomalies positives correspondent avec la surface de développement des calcaires (siliceux, récifaux ferrugineux...).

L'intensité de ces anomalies positives et la corrélation avec des hautes résistivités et la polarisation spontanée (PS) négative montre qu'elle corresponde aux calcaires de l'Aptien.

Les valeurs du champ d'anomalies magnétiques observées sont faibles. Elles montrent que les deux massifs de Hameimat Nord et de Hameimat sud sont magnétiquement calmes.

BIBLIOGRAPHIE

1. **Alièv et al. (1971)**. Structures géologiques et perspectives en pétrole et en gaz des atlas algériens. Rapport inédit. SONATRACH, Tome 2.
2. **Aoudjehane, M., Bouzenoune, A., Rouvier, H., & Thibieroz, J. (1992)**. Halocinèse et dispositifs d'extrusion de trias dans l'Atlas saharien oriental (NE Algérien). *Géologie Méditerranéenne*, 19(4), 273-286p.
3. **Aoudjehane, M., Bouzenoune, A., Rouvier, H., & Thibieroz, J. (1992)**. Halocinèse et dispositifs d'extrusion de trias dans l'Atlas saharien oriental (NE Algérien). *Géologie Méditerranéenne*, 19(4), 273-286p.
4. **Aouissi, R. (2008)**. *Signification structurale des anomalies gravimétriques de l'atlas SAHARIEN septentrional oriental nord est algérien* (Doctoral dissertation, Annaba).
5. **BEGHOUL, M., & SONATRACH, S. (1974)**. *étude géologique de la région des hamimat (sud-est constantinois). application a la recherche pétrolière dans les confins algero-tunisiens* (doctoral dissertation).
6. **Bertin, J., & Loeb, J. (1969)**. Transients and field behaviour in induced polarization. *Geophysical Prospecting*, 17(4), 488-503.
7. **Bertin, J. 1969**. La polarisation provoquent et son et son rôle en recherches minières. *Annales des mines*
8. **Blès J. L & Fleury J. J. 1971**. Carte géologique au 1/50.000e, feuille de Morsott, n°178. *Publication du Service de géologie de l'Algérie*.
9. **Boubaya, D., & Hamoudi, M. (2013)**. Etude géophysique du nord de l'Aurès et des régions limitrophes (Thèse de doctorat), USTHB, 127 p.
10. **Boudjadja, A & Kadjoudj, A. (2018)**. Etude des minéralisations polymétalliques et de leur encaissant carbonaté du massif de Hameimat Sud (Tébessa-Algérie nord orientale). MEMOIRE DE MASTER del' Université de Jijel.
11. **Bouzenoune, A. (1993)**. Minéralisations périadiapiriques de l'Aptien calcaire: les carbonates de fer du gisement hématitique de l'Ouenza (Algérie orientale) (Doctoral dissertation, Paris 6), 206p.
12. **Busson, G. (1972)**. Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien.

13. **Busson, G., et Cornée A., (1989).** Quelques données sur les antécédants climatiques du sahara : la signification des couches détritiques rouges et des évaporites du Trias et du Lias- Dogger. Bull. Soc. Géol. France (8), V. 1, pp. 3-11.
14. **Castany, G. (1951).** Etude géologique de l'Atlas tunisien oriental. Annales Mines Géol., Tunis, n°8, 2 vols.
15. **Chabane, K. (2015).** Le Cénomaniens-Turonien du Nord de Tébessa (Nord-Est algérien), 153p.
16. **Chapellier, D. (2000).** Prospection électrique de surface. *cours oneline de géophysique de l'Université de Lausanne, Suisse.*
17. **Chikhi-Aouimeur, F. (1980).** Les rudistes de l'Aptien supérieur du Djebel Ouenza (Algérie-NE). *These Troisième Cycle, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, 27.*
18. **Chouteau, M. (2002).** Géophysique appliquée I-Magnétisme. Ecole Polytechnique Montréal.
19. **Cornet, A., & Gousskov, N. (1952).** *Les eaux du Crétacé inférieur continental dans le Sahara Algérien (nappe dite "Albienne").*
20. **Curnelle, R., & Marco, R. (1983).** 2. 3 Detached Sediments in Extensional Provinces: 2. 3. 2 Salt Tectonics: Reflection Profiles Across the Aquitaine Basin (Salt Tectonics).
21. **DECHA, I & BENTAYEB, C. (2020).** Étude géologique et géophysique de la Vallée du Mellègue. MEMOIRE DE MASTER de l'Université Tébessa.
22. **Degaichia, A. (2014).** Sédimentologie et Paléoenvironnements des sédiments du Pliocène du fossé d'effondrement de Tébessa et ses abordsn (Atlas saharien oriental, NE de l'Algérie). Thèse de Doctorat. 213p.
23. **Delga, M. D., & Fontboté, J. M. (1960).** *Le problème de l'âge des nappes alpujarrides d'Andalousie.*
24. **DROUCHE, A. (2014).** Impact de La remontée Des Eaux sur La qualité des eaux de la nappe phréatique et sur l'environnement dans la vallée du Souf Sud-Est Algérien. Thèse de doctorat de l'Université Annaba.
25. **Dubois, J. Diament, M. Cogné, J.P. (2011).** Géophysique, cours et exercices corrigés, Dunod, Paris, 4ème édition, 264 P.
26. **Dubourdiou, G. (1948).** Notice explicative de Djebel Ouenza (125).

27. **Dubourdiou, G. Et Durozoy G. (1950).** Observations tectoniques dans les environs de Tébessa et de l'Ouenza (Algérie). Bulletin du service Géologique de France, 5ème série, t. XX, pp.257-266.
28. **Dubourdiou, G. G. (1956).** Étude géologique de la région de l'Ouenza:(confins Algéro-Tunisiens). 1. Texte. Service de la carte géologique de l'Algérie, 659p.
29. **Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Smith, A. G., Bleeker, W., & Lourens, L. J. (2004).** A new geologic time scale, with special reference to Precambrian and Neogene. *Episodes*, 27(2), 83-100.
30. **Guiraud R. 1973.** *Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines.* Thèse Sciences, Université de Nice, 270 pp., 114 fig., 12 pl. H.t.
31. **Hamimed, M. (2004).** Étude sédimentologique et paléogéographie des sédiments Miocènes au pays du Nord-est de l'Atlas Saharien des confins algéro-tunisiens. Thèse de Doctorat d'état. Université de Constantine, Algérie, 223p.
32. **kazi tani, N. (1986).** Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine : le domaine in traplaque nord-algérien. Approche mégaséquentielle. Thèse Doct. Es Sciences, Univ. Pau et des pays de l'Adour, 2 tomes.
33. **Kowalski, M, W, Hamimed, M et Pharizat, A. (2002).** Les étapes d'effondrement des grabens dans les confins algéro-tunisiens. Bull.Serv.géol.Algérie, vol.13, n°2, p.131-15
34. **Laffitte R. 1939.** Etude géologique de l'Aurès. *Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie 2* : 1-484.
35. **Madre M. 1969.** *Contribution à l'étude géologique et métallogénique du Djebel Ouenza (Est algérien).* Thèse de 3^e Cycle, Université de Paris, 90 pp.
36. **Mahammed, J.O. (2012).** Utilisation des dispositifs de géophysique électrique non classiques pour l'étude des couches géologiques profondes : cas des chotts El Gharbi et Chergui, Thèse doctorat, Université d'Oran.
37. **Masse, J. P., & Chikhi-Aouimeur, F. (1982).** La plate-forme carbonatée de l'Ouenza (Sud Constantinois, Algérie). Organisation et dynamique durant l'Aptien supérieur. *Géologie méditerranéenne*, 9(3), 259-267p.
38. **Masse, P. & Thieuloy, J. P. (1979).** Précisions sur l'âge des calcaires et des formations associées de l'Aptien du Sud-Est constantinois (Algérie). Conséquences paléogéographiques. *Bull. Soc. Géol. Fr*, vol.7, n°1, pp. 65-71.

39. **Masse, P. & Thieuloy, J. P. (1979).** Précisions sur l'âge des calcaires et des formations associées de l'Aptien du Sud-Est constantinois (Algérie). Conséquences paléogéographiques. Bull. Soc. Géol. Fr., vol.7, n°1, pp. 65-71.
40. **Mokhnachi. Y et Zitoune. D, (1998).** Etude Tectonique et Stratigraphique de la région de Hameimat Nord et Boulhaf Dyr. Mémoire de Magister de l'Université Tébessa.
41. **Nedjari-Bellahcene, S. et Nedjari, A. (1984).** Le Boukhadra. Esquisse paléogéographique aptienne. 5ème séminaire National des Sciences de la Terre, Alger, pp.102.
42. **Othmanine, A. (1987).** Les minéralisations en fluorine, barytine, Pb, Zn et fer sidéritique autour du fossé de Tebessa-Morsott (Algérie). Relation entre paléogéographie aptienne, diapirisme, structure et métallogénie (Doctoral dissertation, Thèse de 3ème Cycle, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, France, 221 p).
43. **Ouamer-Ali K (2009)** Contribution à l'étude des sols à gypseux d'Algérie.
44. **Palacky, G. J. (1988).** Resistivity characteristics of geologic targets. *Electromagnetic methods in applied geophysics, 1*, 53-129
45. **Perthuisot, V. & Rouvier, H. (1988).** Les relations métal-soufre-eau hydrocarbures microorganismes et la genèse des concentrations de sulfures et de soufre des diapirs évaporitiques. In: H. Péliissonier & J. F. Sureau (éds) : Mobilité et concentration des métaux de base dans les couvertures sédimentaires : Manifestations, mécanismes, prospection. Document du BRGM, n°183, pp. 269-278.
46. **Rashid, F., Glover, P. W. J., Lorinczi, P., Hussein, D., Collier, R., & Lawrence, J. (2015).** Permeability prediction in tight carbonate rocks using capillary pressure measurements. *Marine and Petroleum Geology, 68*, 536-550.
47. **Reynolds, J. M. (2011).** An introduction to applied and environmental geophysics. John Wiley & Sons.
48. **Rouvier, H (1990).** Les concentrations polymétalliques liées aux diapirs évaporitiques des confins algéro-tunisiens. *Rapport interne EREM. Boumerdes-Algérie, 71p.*
49. **Rouvier, H., Perthuisot, V., & Mansouri, A. (1985).** Pb-Zn deposits and salt-bearing diapirs in Southern Europe and North Africa. *Economic Geology, 80(3)*, 666-687.
50. **Sami, L. (2004).** Contribution à l'étude géologique et géochimique des minéralisations à Pb- Zn, Ba et F dans la région de Méskiana: Exemple des indices d'Es Souabaa et de M'Khiriga, (Atlas Saharien oriental). Thèse Magistère, FSTGA, USTHB Bab Ezzouar Alger.
51. **Sami, L. (2011).** Caractérisation Géochimiques des fluides minéralisateurs des confins algéro-tunisiens. Thèse, USTHB, 179p.

52. **Shein, A. N, U diskikh, E.U., Potapov,V,V., Kalganov,A,S. (2018).** Laboratory manual on electrical exploration, Part 3 (en russe), Transbaikal State University, Chita.
53. **Smati, A. (1986).** Les gisements de Pb-Ba et de Fe du djebel Slata (Tunisie du centrenord) : Minéralisations épigénétiques dans le Crétacé néritique de la bordure d'un diapir de Trias. Gisement de Sidi Amor Ben Salem et de Slata fer. Thèse Doct. 3ème cycle, Lab. Géol. Appl., Univ. P. Et M. Curie, Paris VI, 250 p.
54. **Telford, W.M., Geldart, L.P., Shérif, R.E & Ken,D.A.(1986).** Applied geophysics. Cambridge Univ. Press, London, pour.860.
55. **Thibiéroz, J. & Madre, M. (1976).** Le gisement de sidérite du Djebel El Ouenza (Algérie) est contrôlé par un golfe de la mer aptienne. Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du nord, Alger, t.67, fasc. 3-4, pp. 126-150
56. **Thibiéroz, J. & Madre, M. (1976).** Le gisement de sidérite du Djebel El Ouenza (Algérie) est contrôlé par un golfe de la mer aptienne. Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du nord, Alger, t.67, fasc. 3-4, pp. 126-150
- Vila, J.M. (1980) : La chaîne alpine d'Algérie nord-orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse Doct. d'Etat, Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 665 p.
57. **Vilà, C., Urios, V, & Castroviejo, J. (1994).** Use of faeces for scent marking in Iberian wolves (*Canis lupus*). *Canadian Journal of Zoology*, 72(2), 374-377.
58. **Vila, J. M. 1980.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thes. Univ. Paris, 663p.
59. **Vila, J.M. (1980).** La chaîne alpine d'Algérie nord-orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse Doct. d'Etat, Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 665 p.
60. **Zerdazi, A. (1990).** Etude gravimétrique de la mole d'Ain-M'lila et de l'Atlas saharien septentrional oriental (nord-est de l'Algérie) (Doctoral dissertation, Université de Lausanne, Faculté des sciences), 227 p.

Webographie:

<http://forumbachelor.free.fr/gma/GMA1/index.php?page=5>

<http://www.mines.edu>

ANNEXE

ANNEXE 2

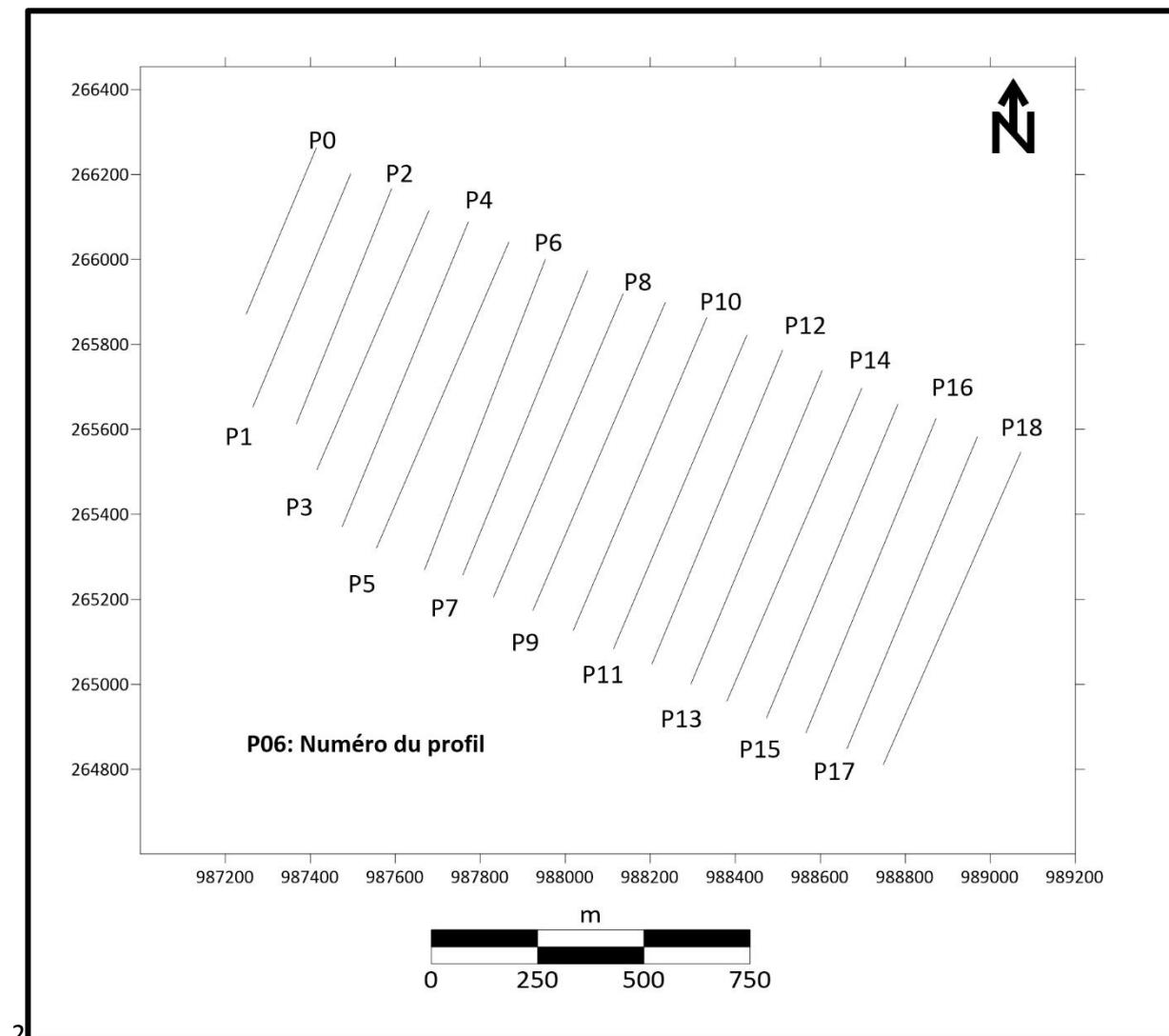


Figure 35: Position des profils sur la carte de Hameimat Nord

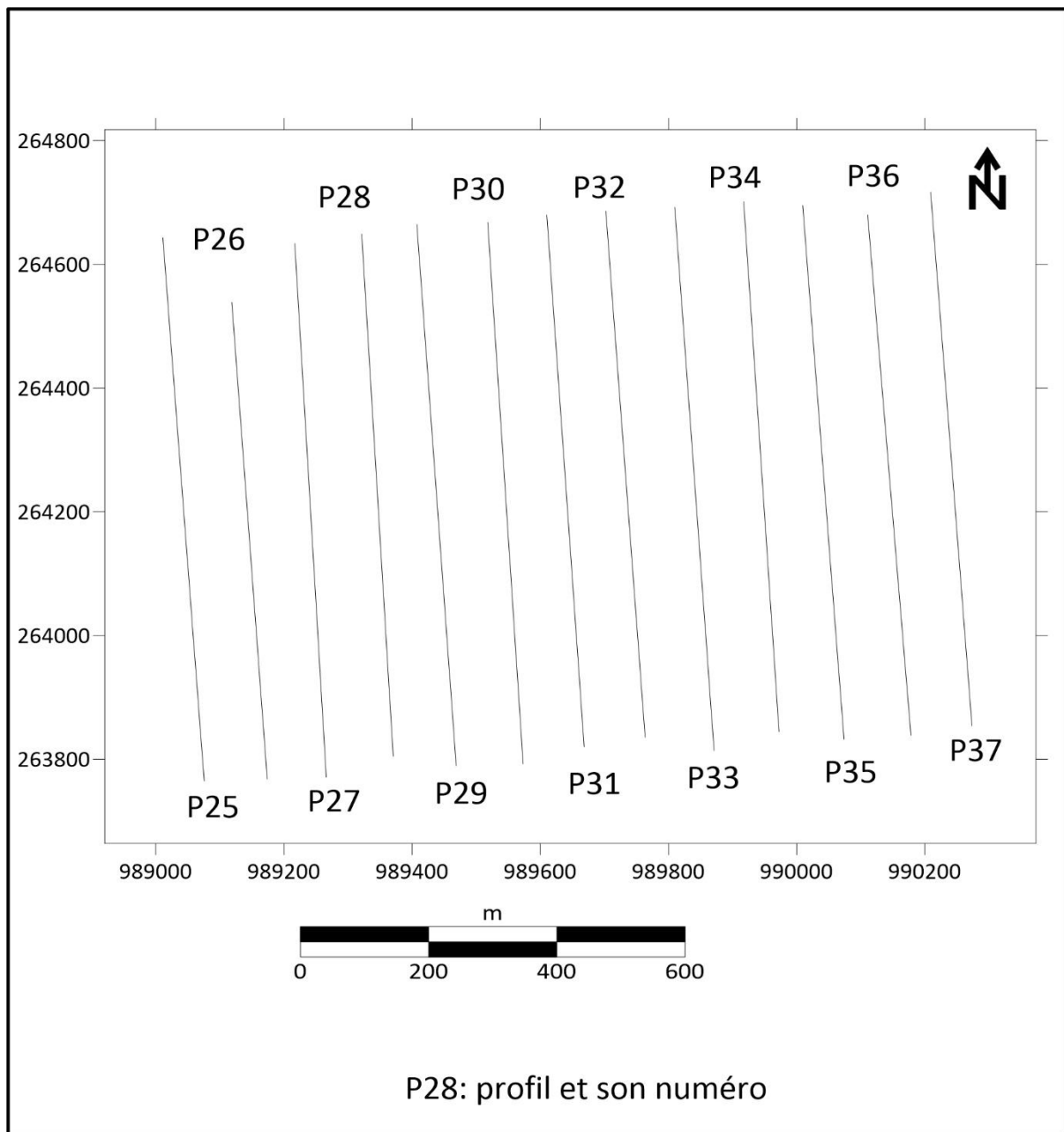
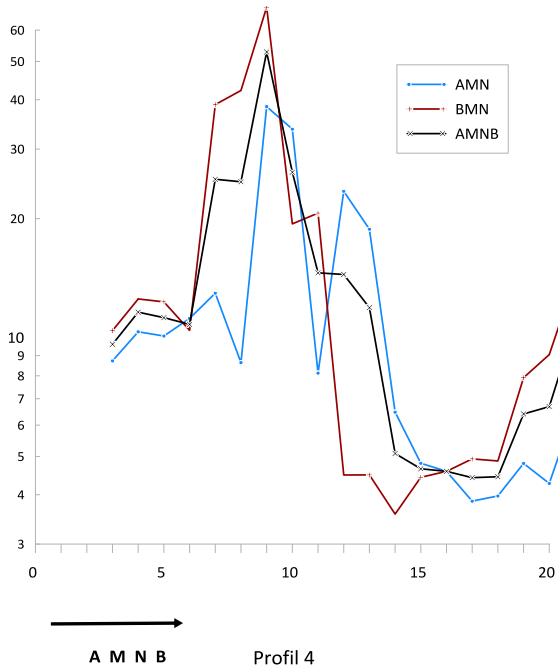
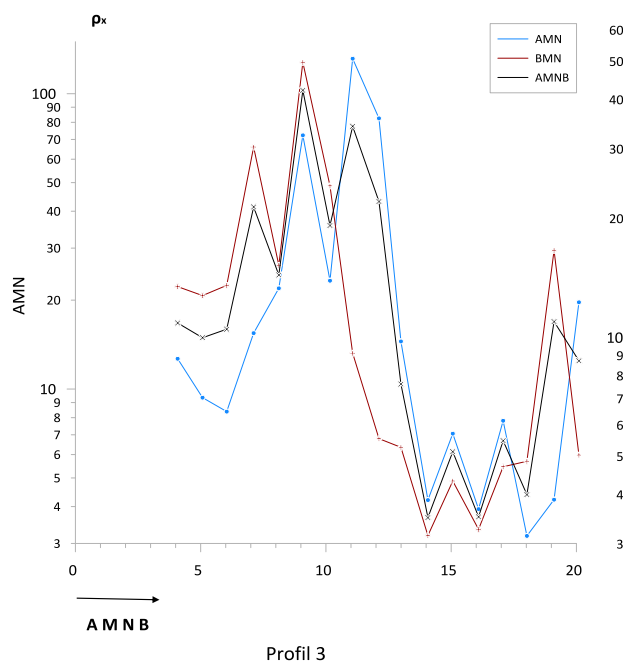
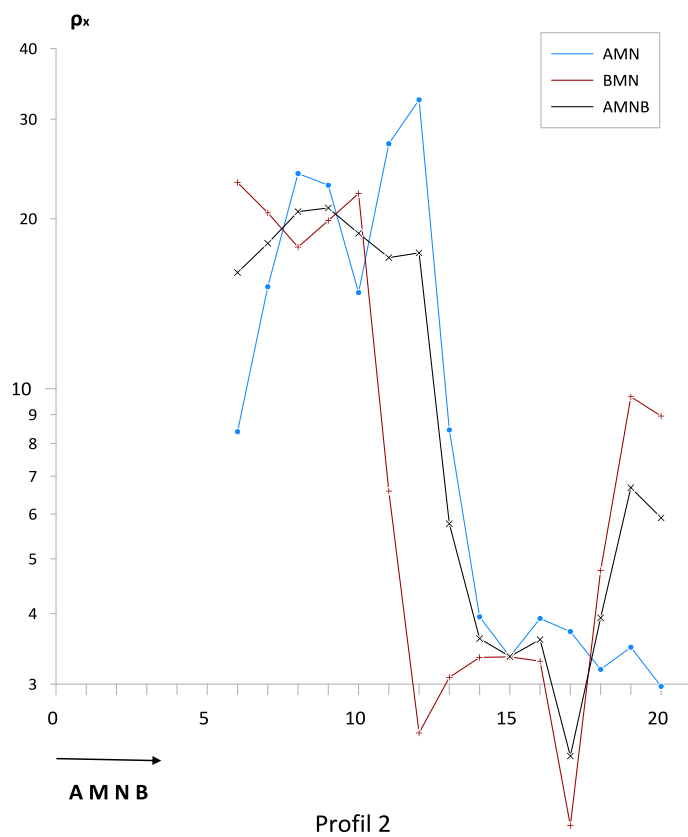
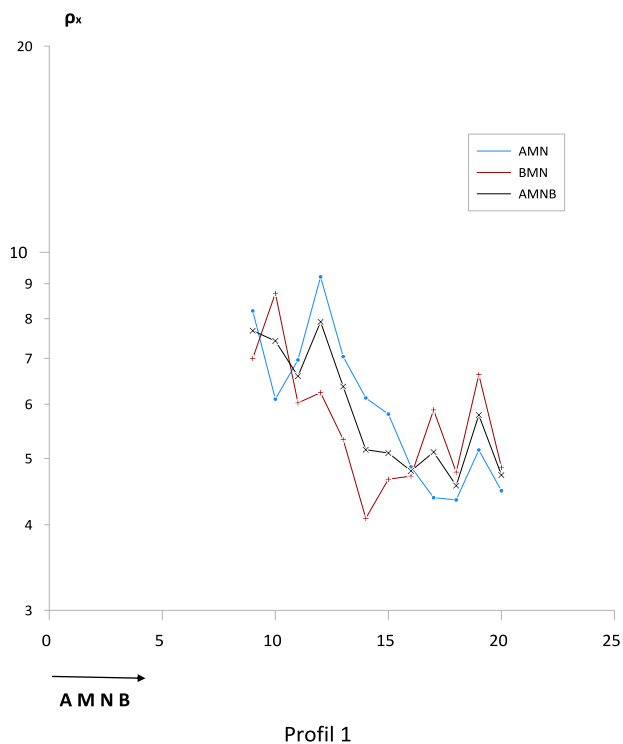
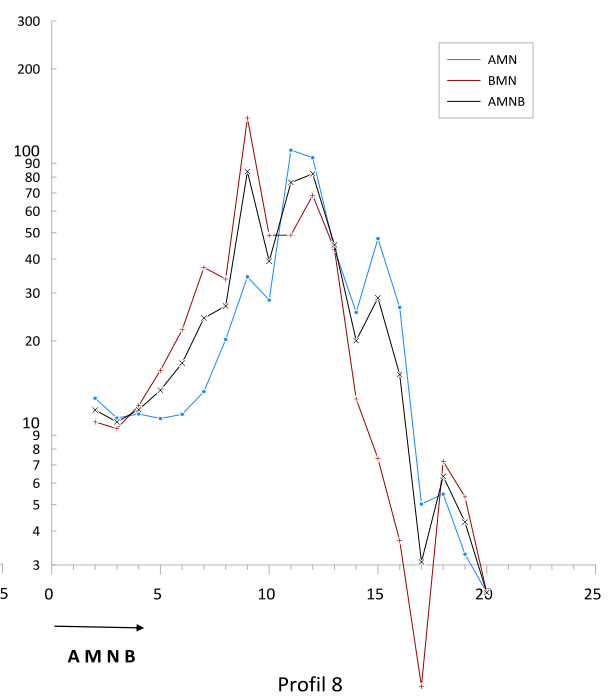
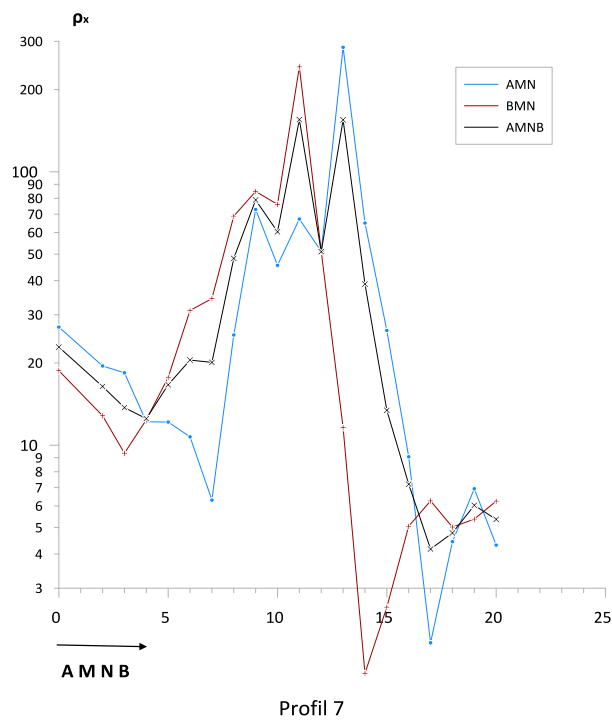
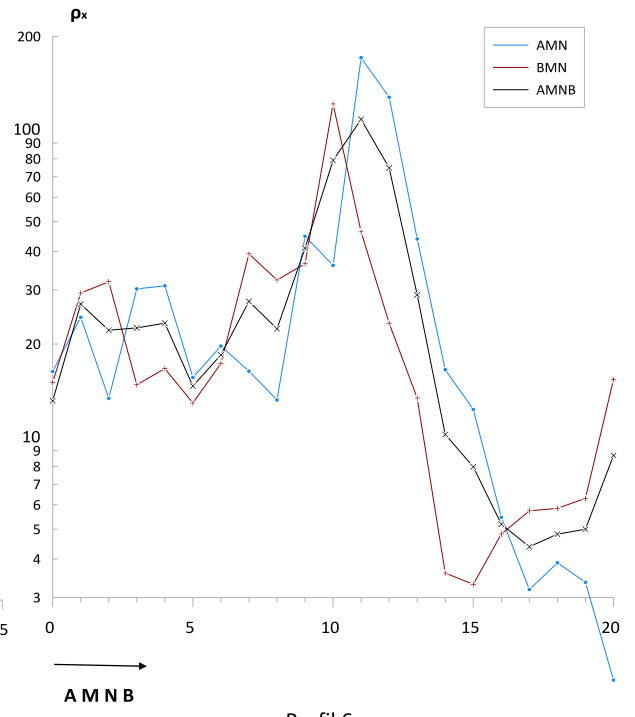
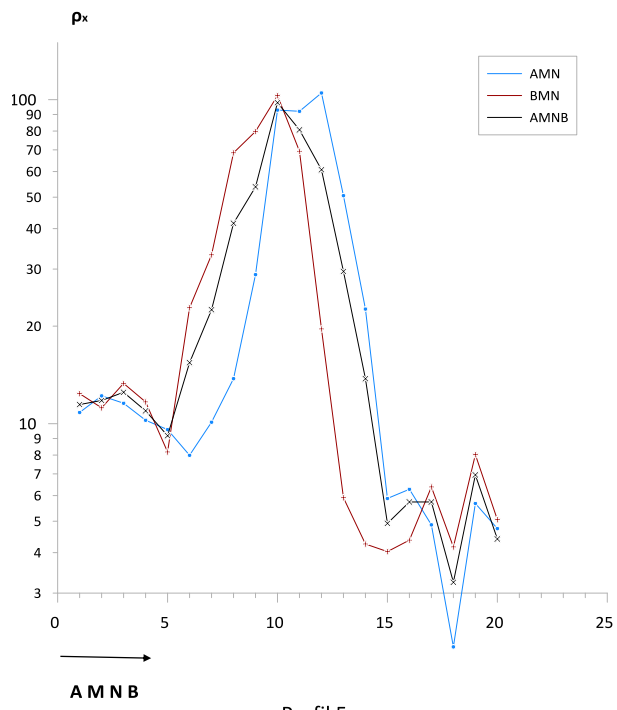


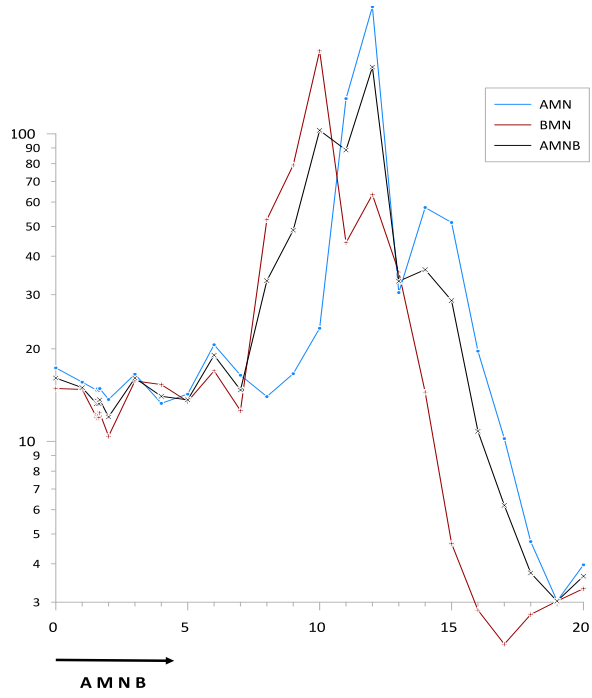
Figure 36: Position des profils sur la carte de Hameimat Sud

ANNEXE 3

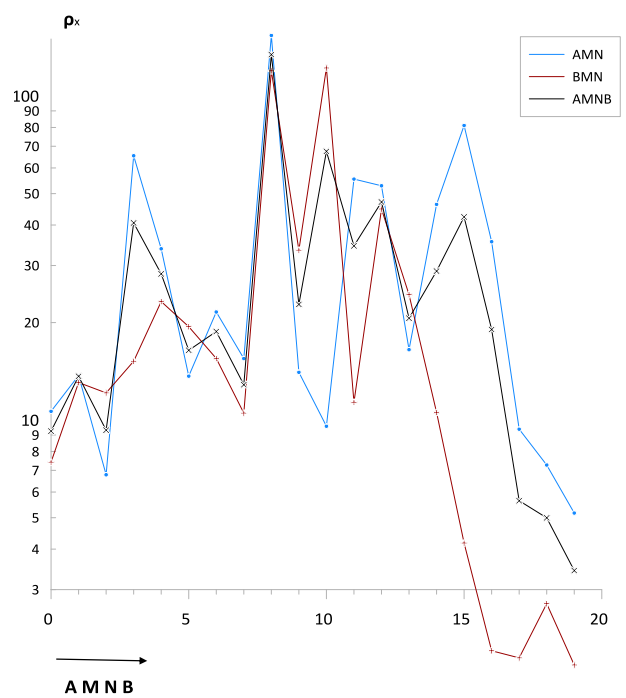
A. Les profillements (trainés) de Hameimat Nord



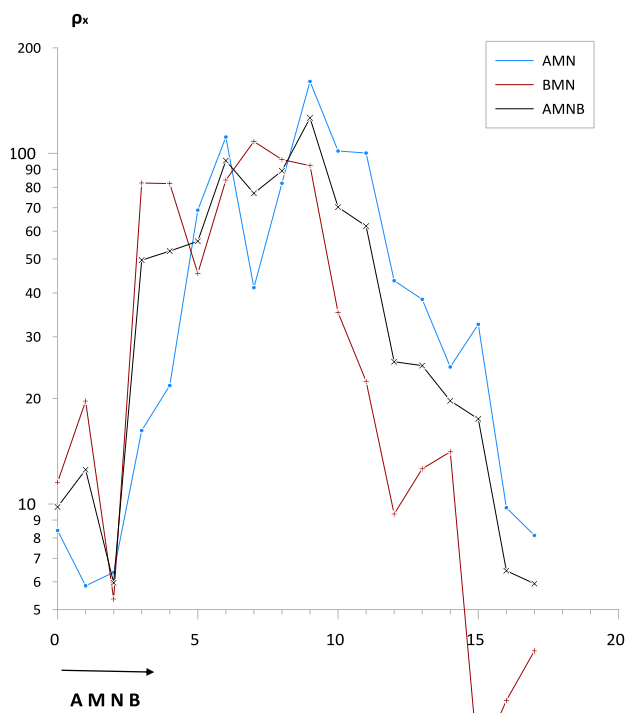




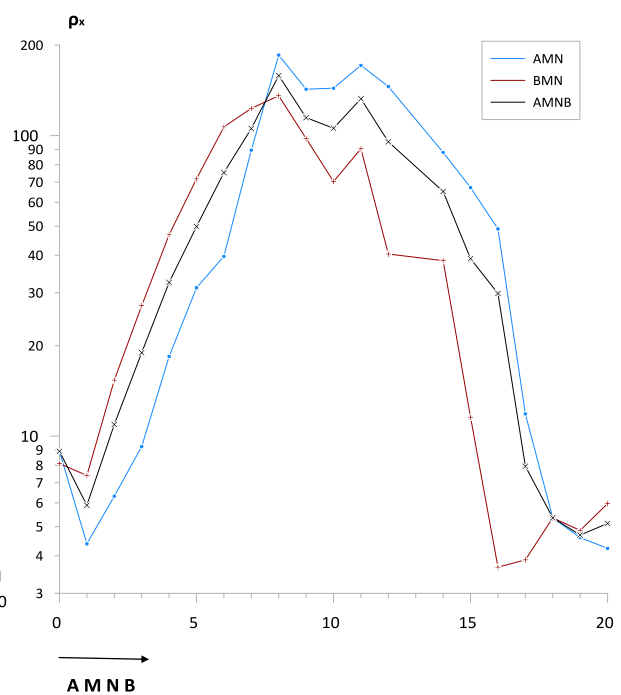
Profil 9



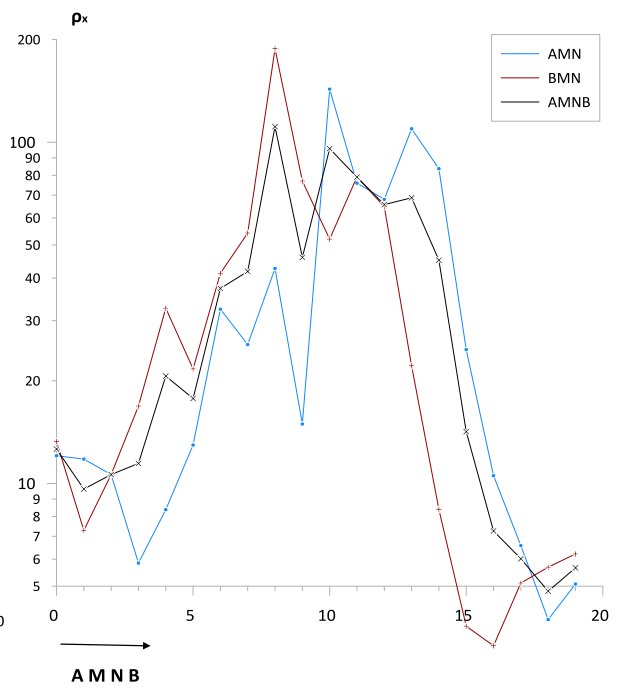
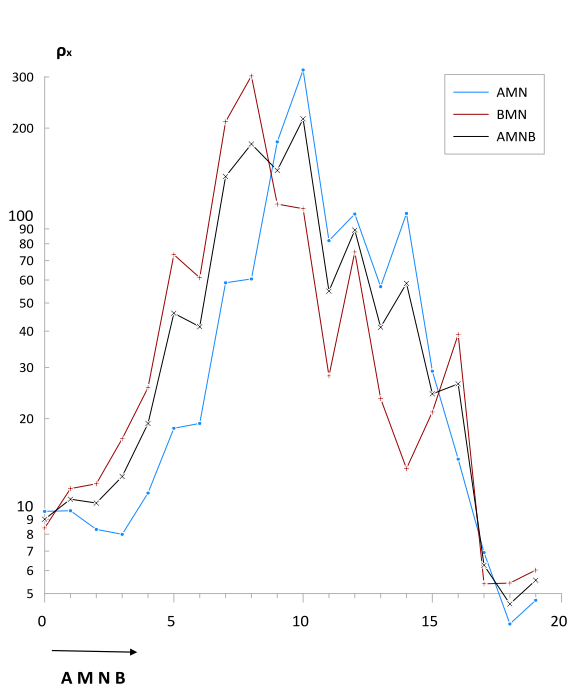
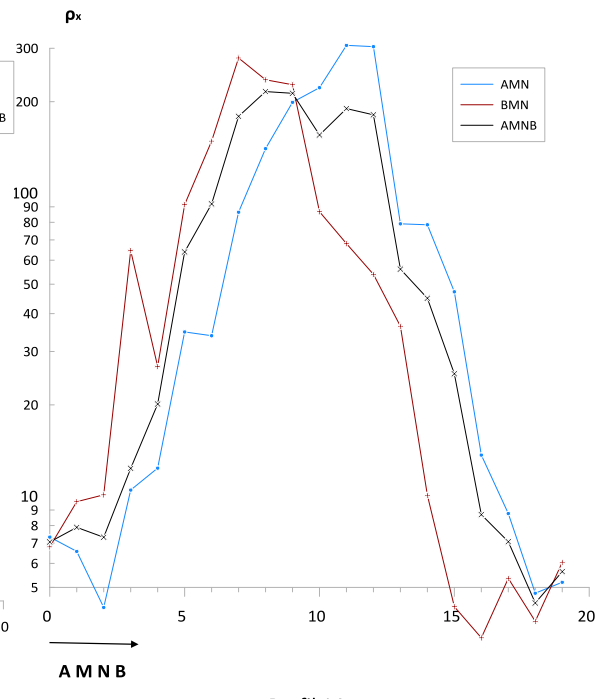
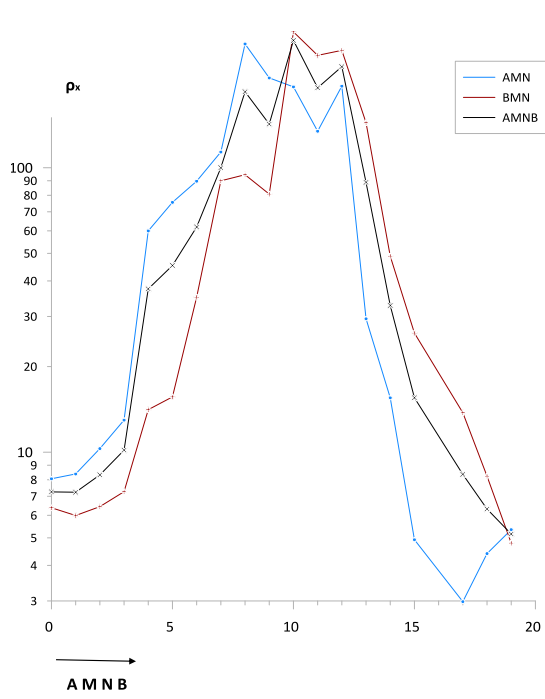
Profil 10

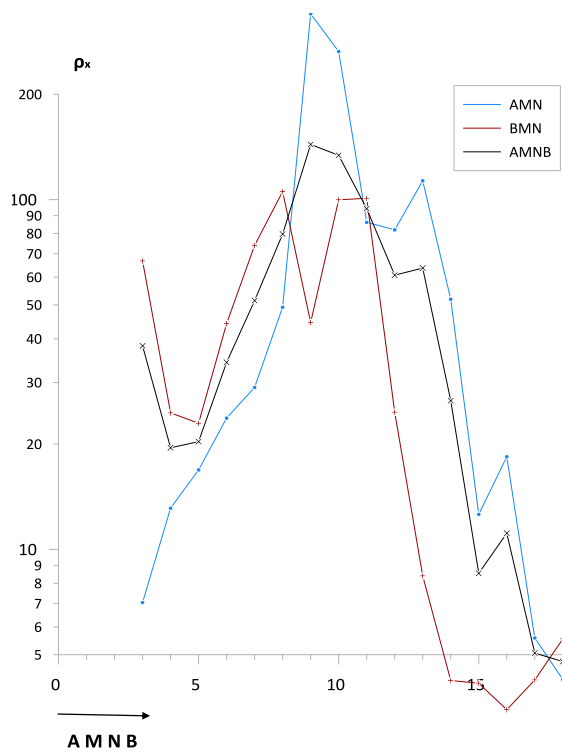


Profil 11

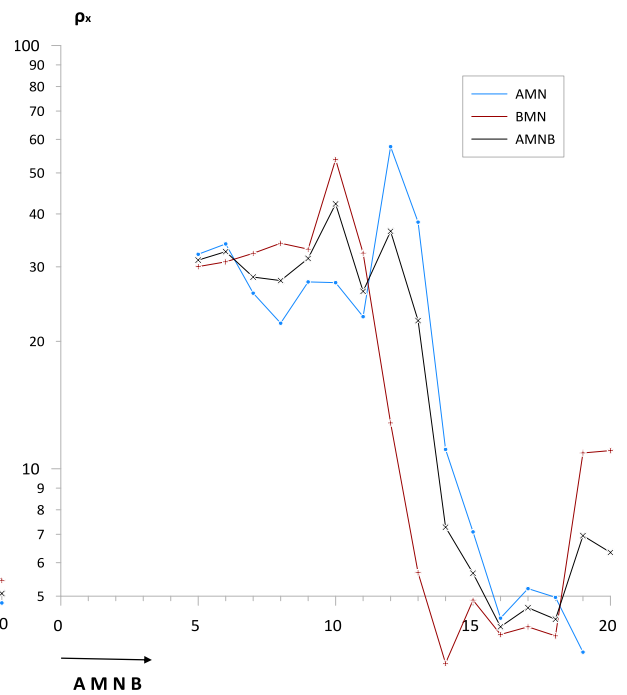


Profil 12



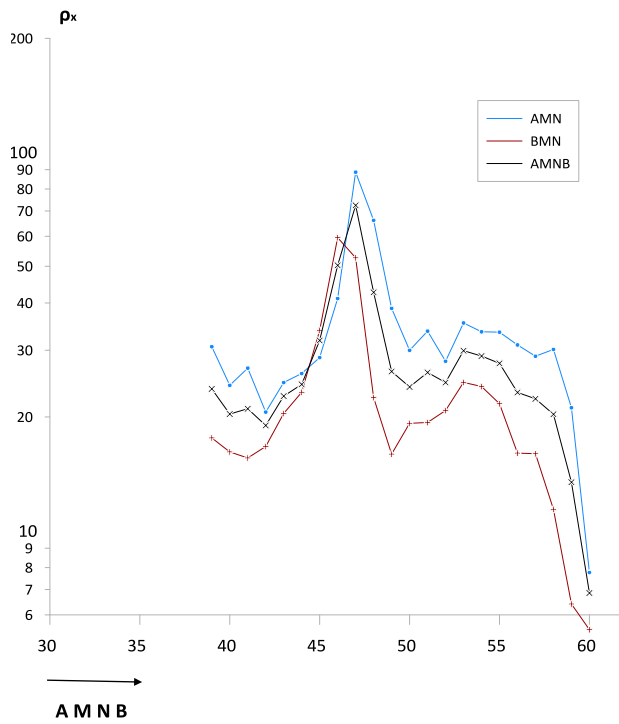


Profil 17

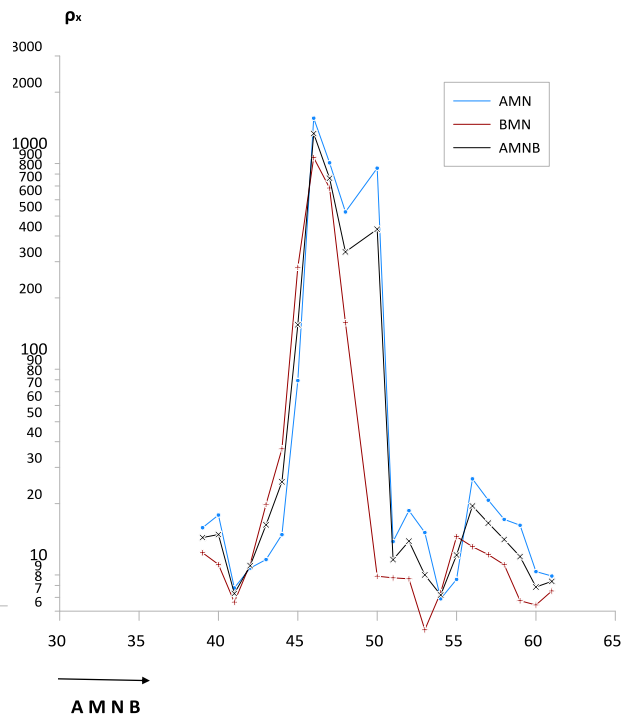


Profil 18

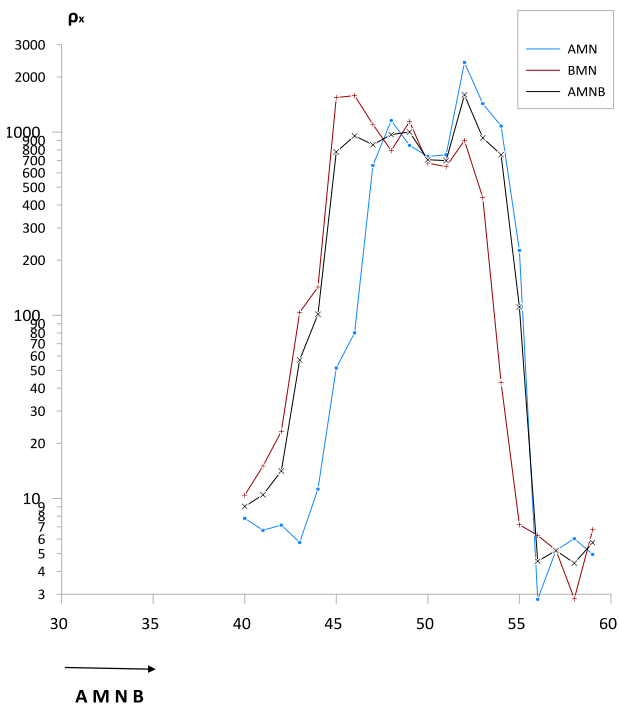
B. Les profillements (trainés) de Hameimat Nord



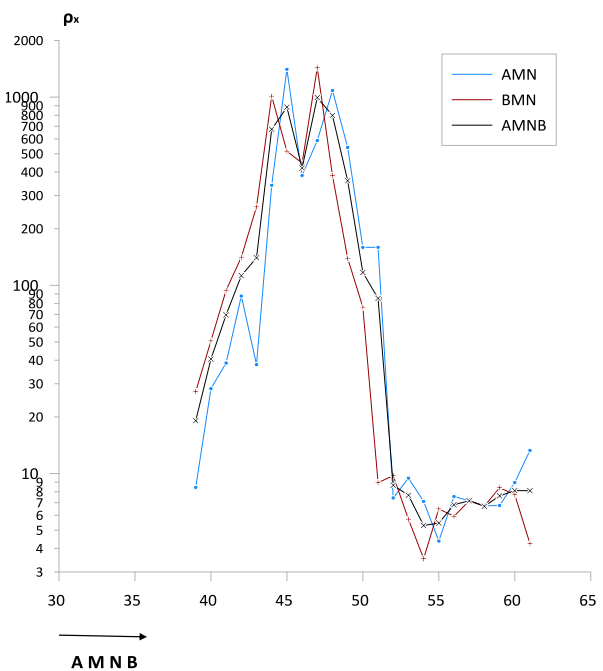
Profil 25



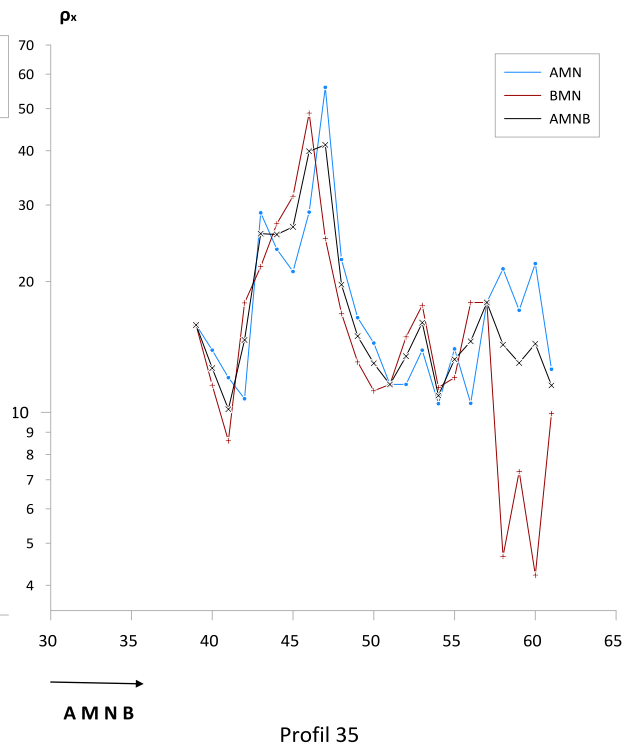
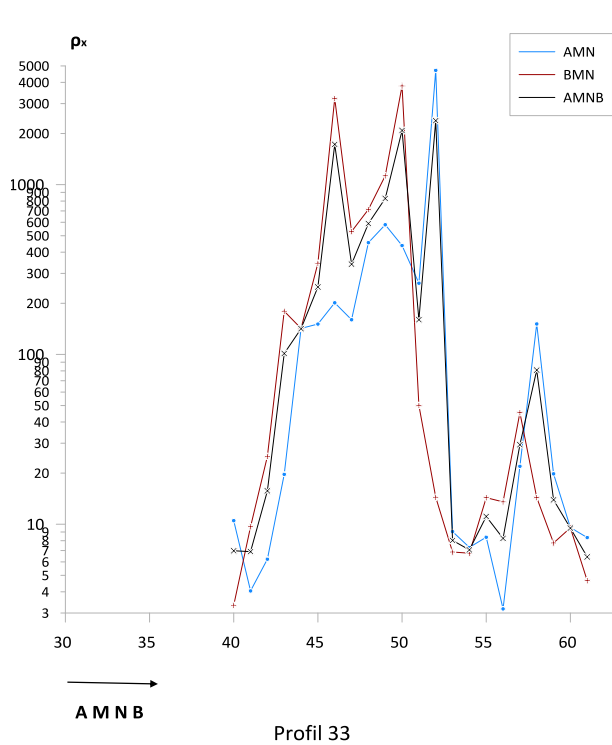
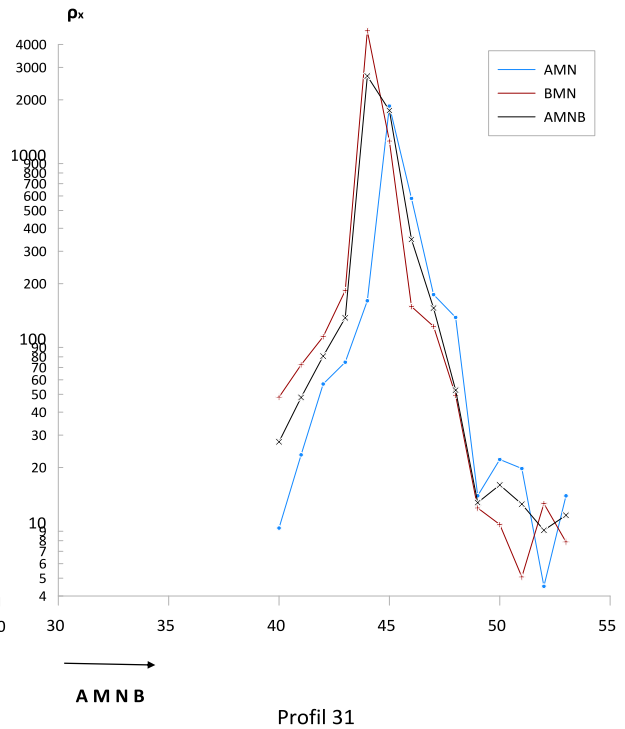
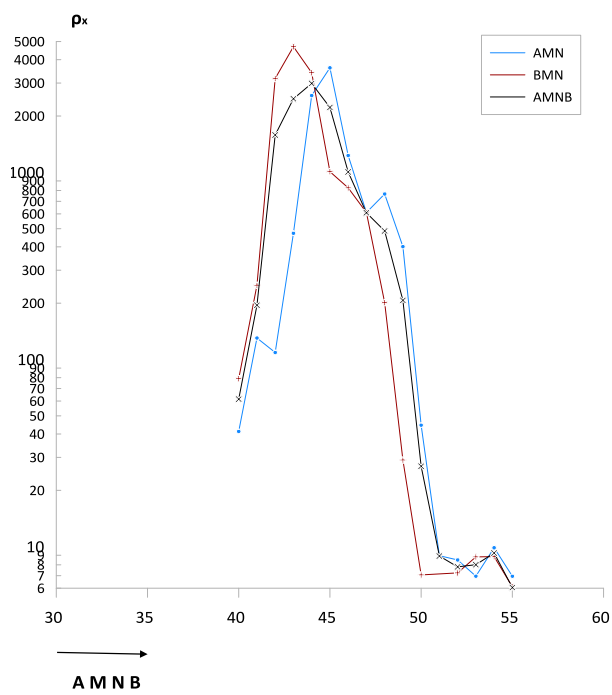
Profil 26



Profil 27



Profil 28



ANNEXE 4

Comparaison entre les PES et les PEC

A. Les tableaux de Hamiemat Nord

Profil 1					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
9	8.59807	7.23542	7.99742	7.916745	0.080675
10	6.26574	9.15424	7.68746	7.70999	-0.02253
11	7.23342	6.20565	6.84434	6.719535	0.124805
12	9.67184	6.39833	8.26222	8.035085	0.227135
13	7.29291	5.45942	6.5846	6.376165	0.208435
14	6.30208	4.11649	5.24762	5.209285	0.038335
15	5.94228	4.73148	5.20742	5.33688	-0.12946
16	4.81728	4.81728	4.81728	4.81728	0
17	4.42781	6.04224	5.19415	5.235025	-0.040875
18	4.4039	4.81538	4.63392	4.60964	0.02428
19	5.23659	6.89264	5.92574	6.064615	-0.138875
20	4.5447	4.95922	4.80337	4.75196	0.05141

Profil 2					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
6	8.39426	23.1737	16.0586	15.78398	0.27462
7	15.1532	20.4832	18.083	17.8182	0.2648
8	24.0397	17.8122	20.5825	20.92595	-0.34345
9	22.9211	19.8475	20.8909	21.3843	-0.4934
10	14.7985	22.1533	18.8385	18.4759	0.3626
11	27.1393	6.58935	17.064	16.864325	0.199675
12	32.4653	2.45823	17.3962	17.461765	-0.065565
13	8.45518	3.08396	5.76852	5.76957	-0.00105
14	3.94706	3.34571	3.613	3.646385	-0.033385
15	3.3566	3.35332	3.3581	3.35496	0.00314
16	3.92038	3.29436	3.59742	3.60737	-0.00995
17	3.71694	1.68614	2.23813	2.70154	-0.46341
18	3.18621	4.76613	3.93076	3.97617	-0.04541
19	3.48763	9.67846	6.68203	6.583045	0.098985
20	2.97309	8.94583	5.90957	5.95946	-0.04989

Profil 3					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
4	12.6675	22.223	16.7364	17.44525	-0.70885
5	9.35323	20.7233	14.9173	15.038265	-0.120965
6	8.38931	22.4383	15.9452	15.413805	0.531395
7	15.462	65.9748	41.3522	40.7184	0.6338
8	21.9348	26.2467	24.33	24.09075	0.23925
9	72.3094	127.692	102.639	100.0007	2.6383
10	23.2775	48.7495	35.7868	36.0135	-0.2267
11	131.456	13.2264	77.5571	72.3412	5.2159
12	82.5395	6.79214	43.1462	44.66582	-1.51962
13	14.4988	6.34805	10.3929	10.423425	-0.030525
14	4.20722	3.18993	3.67107	3.698575	-0.027505
15	7.0648	4.88104	6.13747	5.97292	0.16455
16	3.9214	3.34919	3.69115	3.635295	0.055855
17	7.81128	5.45543	6.68512	6.633355	0.051765
18	3.18219	5.69455	4.39195	4.43837	-0.04642
19	4.22219	29.4874	16.9169	16.854795	0.062105
20	19.6729	5.97595	12.4662	12.824425	-0.358225

Profil 4					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
3	8.72832	10.4135	9.61678	9.57091	0.04587
4	10.3405	12.5226	11.5936	11.43155	0.16205
5	10.0905	12.3115	11.2296	11.201	0.0286
6	11.1783	10.4267	10.796	10.8025	-0.0065
7	12.9509	38.8746	25.1571	25.91275	-0.75565
8	8.63864	42.2165	24.7947	25.42757	-0.63287
9	38.4269	68.5924	52.8281	53.50965	-0.68155
10	33.6954	19.4	26.2121	26.5477	-0.3356
11	8.12817	20.6536	14.5812	14.390885	0.190315
12	23.4565	4.48792	14.4429	13.97221	0.47069
13	18.8075	4.48999	11.9013	11.648745	0.252555
14	6.4742	3.57332	5.08649	5.02376	0.06273
15	4.80584	4.42732	4.65285	4.61658	0.03627
16	4.58464	4.58464	4.58464	4.58464	0
17	3.85346	4.92895	4.41814	4.391205	0.026935
18	3.97162	4.87011	4.4418	4.420865	0.020935
19	4.8002	7.91244	6.40513	6.35632	0.04881
20	4.27236	9.05376	6.68437	6.66306	0.02131
21	6.60458	14.101	10.7261	10.35279	0.37331

Profil 5					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
1	10.8313	12.3811	11.4555	11.6062	-0.1507
2	12.1846	11.1925	11.7946	11.68855	0.10605
3	11.565	13.3153	12.4995	12.44015	0.05935
4	10.2485	11.6726	10.957	10.96055	-0.00355
5	9.58788	8.17813	9.18069	8.883005	0.297685
6	7.99023	22.7894	15.4249	15.389815	0.035085
7	10.1083	33.1945	22.4672	21.6514	0.8158
8	13.7708	68.5268	41.5397	41.1488	0.3909
9	28.8432	79.7797	53.8008	54.31145	-0.51065
10	92.8764	102.952	97.8718	97.9142	-0.0424
11	92.0618	69.3209	80.6849	80.69135	-0.00645
12	104.876	19.606	60.7661	62.241	-1.4749
13	50.5502	5.90711	29.5019	28.228655	1.273245
14	22.5839	4.25259	13.7646	13.418245	0.346355
15	5.87804	4.02916	4.92399	4.9536	-0.02961
16	6.27452	4.37141	5.73244	5.322965	0.409475
17	4.87303	6.37865	5.73369	5.62584	0.10785
18	2.04738	4.16511	3.23985	3.106245	0.133605
19	5.67367	8.02774	6.94732	6.850705	0.096615
20	4.74605	5.05549	4.40702	4.90077	-0.49375

Profil 6					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
0	16.2939	15.003	13.0722	15.64845	-2.57625
1	24.4301	29.2757	26.9613	26.8529	0.1084
2	13.324	31.8839	22.1757	22.60395	-0.42825
3	30.2118	14.7426	22.5653	22.4772	0.0881
4	30.918	16.6402	23.3738	23.7791	-0.4053
5	15.5664	12.8555	14.596	14.21095	0.38505
6	19.7014	17.29	18.4399	18.4957	-0.0558
7	16.3202	39.2754	27.5131	27.7978	-0.2847
8	13.1614	32.2925	22.4275	22.72695	-0.29945
9	44.7875	36.4599	40.9544	40.6237	0.3307
10	36.053	120.576	79.0562	78.3145	0.7417
11	170.506	46.2889	107.48	108.39745	-0.91745
12	126.866	23.3639	74.7207	75.11495	-0.39425
13	43.9064	13.3415	28.8916	28.62395	0.26765
14	16.4983	3.60094	10.1606	10.04962	0.11098
15	12.2537	3.30882	7.97722	7.78126	0.19596
16	5.46662	4.82328	5.19051	5.14495	0.04556
17	3.18367	5.73446	4.38513	4.459065	-0.073935

18	3.88774	5.84521	4.81857	4.866475	-0.047905
19	3.3617	6.29813	5.00034	4.829915	0.170425
20	1.6168	15.3402	8.68595	8.4785	0.20745

Profil 7					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
0	27.0526	18.7372	22.8506	22.8949	-0.0443
2	19.5016	12.819	16.407	16.1603	0.2467
3	18.4011	9.35194	13.7297	13.87652	-0.14682
4	12.1833	12.399	12.5085	12.29115	0.21735
5	12.1604	17.7286	16.6466	14.9445	1.7021
6	10.7313	31.1041	20.4867	20.9177	-0.431
7	6.3024	34.3962	20.0899	20.3493	-0.2594
8	25.312	68.8698	48.2382	47.0909	1.1473
9	72.8751	84.8009	78.894	78.838	0.056
10	45.5166	76.0178	60.3485	60.7672	-0.4187
11	67.2022	242.001	155.212	154.6016	0.6104
12	51.1385	51.1396	51.0485	51.13905	-0.09055
13	285.512	11.5942	154.924	148.5531	6.3709
14	64.9873	1.46472	38.8418	33.22601	5.61579
15	26.289	2.55732	13.4212	14.42316	-1.00196
16	9.0764	5.05594	7.20427	7.06617	0.1381
17	1.89455	6.2573	4.17196	4.075925	0.096035
18	4.43753	5.01996	4.77736	4.728745	0.048615
19	6.93115	5.3678	6.02876	6.149475	-0.120715
20	4.31488	6.24539	5.35632	5.280135	0.076185

Profil 8					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
2	12.3092	10.069	11.132	11.1891	-0.0571
3	10.407	9.51205	10.0697	9.959525	0.110175
4	10.7724	11.5582	11.1667	11.1653	0.0014
5	10.3622	15.5786	13.1708	12.9704	0.2004
6	10.7424	21.9676	16.5701	16.355	0.2151
7	13.0183	37.2493	24.2557	25.1338	-0.8781
8	20.231	33.7393	26.8647	26.98515	-0.12045
9	34.4044	131.899	83.8618	83.1517	0.7101
10	28.2705	48.8745	39.262	38.5725	0.6895
11	100.539	48.9443	76.4185	74.74165	1.67685
12	94.2766	68.5988	82.2567	81.4377	0.819
13	43.488	43.4228	45.0788	43.4554	1.6234
14	25.459	12.2275	20.0291	18.84325	1.18585

15	47.5786	7.38732	28.7901	27.48296	1.30714
16	26.5584	3.68376	15.0411	15.12108	-0.07998
17	5.02585	1.07403	3.07748	3.04994	0.02754
18	5.46734	7.20799	6.35172	6.337665	0.014055
19	3.28777	5.33588	4.31319	4.311825	0.001365
20	2.37773	2.37717	2.37421	2.37745	-0.00324

Profil 9					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
0	17.3437	14.8617	16.0669	16.1027	-0.0358
1	15.5852	14.7528	14.9537	15.169	-0.2153
2	13.6875	10.3943	12.0093	12.0409	-0.0316
3	16.5379	15.7254	16.0626	16.13165	-0.06905
4	13.2953	15.301	14.0138	14.29815	-0.28435
5	14.2553	13.485	13.6495	13.87015	-0.22065
6	20.6243	16.9585	19.0663	18.7914	0.2749
7	16.4126	12.5878	14.6914	14.5002	0.1912
8	13.9848	52.6049	33.2907	33.29485	-0.00415
9	16.6017	79.1845	48.6155	47.8931	0.7224
10	23.3303	186.075	102.643	104.70265	-2.05965
11	130.161	44.2502	88.5631	87.2056	1.3575
12	258.946	63.4553	164.808	161.20065	3.60735
13	30.4702	35.535	33.1758	33.0026	0.1732
14	57.6054	14.4619	36.1832	36.03365	0.14955
15	51.4867	4.65621	28.7093	28.071455	0.637845
16	19.66	2.82689	10.788	11.243445	-0.455445
17	10.211	2.19148	6.19576	6.20124	-0.00548
18	4.72338	2.73652	3.73506	3.72995	0.00511
19	3.0262	3.02407	3.02407	3.025135	-0.001065
20	3.96954	3.32158	3.64501	3.64556	-0.00055

Profil 10					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
0	10.6475	7.41983	9.24686	9.033665	0.213195
1	13.7314	13.0642	13.6583	13.3978	0.2605
2	6.78514	12.1352	9.31207	9.46017	-0.1481
3	65.4266	15.1967	40.6061	40.31165	0.29445
4	33.7869	23.2271	28.2712	28.507	-0.2358
5	13.6736	19.4269	16.4275	16.55025	-0.12275
6	21.5662	15.5005	18.7693	18.53335	0.23595
7	15.4944	10.5133	12.8641	13.00385	-0.13975
8	153.851	119.627	134.251	136.739	-2.488

9	14.0513	33.4566	22.7586	23.75395	-0.99535
10	9.57977	122.064	67.5058	65.821885	1.683915
11	55.4431	11.3555	34.4991	33.3993	1.0998
12	52.8639	44.8138	47.1042	48.83885	-1.73465
13	16.5046	24.3896	20.6235	20.4471	0.1764
14	46.3348	10.5663	28.8317	28.45055	0.38115
15	81.1512	4.1765	42.3653	42.66385	-0.29855
16	35.53	1.94268	19.0415	18.73634	0.30516
17	9.38006	1.84708	5.64136	5.61357	0.02779
18	7.27122	2.71425	4.99581	4.992735	0.003075
19	5.16975	1.75604	3.43496	3.462895	-0.027935

Profil 11					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
0	8.40822	11.5318	9.80503	9.97001	-0.16498
1	5.84491	19.6555	12.5253	12.750205	-0.224905
2	6.38281	5.358228	5.95934	5.870519	0.088821
3	16.2011	82.324	49.6111	49.26255	0.34855
4	21.7732	82.0077	52.638	51.89045	0.74755
5	68.9057	45.477	56.1524	57.19135	-1.03895
6	111.346	83.9114	95.3669	97.6287	-2.2618
7	41.413	108.161	76.9363	74.787	2.1493
8	82.2137	96.0095	89.1717	89.1116	0.0601
9	160.425	92.2524	126.232	126.3387	-0.1067
10	101.581	35.1662	70.2549	68.3736	1.8813
11	100.243	22.3886	62.025	61.3158	0.7092
12	43.3406	9.36252	25.457	26.35156	-0.89456
13	38.354	12.6019	24.8165	25.47795	-0.66145
14	24.6019	14.0884	19.6985	19.34515	0.35335
15	32.5528	1.80164	17.4854	17.17722	0.30818
16	9.7613	2.75234	6.45229	6.25682	0.19547
17	8.13774	3.81132	5.9269	5.97453	-0.04763

Profil 12					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
0	8.9025	8.10768	8.90521	8.50509	0.40012
1	4.38388	7.40032	5.89027	5.8921	-0.00183
2	6.31601	15.361	10.9357	10.838505	0.097195
3	9.23358	27.1773	18.9594	18.20544	0.75396
4	18.4117	46.7607	32.4561	32.5862	-0.1301
5	31.1656	71.7789	49.821	51.47225	-1.65125
6	39.655	106.88	75.3219	73.2675	2.0544

7	89.4969	123.188	105.534	106.34245	-0.80845
8	185.3	135.649	158.342	160.4745	-2.1325
9	142.706	97.8032	114.745	120.2546	-5.5096
10	143.796	70.3375	105.802	107.06675	-1.26475
11	171.291	90.4093	132.589	130.85015	1.73885
12	145.631	40.3651	95.3543	92.99805	2.35625
14	87.9223	38.369	65.1851	63.14565	2.03945
15	67.1991	11.5631	38.9573	39.3811	-0.4238
16	48.9445	3.66603	29.8349	26.305265	3.529635
17	11.8601	3.87636	7.94486	7.86823	0.07663
18	5.34918	5.34918	5.34918	5.34918	0
19	4.5942	4.85779	4.68835	4.725995	-0.037645
20	4.23613	5.96543	5.12348	5.10078	0.0227

Profil 13					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
0	8.06581	6.378	7.25172	7.221905	0.029815
1	8.38679	5.9905	7.23365	7.188645	0.045005
2	10.296	6.43691	8.32258	8.366455	-0.043875
3	12.9722	7.26592	10.1643	10.11906	0.04524
4	59.9777	14.1108	37.4976	37.04425	0.45335
5	75.5683	15.6455	45.3229	45.6069	-0.284
6	89.6939	35.0731	61.8871	62.3835	-0.4964
7	113.596	89.9469	100.032	101.77145	-1.73945
8	272.397	94.5035	185.045	183.45025	1.59475
9	206.913	80.7846	142.395	143.8488	-1.4538
10	192.428	300.304	280.34	246.366	33.974
11	134.397	248.304	190.955	191.3505	-0.3955
12	193.606	258.587	226.65	226.0965	0.5535
13	29.4505	144.01	88.8277	86.73025	2.09745
14	15.5345	48.882	32.7957	32.20825	0.58745
15	4.92495	26.2244	15.5338	15.574675	-0.040875
17	2.98299	13.7673	8.35618	8.375145	-0.018965
18	4.4016	8.23642	6.3144	6.31901	-0.00461
19	5.343	4.79139	5.15786	5.067195	0.090665

Profil 14					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
0	7.32849	6.80308	7.06107	7.065785	-0.004715
1	6.57392	9.58729	7.88831	8.080605	-0.192295
2	4.29521	10.0998	7.31849	7.197505	0.120985
3	10.4752	64.5573	12.3466	37.51625	-25.16965

4	12.3746	26.7631	20.1265	19.56885	0.55765
5	34.8028	91.499	63.8761	63.1509	0.7252
6	33.8145	148.212	91.9958	91.01325	0.98255
7	86.4145	278.659	178.907	182.53675	-3.62975
8	139.982	236.189	215.939	188.0855	27.8535
9	199.113	227.472	213.135	213.2925	-0.1575
10	222.441	86.7224	155.31	154.5817	0.7283
11	306.798	68.058	189.777	187.428	2.349
12	303.752	53.8986	180.992	178.8253	2.1667
13	79.1056	36.3399	56.0723	57.72275	-1.65045
14	78.5247	10.0676	44.9558	44.29615	0.65965
15	47.2008	4.31842	25.3233	25.75961	-0.43631
16	13.6624	3.40939	8.6897	8.535895	0.153805
17	8.76312	5.35572	7.07568	7.05942	0.01626
18	4.78612	3.86526	4.44298	4.32569	0.11729
19	5.20034	6.05245	5.63707	5.626395	5.63701

Profil 15					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
0	9.59064	8.40769	9.01057	8.999165	0.011405
1	9.63622	11.4851	10.5605	10.56066	-0.00016
2	8.31445	11.9342	10.2434	10.124325	0.119075
3	7.99562	17.0484	12.6421	12.52201	0.12009
4	11.0929	25.5884	19.2474	18.34065	0.90675
5	18.5327	73.3822	46.0984	45.95745	0.14095
6	19.2571	61.0976	41.4438	40.17735	1.26645
7	58.7044	210.372	136.24	134.5382	1.7018
8	60.5257	302.453	176.353	181.48935	-5.13635
9	179.351	109.55	143.012	144.4505	-1.4385
10	317.142	105.571	215.255	211.3565	3.8985
11	81.9849	28.0515	54.9361	55.0182	-0.0821
12	101.267	74.937	89.1018	88.102	0.9998
13	56.9292	23.4483	41.2697	40.18875	1.08095
14	101.715	13.4564	58.4262	57.5857	0.8405
15	29.153	21.0858	24.3394	25.1194	-0.78
16	14.5158	38.9916	26.3345	26.7537	-0.4192
17	6.91762	5.39945	6.2562	6.158535	0.097665
18	3.9292	5.43244	4.60418	4.68082	-0.07664
19	4.74197	6.02088	5.55532	5.381425	0.173895

Profil 16					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
0	12.0567	13.2749	12.613	12.6658	-0.0528
1	11.7929	7.28689	9.63122	9.539895	0.091325
2	10.6199	10.6199	10.6199	10.6199	0
3	5.84679	16.8569	11.4501	11.351845	0.098255
4	8.37946	32.6434	20.6382	20.51143	0.12677
5	12.968	21.6574	17.7476	17.3127	0.4349
6	32.4287	41.3152	37.2937	36.87195	0.42175
7	25.539	54.1806	41.8202	39.8598	1.9604
8	42.6709	188.033	111.112	115.35195	-4.23995
9	14.9399	76.9846	46.0001	45.96225	0.03785
10	143.143	52.0094	95.7881	97.5762	-1.7881
11	75.9111	79.1686	79.0256	77.53985	1.48575
12	68.0419	64.7584	65.6698	66.40015	-0.73035
13	109.519	22.1311	68.748	65.82505	2.92295
14	83.6929	8.39084	45.0981	46.04187	-0.94377
15	24.6848	3.8172	14.1895	14.251	-0.0615
16	10.5397	3.3452	7.25615	6.94245	0.3137
17	6.57506	5.10712	6.01831	5.84109	0.17722
18	3.9929	5.68495	4.83257	4.838925	-0.006355
19	5.07291	6.21545	5.65799	5.64418	0.01381

Profil 17					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
3	7.05004	66.7799	38.1838	36.91497	1.26883
4	13.1193	24.5668	19.5228	18.84305	0.67975
5	16.8709	22.9435	20.3264	19.9072	0.4192
6	23.7397	44.2017	34.2469	33.9707	0.2762
7	29.0484	73.9738	51.4377	51.5111	-0.0734
8	49.2472	105.448	79.6948	77.3476	2.3472
9	339.82	44.5405	143.769	192.18025	-48.41125
10	265.055	99.8611	133.852	182.45805	-48.60605
11	86.1177	100.896	94.2333	93.50685	0.72645
12	81.9399	24.6774	60.8162	53.30865	7.50755
13	113.172	8.39916	63.7135	60.78558	2.92792
14	51.9039	4.21827	26.6214	28.061085	-1.439685
15	12.5944	4.1433	8.54263	8.36885	0.17378
16	18.395	3.48176	11.1227	10.93838	0.18432
17	5.58191	4.234	5.05388	4.907955	0.145925
18	4.24701	5.54716	4.77895	4.897085	-0.118135
19	4.26002	6.41856	5.29442	5.33929	-0.04487
20	4.7049	5.46119	5.00638	5.083045	-0.076665

Profil 18					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
5	32.1246	30.0358	31.116	31.0802	0.0358
6	33.9791	30.8213	32.5791	32.4002	0.1789
7	25.9984	32.2873	28.3723	29.14285	-0.77055
8	22.0804	34.1095	27.8328	28.09495	-0.26215
9	27.6341	33.0209	31.394	30.3275	1.0665
10	27.5257	53.7952	42.242	40.66045	1.58155
11	22.8756	32.3206	26.2501	27.5981	-1.348
12	57.6708	12.8294	36.4014	35.2501	1.1513
13	38.26	5.67977	22.3908	21.969885	0.420915
14	11.1124	3.47086	7.27805	7.29163	-0.01358
15	7.09335	4.89452	5.66381	5.993935	-0.330125
16	4.43761	4.0596	4.23381	4.248605	-0.014795
17	5.21005	4.23173	4.69515	4.72089	-0.02574
18	4.96896	4.02881	4.41024	4.498885	-0.088645
19	3.68789	10.8974	6.94892	7.292645	-0.343725
20		11.0391	6.34223	5.51955	0.82268

B. Les tableaux de Hamiemat Sud

Profil 25					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
39	30.6657	17.6038	23.7178	24.13475	-0.41695
40	24.2388	16.1673	20.3554	20.20305	0.15235
41	26.9115	15.5809	21.0226	21.2462	-0.2236
42	20.5992	16.7089	18.9902	18.65405	0.33615
43	24.6578	20.4267	22.6978	22.54225	0.15555
44	26.0478	23.2327	24.3782	24.64025	-0.26205
45	28.7012	33.8707	31.8436	31.28595	0.55765
46	41.0984	59.5238	50.2846	50.3111	-0.0265
47	88.6329	52.6446	72.4346	70.63875	1.79585
48	66.1275	22.5014	42.6668	44.31445	-1.64765
49	38.7162	15.9505	26.37	27.33335	-0.96335
50	29.9938	19.237	24.003	24.6154	-0.6124
51	33.7028	19.3362	26.2102	26.5195	-0.3093
52	28.0662	20.7998	24.6569	24.433	0.2239
53	35.4166	24.6741	29.9185	30.04535	-0.12685
54	33.5704	24.0667	28.9638	28.81855	0.14525
55	33.4893	21.6741	27.703	27.5817	0.1213
56	30.9897	16.0494	23.2095	23.51955	-0.31005
57	28.9347	15.9889	22.3338	22.4618	-0.128
58	30.1566	11.4026	20.3264	20.7796	-0.4532
59	21.152	6.40977	13.4448	13.780885	-0.336085
60	7.76599	5.48449	6.8534	6.62524	0.22816

Profil 26					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
39	15.2741	11.5379	13.6771	13.406	0.2711
40	17.6004	10.1198	14.1459	13.8601	0.2858
41	7.78373	6.63844	7.31312	7.211085	0.102035
42	9.72019	10.1667	9.98207	9.943445	0.038625
43	10.6954	19.8602	15.7751	15.2778	0.4973
44	14.1343	36.9138	25.5235	25.52405	-0.00055
45	79.2989	281.88	148.083	180.58945	-32.50645
46	1495.57	961.483	1258.9	1228.5265	30.3735
47	907.418	684.02	763.479	795.719	-32.24
48	523.62	151.474	334.716	337.547	-2.831
50	854.753	8.87493	431.184	431.813965	-0.629965
51	13.0807	8.71113	10.6836	10.895915	-0.212315
52	18.4953	8.6177	13.1331	13.5565	-0.4234

53	14.4728	4.86977	9.00705	9.671285	-0.664235
54	6.89493	7.39982	7.18978	7.147375	0.042405
55	8.56485	13.8259	11.2439	11.195375	0.048525
56	26.379	12.3507	19.4731	19.36485	0.10825
57	20.7828	11.2959	16.0822	16.03935	0.04285
58	16.7646	10.0908	13.3863	13.4277	-0.0414
59	15.6982	6.74176	11.0552	11.21998	-0.16478
60	9.34772	6.42978	7.86494	7.88875	-0.02381
61	8.89132	7.52052	8.37184	8.20592	0.16592

Profil 27					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
40	7.79548	10.4178	9.05048	9.10664	-0.05616
41	6.70366	15.0434	10.472	10.87353	-0.40153
42	7.1549	23.2495	14.1227	15.2022	-1.0795
43	5.75202	103.675	57.0132	54.71351	2.29969
44	11.2538	142.578	101.265	76.9159	24.3491
45	51.568	1543	779.18	797.284	-18.104
46	80.2101	1582.99	953.785	831.60005	122.18495
47	658.053	1102.86	853.244	880.4565	-27.2125
48	1157.15	791.599	968.993	974.3745	-5.3815
49	846.975	1142.95	1001.68	994.9625	6.7175
50	736.217	677.665	706.609	706.941	-0.332
51	752.084	647.296	699.076	699.69	-0.614
52	2402.87	900.061	1595.38	1651.4655	-56.0855
53	1431.2	438.919	930.173	935.0595	-4.8865
54	1080.26	42.8428	752.926	561.5514	191.3746
55	226.206	7.18758	111.011	116.69679	-5.68579
56	2.8167	6.29255	4.54369	4.554625	-0.010935
57	5.21387	5.21328	5.19394	5.213575	-0.019635
58	6.03176	2.83467	4.43554	4.433215	0.002325
59	4.95701	6.74536	5.74018	5.851185	-0.111005

Profil 28					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
39	8.44479	27.268	19.1027	17.856395	1.246305
40	28.245	50.6615	40.5424	39.45325	1.08915
41	38.6716	94.1343	69.6146	66.40295	3.21165
42	87.7483	141.09	112.54	114.41915	-1.87915
43	37.9162	261.146	140.034	149.5311	-9.4971
44	340.465	1011.77	674.339	676.1175	-1.7785
45	1406.31	516.005	884.234	961.1575	-76.9235

46	383.629	446.062	419.932	414.8455	5.0865
47	588.24	1431.59	994.836	1009.915	-15.079
48	1084.62	383.396	799.544	734.008	65.536
49	540.844	139.27	359.44	340.057	19.383
50	159.115	76.5775	117.114	117.84625	-0.73225
51	159.303	8.94409	85.2051	84.123545	1.081555
52	7.42235	9.74456	8.66193	8.583455	0.078475
53	9.45844	5.72015	7.66937	7.589295	0.080075
54	7.11217	3.52999	5.29651	5.32108	-0.02457
55	4.37965	6.48762	5.45831	5.433635	0.024675
56	7.54623	5.92704	6.82726	6.736635	0.090625
57	7.1691	7.1691	7.1691	7.1691	0
58	6.73191	6.73191	6.73191	6.73191	0
59	6.76578	8.4068	7.61059	7.58629	0.0243
60	8.95506	7.72182	8.11628	8.33844	-0.22216
61	13.2729	4.23573	8.10777	8.754315	-0.646545

Profil 29					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
40	41.2918	79.0174	61.4282	60.1546	1.2736
41	130.307	249.403	194.989	189.855	5.134
42	109.043	3173.7	1583.47	1641.3715	-57.9015
43	472.974	4692.8	2471.69	2582.887	-111.197
44	2573.02	3406.58	2987.43	2989.8	-2.37
45	3618.6	1008.7	2222.21	2313.65	-91.44
46	1230.67	826.613	1005.27	1028.6415	-23.3715
47	610.15	610.15	610.15	610.15	0
48	766.357	201.516	486.384	483.9365	2.4475
49	401.165	29.0442	207.029	215.1046	-8.0756
50	44.6033	7.06639	26.895	25.834845	1.060155
51	8.95137	8.95137	8.95137	8.95137	0
52	8.49417	7.24394	7.80168	7.869055	-0.067375
53	6.95919	8.82072	8.01374	7.889955	0.123785
54	9.87061	8.8507	9.24676	9.360655	-0.113895
55	6.95543	6.10631	6.0503	6.53087	-0.48057

Profil 31					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
40	9.37341	48.2759	27.596	28.824655	-1.228655
41	23.4396	72.3875	48.0753	47.91355	0.16175
42	56.9245	102.947	80.6701	79.93575	0.73435
43	74.8102	183.484	130.382	129.1471	1.2349
44	161.42	4746.75	2693.39	2454.085	239.305
45	1849.8	1193.21	1749.53	1521.505	228.025
46	582.136	150.147	348.082	366.1415	-18.0595
47	174.464	117.118	147.374	145.791	1.583
48	131.118	49.4523	52.7075	90.28515	-37.57765
49	14.0437	12.0461	12.8832	13.0449	-0.1617
50	22.1168	9.79699	16.0735	15.956895	0.116605
51	19.7533	5.0779	12.64	12.4156	0.2244
52	4.51922	12.7285	9.11568	8.62386	0.49182
53	14.0306	7.87462	10.9933	10.95261	0.04069

Profil 33					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
40	10.4994	3.33361	6.9775	6.916505	0.060995
41	4.04968	9.66421	6.89612	6.856945	0.039175
42	6.2273	25.1207	15.7221	15.674	0.0481
43	19.6723	179.689	101.246	99.68065	1.56535
44	142.3	142.3	142.3	142.3	0
45	150.989	344.471	249.524	247.73	1.794
46	201.362	3215.64	1725.67	1708.501	17.169
47	160.078	529.332	340.084	344.705	-4.621
48	455.283	713.983	589.682	584.633	5.049
49	580.444	1127.13	828.824	853.787	-24.963
50	437.928	3809.29	2083.01	2123.609	-40.599
51	262.75	50.1068	160.185	156.4284	3.7566
52	4709.62	14.4202	2380.44	2362.0201	18.4199
53	9.05194	6.85947	8.02923	7.955705	0.073525
54	7.30437	6.75175	7.06202	7.02806	0.03396
55	8.38586	14.334	11.1082	11.35993	-0.25173
56	3.17313	13.5387	8.25433	8.355915	-0.101585
57	21.9445	45.415	29.3989	33.67975	-4.28085
58	151.196	14.3553	80.8372	82.77565	-1.93845
59	19.8035	7.75632	13.9204	13.77991	0.14049
60	9.5605	9.5605	9.5605	9.5605	0
61	8.34667	4.65114	6.42033	6.498905	-0.078575

Profil 35					
Piquet	ρ_{AMN}	ρ_{BMN}	ρ_{AMNB}	$\frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$	$\rho_{AMNB} - \frac{\rho_{AMN} + \rho_{BMN}}{2}$
39	15.8987	15.8987	15.8987	15.8987	0
40	13.9069	11.5476	12.6409	12.72725	-0.08635
41	12.0199	8.60342	10.1693	10.31166	-0.14236
42	10.7502	17.858	14.6749	14.3041	0.3708
43	28.7818	21.6367	25.7725	25.20925	0.56325
44	23.7311	27.1593	25.6616	25.4452	0.2164
45	21.0937	31.4278	26.7127	26.26075	0.45195
46	28.8924	48.8174	39.8714	38.8549	1.0165
47	55.9725	25.1321	41.2514	40.5523	0.6991
48	22.4807	16.8986	19.6706	19.68965	-0.01905
49	16.5184	13.0623	14.9742	14.79035	0.18385
50	14.4381	11.2097	12.9668	12.8239	0.1429
51	11.5955	11.5955	11.5955	11.5955	0
52	11.6002	14.9175	13.4602	13.25885	0.20135
53	13.9047	17.6347	16.0842	15.7697	0.3145
54	10.4735	11.4116	10.9305	10.94255	-0.01205
55	13.998	12.0243	13.2439	13.01115	0.23275
56	10.4936	17.8945	14.5681	14.19405	0.37405
57	17.9262	17.9262	17.9262	17.9262	0
58	21.3876	4.66393	14.312	13.025765	1.286235
59	17.18	7.31264	12.9948	12.24632	0.74848
60	21.9993	4.22348	14.3839	13.11139	1.27251
61	12.5721	9.94169	11.5349	11.256895	0.278005

ANNEXE 5

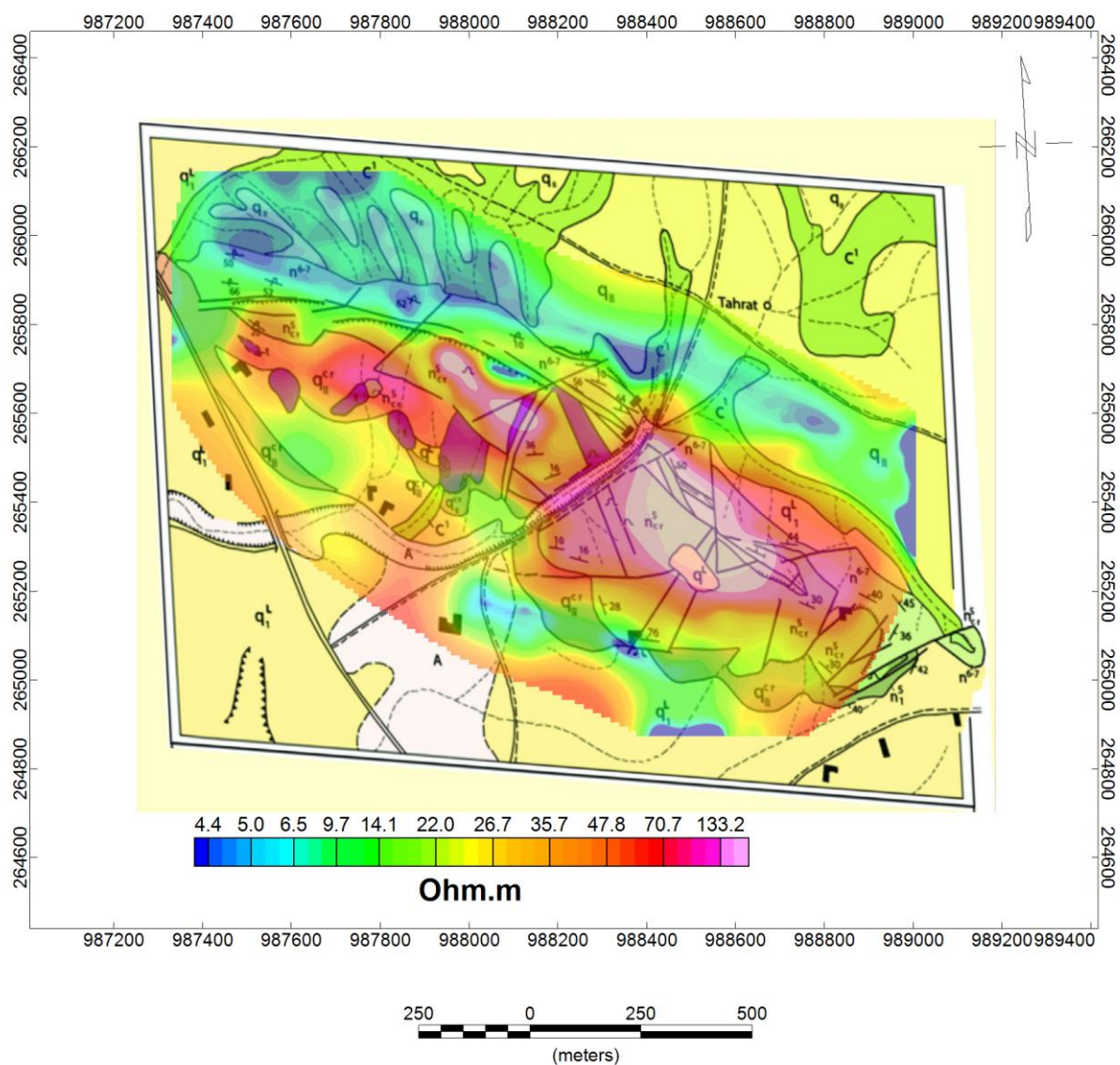


Figure 37: Carte de résistivité de Hameimat Nord superposée à la régionale

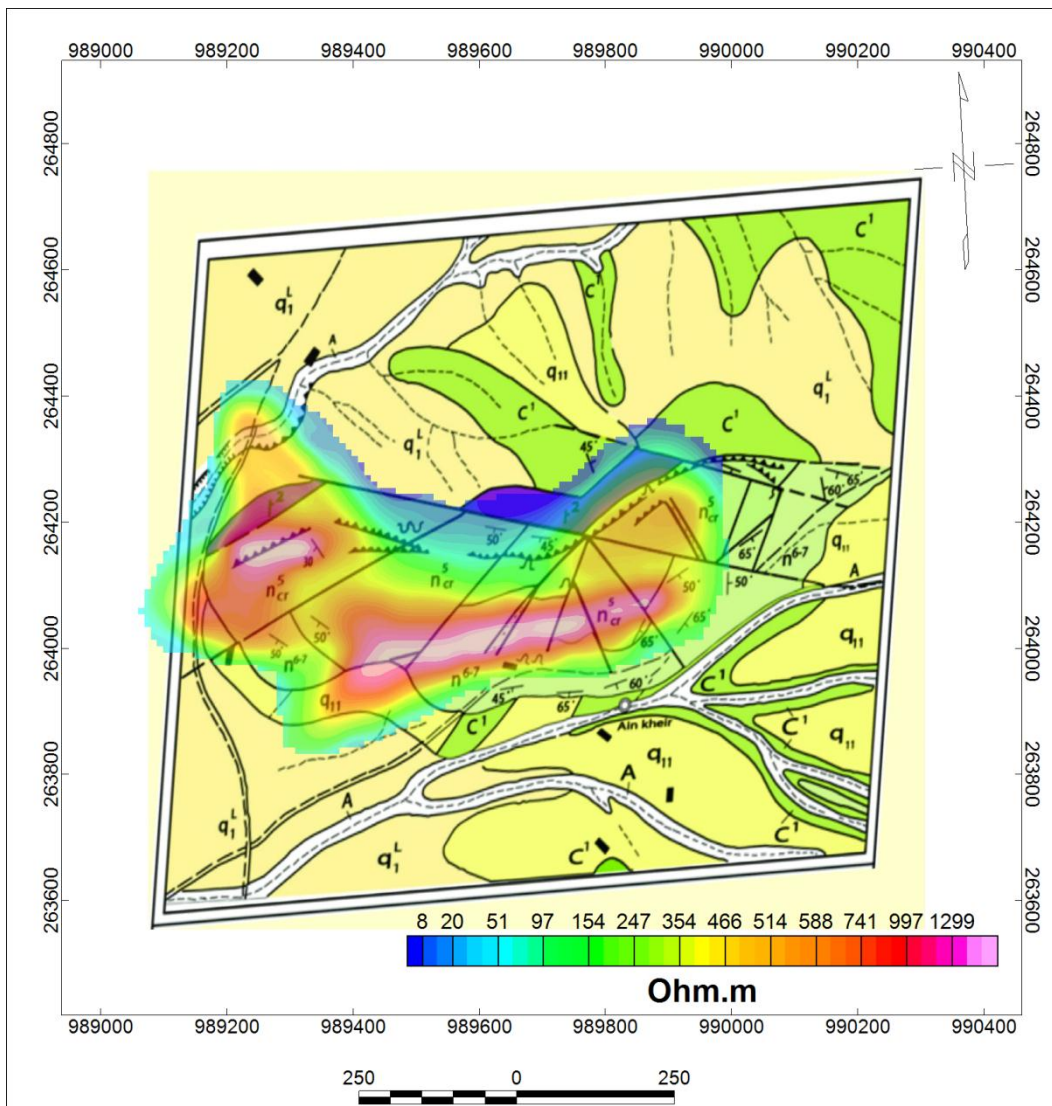


Figure 38: Carte de résistivité de Hameimat Nord superposée à la carte géologique

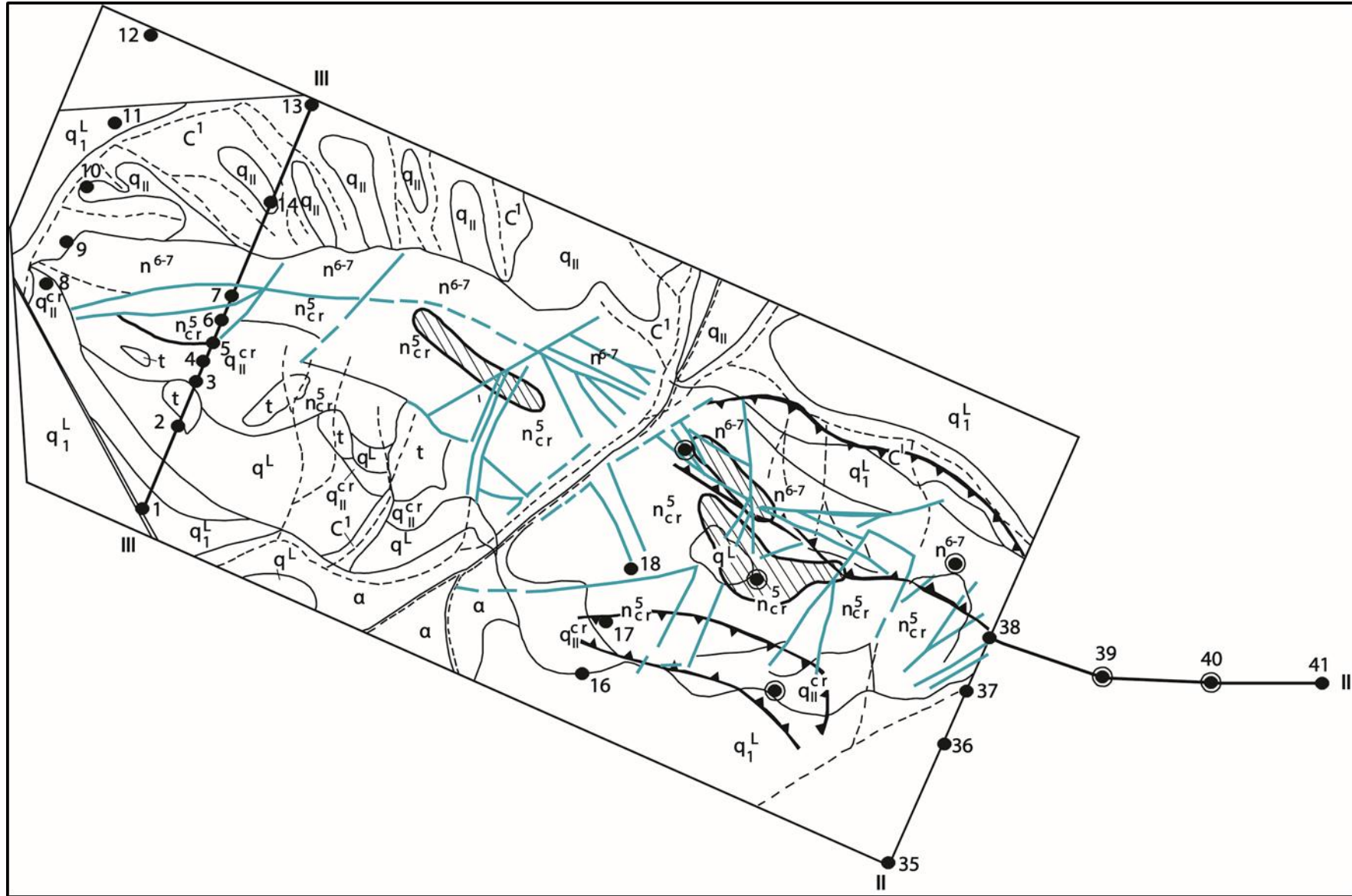


Figure 39: Position des sondages électriques sur la carte géologique de Hameimat Nord

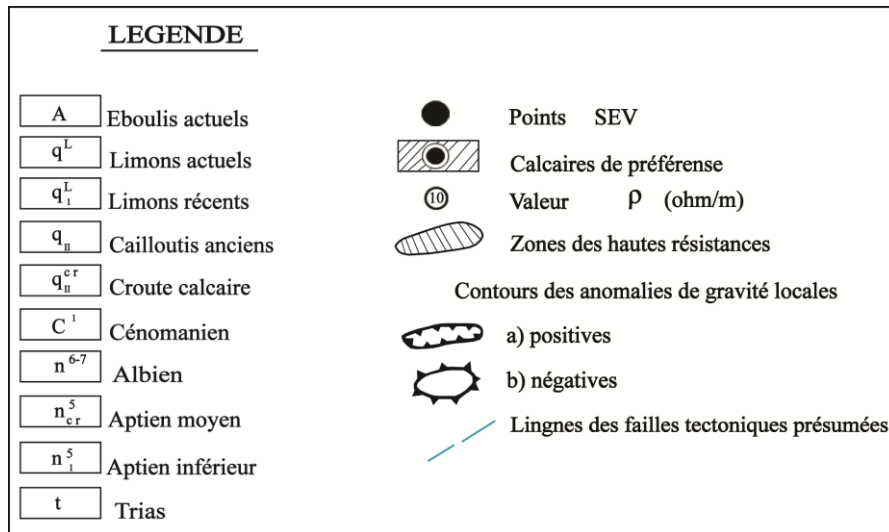
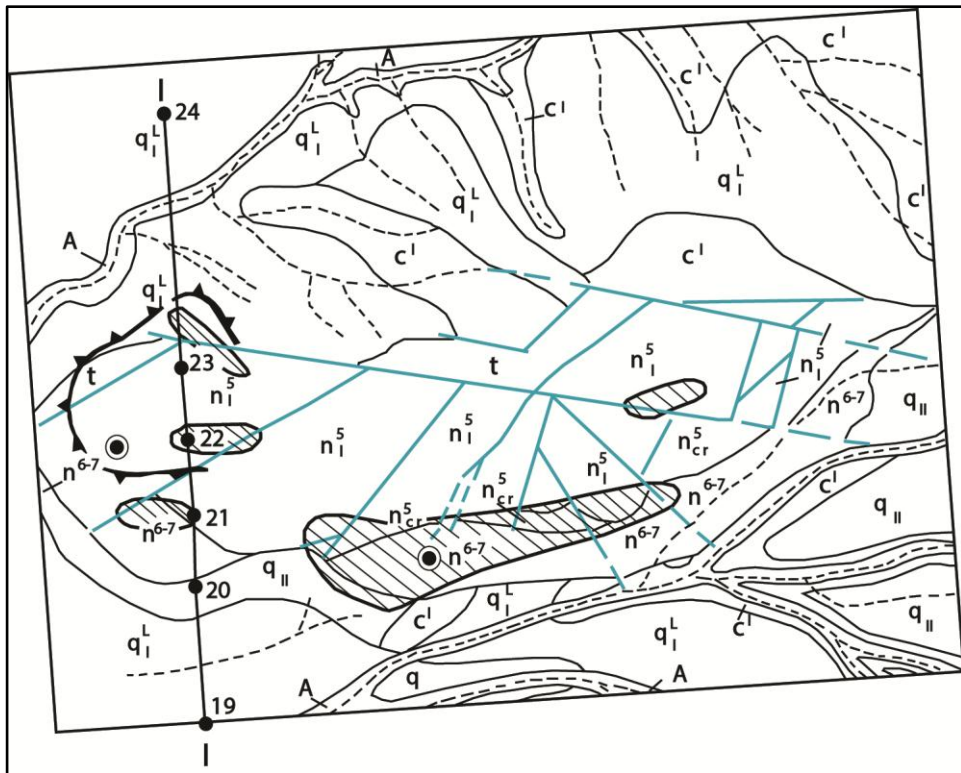
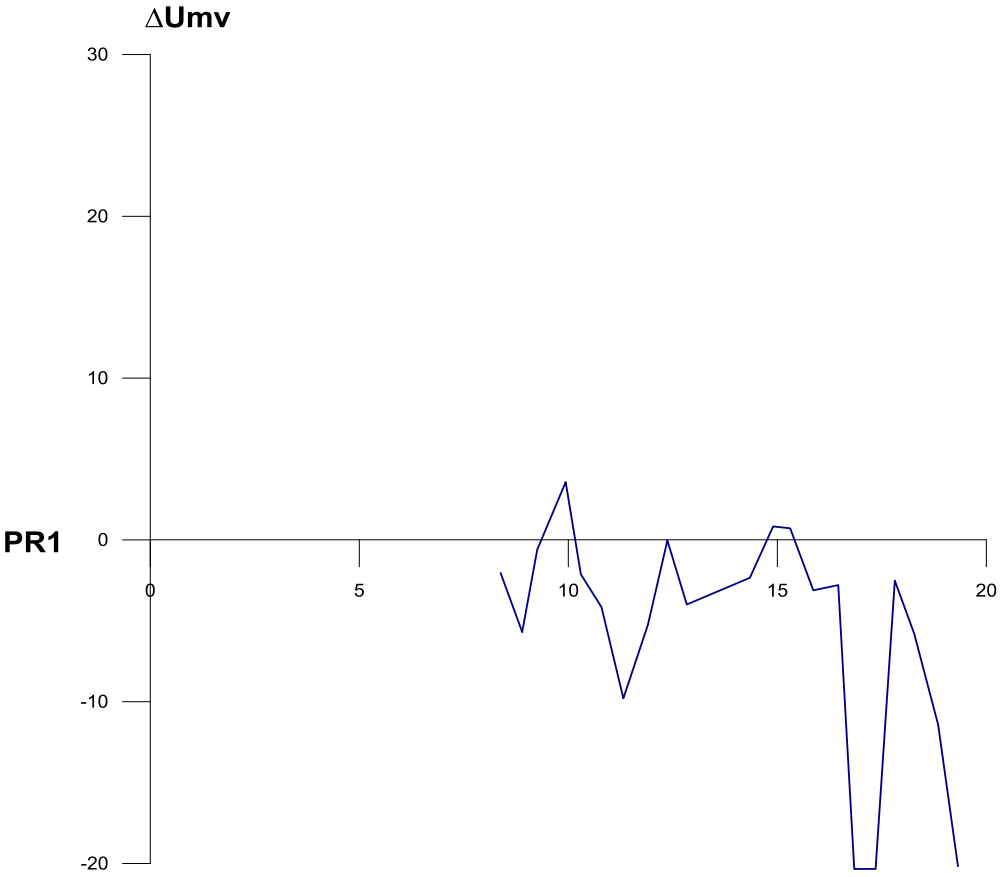
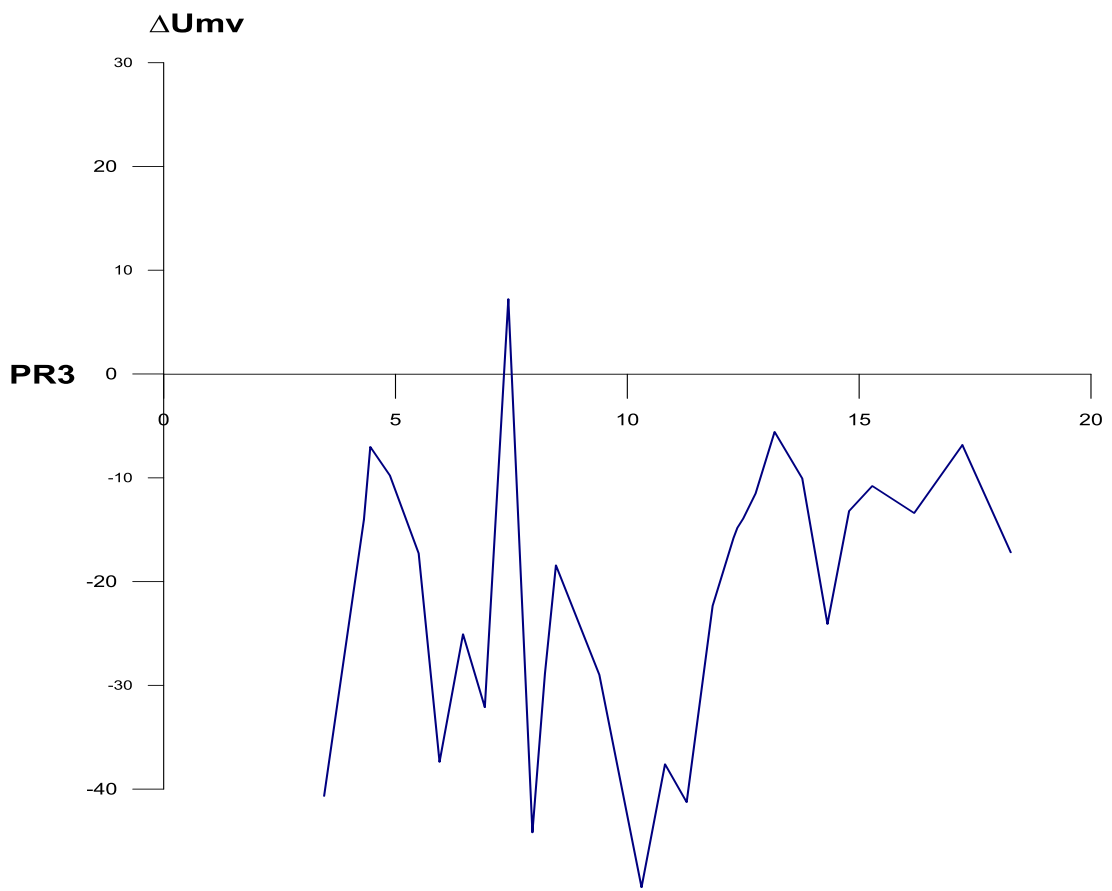
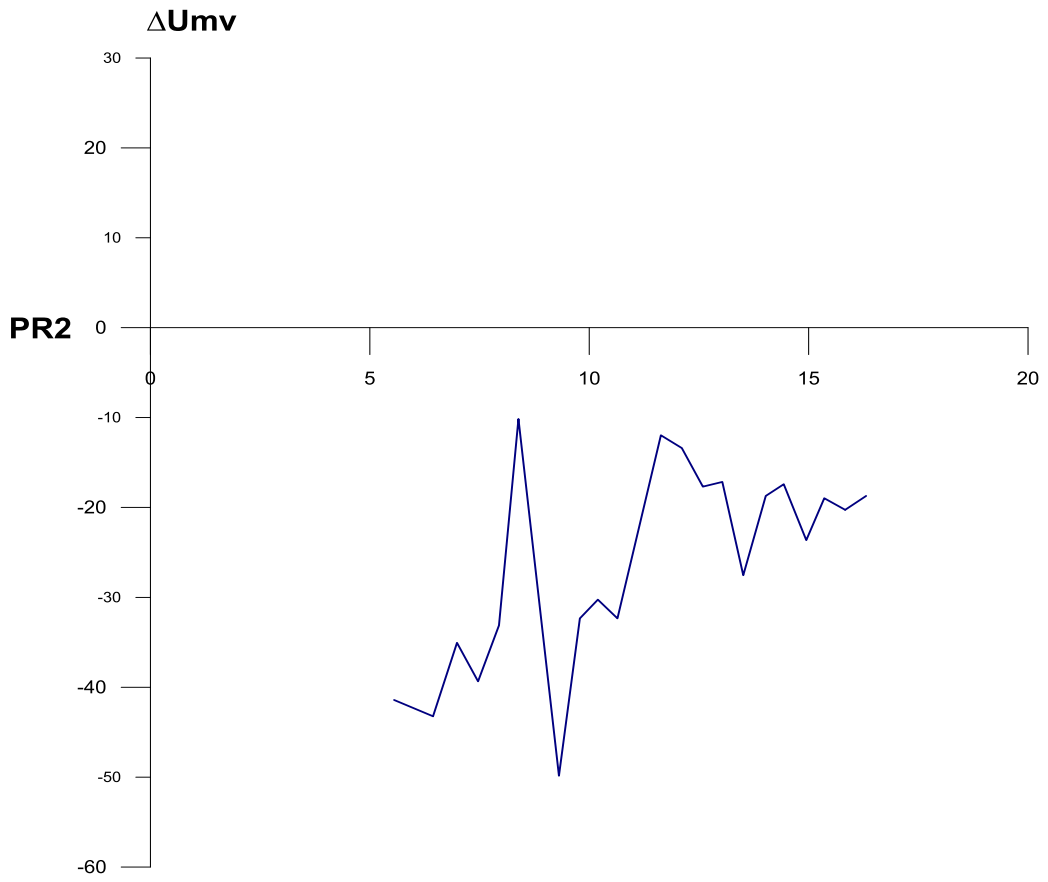


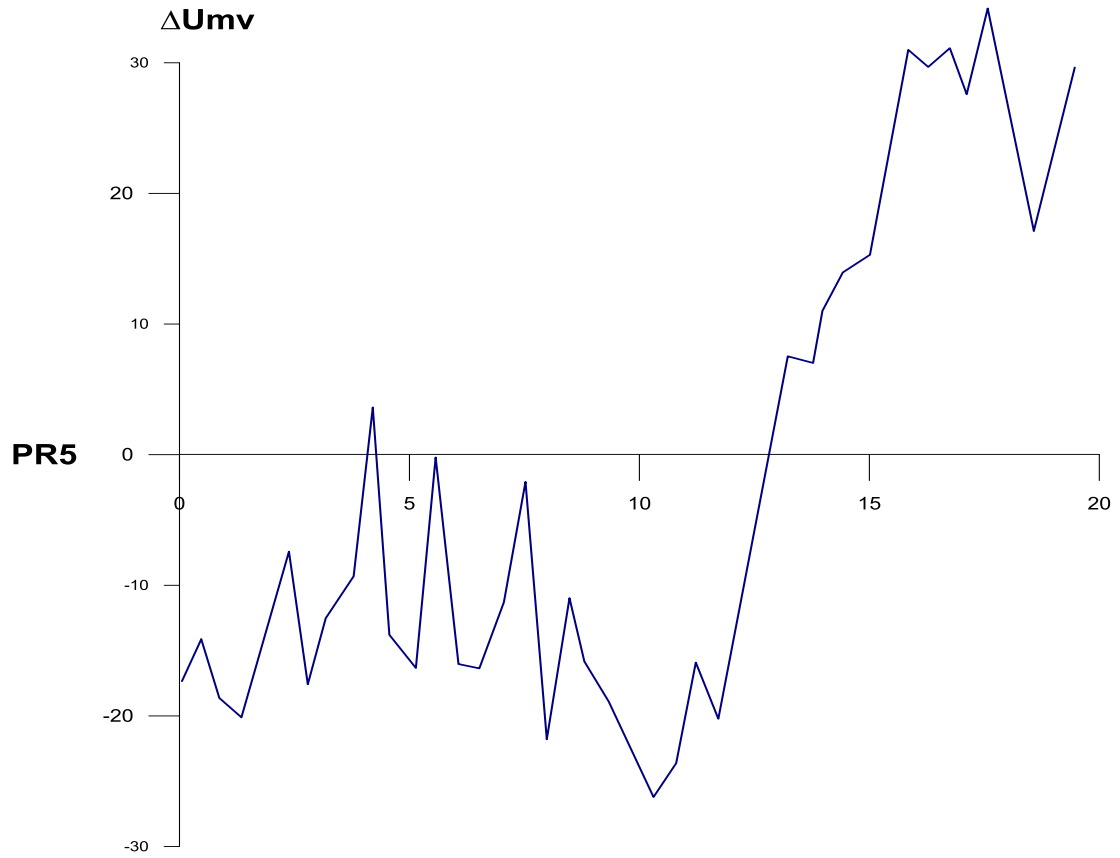
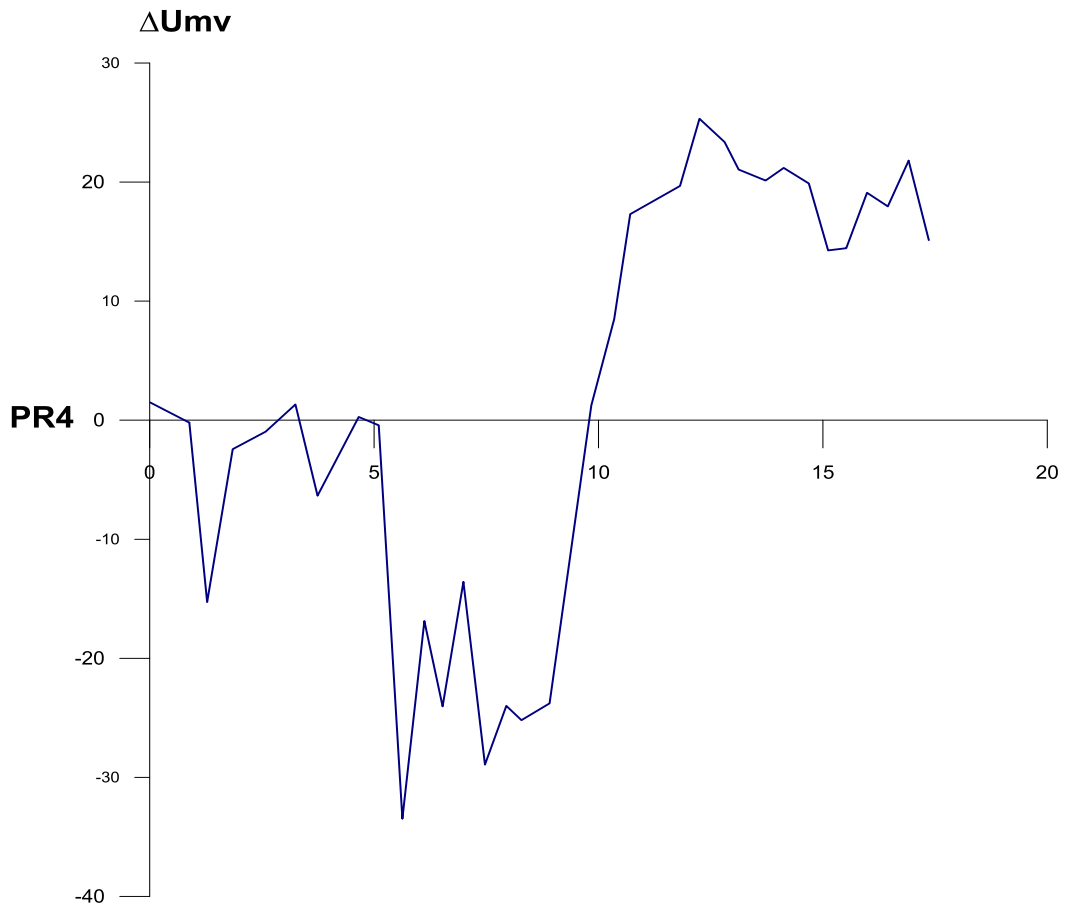
Figure 40: Position des sondages électriques sur la carte géologique de Hameimat Nord

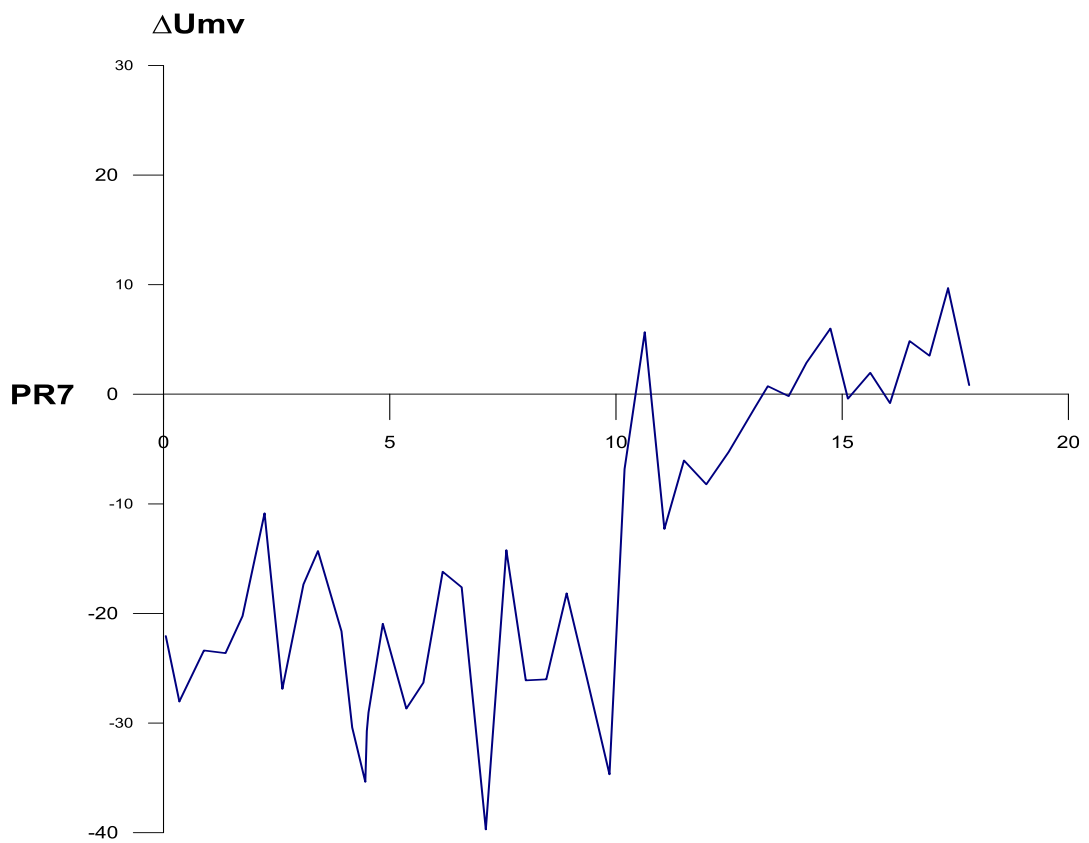
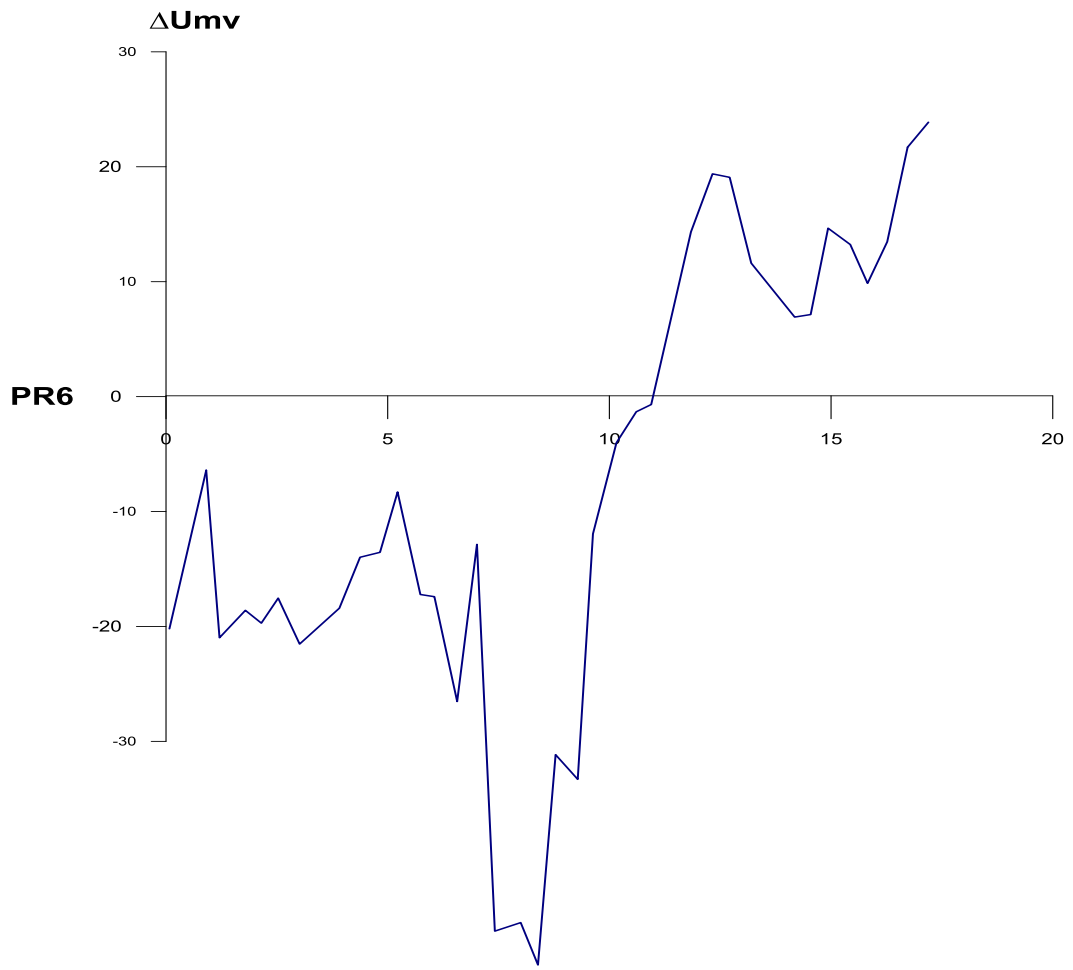
ANNEXE 6

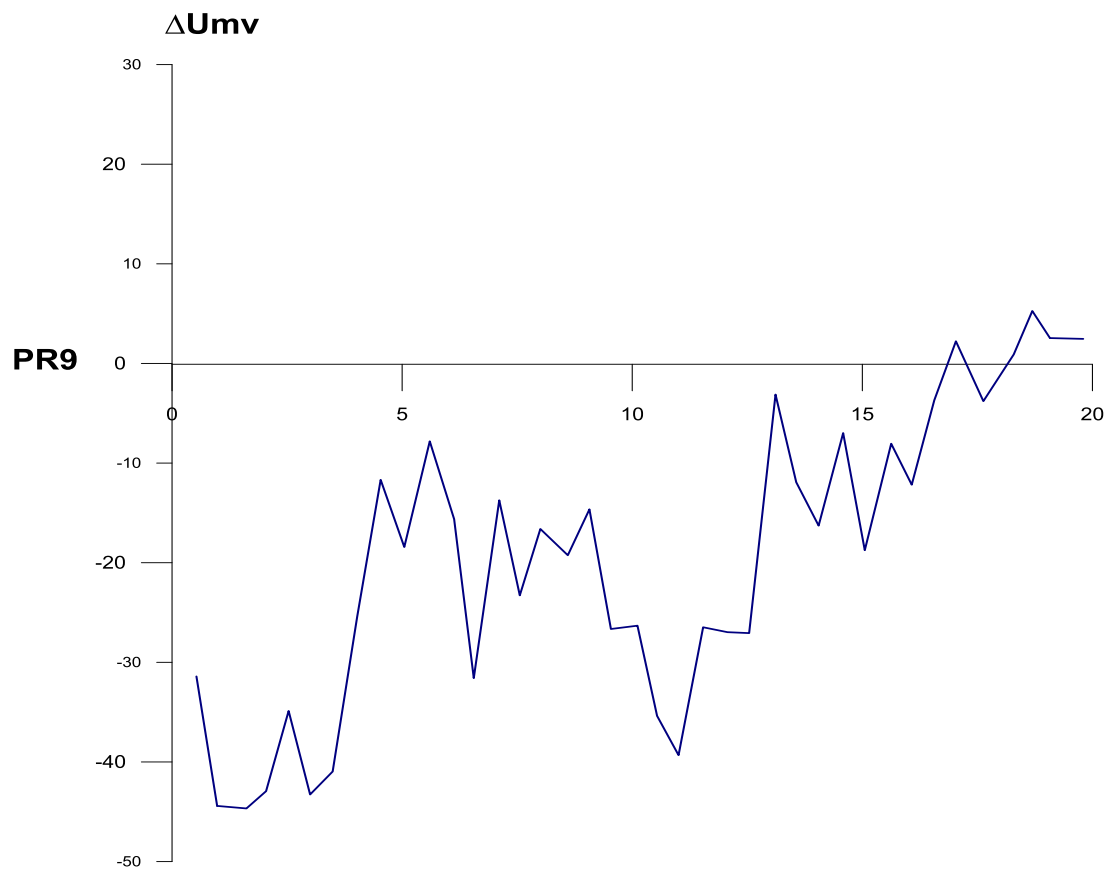
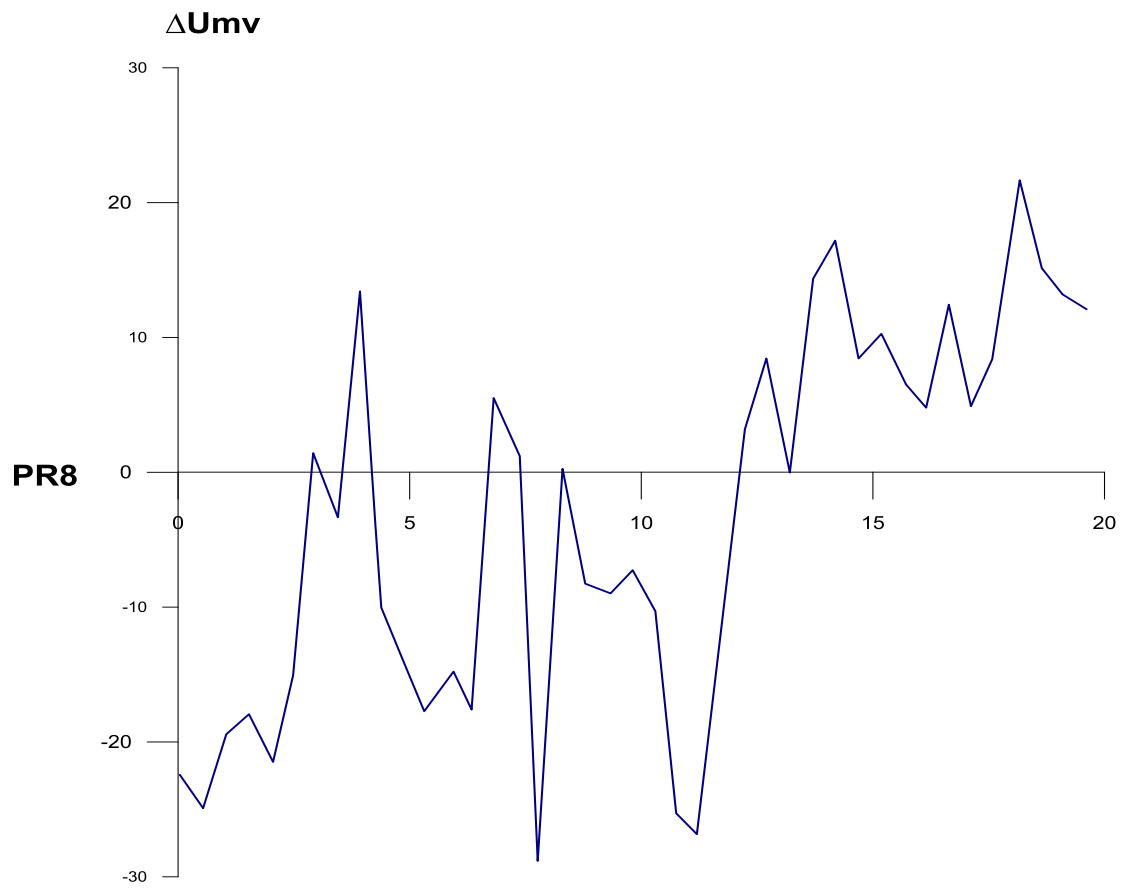
A. Les profils de polarisation spontanée, gravimétrie et magnétique de Hameimat Nord

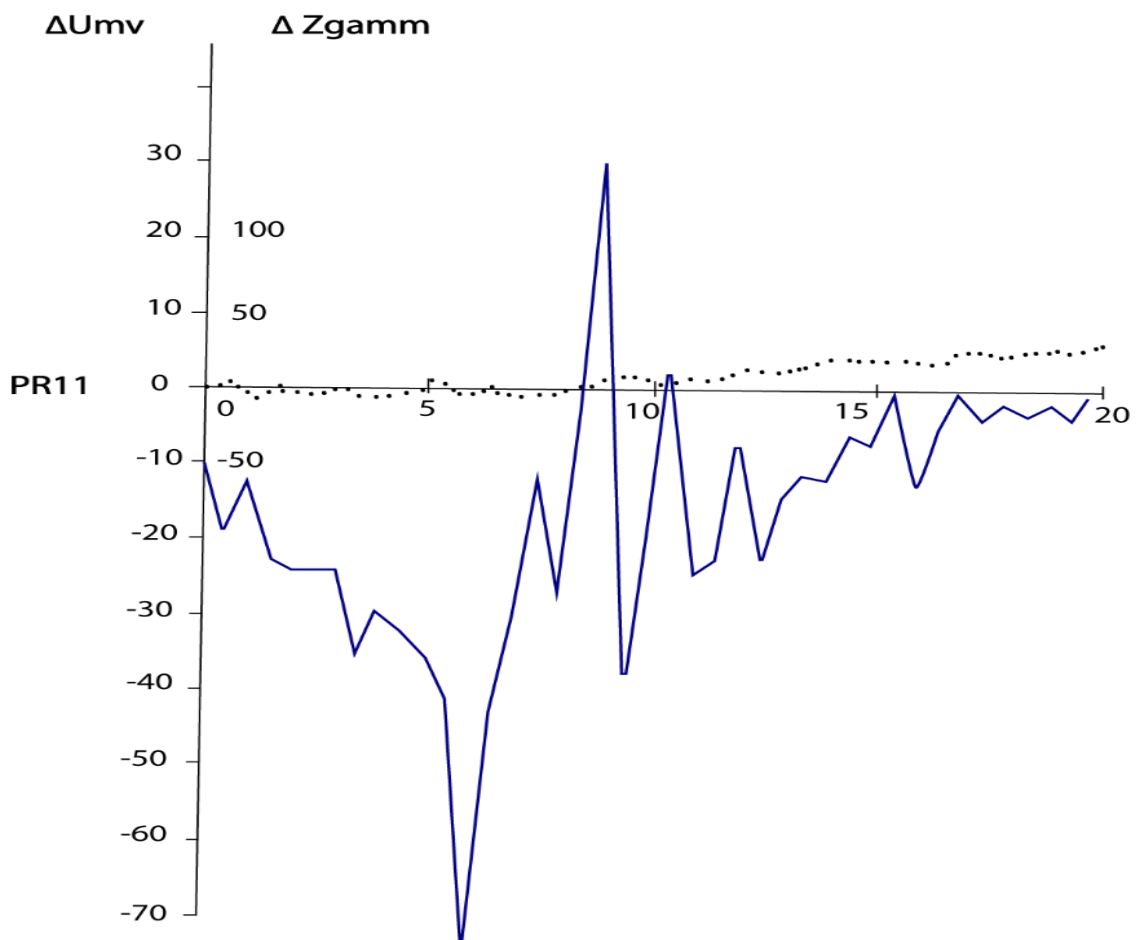
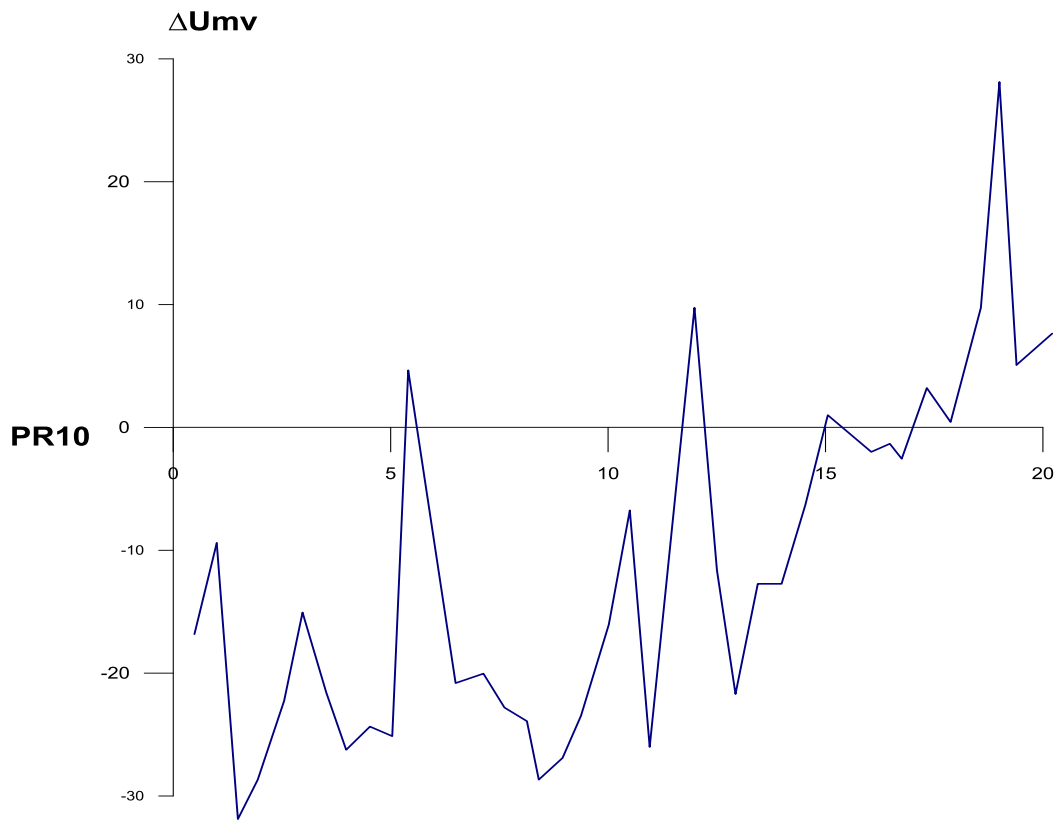


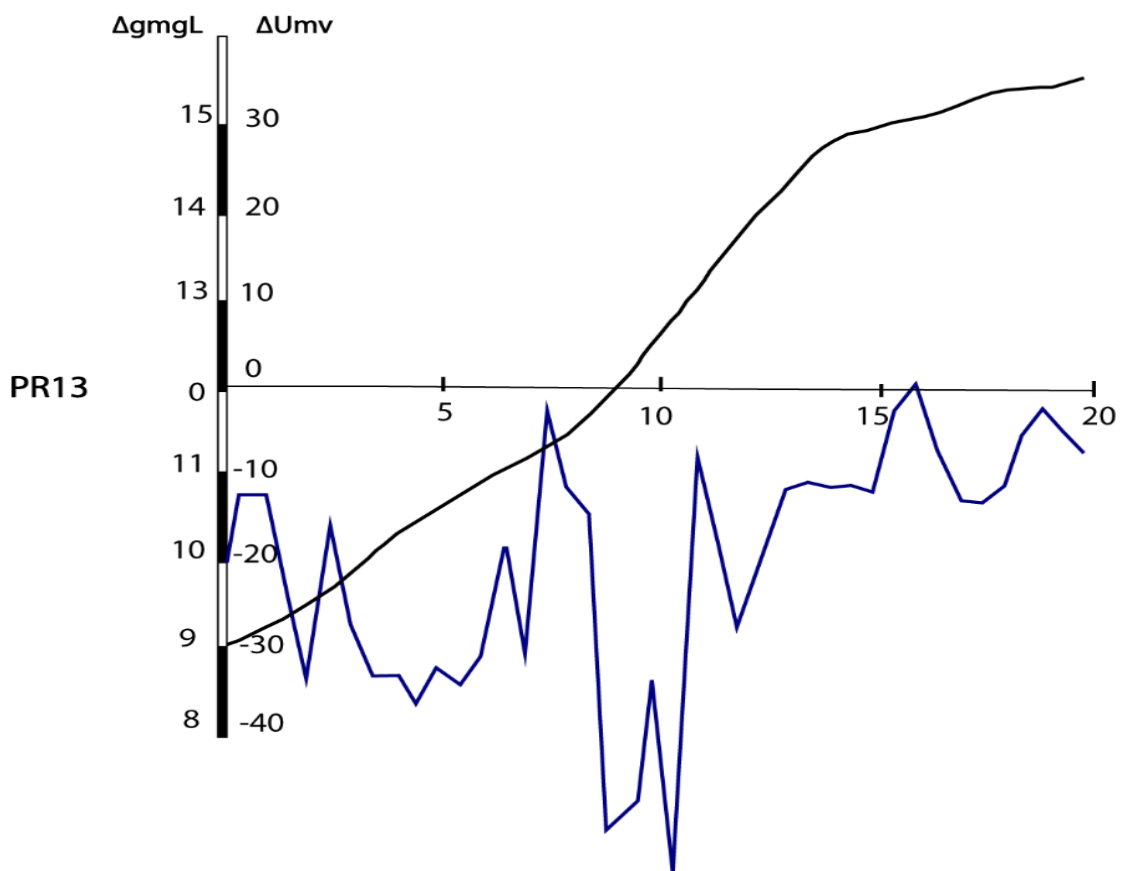
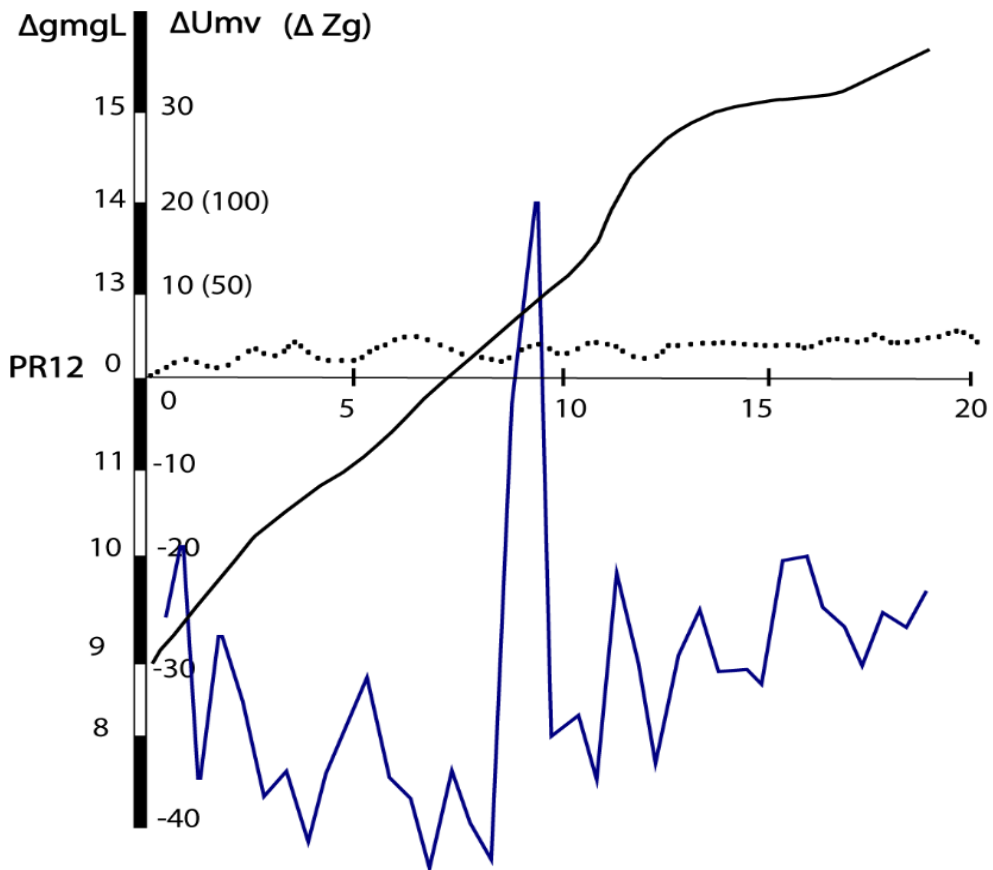


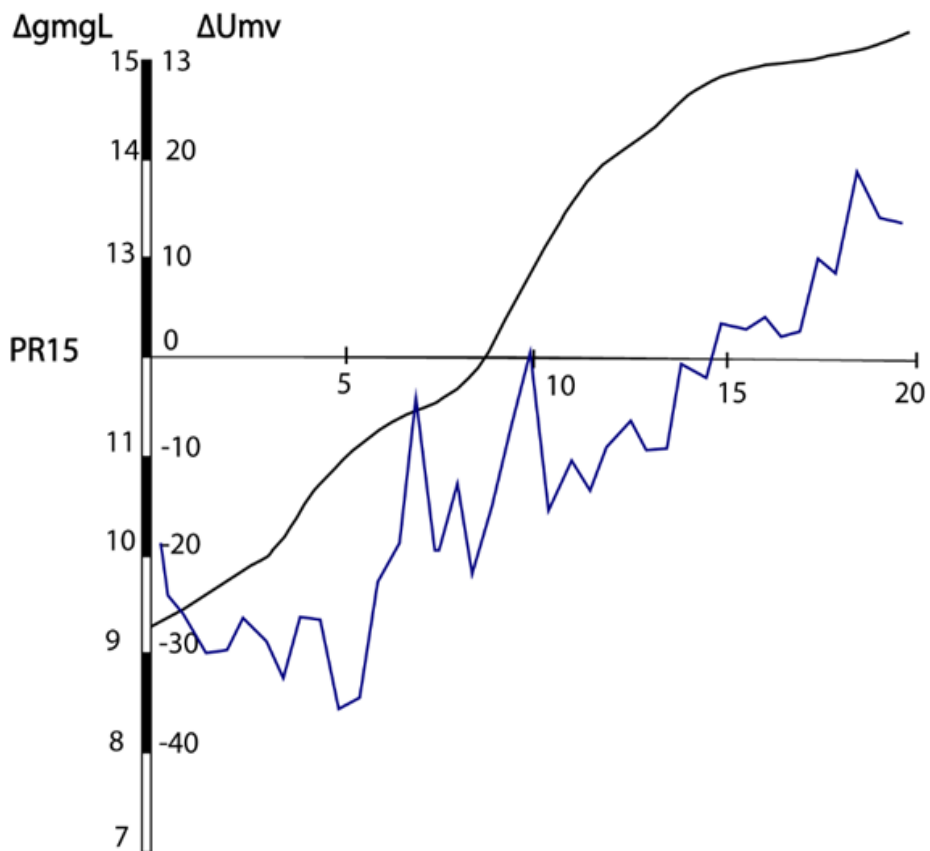
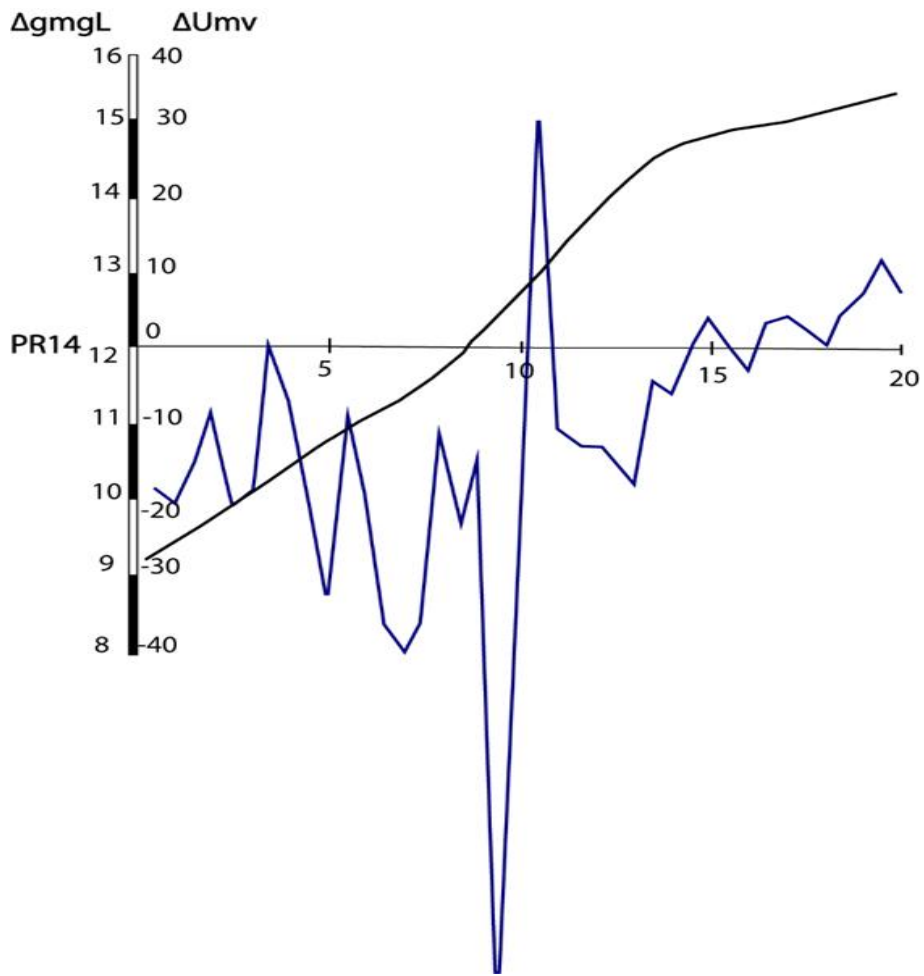


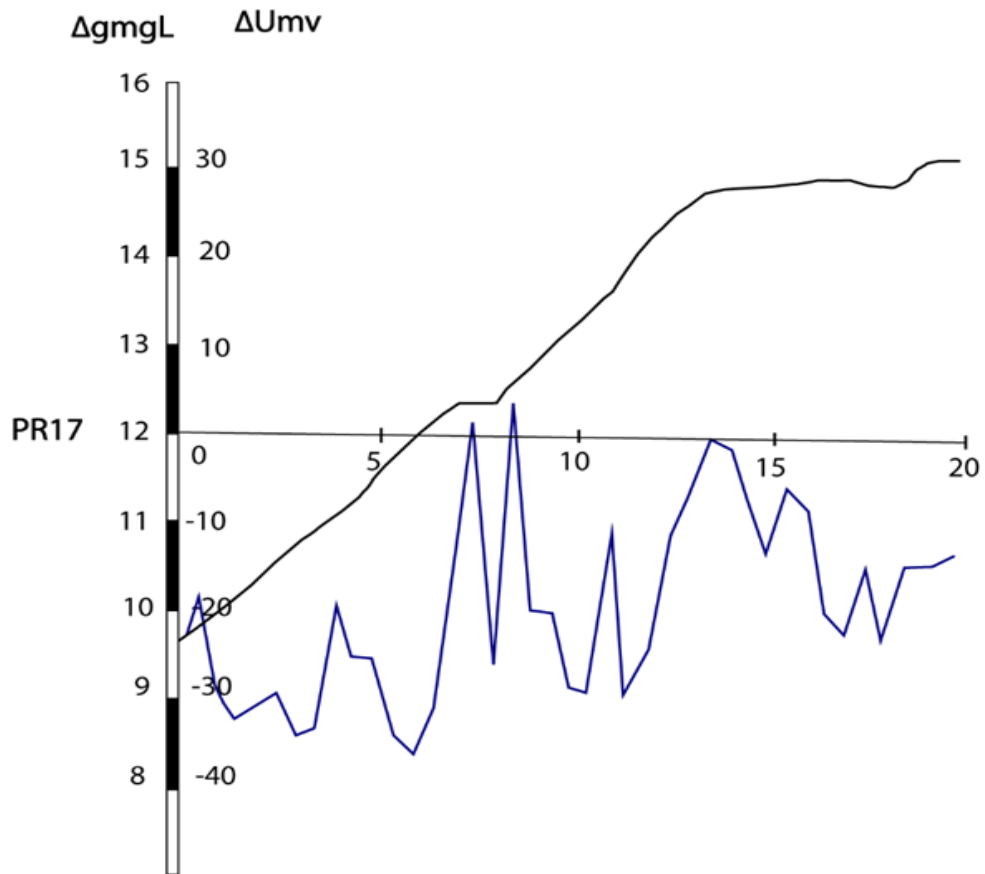
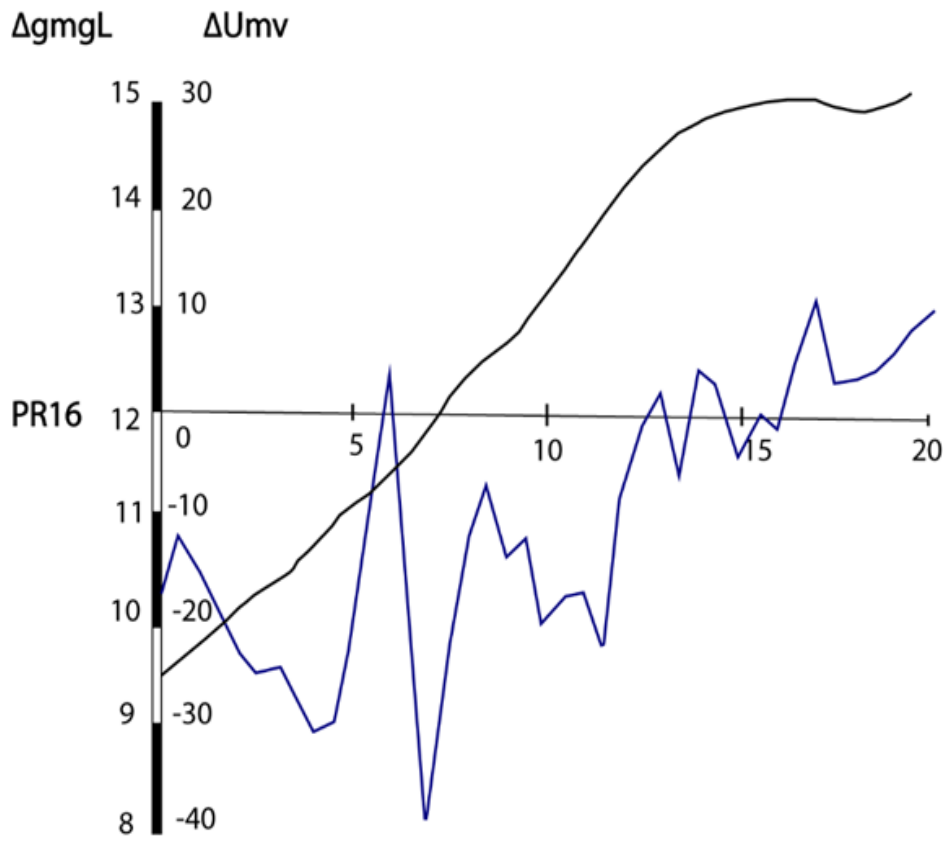


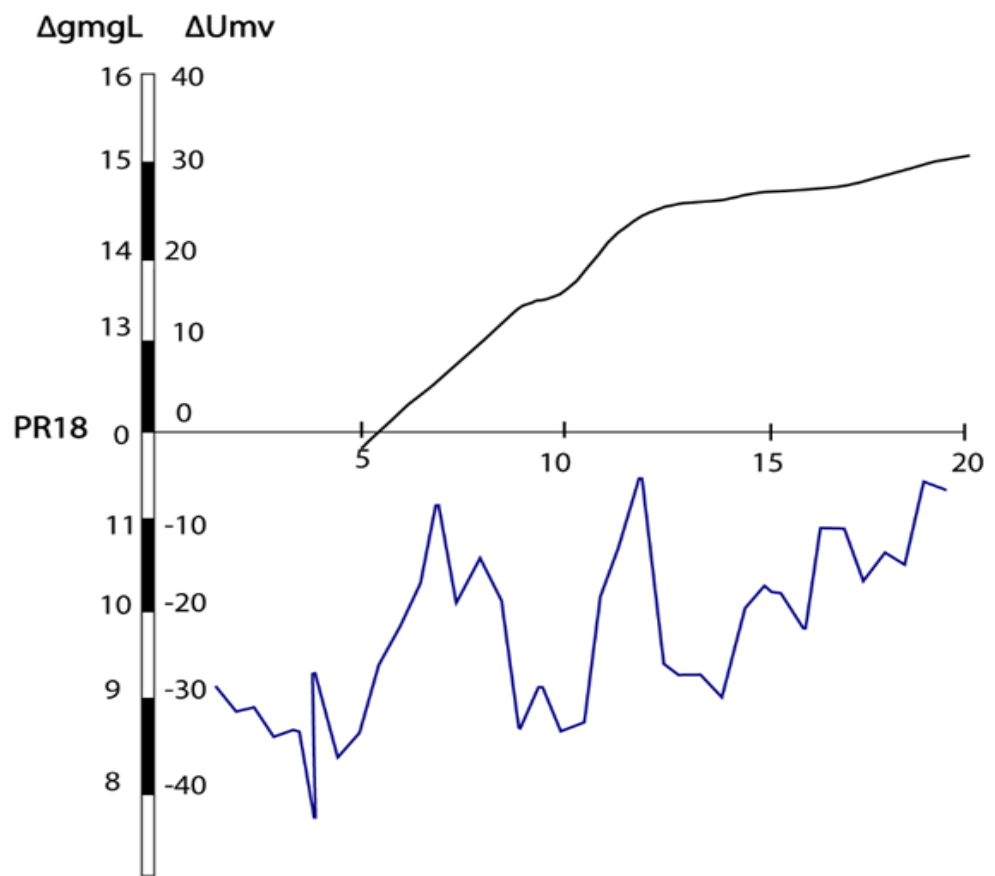












B. Les profils de polarisation spontanée, gravimétrie et magnétique de Hameimat Sud

